

УДК 551.46.062

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

О. Б. Тепнин



Исследована возможность прогноза температурных условий на поверхности северо-западной части Тихого океана в период преднерестовой миграции лососей. В качестве прогностической методики выбран статистический анализ взаимосвязи среднемесячных полей ТПО (аномалий ТПО) и приземного атмосферного давления, разложенных в ряды посредством эмпирических ортогональных функций. Показано, что прогноз термических условий на поверхности в весенне-летний период года с заблаговременностью в один месяц, с достаточной степенью достоверности, возможен только для поля аномалий ТПО. Для увеличения достоверности прогноза термической обстановки необходимо введение в анализ дополнительных исходных данных.

О. В. Тепнин. The possibility to forecast thermal conditions in the northwest part of Pacific Ocean // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers. Vol. 9. Petropavlovsk-Kamchatski: KamchatNIRO. 2007. P. 5–9.

The possibility to forecast the surface temperature conditions in the northwest part of Pacific Ocean in the period of prespawning migration of salmon has been estimated. The prognostic method selected is the statistical analysis of mutual correlations between the average monthly fields of the sea surface temperature (SST or abnormalities of the SST) and the near-surface atmosphere pressure distributed into the series with using empirical orthogonal functions. It has been demonstrated, that a rather reliable, one month forestalling forecast of the surface temperature conditions for the spring-summer period is possible only for the field of the abnormal SST. The reliability of the forecast can be enhanced through introduction of the basis supplementary data into the analysis.

Гидрологические условия на путях преднерестовой миграции лососей и особенно в непосредственной близости от побережья оказывают значительное влияние на пространственную структуру, сроки и мощность подходов к местам прибрежного и речного промысла (Бирман, 2004; неопубликованные данные Л.Е. Грачева, А.Н. Заочного, Г.Е. Карманова за 1985 г). Знание гидрологических условий в период преднерестовых миграций лососей с определенным-временным заделом могло бы служить хорошим подспорьем в оперативном управлении промыслом и помочь избежать крупных материальных затрат.

Водная среда более инерционна, чем атмосфера, что дает возможность создания краткосрочного и среднесрочного прогнозов, опираясь на данные об атмосферных процессах и первоначальное состояние водной среды. Такие работы проводятся на протяжении уже более чем полувека (Глаголева и др., 1957; Глаголева, 1969; Глаголева, Скриптунова, 1979; Скриптунова, 1968). Основным препятствием на пути создания действительно «работающих» прогнозов для больших акваторий, удаленных от берега, оставалось отсутствие постоянных, регулярных наблюдений за гидрологическим режимом. Эта задача не решена в полном объеме и в настоящее время. Однако в связи с бурным развитием дистанционных методов мониторинга водной поверхности, данный пробел частично закрывается.

Воспользоваться старыми наработками и новыми материалами для разработки прогноза термического состояния поверхности северо-западной части Тихого океана в весенний период — одна из основных целей данной работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалами для работы послужили следующие массивы данных:

— среднемесячной температуры поверхности океана и ее аномалий в северо-западной части Тихого океана за период с 1982 по 2006 гг. с пространственным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ по широте и долготе. Источник: Международный научный Институт климата и общества (IRI, <http://iri.columbia.edu/>);

— среднемесячного приземного атмосферного давления для Дальневосточного региона. Источник: архив КамчатНИРО.

Данные по приземному атмосферному давлению первоначально были представлены в узлах большей сетки: $5^\circ \times 10^\circ$ (широта \times долгота). Для сопоставимости исходных данных мы произвели интерполяцию всего ряда (методом Кригинга, реализованным в программе Surfer 8, Golden Software, Inc.) на узлы регулярной сетки с шагом в 1° .

