

Пестерева Н.М., Стародубцева Л.А.

**Долгосрочный прогноз аномалии средней месячной суммы осадков,  
числа часов с осадками и индекса засушливости  
по зоне рисосеяния Приморского края**

Прогноз аномалий месячных сумм осадков имеет важное практическое значение для многих отраслей экономики Дальнего Востока и, особенно, для сельского хозяйства в период вегетации сельскохозяйственных культур. Однако, современное гидрометеорологическое обеспечение требует разработки как принципиально новых схем, видов и форм обслуживания потребителя, так и дополнения существующих схем долгосрочными прогнозами новых, нетрадиционных в практике долгосрочного прогнозирования метеорологических величин. Так, например, было установлено, что наиболее тесные корреляционные связи отмечены между числом часов с осадками, особенно в июне, и урожайностью риса, чем между месячной суммой осадков и последней. Объясняется этот факт биологическими особенностями и агротехникой выращивания культуры риса [9, 12]. Другой, не менее важной для принятия хозяйственных решений и выбора оптимальной стратегии при производстве сельскохозяйственных культур, является комплексная метеорологическая характеристика, разработанная известным российским ученым-метеорологом с мировым именем Педем Д.А. [2, 3], - индекс засушливости ( $S_i$ ).

В [4, 5, 12] была рассмотрена физическая схема развития синоптических процессов и тепловое состояние морской подстилающей поверхности в предшествующий зимний (ноябрь-март) и в вегетационный периоды с условиями формирования урожайности риса в Приморском крае. Поскольку биологические особенности и агротехника выращивания риса таковы, что высокие урожаи риса в 90 % случаев формируются в те годы, когда в июне (центральном месяце первой стадии летнего дальневосточного муссона) наблюдаются положительные аномалии средней месячной температуры воздуха, отрицательные аномалии месячной суммы осадков и числа часов с осадками, т.е.

засушливый тип погоды [11]. В то время, как низкие урожаи формируются в годы, когда в июне преобладает влажный, относительно холодный тип погоды отрицательные аномалии средней месячной температуры воздуха, отрицательные значения  $S_i$ , положительные аномалии месячных сумм осадков и числа часов с осадками. Затем была проведена формализация долгосрочного метода прогноза урожайности риса с различной заблаговременностью. Авторская проверка на независимой выборке и производственные испытания подтвердили высокую оправдываемость разработанного метода, который в настоящее время внедрен в практику оперативного обслуживания в Приморском управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Это позволило нам апплицировать разработанный метод долгосрочного прогноза урожайности риса с использованием нескольких линейных дискриминантных функций [6], а также прогностические правила и терминологию [12] применительно к долгосрочному прогнозу месячной суммы осадков, числа часов с осадками и индекса засушливости по Педю Д.А. ( $S_i$ ). Как показала выполненная нами ранее работа [9], данный метод прогноза был успешно применен при разработке долгосрочного прогноза средней месячной температуры воздуха в Приморском крае и дал положительные результаты.

Методы прогноза аномалий месячного количества осадков по Дальнему Востоку и Восточной Сибири разработаны Г.В. Свинуховым, Т.И. Воробьевой и др. авторами. В расчетных схемах используются различные предикторы, характеризующие особенности атмосферной циркуляции и теплового состояния подстилающей поверхности. Прогностические уравнения имеют вид уравнения множественной регрессии. Синоптико-статистический метод долгосрочного прогноза индекса засушливости  $S_i$  по территории Приморского края был разработан Тарасовой Е.В. [10]. В качестве предикторов в расчетных схемах использованы: аномалии температуры воздуха первой лекады; индекс циркуляции Блиновой Е.Н.; индекс Педя Д.А. для стратосферы; индекс муссонной циркуляции; индекс южного колебания. Максимальная заблаговременность прогноза – 2 месяца, оправдываемость по результатам авторской проверки составила 76% на зависимой и 67% на независимой выборках. Нам не удалось

обнаружить в литературных источниках сведений о долгосрочном методе прогноза аномалий числа часов с осадками.

