

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.582

Н.К. Барашкова, И.В. Кужевская, О.В. Носырева

ПЕРЕХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ 0 И 5°C НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: РЕЖИМ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ

Представлены результаты классификации типов перехода приземной температуры воздуха через 0 и 5 °С весной с учётом циркуляционных условий и применением объективных методов классификации. Выделенные 9 классов характеризуют различные сочетания величин (норма, аномалии и экстремальные аномалии) дат перехода и длительности периода их установления.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; даты перехода; классы.

Погодообразующие процессы, определяющие климат конкретного района, представляют сложную систему, формирующуюся под влиянием циркуляции нижней и верхней атмосферы, подстилающей поверхности. Множество обуславливающих факторов делает невозможным подобрать две абсолютно идентичные синоптические ситуации. В то же время макросиноптические процессы обладают определенной общностью и наблюдаются в течение продолжительных периодов времени то в одном, то в другом районе и обуславливают, в результате, длительные и хорошо выраженные аномалии температурного режима. Такая аномальность погоды определяется, в первую очередь, интенсивностью и географической локализацией южных и северных потоков воздуха в тропосфере в конкретный период времени, т.е. характером проявления меридиональных и зональных процессов.

Долгосрочная и качественная оценка метеорологических явлений, влияющих на народно-хозяйственный комплекс и жизнедеятельность человека, зависит от уровня количественных зависимостей, установленных для конкретной территории в определенном временном масштабе. В результате появляется возможность эффективного реагирования на заранее предвиденные погодные изменения и использования их для собственной пользы.

Известно, что южная половина Западной Сибири в большей своей части по агрометеорологическим условиям [1, 2] относится к зоне рискованного земледелия, для которой характерна значительная неустойчивость урожайности сельскохозяйственных культур. Тем не менее экономическая выгода от выращивания некоторых видов культур в открытом грунте в условиях Сибири присутствует. Так, доля Западно-Сибирского региона в валовом сборе зерновых культур России составляет 13,7% [3].

Климатическая составляющая сельскохозяйственного производства во многом определяется метеорологическими условиями начала вегетационного периода, основными характеристиками которого являются даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 и 5°C, а также периоды установления этих температур (расчет от первой даты появления 0 или 5°C до даты устойчивого перехода).

В данной работе проанализированы их многолетние и статистические характеристики и сопутствующие циркуляционные условия на юге Западной Сибири. В качестве исходных использованы данные о среднесуточной темпе-

ратуре воздуха станций Колпашево, Томск и Барнаул с февраля по май за период с 1961 по 2003 г.

По массивам среднесуточных температур были определены даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 (D<sub>0</sub>) и 5°C (D<sub>5</sub>) с использованием методики А.В. Федорова. Кроме даты перехода анализировалась длительность перехода (Π<sub>0</sub>, Π<sub>5</sub>), т.е. период времени от первого появления положительных температур (либо температур выше 5°C) до даты устойчивого перехода к соответствующей температуре.

Среднегодулетние значения для каждой станции представлены в табл. 1, где  $\bar{X}$  – среднее,  $X_n = \bar{X} \pm 0,5\sigma$ ,  $\sigma$  – стандартное отклонение.

Таблица 1  
Средние характеристики Π (число дней) и D

Станция	Характеристика	Π <sub>0</sub>	Π <sub>5</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>5</sub>
Барнаул	$\bar{X}$	12	18	03.04	22.04
	X <sub>n</sub>	6–18	12–24	31.03–7.04	17.04–27.04
Томск	$\bar{X}$	19	19	13.04	02.05
	X <sub>n</sub>	13–25	13–25	8.04–18.04	28.04–7.05
Колпашево	$\bar{X}$	25	19	19.04	07.05
	X <sub>n</sub>	17–33	13–25	13.04–25.04	01.05–13.05

Средняя величина Π<sub>0</sub> для Барнаула составляет 11–13 дней, Томска – 18–20 дней, Колпашево – 24–26 дней. Минимальное Π<sub>0</sub> для всех станций составляет 1 день, максимальное Π<sub>0</sub> – 42 (Барнаул), 59 (Томск) и 71 (Колпашево) день.

Кроме того, для всех станций выделяется 2002 г., в котором наблюдался один из наиболее затяжных переходов (более 1 месяца), 1961 и 1964 г. – наоборот, наиболее коротких (менее недели).

Средняя величина Π<sub>5</sub> имеет меньший разброс по территории и составляет для Барнаула 16–18 дней, для Томска – 20–22 дня, для Колпашево – 18–20 дней, т.е. период окончательной весенней перестройки поля температуры практически одинаков для всего региона. Минимальное количество дней Π<sub>5</sub> для всех станций также равно 1 дню, а максимальное распределяется следующим образом – для Барнаула 46 дней, для Томска 49 дней и для Колпашево 51 день.