Район работ, для которого производились отбор и обработка первичных данных, а затем составлялся прогноз, показан на рисунке 1. Его конфигура-

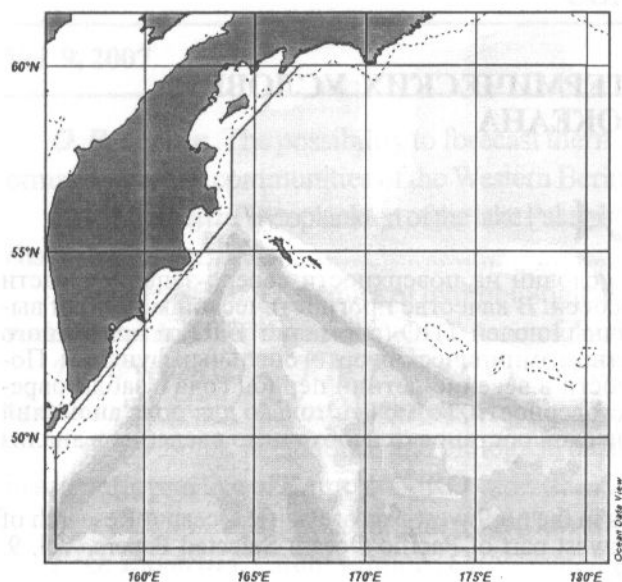


Рис. 1. Расположение района, для которого производился отбор исходных данных

ция определялась тематикой исследования, но в принципе может быть свободно изменена, исходя из конечных задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все методы прогнозов, применяемых в океанологии и смежных дисциплинах, могут быть подразделены на следующие четыре основных типа:

— *детерминистический метод, базирующийся на строгих физических уравнениях (математическое моделирование);*

— *аналоговое моделирование;*

— *вероятно-статистический (стохастический) метод, основанный на статистическом анализе природных процессов (статистические методы),*

— *эмпирический метод, то есть качественные и интуитивные прогнозы (эмпирико-статистические методы).*

Отталкиваясь от целей нашей работы и положения дел с исходными данными, наиболее правильно, с нашей точки зрения, было бы использовать статистические методы, по возможности подведя хотя бы элементарную физическую базу под разработку прогностического метода.

Так как имеющиеся в нашем распоряжении исходные данные представляют собой поля, наиболее целесообразно применение предварительного их разложения с использованием эмпирических ортогональных функций (EOF) (Джеймс, 1971).

Основная особенность EOF-метода заключается в представлении наиболее существенной информации малым числом членов ряда. Аналити-

ческое представление полей температуры воды с использованием рядов дает возможность перейти от значений ТПО в отдельных точках к единым характеристикам температурного поля в целом и тем самым получить возможность создания адвективных схем прогноза. При таком способе представления гидрометеорологических полей, прогноз температуры воды сводится к прогнозу коэффициентов разложения температурного поля. В качестве аргументов используются коэффициенты разложения полей приземного атмосферного давления.

Разложение функции $F(x, y)$ в ряд может быть представлено в следующем общем виде:

$$F(x, y) = B_{00} + B_{10}X_1(x) + B_{01}Y_1(y) + B_{11}X_1(x)Y_1(y) + \dots + B_{ij}X_i(x)Y_j(y),$$

где $X_i(x)$ и $Y_j(y)$ — собственные вектора (собственные функции) на координатные оси (широта и долгота). Каждой собственной функции соответствует собственное число.

Коэффициенты разложения вычисляются по формуле:

$$B_{ij} = \frac{\sum F(x, y)X_i(x)Y_j(y)}{\sum X_i^2 \sum Y_j^2}$$

Абсолютные значения коэффициентов разложения показывают удельный вес данного элементарного поля в исходном поле, которое представляется в виде ряда. Знак, стоящий перед коэффициентом, характеризует направление потока. В зависимости от поставленной задачи, для количественного выражения полей гидрометеорологических элементов берется различное число членов ряда. Для того чтобы точно восстановить значение $F(x, y)$ в каждой точке поля, необходимо, чтобы число членов ряда было равно числу точек, в которых задано $F(x, y)$. Число членов ряда при предоставлении прогнозируемых элементов определяется в соответствии с необходимой точностью прогноза.

