

УДК 31 : 551.46.062 : 681.3

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ  
КРУПНОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В.Р.Фукс, П.К.Губер,  
Э.И.Черный

С точки зрения тактики ведения промысла и составления оперативных промысловых прогнозов несомненный интерес представляет исследование временных крупномасштабных колебаний океанологических условий от нескольких суток до двух - трех месяцев, которые условно можно называть внутрисезонными. Эти процессы наряду с биотическими факторами определяют многие особенности поведения промысловых объектов: устойчивость скоплений, их концентрацию, локальные миграции в пределах района промысла и т.д. Поэтому учет внутрисезонной изменчивости океанологических условий, который должен являться составной частью промыслового прогноза, необходим при оперативной оценке благоприятной океанологической ситуации в районах промысла. Однако колебания указанных временных масштабов остаются наименее изученными.

Причина тому - отсутствие репрезентативных и статистически представительных наблюдений в океане: дискретность стандартных океанографических съемок превышает или сравнима с масштабами внутрисезонных изменений, а продолжительность непрерывных наблюдений в отдельных точках океана, за небольшим исключением (корабли погоды), недостаточна для исследования флуктуаций с такими временными масштабами, а сами наблюдения не показательны для значительных пространств.

В связи с распространением в некоторых районах океана массовых измерений на попутных и промысловых судах с помощью самолетов и спутников возникли благоприятные предпосылки для составления оперативных регулярных синоптических карт распре-

деления океанологических характеристик. Для анализа внутрисезонных колебаний синоптическая информация представляет несомненный интерес. Накопленный в ЛГУ при содействии ТИПРО и промразведки АтлантиПРО массив подобных карт за несколько лет позволил определить важные закономерности внутрисезонной изменчивости океанологических условий.

Сложность пространственно-временной изменчивости океанологических процессов, обусловленная тем, что они формируются под действием многих сил и имеют турбулентный характер, определяет необходимость статистического подхода к их изучению.

Математический аппарат для исследования таких процессов дает теория случайных функций.

Для статистического анализа использовались годовые и трехлетние массивы ежедневных карт распределения температуры воды на поверхности в районах систем Гольфстрима и Куроисио, карты глубины залегания термоклина и вертикального градиента в термоклине для района Куроисио. Перечисленные параметры, являющиеся характеристиками термической структуры вод, могут быть отнесены к индикаторам тех абиотических условий, которые непосредственно воздействуют на поведение промысловых скоплений. В частности, выполненные ЛГУ совместно с промразведкой АтлантиПРО исследования по установлению связи между полем температуры воды на поверхности в районе банки Джорджес и промысловыми показателями (среднесуточный и максимальный лов на одно траление судном типа БМРТ) показали, что такая связь существенна для сезонных изменений сравниваемых характеристик.

В области масштабов внутрисезонных колебаний связь менее определена и носит сложный характер. В данном случае можно говорить лишь о воздействии температурных колебаний на промысловую ситуацию в отдельных частотных зонах спектра.

Анализ распределения дисперсий внутрисезонных колебаний температуры воды поверхностного слоя в районах системы вод Гольфстрима и Куроисио показал, что интенсивность этих колебаний в средних широтах не превышает 10% интенсивности суммарных внутригодовых изменений. С глубиной "вес" дисперсии внутрисезонных температурных колебаний в общей дисперсии процесса заметно увеличивается. Так, в системе вод Куроисио-

Ойясио, начиная с глубин 75-100 м, на долю интенсивности внутрисезонных флуктуаций приходится 40-70%.

Наиболее интенсивны рассматриваемые флуктуации в зоне фронтов, например термических фронтов Гольфстрима и Куроисио, где средний размах внутрисезонных колебаний температуры на поверхности составляет 4-5°C. К периферии потоков интенсивность флуктуаций заметно убывает.

В слое сезонного термоклина средняя амплитуда температурных колебаний достигает 4-6°C. Средний размах внутрисезонных колебаний положения термоклина для района Куроисио составляет 40-60 м.

Интересные результаты были получены при оценке средней скорости изменения температурных условий, связанных с колебаниями рассматриваемых временных масштабов. Так, температура воды на поверхности в среднем изменяется за сутки на 1-2°C, в то время как за счет сезонного хода эти изменения, как правило, в 5-10 раз меньше.

