

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ  
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ISSN 0371—7089

ТРУДЫ  
ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
ЦЕНТРА СССР

Выпуск **255**

РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ  
ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА МОРЯ

ЛЕНИНГРАД  
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
1983

## СОДЕРЖАНИЕ

П. С. Линейкин. Об определении глубины главного океанического термоклина . . . . .	3
А. А. Зеленъко. Расчет характеристик деятельного слоя и циркуляции Лангмура в океане . . . . .	15
Ю. Д. Реснянский. Влияние течений на эволюцию деятельного слоя океана . . . . .	23
В. И. Калацкий, А. А. Круглов, Е. С. Нестеров. Расчет термических характеристик квазигомогенного слоя в северной части Тихого океана . . . . .	33
А. А. Круглов. Учет влияния процессов массообмена через поверхность океана при расчете термических характеристик деятельного слоя . . . . .	38
Е. С. Нестеров. О формировании крупномасштабных аномалий температуры воды в Северной Атлантике . . . . .	44
К. И. Смирнова. О термической структуре океана внутри полигона в приэкваториальной Атлантике . . . . .	50
А. И. Каракаш. Предвычисление сезонного хода ледовитости Охотского моря . . . . .	57
Л. Г. Сергеева. Методика прогнозирования весенних ледовых фаз в Куршском и Калининградском заливах . . . . .	64
П. И. Бухарицын. Использование телевизионных снимков ИСЗ «Метеор» для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии . . . . .	70
В. А. Волженков. О выборе стандартных путей плавания судов в океане . . . . .	75
О. И. Шереметевская. Усовершенствование статистического метода долгосрочного прогноза сроков очищения ото льда морей Европейской территории СССР . . . . .	79
Р. В. Гаврилюк. Долгосрочный прогноз годового хода температуры воды в Северной Атлантике . . . . .	84

Труды Гидрометцентра СССР, вып. 255

РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА МОРЯ

Редактор Л. А. Чепелкина. Технический редактор М. И. Брайшина. Корректор Л. А. Сандлер.

Н/К. Сдано в набор 26.07.83. Подписано в печать 29.11.83. М-38679. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. тип. № 1. Литературная гарнитура. Печать высокая. Печ. л. 6. Кр.-отт. 6,25. Уч.-изд. л. 6,79. Тираж 550 экз. Индекс ОЛ-110. Заказ № 282. Цена 50 коп. Заказное.

Гидрометеиздат, 199053, Ленинград, 2-я линия, 23.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный переулоч, 6

Затем, по прогнозу  $C_T$  и начальной толщине льда  $H_i$  по формуле (7) рассчитывались даты очищения в Архангельске и Разнаволоке. Обеспеченность невыхода ошибок в сроках очищения за  $0,67\sigma$  составила 80 и 76 %.

Формы зависимости (7), (8), основанные на приближенном решении уравнения теплового баланса ледяного покрова (4), лучше, чем зависимости (2), (3), отражают физическую сущность процесса очищения моря ото льда, являющегося результатом таяния льда. При таком подходе удается расчленить влияние начальных условий (начальной толщины льда) и последующего процесса таяния (зависящего от атмосферной циркуляции) на сроки очищения моря ото льда. Прогноз скорости таяния косвенно представляет собой долгосрочный прогноз погоды.

Изучение скорости таяния льда и временных вариаций теплового баланса, а также особенностей атмосферной циркуляции, обуславливающей медленное таяние (позднее очищение) и быстрое таяние (раннее очищение ото льда) представляется перспективным.

Для повышения качества методов долгосрочных ледовых прогнозов требуется улучшить качество ледовой информации, для чего необходимо регулярное проведение ледовых авиационных разведок с применением инструментальных методов наблюдений, а также наблюдений, проводимых с помощью ИСЗ, позволяющих измерять толщину льда в открытом море и альбедо льда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н. А. Преобразование и отбор предсказателей в корреляционном анализе.— Труды Гидрометцентра СССР, 1970, вып. 64, с. 3—23.
2. Дорони Ю. П. Тепловое взаимодействие атмосферы и океана в Арктике.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.— 299 с.
3. Глаголева М. Г. Таблицы коэффициентов разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления над Северным полушарием.— М.: Отпечат. на множит. аппарате Гидрометцентра СССР, 1977.— 165 с.
4. Каракаш А. И. Ледовые прогнозы на неарктических морях СССР.— Труды Гидрометцентра СССР, 1969, вып. 52, с. 101—119.
5. Куцуруб А. И. Применение экваториального соотношения для оценки надежности предикторов прогностических уравнений.— Труды Гидрометцентра СССР, 1981, вып. 241, с.