Уравнения для прогноза коэффициентов разложения температурного поля находятся с использованием регрессионного анализа главных компонент — PCR-анализ. Данный метод реализован в утилите предсказания климата (CPT — Climate Predictability Tool), разработанной Международным институтом климата и общества (IRI).

Для примера, на следующем рисунке (рис. 2) приведено суммарное значение первых 25-ти собственных значений разложения поля ТПО для июня (в %). Наглядно видно, что уже первые 10 членов ряда отражают более 90% исходного поля.

Пространственное распределение корреляции Пирсона, рассчитанной между полями ТПО и приземным атмосферным давлением, приведено на

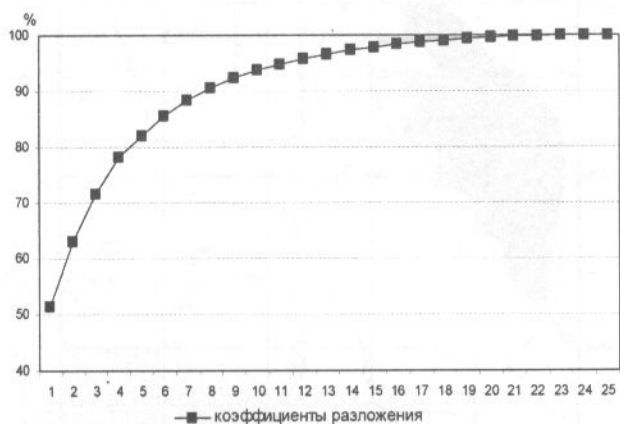


Рис. 2. Суммарное значение первых 25-ти коэффициентов разложения поля аномалий ТПО для июня (в %)

рис. 3. Для узловых точек сетки они меняются в пределах от $-0,7$ до $+0,5$. Причем на большей части открытой акватории корреляция имеет отрицательный знак. Достаточно тесная связь позволяет говорить о значительном вкладе в формирование результирующего поля аномалии ТПО атмосферных процессов, в нашем случае описываемых полем барики.

Заблаговременность прогноза будет определяться сдвигом во времени между изменениями атмосферной циркуляции и последующими изменениями в поле температуры воды. Предшествующее поле температуры берется с тем же сдвигом, что и поле барики.

Исходя из полученных результатов, представляется возможным провести расчет прогнозного поля ТПО с месячной заблаговременностью. Для проведения такового мы использовали среднемесячные поля температуры и приземного атмосфер-

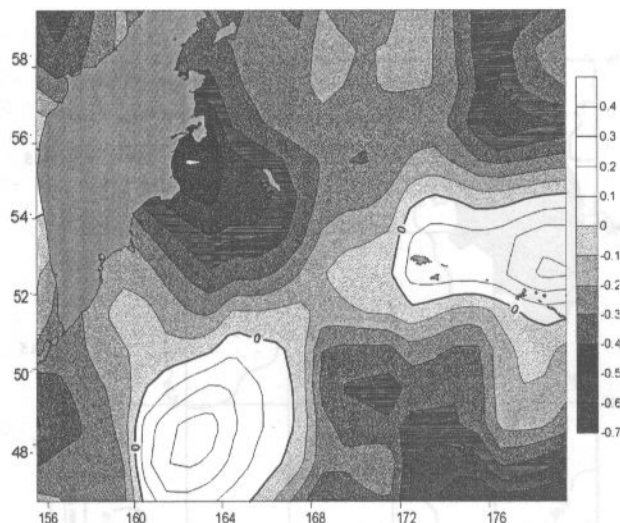


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов корреляции Пирсона для полей ТПО и приземного атмосферного давления

ного давления для мая всего исследуемого периода (период тренировки модели — 25 лет) и рассчитали поле ТПО для июня 2006 г. При изменении входной информации — если, скажем, в качестве периода осреднения температуры и давления взять декаду, — соответственно, и на выходе мы получим прогноз поля ТПО на десять дней. Продолжительность прогноза более чем на один месяц лишена физического смысла.