Исследование связи  $D_0$  и  $D_5$  показало отсутствие значимой линейной зависимости между ними ( $r < 0,2$ ). Для выявления метеорологических условий, в которых формировались эти характеристики, очевидно, необходимо привлечь более сложную процедуру их объективного статистического анализа, а также циркуляционные условия в регионе на начало вегетационного периода.

Для перехода к этому этапу исследования была проведена предварительная классификация дат и периодов, методически приближенная к применяемой в долгосрочных прогнозах погоды (норма ( $\bar{X} \pm 0,5\sigma$ ) – н, anomalно ( $\bar{X} \pm \sigma$ ) ранняя/поздняя –  $apD/anD$ , экстремально ( $\bar{X} \pm 1,25\sigma$ ) ранняя/поздняя –  $эpD/эnD$ , anomalно быстрый/долгий –  $абП/адП$ , экстремально быстрый/долгий –  $эбП/эдП$ ).

Одним из методов объективного классификационного анализа является метод k-средних [4]. При его применении к материалу данного исследования объектами расчетной матрицы для объективного статистического анализа характеристик периодов перехода температуры воздуха через 0 и 5°C выступали годы наблюдений, в качестве признакового пространства определены периоды длительности перехода и даты устойчивого перехода через выбранные значения температуры воздуха. В результате проведенной объективной классификации было выделено 9 устойчивых классов, характеристики режимов и динамики которых (для ст. Барнаул) представлены на рис. 1 и 2. Количество классов было определено с помощью рекомендуемого факториала качества (по минимизации внутриклассовых расстояний).

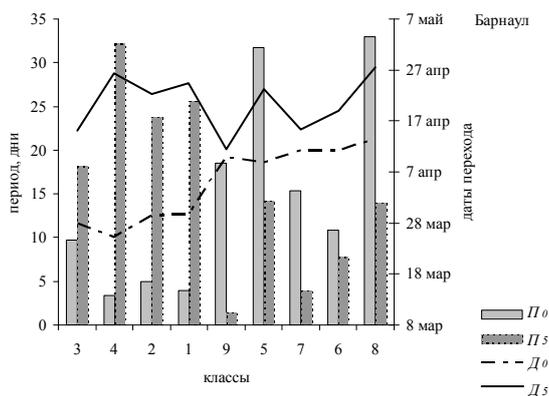


Рис. 1. Комплексный график характеристик классов на станции Барнаул

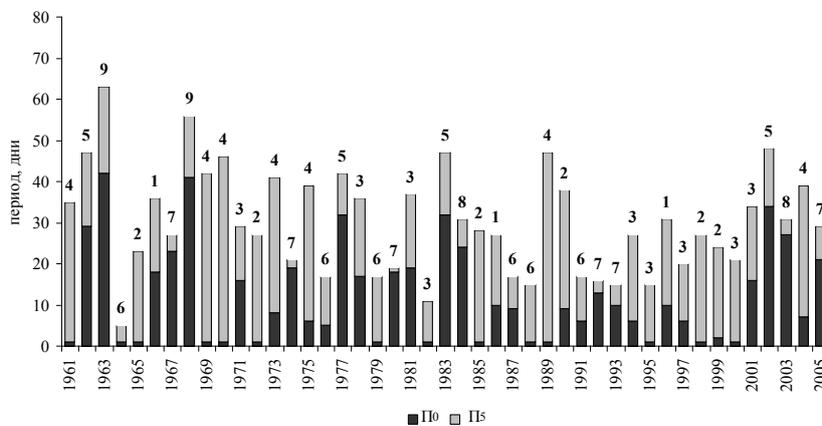


Рис. 2. Динамика  $P_0$  и  $P_5$  на ст. Барнаул, цифрами отмечены номера выделенных классов

На рис. 2 визуально выявляется существование волн, которое подтверждается и спектральным анализом. Выделяются устойчивые, статистически значимые колебания с периодами в 3 и 5 лет.

В табл. 2 представлено содержание выделенных классов. Например, из нее видно, что в 1-й класс вошли весны с сочетаниями anomalно поздних  $D_0$  и  $D_5$ , при этом  $P_0$  и  $P_5$  находятся в пределах нормы, обеспеченность ( $P_1$ ) класса составляет 7%. Не вполне определено содержание 3-го класса, т.к. параметр  $P_0$  имеет в нем большую дисперсию, что указывает на необходимость введения в классификацию дополнительных факторов. Одним из таких факторов могут быть циркуляционные условия периодов перехода.

Таблица 2  
Список и содержание классов (ст. Барнаул)

Класс	Сочетание дат и длительности переходов	Обеспеченность класса, Р%
1	$anD_0 + nP_0; anD_5 + nP_5$	8
2	$эpD_0 + эбП_0; нD_5 + эдП_5$	13
3	$apD_0 + ?P_0; apD_5 + nP_5$	20
4	$эpD_0 + эбП_0; anD_5 + эдП_5$	16
5	$нD_0 + эдП_0; нD_5 + nP_5$	9
6	$anD_0 + абП_0; нD_5 + nP_5$	13
7	$anD_0 + эдП_0; эpD_5 + эбП_5$	13
8	$эnD_0 + эдП_0; нD_5 + абП_5$	4
9	$нD_0 + эдП_0; нD_5 + nP_5$	4
		Σр = 100%

Известно, что характер устойчивых переходов температуры воздуха через 0°C связан с определенной перестройкой в тропосфере и нижних слоях стратосферы.

