

# МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.5:631.5:551.509.3

Л.Н. Ермакова, Н.И. Толмачева

## ПРОГНОЗ ДАТЫ НАСТУПЛЕНИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КУЩЕНИЯ

L.N. ERMAKOVA, N.I. TOLMACHEVA

### THE DATE'S PROGNOSIS OF THE BEGINNING OF THE PERIODICAL DERIVATION PHASE

Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: [lnermak@psu.ru](mailto:lnermak@psu.ru)

Дается схема прогноза дат наступления определенных периодов в развитии растений. Учитываются особенности атмосферной циркуляции. Разработана синоптико-статистическая схема прогноза даты наступления фенологической фазы кущения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фенологические фазы; параметры атмосферной циркуляции; информативные территории.

К e y w o r d s: phenological phases; the parameters of atmospheric circulation; informative territories.

К числу важнейших проявлений жизнедеятельности растений относятся процессы роста и развития, в которых выражена свойственная каждому организму потенциальная способность к размножению и самовоспроизведению. Прогноз дат наступления фенологических фаз растений является одним из основных видов востребованной агрометеорологической информации. Традиционно фенологические прогнозы осуществлялись и осуществляются на основе расчета сумм эффективных температур. Это достаточно точный метод, но имеющий небольшую заблаговременность предсказания. Поэтому в агрометеопрогнозировании все чаще применяются подходы, способствующие увеличению заблаговременности. Например, синоптико-статистические методы, разработанные во ВНИИСХМ. Они основаны на учете особенностей циркуляции атмосферы и применяются, главным образом, при прогнозировании продуктивности культур. Представляется возможным учитывать особенности циркуляции атмосферы над исследуемым районом до начала вегетации.

Основанием для создания методик прогноза большой заблаговременности является положение, согласно которому длительные аномалии в циркуляции атмосферы не возникают внезапно, а подготавливаются всем предыдущим развитием атмосферных процессов в пределах всего полушария и во всей толще тропосферы [2, 3, 4].

Согласно существующим представлениям сходные крупные аномалии метеорологических элементов связаны со сходными характеристиками атмосферной циркуляции, причем подготовка сходных аномалий атмосферной циркуляции также имеет общие черты. Поэтому представляется возможным путем оценки особенностей циркуляции над Северным полушарием в предвегетационный период рассчитывать не только ожидаемые урожайности, но и продолжительности межфазовых периодов.

На основе существующих методик, главным образом предложенных сотрудниками ВНИИСХМ (В.М. Лебедева [1]), разработана синоптико-статистическая схема прогноза даты наступления фенологической фазы кущения с учетом особенностей атмосферной циркуляции для ряда станций Пермского края. Исходными данными для выполнения исследования послужили средние поля геопотенциала  $H_{500}$  по естественно-синоптическим периодам (ЕСП) весны, даты наступления фенологических фаз, даты перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения за период с 1971 по 2005 гг.

В качестве предикторов использовались:

- значения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа в узлах регулярной десятиградусной сетки в пределах Северного полушария;
- параметры атмосферной циркуляции (угол наклона ложбины или гребня к широтному кругу, разность геопотенциалов в центрах основных барических образований);

– фактические значения показателей теплообеспеченности и дат наступления фенологической фазы кушения растений овса.

На территории Северного полушария в узлах регулярной сетки  $10 \times 10^\circ$  (рис.1) снимаются значения геопотенциала за ЕСП предвегетационного и вегетационного периодов. Далее рассчитываются парные коэффициенты корреляции между указанными параметрами атмосферной циркуляции в определенном узле регулярной сетки и датами наступления фенологической фазы кушения. Таким образом, отдельно для десяти станций Пермского края были получены коэффициенты корреляции ( $r$ ) в 55 узлах за 6 ЕСП.