*Р. В. Гаврилюк*

#### ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГОДОВОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Известно [2], что тепловое взаимодействие океана и атмосферы неодинаково в разные сезоны года. Испарение с водной поверхности и турбулентный теплообмен достигают наибольших значений в холодную часть года. В теплую часть года испарение

и теплообмен с водной поверхности минимальны. Наибольшее количество тепла от Солнца поглощается океаном в теплое время года, наименьшее — в холодное. Поэтому летом океан мидлоактивен, тепло преимущественно накапливается на поверхности. Прогревается только верхний тонкий слой воды. Наиболее интенсивный теплообмен океана с атмосферой наблюдается зимой. Поэтому аномалии температуры воды формируются главным образом в осенне-зимний период.

Различный характер тепловых процессов в океане в теплую и холодную часть года приводит к необходимости использовать для их прогноза различные подходы. В настоящее время наибольшее число методов разработано для прогнозов на теплую часть года.

Термический режим деятельного слоя в теплую часть года определяется главным образом потерями тепла в период охлаждения и адвективными изменениями в это же время. Характер этих изменений связан с особенностями атмосферной циркуляции, что и является физической основой связи между аномалиями температуры воды летом и циркуляцией атмосферы в зимний период. На этом принципе разработаны методики долгосрочного прогноза летней температуры воды для Японского, Охотского и Баренцева морей [5, 9, 10].

Для северной части Атлантического океана также для теплого периода года разработан метод прогноза аномалий температуры воды по материалам наблюдений на кораблях погоды [7]. Этот метод, по существу, является единственным, применяемым для долгосрочного прогнозирования поля значений температуры воды на поверхности в Северной Атлантике. При этом температура воды задается в девяти точках (корабли погоды). Как показано в работе [15], очаги с крупными аномалиями температуры воды располагаются, как правило, западнее районов дрейфа кораблей погоды и фиксируются ими лишь в незначительной степени.

Для холодной половины года способов предвычисления средних месячных значений температуры воды практически нет. Только для южной части Баренцева моря [8] предложен метод прогноза средней сезонной температуры воды на первый и второй кварталы календарного года на основе учета характера теплообмена моря с атмосферой в период предзимья.

Для Атлантического океана предложен метод прогноза средней за три месяца (январь—март) температуры воды по температуре воздуха и коэффициентам разложения поля атмосферного давления зимой предыдущего года. Метод разработан также на основе материалов наблюдений на кораблях погоды [10].

В настоящей работе сделана попытка разработать метод прогноза годового хода температуры воды в Северной Атлантике. Исходными материалами послужили средние месячные значения температуры воды, осредненные по пятиградусным квадратам за период 1957—1974 гг. В работе [3] показана возможность исполь-

зования этих материалов для расчетов и прогнозов. Поля значений температуры поверхностного слоя воды в Северной Атлантике задавались в 28 точках и раскладывались в ряды по естественным ортогональным функциям. В работе [4] показано, что при восстановлении полей значений температуры воды достаточно пользоваться пятью-шестью коэффициентами разложения. Там же подробно рассматривалась возможность представления годового хода температуры воды в Северной Атлантике по четырем сезонам. Таким образом, задача сводится к прогнозу первых шести коэффициентов разложения полей значений температуры воды для четырех сезонов года.

Известно [11—14], что в ходе атмосферных и гидрологических явлений наблюдаются определенные циклические колебания с периодом полгода и год. Все другие циклы имеют меньшее значение. Таким образом, преобладающее влияние зимних процессов на формирование аномалий температуры воды и существование определенных циклов в ходе отдельных гидрометеорологических элементов послужило основой для разработки метода долгосрочного прогноза годового хода температуры воды в Северной Атлантике, т. е. тепловое и динамическое состояние атмосферы в зимнее время является определяющим в формировании температуры поверхностного слоя воды весной, летом и осенью этого года, а также зимой, весной, летом и осенью следующего года. Заблаговременность прогноза в первом случае меняется от двух до восьми месяцев, во втором — от одного до двух лет.