Из рисунка 4 видно, что в каких-то элементах расчетное (а) и фактическое (б) поля подобны, основные различия сосредоточены в районах, близких к побережью. Если рассмотреть распределение разницы двух полей, то становится очевидным и большое несоответствие абсолютных значений. Причем максимум его приходится, опять-таки, на вдоль береговую зону (рис. 5). Причина кроется в отсутствии (в проведенном анализе) данных по тепловому балансу. Т. е. поле, представленное на

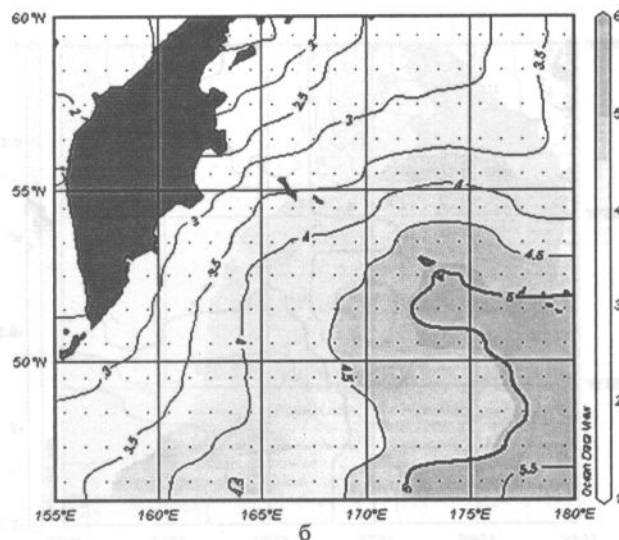
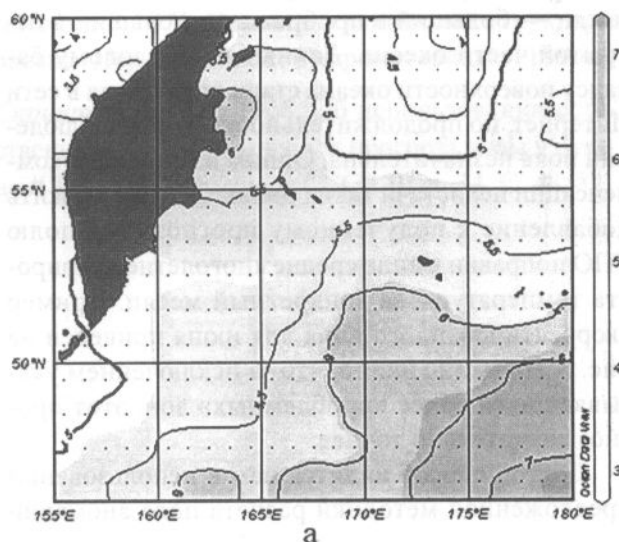


Рис. 4. Распределение среднемесячной температуры поверхности для июня 2006 г.: а) фактическое, б) расчетное

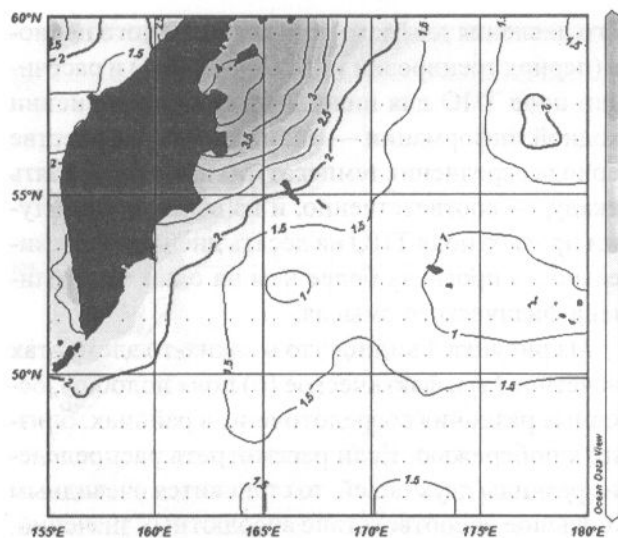


Рис. 5. Распределение разницы температуры поверхности между фактическим и расчетным полями ТПО ($^{\circ}\text{C}$) для июня 2006 г.