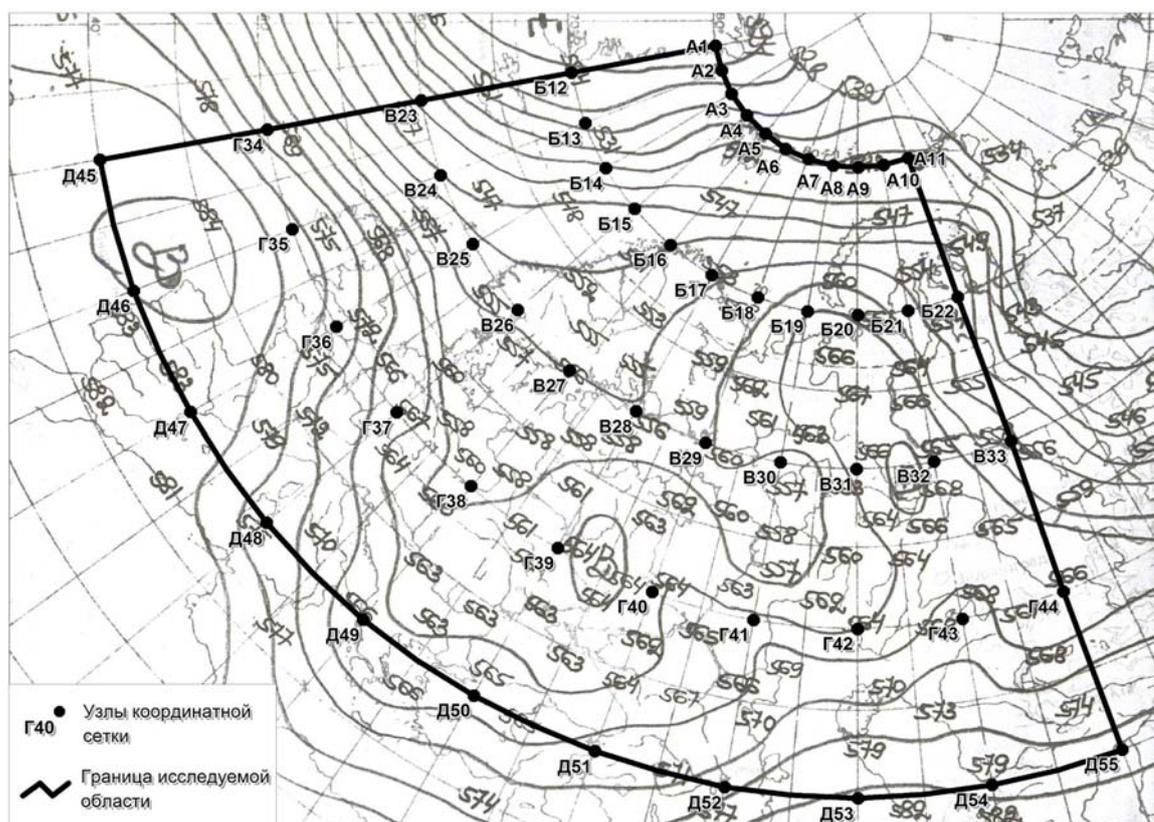


Рис.1. Территория для расчета коэффициентов корреляции и определения информативных значений  $H_{500}$

Значимый коэффициент корреляции при доверительной вероятности  $\beta=0,95$  и объеме выборки  $n = 30$  равен 0,35. На основании значимых предикторов построены уравнения регрессии для прогноза даты наступления фенологической фазы кушения, которые проверены на зависимом и независимом материалах. Блок-схема синоптико-статистического фенологического прогноза представлена на рис. 2.

Данные средних полей  $H_{500}$  и агрометеорологических ежегодников предоставлены отделами краткосрочных прогнозов и агрометеорологических прогнозов Уральского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Екатеринбург).

Прогноз осуществлялся в 3 этапа:

1 этап включал в себя данные по 1 и 2 ЕСП; средняя дата наступления на территории Пермского края 28.III–3.IV и 4.IV–8.IV соответственно. Заблаговременность прогноза – 1,5 месяца.

2 этап прогноза осуществлялся по данным 3 и 4 ЕСП (9.IV–15.IV и 14.IV –19.IV). Заблаговременность составила 1 месяц.

3 этап содержал данные за 5 (20.IV–25.IV) и 6 (26.IV–1.V) ЕСП. Заблаговременность – 2 недели.

Рассмотрим уравнения для прогноза дат наступления фенологической фазы кушения (см. таблицу).