В качестве показателей атмосферной циркуляции использовались коэффициенты разложения полей аномалий атмосферного давления, приведенные в [6]. Осенне-зимние потери тепла, пропорциональные разности значений температуры вода—воздух, учитываются через изменения температуры воздуха. Поля значений температуры воздуха задаются в девяти точках, соответствующих пунктах постановки кораблей погоды и раскладываются в ряды по естественным ортогональным функциям.

При разработке метода прогноза также проверялось положение о том, что динамические и тепловые процессы, развивающиеся в гидросфере, определяются сложившимися атмосферными условиями не только над данной акваторией океана, но и над прилегающей к ней сушей, т. е. в качестве предикторов рассматривались показатели циркуляции атмосферы как над Северной Атлантикой, так и над Северной Америкой (соответственно секторы I и I+V).

Для нахождения предикторов для прогноза на первом этапе были подсчитаны коэффициенты парной корреляции между коэффициентами разложения температуры воздуха и полей аномалий атмосферного давления в зимние месяцы (с ноября по март) с коэффициентами разложения полей значений температуры воды во все последующие сезоны (весна, лето, осень этого года, а также зима, весна, лето и осень следующего года). Затем

из системы возможных предикторов выбирались только те, которые, во-первых, были значимыми (при 5 %-ном уровне значимости и длине ряда  $n = 18$ , нижний предел коэффициента парной корреляции равен 0,468 [1]), во-вторых, некоррелированы между собой.

На втором этапе методом пошаговой множественной регрессии находилось уравнение для прогноза коэффициентов разложения средней за сезон температуры воды. Общий вид уравнения регрессии следующий:

$$B_{t_w, i} = \sum_j a_j B_{t_{a, i}(X_{I-III})} + \sum_k b_k B_{\Delta p, k(X_{I-III})} + \\ + \sum_l c_l B_{t_w, i(X_{I-III})} + d_i,$$

где  $B_{t_w, i}$  — коэффициент разложения поля значений средней за сезон температуры воды;  $B_{t_{a, i}(X_{I-III})}$  — коэффициент разложения поля значений температуры воздуха зимние месяцы;  $B_{\Delta p, k(X_{I-III})}$  — коэффициент разложения поля аномалий атмосферного давления в секторе I или I+V в зимние месяцы;  $B_{t_w, i(X_{I-III})}$  — коэффициент разложения поля температуры воды в зимние месяцы;  $a_j, b_k, c_l$  — коэффициенты уравнения регрессии;  $d_i$  — свободный член уравнения.

В табл. 1 и 2 показаны коэффициенты корреляции  $R$  по уравнениям и обеспеченность прогноза шести коэффициентов разложения полей значений температуры воды по зиме предыдущего года. Значения давления сняты по секторам I и I+V. Все предикторы берутся за зимние месяцы предыдущего года. Обеспеченность прогноза всех коэффициентов, за исключением  $B_4$  для зимы, превышает природную. Но так как элементарное поле, соответствующее коэффициенту  $B_4$ , отображает мелкомасштабные особенности распределения температуры воды, то, по-видимому, не совсем удачный прогноз этого коэффициента не может привести к большим ошибкам при восстановлении. Кроме того, природная обеспеченность прогноза коэффициентов разложения  $B_3, B_4, B_5$  для зимы довольно высока, что позволяет пользоваться их средними климатическими значениями.

Для остальных сезонов года для всех коэффициентов разложения обеспеченность прогноза по уравнению превышает природную.

По вычисленным коэффициентам разложения были восстановлены поля значений температуры и найдена обеспеченность метода. При ошибке не более  $\sigma$  (среднее квадратическое отклонение) обеспеченность метода превышает природную.