Построение расчетных схем для прогноза аномалий месячных сумм осадков, аномалий числа часов с осадками и  $S_i$  по территории Приморского края производилось из предположения, что процесс формирования, переноса и выпадения осадков взаимосвязан с процессом формирования температурного режима и урожая риса и предопределен особенностями циркуляции атмосферы и теплового состояния морской подстилающей поверхности в предыдущие месяцы [4, 5, 12].

В качестве предикторов первоначально использовались, разработанный автором [12], комплексный показатель циркумполярного вихря ( $W$ ), число дней с различными формами атмосферной циркуляции (западная, центральная, смешанная, восточная и широтная) [5], ледовитость Охотского моря (по декадам) [3], аномалии температуры воды Японского моря. Затем проводилась компрессия предикторов и для расчетных схем отбирались значимые из них на пяти- и десятипроцентном уровнях. Для прогноза аномалий месячной суммы осадков и числа часов с осадками в июне было составлено пять расчетных схем с двумя и тремя предикторами, с заблаговременностью прогнозов 5 и 2 месяцев (табл. I).

Прогнозируемая аномалия месячной суммы осадков, согласно Наставлению по службе прогнозов [1], указывается только тремя градациями: норма или около нормы, если сумма осадков находится в пределах от 80 до 120 %; меньше нормы, если ожидается дефицит осадков менее 80%; большие нормы (избыточное увлажнение) - более 120%. Следовательно, прогноз осадков относится к трехфазовым прогнозам.

Фазовые прогнозы могут быть получены с применением линейного дискриминантного анализа, поскольку при помощи линейных дискриминантных функций (лдф) можно разделить двух или трехмерное пространство на  $q$  областей, границей которых будет служить некоторый заданный предел  $aq=const$ . Для этого необходимо рассчитать последовательно  $q-1$  (лдф). Число линейных дискриминантных функций и пределы  $aq$  определяются степенью

Таблица 1

## Расчетные схемы прогноза аномалий месячной суммы осадков в июне

№ схемы	Предикторы			Заблаговременность прогностических схем (месяцы)
1	$\Delta W_n$	$\Delta S_d$		5
2	$\Delta W_n$	$\Delta S_d$	$\Delta Z_n$	5
3	$\Delta W_n$	$\Delta \Sigma M_{n-m}$	$\Delta S_d$	2
4	$\Delta W_n$	$\Delta W_m$		2
5	$\Delta W_n$	$\Delta \Sigma M_{n-m}$	$\Delta W_m$	2

Примечания:  $\Delta W_n$  и  $\Delta W_m$  - аномалии комплексного показателя циркумполярного вихря в ноябре предшествующего и марте текущего года;  $\Delta S_d$  - аномалия ледовитости Охотского моря в декабре предшествующего года;  $\Delta Z_n$  - аномалия числа дней с западной формой циркуляции в ноябре предшествующего года;  $\Delta \Sigma M_{n-m}$  - аномалия суммы дней с меридиональными формами циркуляции за холодный период (с ноября по март)

точности, предъявляемой к прогнозу, и требованиями потребителя данной гидрометеорологической информации. Используя несколько линейных дискриминантных функций, можно составить двух, трех и Q-фазовые прогнозы. Потенциальная эффективность трехфазового прогноза составляет 81%, а пятифазового равна 92% потенциальной эффективности исходного количественного прогноза.

Согласно схеме комплексирования прогнозов, разработанной в [12], трехфазовый прогноз можно составить с помощью двух линейных дискриминантных функций. Первая из них делит исходную выборку на два класса: месячные суммы осадков более 120% и менее 120%, вторая также подразделяет выборку на два класса, но количественный критерий аномалии месячных сумм осадков здесь равен 80%. По аналогичной схеме прогнозировались и аномалии числа часов с

осадками в июне. Количественные пределы  $aq=const.$  в данном случае заданы Наставлением по службе прогнозов [1].

Результаты авторской проверки долгосрочного метода прогноза аномалий месячной суммы осадков на зависимой (1960-1983 гг.) и на независимой (1984-1988 гг.) выборках приведены в табл. 2. Оценка прогнозов производилась по [1].

Таблица 2.