Для ГМС «Большая Соснова» на 1этапе прогноза значимые коэффициенты корреляции между датой наступления фенологической фазы кушения и предикторами получились в узлах

регулярной сетки следующих территорий: п-ов Ямал, акватория Черного моря, территория Скандинавии,

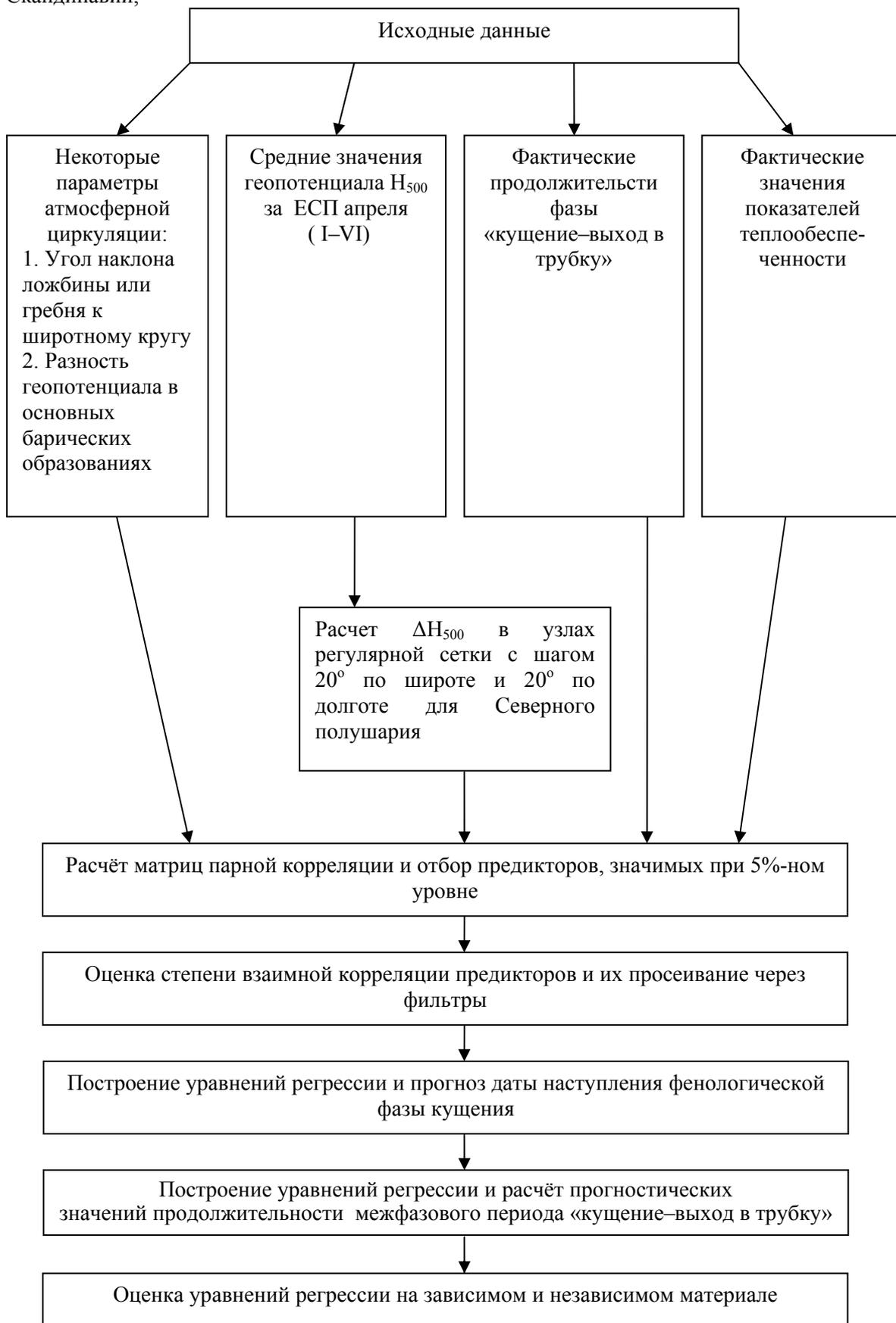


Рис. 2. Блок-схема синоптико-статистического прогноза даты наступления фенологической фазы кущения

Некоторые уравнения регрессии для прогноза дат наступления  
фенологической фазы кушения