В табл. 3 и 4 показаны коэффициенты корреляции  $R$  и обеспеченность прогноза коэффициентов разложения полей значений

Таблица 1

Обеспеченность прогноза по зиме предыдущего года коэффициентов разложения и восстановленных по этим коэффициентам полей значений температуры воды в Северной Атлантике (значения давления сняты по сектору I)

$B_i$	Зима (1)			Весна (2)			Лето (3)			Осень (4)		
	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %
$B_0$	0,71	82	60	0,84	100	72	0,83	100	72	0,89	100	72
$B_1$	0,86	93	75	0,84	89	55	0,83	94	77	0,83	94	61
$B_2$	0,75	88	75	0,67	89	66	0,83	94	72	0,74	89	83
$B_3$	0,93	100	88	0,81	94	55	0,75	94	66	0,73	89	83
$B_4$	0,47	75	88	0,65	89	77	0,72	100	88	0,71	94	77
$B_5$	0,78	100	88	0,82	94	66	0,66	84	66	0,82	100	77
Поле значений $t^\circ$ воды	—	86	67	—	90	66	—	94	61	—	98	73

Примечание. Число в скобках около сезона соответствует номеру прогноза в табл. 5.

Таблица 2

Обеспеченность прогноза по зиме предыдущего года коэффициентов разложения и восстановленных по этим коэффициентам полей значений температуры воды в Северной Атлантике (значения давления сняты по сектору I+V)

$B_i$	Зима (5)			Весна (6)			Лето (7)			Осень (8)		
	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %
$B_0$	0,86	88	60	0,83	94	72	0,89	100	72	0,86	100	72
$B_1$	0,92	100	72	0,75	83	55	0,83	94	77	0,78	88	61
$B_2$	0,90	100	75	0,68	83	66	0,77	88	72	0,86	88	83
$B_3$	0,92	100	88	0,95	100	55	0,78	88	66	0,68	88	83
$B_4$	0,67	78	88	0,82	94	77	0,64	88	88	0,71	88	71
$B_5$	0,65	83	88	0,70	77	66	0,72	88	66	0,76	100	77
Поле значений $t^\circ$ воды	—	88	67	—	90	66	—	88	61	—	91	73

Таблица 3

Обеспеченность прогноза по зиме текущего года коэффициентов разложения и восстановленных по этим коэффициентам полей значений температуры воды в Северной Атлантике (значения давления сняты по сектору I+V)

$B_i$	Весна (9)			Лето (10)			Осень (11)		
	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная обеспеченность, %
$B_0$	0,68	83	72	0,77	94	72	0,83	100	72
$B_1$	0,78	72	55	0,81	94	77	0,81	94	61
$B_2$	0,69	72	66	0,75	88	72	0,77	88	93
$B_3$	0,57	83	55	0,65	88	66	0,62	94	83
$B_4$	0,78	88	77	0,63	88	88	0,83	100	77
$B_5$	0,84	88	66	0,55	72	66	0,71	88	77
Поле значений $t^\circ$ воды	—	86	66	—	92	61	—	93	73

Таблица 4

Обеспеченность прогноза по зиме текущего года коэффициентов разложения и восстановленных по этим коэффициентам полей значений температуры воды в Северной Атлантике (значения давления сняты по сектору I)

$B_i$	Весна (12)			Лето (13)		
	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная, %	$R$ по уравнению	обеспеченность, %	природная, %
$B_0$	0,78	100	72	0,78	88	72
$B_1$	0,78	77	55	0,75	88	77
$B_2$	0,72	88	66	0,70	83	72
$B_3$	0,66	83	55	0,63	88	66
$B_4$	0,84	100	77	0,57	83	88
$B_5$	0,68	72	66	0,66	77	66
Поле значений $t^\circ$ воды	—	90	66	—	90	61

температуры воды по зиме текущего года. Значения давления сняты по секторам I и I+V. Лучшие результаты получали, если в качестве предикторов были взяты коэффициенты разложения полей аномалий атмосферного давления в секторе I+V. По вычисленным коэффициентам восстановлены поля значений температуры воды и найдена обеспеченность метода, которая также превышает природную.