Оправдываемость (%) комплексного прогноза (К/п, по двум линейным дискриминантным функциям L1 и L2) аномалий месячной суммы осадков в июне с заблаговременностью 5 (схема 1) и 2 (схема 4) месяцев на зависимой (1960-1983 гг.) и независимой (1984-1988 гг.) выборках

№	Станция	Заблаговременность 5 месяцев, схема 1				Заблаговременность 5 месяцев, схема 4			
		Зависимый ряд		Независимый ряд		Зависимый ряд		Независимый ряд	
		L1	L2	K/p	K/p	L1	L2	K/p	K/p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Пограничный	65	62	65	70	77	65	74	80
2.	Анучино	69	62	67	70	85	62	70	50
3.	Новосельское	73	69	71	90	85	73	79	70
4.	Яковлевка	65	58	63	80	73	69	71	60
5.	Халкидон	69	69	69	90	81	69	75	90
6.	Астраханка	81	69	77	80	73	73	73	80
7.	Кировский	77	73	79	70	69	65	67	80
8.	Дальнереченск	73	65	69	70	65	69	67	90
9.	Тимирязевский	62	69	69	100	73	69	70	100
	Среднее по краю			70	80			72	78

В среднем по краю несколько лучшую оправдываемость (72%) на зависимом материале имеют прогнозы с двухмесячной заблаговременностью, на

независимой выборке лучше оправдались прогнозы с заблаговременностью 5 месяцев (80%).

Для обеих схем характерна более высокая оправдываемость прогнозов на независимой выборке, что свидетельствует, на наш взгляд, об устойчивости выявленных прогностических зависимостей и является подтверждением качественно-физической модели квазидвухлетней цикличности аномалии погоды на юге Дальнего Востока[12].

Рассмотрим пример составления прогноза аномалии месячной суммы осадков на июнь 1988 г. (независимая выборка). Прогнозирование  $\Delta R$  с пятимесячной заблаговременностью осуществляется по первой или второй схеме:  $\Delta W_{ii}=15$  ус.ед.;  $\Delta Z_{ii}=6$  дней;  $\Delta S_q=1\%$ . Затем рассматриваются знаки, рассчитанных линейных дискриминантных функций  $L1$  и  $L2$ . Например, для гидрометеорологической станции (ГМС) Яковлевка  $L1>0$ ,  $L2<0$ ; для ГМС Астраханка  $L1<0$  и  $L2<0$ . Согласно разработанным правилам статического комплексирования, для первой ГМС прогноз аномалии осадков на июнь 1988 г. - "около нормы", для второй - "ниже нормы".

Прогноз уточняется с двухмесячной заблаговременностью, используются прогностические схемы 35 (табл. 1 и 2). Например, для Яковлевки прогноз  $\Delta R$  с двухмесячной заблаговременностью - "ниже нормы" ( $L1<0$  и  $L2<0$ ); для Астраханки - "выше нормы" ( $L1>0$  и  $L2>0$ ).

В тех случаях, когда знаки аномалий  $\Delta R$ , рассчитанных с пятимесячной и двухмесячной заблаговременностью совпадают, то в тексте прогноза-уточнения оставляют общую формулировку. Если же прогнозируются аномалии смежных или противоположных градаций  $\Delta R$ , то при составлении окончательного прогноза-уточнения следует пользоваться правилами динамического комплексирования, приведенными в табл. 3.

Следуя приведенным в табл.3 правилам, окончательный прогноз  $\Delta R$  на июнь 1988 г. для ГМС Яковлевка - "ниже нормы", для ГМС Астраханка - "около нормы". Фактическая сумма осадков в июне 1988 г. по первой станции составила 65 мм (ниже нормы), по второй - 75 мм (около нормы). Прогнозы  $\Delta R$  с пятимесячной заблаговременностью на обеих станциях оправдались, согласно [1] на 50%, с двухмесячной заблаговременностью для Яковлевской - на 100%.

Астраханки - на 50 %. Комплексный прогноз, объединяющий статическое и динамическое комплексирование, оправдался в обоих случаях на 100 %.

Таблица 3

Схема составления объединенного (комплексного) прогноза-  
уточнения аномалии средней месячной суммы осадков на июнь с  
двухмесячной заблаговременностью

№	Знак аномалии $\Delta R$ с 5-месячной заблаговременностью	Знак аномалии $\Delta R$ с 2-месячной заблаговременностью	Объединенный прогноз $\Delta R$ (динамическое комплексирование прогнозов)
1.	+	0	0
2.	-	0	-
3.	+	-	0
4.	-	+	0
5.	0	-	-
6.	0	+	0

Примечание: знак "+" обозначает избыток осадков; "0" норма осадков и "-" дефицит осадков.