Пункт прогноза	Уравнение регрессии	Средняя ошибка прогноза, дни
Большая Соснова	<b>1 этап.</b> $Y = -0,1952B_{21} - 0,5062D_{50} + 0,0957D_{51} + 0,0586B_{26} - 0,4749B_{30} + 0,4361B_{31} + 0,0629B_{32} - 0,8017G_{43} + 776,3799$	3
	<b>2 этап.</b> $Y = -0,797B_{18} + 0,672B_{19} - 0,409B_{20} - 0,312B_{25} + 0,294B_{26} + 0,111G_{38} - 0,079D_{46} + 0,193A_1 + 0,175B_{12} + 0,352B_{17} - 1,437B_{18} + 1,661B_{19} - 0,766B_{20} - 0,106B_{27} + 0,034B_{28} + 0,055\alpha + 279,911$	1
	<b>3 этап.</b> $Y = 0,878D_{55} - 453,827$	3,3
Барда	<b>1 этап.</b> $Y = -0,087G_{34} - 0,272A_{11} + 0,081B_{26} - 0,083G_{43} + 0,293t + 227,875$	2
	<b>2 этап.</b> $Y = 0,316B_{15} - 0,454B_{16} - 0,265B_{21} + 0,179B_{25} - 0,174B_{26} + 0,194B_{27} + 0,455B_{28} + 0,160G_{38} - 0,205G_{43} + 0,273G_{44} + 0,105\alpha + 0,157t - 208,354$	2
Верещагино	<b>1 этап.</b> $Y = -0,8146D_{50} - 0,1659D_{51} - 0,5575G_{43} + 903,2786$	3
	<b>2 этап.</b> $Y = 0,316B_{15} + 0,179B_{25}, 174B_{26} + 0,194B_{27} + 0,455B_{28} - 0,047G_{37} + 0,160G_{38} - 0,205G_{43} + 0,273G_{44} + 0,105\alpha + 0,157t - 208,354$	2
	<b>3 этап.</b> $Y = 0,938D_{55} - 487,172$	5
Коса	<b>1 этап.</b> $Y = 0,424D_{52} + 0,289A_5 - 2,080A_6 + 3,750A_7 - 2,857A_8 + 0,157A_9 + 1,608A_{10} - 1,179A_{11} + 0,133\alpha - 85,360$	3
	<b>2 этап.</b> $Y = 0,429B_{24} - 0,394B_{25} + 0,252B_{26} - 0,233G_{36} + 0,587D_{47} - 1,927A_6 + 1,856A_7 + 1,176A_8 - 0,924A_9 + 0,669A_{10} - 0,998A_{11} + 0,331B_{14} - 1,198B_{15} + 0,531B_{16} + 1,394B_{17} - 0,876B_{18} + 0,717B_{19} + 0,088B_{26} - 0,267B_{27} + 0,207\alpha - 45,914$	2
	<b>3 этап.</b> $Y = 1,958A_7 - 2,071A_8 - 1,469A_9 + 1,581A_{10} + 0,253B_{32} - 0,112B_{33} - 0,111G_{43} + 0,566D_{52} + 0,046\alpha - 259,378$	4
Кудымкар	<b>1 этап.</b> $Y = -1,1140D_{50} + 0,3459D_{51} + 0,0830B_{30} - 0,5897G_{37} + 755,3754$	2
	<b>2 этап.</b> $Y = 0,333B_{14} - 0,425B_{18} - 0,357B_{24} + 0,352B_{26} + 0,191G_{37} - 0,197A_1 + 0,498B_{12} - 0,250B_{16} + 0,645B_{17} - 0,570B_{18} - 0,689B_{27} + 0,698B_{28} + 0,121B_{19} - 109,115$	3
	<b>3 этап.</b> $Y = -0,3161B_{19} + 215,2218$	4

*Примечание.*  $Y$  – дата наступления фенологической фазы кушения (в числе дней от 1 мая);  $A_i, B_i, V_i, G_i$  и т.д. – значения геопотенциалов  $H_{500}$  в соответствующих узлах регулярной сетки (рис.1);  $\alpha$  – угол наклона ложбины или гребня к широтному кругу за 3 ЕСП;  $t$  – показатель теплообеспеченности (количество дней от 1 апреля до устойчивой даты перехода температуры через  $5^\circ\text{C}$ );  $\beta$  – разность геопотенциалов в основных барических образованиях, дам, за 4 ЕСП.