Так как все уравнения получены на ограниченной выборке, то все коэффициенты корреляции были проверены на устойчивость. Для этой цели находилась величина

$$z = 1,15 \lg \frac{1+R}{1-R},$$

и ее средняя квадратичная ошибка

$$\sum(z) = \frac{1}{\sqrt{n-3}}.$$

Вероятность, что  $z$  превысит  $\sum(z)$  более чем в  $\tau$  раз, есть функция от  $\tau$ . При

$$\tau = \frac{z}{\sum(z)} = 2,5,$$

эта вероятность равна 0,01, т. е. очень мала, поэтому при

$$\tau = z \sqrt{n-3} \geq 2,5 \quad (n - \text{число случаев}),$$

вычисленное значение коэффициента корреляции  $R$  можно считать неслучайным (1). Все вычисленные значения  $\tau$  (за исключением  $\tau$  коэффициента корреляции для  $B_1$  для зимы) превышают 2,5, т. е. неслучайны.

Кроме того, была сделана проверка на независимом материале (1976—1980 гг.). Результаты проверки представлены в табл. 5. Там же приведена природная обеспеченность прогноза температуры воды относительно нормы, полученной по результатам наблюдений за 18 лет. Как следует из данных табл. 5, обес-

Таблица 5

Проверка прогнозов полей значений температуры воды в Северной Атлантике на независимом материале (1976—1980 гг.)

№ прогноза	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обеспеченность метода, %	84	75	76	81	78	80	86	83	82	90	81	83	88
Природная обеспеченность, %	67	66	61	73	67	66	61	73	66	61	73	66	61

Примечание. Номер прогноза соответствует числам, стоящим в скобках рядом с названиями сезонов в табл. 1—4.

печенность прогнозов № 2 и 3 средней за сезон температуры воды для весны и лета по зиме предыдущего года не превышает природную (значения давления сняты по сектору I). Во всех остальных случаях обеспеченность метода превышает природную.

Таким образом, проверка на независимом материале показала возможность использования метода для долгосрочного прогноза средней за сезон температуры воды в Северной Атлантике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н. А. О некоторых особенностях корреляционного анализа и их применении к прогнозу погоды.—*Метеорология и гидрология*, 1968, № 1, с. 3—13.
2. Белинский Н. А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов.—*Л.: Гидрометеониздат*, 1957.— 203 с.
3. Гаврилюк Р. В. Об оценке «тепловой инерции» и использовании судовых наблюдений над температурой воды в океане.—*Труды Гидрометцентра СССР*, 1980, вып. 241, с.
4. Гаврилюк Р. В. О возможности сезонного прогноза температуры воды в Северной Атлантике.—*Метеорология и гидрология*, 1981, № 4, с. 71—76.
5. Глаголева М. Г. О возможности прогноза распределения температуры воды по площади.—*Труды Гидрометцентра СССР*, 1969, вып. 51, с. 75—85.
6. Глаголева М. Г. Таблицы коэффициента разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления над северным полушарием.—*М.: Отпеч. на множ. аппарате ГМЦ*, 1977.— 164 с.
7. Глаголева М. Г., Скриптунова Л. И. Прогноз температуры поверхностного слоя океана.—*Методическое письмо*, № 3. *Л.: Гидрометеониздат*, 1977.— 62 с.
8. Дрогайцев Д. А. Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы на основе учета колебаний температуры.—*Л.: Гидрометеониздат*, 1959.— 192 с.
9. Каракаш А. И. Метод прогноза температуры воды в Баренцевом море.—*Труды Гидрометцентра СССР*, 1957, вып. 57, с. 3—59.
10. Каракаш А. И. О возможности сверхдолгосрочного предсказания температуры поверхностного слоя воды в океане.—*Труды Гидрометцентра СССР*, 1978, вып. 194, с. 31—36.
11. Каракаш А. И., Ющак Т. Ф. О долгосрочных ледовых прогнозах.—*Труды ЦИП*, 1966, вып. 156, с. 89—98.
12. Суховой В. Ф. О полугодовых колебаниях гидрологических элементов в океане.—*Метеорология и гидрология*, 1975, № 6, с. 52—60.
13. Суховой В. Ф. Изменчивость гидрологических условий Атлантического океана.—*Киев: Наукова думка*, 1977.— 214 с.
14. Федоров К. Н. О причинах полугодовой периодичности в атмосферных и гидрологических процессах.—*Изв. АН СССР, сер. геогр.*, 1959, № 4, с. 17—25.
15. Юрко В. Т. Аномальность полей температуры воды в Северной Атлантике.—*Труды ВНИИГМИ-МЦД*, 1977, вып. 39, с. 60—65.