Прием комплексирования прогнозов с различной заблаговременностью, по разработанным правилам, позволяет в среднем улучшить оправдываемость прогноза  $\Delta R$  на 5 - 8 %.

В расчетных схемах прогноза аномалий числа часов с осадками в июне использовались те же предикторы, что и в схемах для прогноза аномалий месячной суммы осадков. Например, для июня наилучшие результаты были получены по первой (заблаговременность 5 месяцев) и по третьей (заблаговременность 2 месяца) расчетным схемам. Оправдываемость прогнозов аномалий числа часов с осадками довольно высокая 73-77% на зависимой (1960-1983 гг.) и 63-75% на независимой (1984-1989) выборках. Указанные методы прогноза прошли оперативные испытания в Приморском управлении по гидрометеорологии и

мониторингу окружающей среды и по результатам проверки были внедрены в производство, поскольку оправдываемость авторского долгосрочного прогноза аномалий сумм осадков в июне на 10-12% выше официального метода.

Прогноз  $S_i$  осуществлялся аналогичным образом, только при помощи пяти линейных дискриминантных функций, которые разделяют вектор {x1, x2, x3} на шесть областей:  $S_i < 3,0$ ;  $S_i < 2,0$ ;  $S_i < 1,0$ ;  $S_i > 1,0$ ;  $S_i > 2,0$  и  $S_i > 3,0$ . Затем, в зависимости от сочетания знаков линейных дискриминантных функций составлялся прогноз  $S_i$ . Использовались расчетные схемы с заблаговременностью пять и два месяца. Оправдываемость первой составила на зависимой выборке (1960-1983 гг.) 76%, второй - 72%, на независимой выборке (1984-1988 гг.) - соответственно 80 и 86 %.

Рассмотрим пример составления прогноза  $S_i$  на независимой выборке на 1985 г. для метеорологической станции Новосельское по расчетной схеме № 4 (табл.1), учитывающей два предиктора: аномалия комплексного показателя циркумполярного вихря в ноябре -  $\Delta W_n$  (-20) и марте -  $\Delta W_m$  (-17). Первоначально рассчитываем последовательно  $L_i$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ):

$$L_1 = 0,013875 + 0,000922 \Delta W_n - 0,000427 \Delta W_m = 0,00269;$$

$$L_2 = 0,033667 + 0,001878 \Delta W_n - 0,000622 \Delta W_m = 0,00668;$$

$$L_3 = 0,068244 + 0,003232 \Delta W_n - 0,000920 \Delta W_m = 0,01900;$$

$$L_4 = 0,015013 + 0,003679 \Delta W_n + 0,000727 \Delta W_m = -0,07090;$$

$$L_5 = -0,023417 + 0,000407 \Delta W_n + 0,000427 \Delta W_m = -0,03880$$

Составляем комплексный прогноз  $S_i$  при помощи решающего правила, приведенного в [12]. Прогноз  $S_i$  на 1985 г. - "Около нормы", т.е. количественное значение  $S_i$  должно было находиться в пределах от -1 до +1. Фактически  $S_i$  в июне 1985 г. в Новосельском было равно 0,87. По результатам авторской проверки оправдываемость долгосрочного прогноза  $S_i$  по девяти станциям, расположенным по основному сельскохозяйственному району Приморского края - Приханкайской равнине, составила в среднем 80%.

Таким образом, использование расчетных прогностических схем, составленных для прогноза урожайности риса применительно к метеорологическим величинам, оказывающим определяющее влияние на формирование урожая,

позволило получить довольно высокие и устойчивые результаты. Качество прогнозирования может быть улучшено за счет статистического и динамического комплексирования прогнозов. В первом случае комплексирование осуществляется на основе сочетания знаков нескольких (двух и более) линейных дискриминантных функций. Во втором случае выбор окончательной формулировки текста прогноза осуществляется при помощи специально разработанных правил, объединяющих и усиливающих два прогноза с различной заглавовременностью. вполне возможно, что указанные подходы могут быть использованы и при разработке долгосрочных прогнозов других метеорологических величин.