Западная Сибирь, Урал, Восточная Сибирь, территория Казахстана. На 2 этапе прогноза информативными территориями явились: район Баренцева моря, южная акватория Карского моря, полуостров Ямал, территория Скандинавии, Восточная Европа, Пиренейский полуостров, Гренландское море, Центральная Россия. Территория Китая оказалась информативной для 3 этапа прогноза.

Для ГМС «Барда» значимые коэффициенты корреляции между датами фенофазы кушения и параметрами атмосферной циркуляции на 1 этапе прогноза с заблаговременностью 1,5 месяца отмечаются в узлах регулярной сетки акватории Атлантического океана, северной части Карского моря, территории Скандинавии, территории Казахстана. На 2 этапе прогноза информативными территориями явились: Северная Атлантика, п-ов Ямал, территория Скандинавии и Балтийского моря, Центральная и Восточная Европа, Казахстан.

ГМС «Верещагино». Для 1 этапа прогноза информативными территориями являются: акватория Черного моря и территория Казахстана. Информативные точки для 2 этапа прогноза находятся в Северной Атлантике и Баренцевом море, в южной части Карского моря, на п-ове Ямал,

на Скандинавии, в Гренландском море, в западной части бассейна Северного Ледовитого океана, в Центральной России.

ГМС «Коса». Значимые коэффициенты корреляции для 1 этапа прогноза располагаются в узлах регулярной сетки, расположенных в районах Баренцева моря, восточной акватории Черного моря, западной части бассейна Северного Ледовитого океана. Значимые коэффициенты корреляции для 2 этапа наблюдаются в узлах регулярной сетки следующих территорий: северная часть Атлантического океана, Скандинавия, восточная часть Северного моря, Центральная Европа, Пиренейский полуостров, бассейн Северного Ледовитого океана, район Баренцева моря, Балтийское море. Информативные территории для 3 этапа прогноза: восточная часть бассейна Северного Ледовитого океана, Восточная Сибирь, Казахстан, восточная акватория Черного моря.

Таким образом, информативные территории со значимыми коэффициентами корреляции располагаются на территории от 0° в.д. до 50° в.д., от 40° с.ш. до 80° с.ш.

Для ГМС «Кудымкар» значимые коэффициенты между предиктантом и предикторами для 1, 2, 3 этапов находятся на территориях Черного моря, Западной Сибири, Центральной Европы, Северной Атлантики, Скандинавии, Балтийского и Гренландского морей.

ГМС «Кунгур». Информативная территория, на которой отмечаются значимые коэффициенты корреляции, очень протяженная – от Гренландского моря до восточной акватории Черного моря. От 1 ко 2 этапу прогноза эта территория значительно расширяется. Если на 1 этапе она охватывает лишь Черное море и Казахстан, то на 2 этапе в нее входят Атлантика, Скандинавия, Баренцево, Балтийское и Гренландское моря, Восточная и Центральная Европа, Центральная Россия.

ГМС «Чайковский». Значения геопотенциалов, включенные в уравнения для прогноза на 1 этапе, определяются на территориях Северного Ледовитого океана, Украины, Скандинавии, Казахстана. На 2 этапе прогноза – в узлах регулярной сетки, расположенных в Баренцевом море, на полуострове Ямал, в Атлантическом океане, на территории Скандинавии, в Восточной Европе, в Гренландском море.

ГМС «Чермоз». В прогностические уравнения регрессии 1 и 3 этапов включены в качестве предикторов значения геопотенциалов в узлах регулярной сетки, расположенных в Атлантическом океане, на акватории Черного моря, на территории Скандинавии, в Казахстане. Для прогноза на 2 этапе используются значения угла наклона ложбины или гребня к широтным кругам за 3–4 ЕСП.

Таким образом, информативные территории для составления этого вида прогноза располагаются на территории от Гренландского и Карского морей до Казахстана.

На зависимом с 1971 по 2000 г. и независимом с 2001 по 2005 г. материалах произведена оценка полученных прогностических уравнений. Анализ атмосферной циркуляции в период с 1971 по 2000г. показал, что в фазы кушения и выхода в трубку обычно преобладает циклоническая циркуляция, в основном тыловые части высотных барических ложбин Печорского, Таймырского и Западно-Сибирского циклонов.