рисунке 5, характеризует прирост температуры за месяц — большой в прибрежье и меньший в открытой части океана. Данные по тепловому балансу поверхности океана стали появляться в сети Интернет, но продолжительность рядов наблюдений пока незначительна. Одним из способов компенсации недостатка таких данных может служить добавление к полученному прогнозному полю ТПО поправки в виде среднемноголетнего прироста температуры за конкретный месяц. Пример скорректированного поля для июня приведен на рис. 6. Наглядно видно, что за исключением указывавшихся ранее «проблемных» зон, этот прогноз значительно точнее.

Другой способ видится нам в использовании предложенной методики расчета поля аномалий

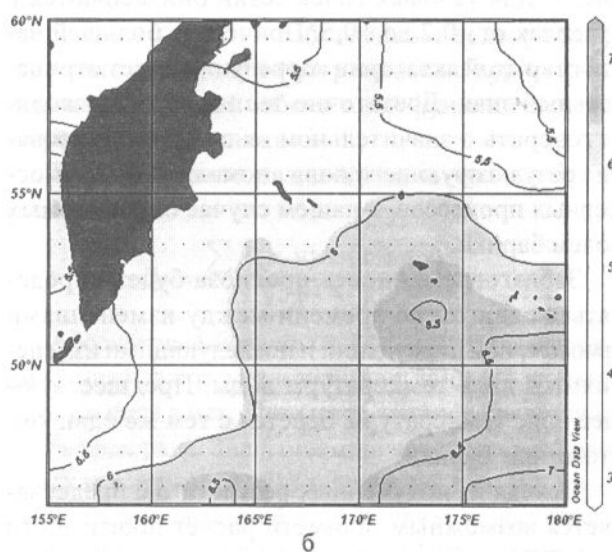
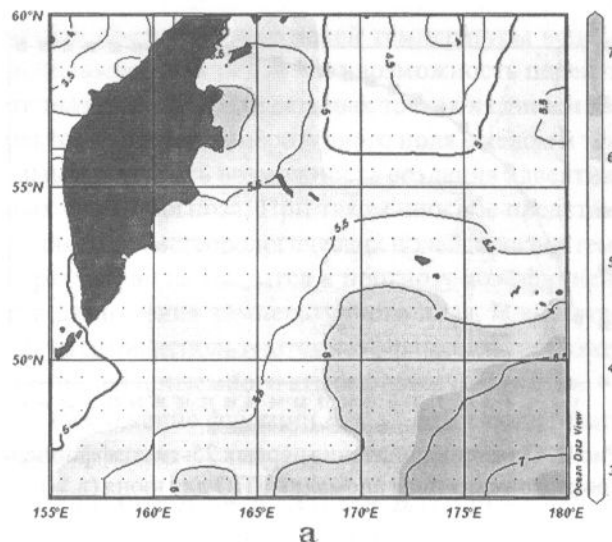


Рис. 6. Распределение среднемесячной температуры поверхности для июня 2006 г.: а) фактическое, б) расчетное, с введением поправки на среднемесечный прогрев поверхности