Анализ спектрального состава внутрисезонных колебаний температуры поверхности вод Гольфстрима и Куроисио позволил выявить следующие основные закономерности, общие для обоих районов. На долю интенсивности колебаний с периодами от 30 до 60 суток приходится в среднем 15-20% общей интенсивности внутрисезонных флуктуаций, на колебания с периодами от 11 до 30 суток - 30-40%, а на колебания с периодами от двух до 10 суток - 40-50%. Таким образом, в краткопериодной изменчивости температурных условий поверхностного слоя наиболее велика доля колебаний с периодами меньше одного месяца и даже меньше 10 суток. Поэтому при составлении краткосрочных прогнозов наибольшее внимание, по-видимому, надо уделять анализу именно этих флуктуаций. Спектры температурных колебаний в различных пунктах исследуемых акваторий весьма разнообразны по количеству "энергонесущих зон", по их интенсивности и ширине. В системе вод Гольфстрима наиболее сложный спектральный состав имеют колебания непосредственно в зоне фронта, где насчитывается 5 и более энергонесущих зон. В водах Куроисио наиболее сложны спектры в зоне смешения между фронтами Куроисио и Ойясио. Для обоих районов могут быть выделены общие циклы со следующими средними периодами: 45-60, 25-30, 13-16, 7-10 и 2-4 суток.

Энергонесущие зоны разделены участками спада энергии. Некоторые из них отвечают закону степени минус  $\frac{5}{3}$ , т.е. являются инерционными интервалами. Участки спада энергии в спектре ограничены по ширине и резко асимметричны. Для объяснения природы полумесячных и месячных флуктуаций предложена кинематическая модель исследуемых процессов.

На основе аналитической модели и результатов эмпирического спектрального и взаимоспектрального анализа в поле флуктуаций температуры и термоклина получены волновые числа и коэффициенты пространственного затухания крупномасштабных флуктуаций. Например, для месячных колебаний длины волн составляют 900–2000 миль, а коэффициенты пространственного затухания не превышают 0,2–0,4 мили<sup>-1</sup>. По-видимому, возмущения с характерными временными масштабами 15–30 суток подобны баротропным волнам Россби. Это подтверждается преимущественно зональным распространением возмущений, определенной тенденцией к уменьшению длины волны с увеличением ее периода и подобием эмпирических и теоретических данных о соотношении характерных временных и пространственных масштабов. Большие величины коэффициентов пространственного затухания, а также появление инерционного интервала свидетельствуют о гидродинамической неустойчивости полумесячных и месячных возмущений.

Таким образом, спектр крупномасштабных флуктуаций температуры и термоклина в верхнем слое океана формируется в результате динамически неустойчивых волновых возмущений, порождающих крупномасштабную турбулентность.

Подобно тому как в метеорологии при описании и прогнозе процессов они подразделяются на крупно- и мелкомасштабные (первые описываются индивидуально, вторые – статистически), необходимость такого подразделения при разработке прогностических схем возникает и в океанологии.

Период осреднения выбирается на основе возможной или необходимой заблаговременности прогноза и может быть определен только на основе достаточных знаний о статистической структуре океанологических процессов.

Непредсказуемость индивидуальных особенностей мелкомасштабных процессов на большие сроки связана с практической невозможностью задавать достаточно точно начальные условия.

Прогноз индивидуальных особенностей целесообразен до тех пор, пока его ошибки не превышают средних статистических вариаций прогнозируемых величин – предела индивидуальной предсказуемости. Задача определения этого предела – проблема предсказуемости. Это необходимо учитывать при прогностической интерпретации тех или иных гидродинамических моделей.

За пределами индивидуальной предсказуемости возможны только те или иные статистические методы прогноза. Нередко возникают ситуации, когда индивидуальное предсказание нерентабельно или вообще невозможно, хотя бы из-за невозможности удовлетворительного выбора периода осреднения.

К особенностям крупномасштабных океанологических процессов следует отнести не только их многомасштабность, но и поступление энергии в океан в широком диапазоне характерных временных и пространственных масштабов и отсутствие сколь-либо продолжительной автокорреляции между полями отдельных океанологических характеристик, а также корреляции между океанологическими характеристиками и внешними определяющими факторами при существенной когерентности для отдельных спектральных составляющих.

Поэтому общий прогноз часто предпочтительнее компоновать из прогноза отдельных энергонесущих составляющих и соответствующих им зон турбулентного спада энергии. В таких случаях целесообразен статистический подход и к заведомо детерминированным процессам.

Особенность такого анализа мезомасштабных океанологических процессов заключается в том, что пространственные характеристики принципиально невозможно описывать статистически. Приходится во временной области делать это статистически, а в пространственной – индивидуально.

При использовании для предсказания нескольких прошлых значений процесса возникает задача определения интервала, на котором наблюдаются внутренние связи в данном процессе. Этот промежуток часто принято называть максимальным интервалом корреляции.