Критерии оценки прогноза предложены исходя из рекомендаций «Руководства по агрометеорологическим прогнозам»:

Оправдываемость	P = 100%	при	$\Delta = \pm 2$ дня;
	P = 75%	при	$\Delta = \pm 3 - 4$ дня;
	P = 50%	при	$\Delta = \pm 5$ дней;
	P = 0%	при	$\Delta > \pm 5$ дней.

Средняя оправдываемость уравнений на зависимом материале на 1 этапе составила 57%, на 2 этапе – 87%, на 3 этапе – 55%.

Для 1 этапа прогноза характерно увеличение оправдываемости прогноза с увеличением долготы местности и уменьшением широты. Максимальная оправдываемость 68% – на ГМС «Барда». Для 2 этапа прогноза характерно зональное увеличение оправдываемости прогноза с юга на север. Для 3 этапа характерно меридиональное распределение оправдываемости данного вида прогнозов.

Целесообразно использовать уравнения регрессии для 1 и 2 этапов прогноза, так как они обычно показывают наибольшую оправдываемость. Возможно, это связано с тем, что в некоторые уравнения 2 этапа наряду со значениями геопотенциалов в узлах регулярной сетки входят углы наклона высотных барических гребней и ложбин к широтным кругам. Проверка прогноза на независимом (2001 – 2005гг.) материале в Пермском крае позволяет оценить прогноз как успешный, оправдываемость прогноза составила 60 – 100%.

## Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Синоптико-статистический метод является перспективным. Такой подход учитывает один из важнейших факторов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур – атмосферную циркуляцию.

2. Разработана блок-схема синоптико-статистического прогноза скорости развития растений, включающая в себя следующие параметры: угол наклона ложбины или гребня к широтному кругу, разность геопотенциала в центрах основных барических образований, средние значения геопотенциала  $H_{500}$  за ЕСП апреля, фактические даты наступления фенологической фазы кушения, фактические значения показателей теплообеспеченности.

3. Информативными районами для прогноза скорости развития растений в Пермском крае являются: бассейн Северного Ледовитого океана, южная акватория Баренцева моря, центральные районы Западной Сибири, Южная Европа, Казахстан.

4. Оценка прогностических уравнений 1 этапа прогноза составила 45–96%, 2 – 82–97%, 3 – 38–90%. Проверка прогноза на независимом (2001–2005 гг.) материале в Пермском крае позволяет оценить прогноз как успешный. В большинстве случаев целесообразно переходить к 3 этапу прогноза, так как на 2 этапе оправдываемость выше.

5. При включении в уравнения регрессии в качестве предикторов углов наклона высотных барических гребней или высотных барических ложбин к широтным кругам оправдываемость повышается. Предиктор «дата перехода температуры через 5°C» включен лишь в прогностические уравнения для южных ГМС (Барда и Чернушка).

### Библиографический список

1. *Лебедева В.М.* Метод долгосрочного прогнозирования теплообеспеченности вегетационного периода // *Метеорология и гидрология.* 2005. № 9. С. 93–99.

2. *Пасов В.М.* Синоптико-статистический метод прогнозирования урожайности зерновых культур // *Метеорология и гидрология.* 1992. № 10. С. 77–85.

3. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Методическое пособие по составлению прогноза урожайности яровой пшеницы до сева в основных районах ее выращивания. М.: Гидрометеоиздат, 1982. 30 с.

4. *Пасов В.М., Аксарина Е.А., Зинченко В.П.* Исследование особенностей циркуляции атмосферы в связи с формированием урожая яровой пшеницы // *Тр. ВНИИГМИ.* 1985. Вып.9. С. 91–103.

### SUMMARY

In the article, stage-by-stage scheme, the dates forecast of approach, of a phenological phase vegetation for separate points of the Perm edge is given. The advance time of the forecast makes from 1,5 months till 2 weeks. At each subsequent stage, probably, specification of the forecast. Increase of accuracy of the forecast is promoted by inclusion in the equations of regress of such indicators, as corners of an inclination of axes high-rise synoptic crests and hollows to latitude to circles, a difference of geopotentials  $H_{500}$ , basically, synoptic formations. The indicator heat capacity is significant only for a southern part of territory of the Perm edge. In quality prediction parametres of atmospheric circulation from informative territories are used. The estimation of the equations: on dependent materials and independent materials, that allows considering results of the forecast as a successful once.