### Список литературы

1. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Часть 6.-М.: Гидрометеоиздат, 1986.
2. Педь Д.А. О связи урожая зерновых культур с показателями атмосферной засушливости// Тр. Гидрометцентра СССР.-1979.- Вып. 213.
3. Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения //Тр. Гидрометцентра СССР.-1975.-Вып. 156.
4. Пестерева Н.М. О связи между ледовитостью Охотского моря и урожаем риса в Приморье// Регион. вопр. синоптич. метеорол. и климатол./ Межвуз. сб.-Дальневост. ун-т., Владивосток.-1982.-Вып. 4.- Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД.-№ 171-гм-Д82.
5. Пестерева Н.М. Некоторые особенности атмосферной циркуляции над Дальним Востоком и теплового состояния морской подстилающей поверхности в годы с высокими и низкими урожаями риса в Приморском крае// Регион. вопр. синоптич. метеорол. и климатол./ Межвуз. сб.- Дальневост. ун-т., Владивосток.-1984.-Вып. 5.-Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД.-№ 317-гм-Д84.
6. Пестерева Н.М. Использование линейного дискриминантного анализа при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур // Метеорология и гидрология.-1991.-№ 6.
7. Пестерева Н.М. Синоптико-статистический метод долгосрочного прогноза средней месячной суммы осадков в июне по основному сельско-

хозяйственному району Приморья // В сб. "Вопросы прогноза погоды, климата и циркуляции атмосферы".-Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та.-1991.-Вып. II.

8. Пестерева Н.М., Стародубцева Л.А. Об одном из возможных путей повышения качества долгосрочного прогноза средней месячной температуры воздуха в Приморском крае // Регион. вопр. синоптич. метеорол. и климатол./ Межвуз. сб.-Дальневост. ун-т.-Владивосток.-1991.-Вып. 8.-Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД.-№ 317-гм-Д84.

9. Система ведения сельского хозяйства в Приморском крае. Новосибирск., 1991.

10. Таракова Е.В. Многопараметрическая схема прогноза атмосферных засух на юге Дальнего Востока.-Обнинск: Деп. ИЦ ВНИИГМИ-МЦД-1991. № 1095-гм-91.

11. Чирков Ю.И., Пестерева Н.М. О влиянии различных типов погоды на урожай риса в Приморском крае // Метеорология и гидрология.-1983.-№ 5.

12. Чирков Ю.И., Пестерева Н.М. Использование ресурсов климата и погоды в рисоводстве.-Л.: Гидрометеоиздат, 1990.

Долгосрочный прогноз аномалии средней месячной суммы осадков, числа часов с осадками и индекса засушливости по зоне рисосеяния Приморского края /Пестерева Н.М.. Стародубцева Л.А. // Труды ДВНИГМИ, 1997.-Вып. 147.-С.218-227.

Высокие урожаи риса в 90 % случаев формируются в те годы, когда в июне (центральном месяце первой стадии летнего дальневосточного муссона) наблюдаются положительные аномалии средней месячной температуры воздуха, отрицательные аномалии месячной суммы осадков и числа часов с осадками, т.е. засушливый тип погоды. Низкие урожаи формируются в годы, когда в июне преобладает влажный, относительно холодный тип погоды с отрицательными аномалиями средней месячной температуры воздуха, положительными аномалиями месячных сумм осадков и числа часов с осадками.

Это позволило в качестве предикторов использовать комплексный показатель циркумполярного вихря, число дней с различными формами атмосферной ширкуляции, ледовитость Охотского моря (по декадам), аномалии температуры воды Японского моря.

Предлагаемый метод долгосрочного прогноза урожайности риса аппробирован с использованием нескольких линейных дискриминантных функций, а также прогностических правил и терминологии применительно к долгосрочному прогнозу месячной суммы осадков, числа часов с осадками и индекса засушливости по Педю Д.А.. Для прогноза аномалий месячной суммы осадков и числа часов с осадками в июне было составлено пять расчетных схем с двумя и тремя предикторами, с заблаговременностью прогнозов 5 и 2 месяцев, показавшие положительные результаты.

Табл. 3. Библ. 12.