Для рассматриваемых процессов внутрисезонных колебаний температурных условий максимальный интервал корреляции обычно не превышает 20–40 суток. На большем промежутке времени линейные автосвязи настолько незначительны, что ими

можно пренебречь. Однако использование для прогноза всех значений ряда в пределах этого промежутка едва ли целесообразно, так как на большей его части коэффициенты автокорреляции не превышают по абсолютной величине 0,2 - 0,3. Интервал корреляции, на котором наблюдается значимая автокорреляция температурных условий, колеблется в пределах от 1 до 6 суток. Фактически только в пределах этого промежутка и возможна сколько-либо надежная экстраполяция.

Более перспективны для прогноза большей заблаговременности статистические методы, основанные на взаимной корреляции или на применении статистических динамических моделей, в которых входные и выходные случайные процессы связаны передаточными функциями. В последнем случае задача заключается в определении передаточной функции системы.

Передаточная функция может быть определена опытным путем по результатам взаимноспектрального анализа между предикторами и предиктантом.

Для оценки возможностей прогноза температурных условий вод систем Курисио и Гольфстрима мы использовали в качестве предиктора коэффициенты разложения приземного поля атмосферного давления при помощи полиномов Чебышева.

Результаты выполненного анализа рядов годовой продолжительности, из которых предварительно отфильтровывалась сезонная составляющая, показали, что коэффициенты корреляции между коэффициентами разложения полей атмосферного давления и температуры воды на поверхности и характеристиками термоклина незначительны. Поэтому применить обычный аппарат парной или множественной регрессии для прогноза температуры воды оказалось невозможным. В то же время в результате взаимноспектрального анализа установлено, что колебания в поле температуры воды на отдельных частотах когерентны колебаниям в поле атмосферного давления. Прогноз этих колебаний возможен лишь при помощи передаточных функций этой системы.

Предвычисление приведенными методами, строго говоря, оправдывается лишь для тех интервалов, для которых из наблюдений получены коэффициенты прогностических уравнений. Этим ограничением часто пренебрегают, полагая, что характер статистической связи, наблюдавшейся в прошлом, сохранится и в будущем. Однако подобное предположение верно лишь для стационарных или для стационарно-связанных процессов.

Выполненное исследование на стационарность внутрисезонных температурных колебаний позволило установить, что внутри годового промежутка колебания температуры воды нестационарны по дисперсии: интенсивность флуктуаций зимой в 2-5 раз больше, чем летом; коэффициенты корреляции между колебаниями температуры воды и метеорологическими характеристиками (температурой воздуха и коэффициентами разложения барического поля, для корреляции с которыми характерно изменение фазового сдвига и знака корреляции) меняются по сезонам и месяцам.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методов прогноза, основанных на теории нестационарных случайных функций. Однако для отдельных зон спектра и локальных районов океана флуктуации температурных характеристик достаточно близки к стационарным.

Сложная пространственно-временная структура изменчивости факторов, воздействующих на промышленную ситуацию, требует регулярного получения и обобщения репрезентативной океанологической информации, а также дальнейшей разработки прогностических методов.

Для этого прежде всего нужно оснастить промышленные и поисковые суда современной измерительной техникой: использовать систему автономных буйковых измерителей, проводить авианаблюдения при помощи радиационных и электрических датчиков и наблюдения со спутников, оснащенных теле- и радиометрической аппаратурой.

Служба оперативной океанологической информации должна являться составной частью АССБ. Для этого необходима по крайней мере разработка методов объективного анализа и интерполяции океанологических полей с выдачей в эфир факсимильных карт распределения основных абиотических факторов.

Эта информация должна быть базисом для разработки статистически обоснованных прогнозов пространственно-временной структуры океанологических процессов. Уже сегодня ясно, что сколь-либо совершенный океанологический прогноз может быть основан только на нестационарных и анизотропных статистических моделях. Эта информация должна давать также начальные и граничные условия для гидродинамических прогнозов. Более того, только на ее фундаменте можно надежно идентифицировать гидродинамические модели с реальными процессами, получив удовлетворительные эмпирические параметры.

Statistical structure and problems of  
forecasting large-scale variability of  
oceanic conditions

V.P.Fux, P.K.Guber, E.I.Cherny

S u m m a r y

Principle time scales of fluctuations in the oceanologic characteristics have been revealed on the basis of materials obtained in the Northwest area. The fluctuations have common cycles which last from 2-4 to 45-60 days. The fluctuation rate of the thermal conditions may reach  $1-2^{\circ}$ , which is 5-10 times the seasonal rate.

Forecasts given on the basis of the correlation and spectral analysis prove to be correct as a rule for those intervals for which coefficients of prognostic equations were obtained on the basis of observations.