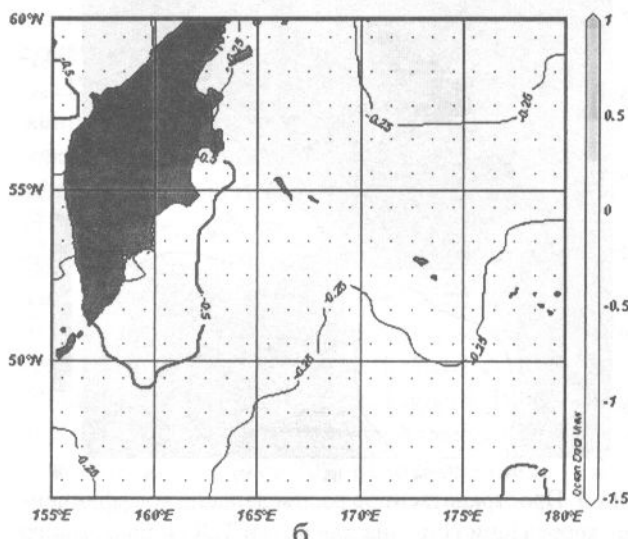
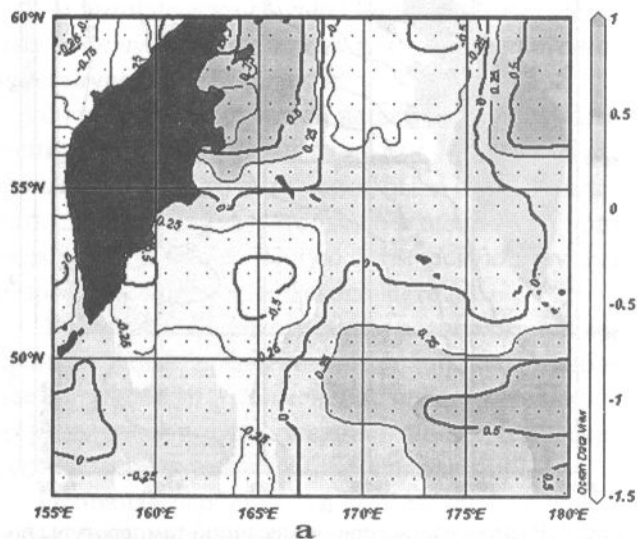


Рис. 7. Распределение полей аномалии ТПО для июня 2006 г.: а) фактическое, б) расчетное

ТПО (рис. 7). Очевидно, что реальное и прогноз-ные поля здесь более сопоставимы. Наибольшие различия приходится на район Карагинского залива, что говорит о радиационном характере данной положительной аномалии в июне 2006 г., в то время как возникновение аналогичной аномалии у Алеутских островов было обусловлено адвективными причинами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные контрольные расчеты для мая–июня 2006 г. показали, что полученный результат может служить только индикатором направленности термических процессов — теплее или холоднее нормы будет следующий месяц — и давать приближенное представление о распределении зон «тепла» и «холода».

Предложенную в данной работе методику прогноза термических условий на поверхности северо-западной части Тихого океана, без доработки, целесообразнее применять к зимнему периоду года, когда изменения температуры поверхности незначительны. В этом случае методика должна давать хорошие результаты. Если же в уравнение множественной регрессии ввести данные по теп-

ловому балансу, то прогноз можно улучшить и для теплого периода года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бирман И.Б. 2004. Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей. М: ФГУП «Национальные рыбные ресурсы», 172 с.

Глаголева М.Г. 1969. О возможности прогноза распределения температуры воды по площади // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 51. С. 75–83.

Глаголева М.Г., Саускан Е.М., Тютнев Я.А. 1957. Метод прогноза температуры воды у юго-западного побережья о. Сахалин // Тр. ЦИП. Вып. 57. С. 98–131.

Глаголева М.Г., Скриптунова Л.И. 1979. Прогноз температуры воды в океане. Л.: Гидрометеиздат, 168 с.

Джеймс Р. 1971. Прогноз термической структуры океана. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 159 с.

Скриптунова Л.И. 1968. Об использовании естественных составляющих для прогноза воды в океане // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 34. С. 48–52.