Некоторыми исследователями [6] показано, что время осуществления ранних и поздних переходов температуры воздуха через 0°C весной связано с положением и эволюцией полярного циклонического вихря в тропосфере. Так, смещение вихря в сторону Азии определяет поздние сроки перехода, когда наблюдаются отрицательные отклонения от нормы геопотенциала на поверхности 500 гПа и увеличение барических градиентов в средней тропосфере в южных районах Сибири. Смещение полярного вихря в сторону Америки, наоборот, приводит к преобладанию широтных процессов, небольших скоростей переноса в средней тропосфере и определяет положительную аномалию средней месячной температуры, что, в конечном итоге, вызывает установление ранних сроков перехода температуры воздуха через 0°C. На АТ-500 при ранних переходах наблюдаются положительные отклонения геопотенциала от нормы.

Для выявления роли указанного циркуляционного фактора, применительно к региону исследования, была рассмотрена планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ). В качестве характеристик её состояния анализировались:

- ежегодная за март и апрель широта ( $\varphi$ , °) осевой изогипсы 544 дам (определенная по Ю.Б. Храброву) по меридианам 60, 70, 80 и 90 °в.д.;

- интенсивность ПВФЗ ( $\Delta\varphi$ , °), которая определяется как разность широт расположения 2 изогипсы на каждом меридиане южнее (540 дам) и севернее (548 дам) осевой изогипсы (544 дам).

Параметры ПВФЗ заимствованы из Каталогов ВНИИГМИ-МЦД, а также сняты непосредственно с карт АТ-500 электронного варианта Синоптического бюллетеня Северного полушария, составляемого Гидрометцентром России [7, 8].

Была проверена принципиальная возможность использования процедуры классификации рассматриваемого участка ПВФЗ. Принятое признаковое множество разделилось на 6 оптимальных устойчивых групп (рис. 3).

Длина ряда позволяла принять решение и о разделении на количество, равное итогам классификации П и Д (9 классов), но обеспеченность некоторых групп при этом становилась нерентабельной к использованию.

Ниже приводится описание классов ПВФЗ по таким признакам, как:

- пространственное расположение её относительно рассматриваемых станций;
- временная изменчивость;
- степень извилистости (зональный или меридиональный тип конфигурации).

По *первому* признаку выявлено, что в 1, 2, 3-х классах ПВФЗ расположена южнее территории исследования, 4, 5, 6-й классы характеризуют ситуацию расположения ПВФЗ непосредственно над территорией исследования.

По *второму* признаку в 1, 5, 6-х классах ПВФЗ от марта к апрелю продолжала смещаться на юг (задержка зимних процессов); 2, 3, 4-е классы характеризуются противоположным направлением смещения ПВФЗ, а именно от марта к апрелю отмечалось её перемещение на север, т.е. активное наступление весны. Классы 3-й

и 5-й характеризуются противоположной динамикой от марта к апрелю (рис. 3).

По *третьему* признаку в 4-х и 6-х классах отмечается преобладание зональных процессов над югом Западной Сибири; 2-й класс характеризуется наличием гребня, ориентированного с юга на север (ярко выраженная меридиональность процессов). Классы 1, 3, 5-й включают случаи с меридиональным типом ПВФЗ. Характерно, что в 1-м классе, при расположении самой ПВФЗ южнее Барнаула (все станции региона находились в холодной воздушной массе), переднюю часть высотной ложбины в марте сменил в апреле высотный гребень с вершиной на юге Алтайского края. Весь юг Западной Сибири находился вне зоны влияния ПВФЗ. В 3-м классе над Западной Сибирью отмечалась полная волна ПВФЗ (ложбина + гребень), районы, прилегающие к Уралу, находились в ложбине, тогда как на Восточную Сибирь надвигался гребень, в тыловой части которого располагались Томск и Барнаул, осуществлялся вынос ВМ с юго-западного направления.

В апреле ПВФЗ приняла практически широтное положение и располагается между Барнаулом и Томском. Противоположная дислокация ложбины и гребня наблюдается для марта в 5-м классе, а именно районы, прилегающие к Уралу, находятся в гребне, на Восточную Сибирь перемещается ложбина, потоки северо-западные. От марта к апрелю ПВФЗ смещалась на юг, одновременно изменяя свой меридиональный тип на зональный. Таким образом, подтверждена принципиальная возможность классификации ПВФЗ для целей данного исследования.

Включение характеристик ПВФЗ в признаковое пространство кластерного анализа позволило повысить значимость разделения массива дат и периодов перехода на классы (рис. 4). Например, во 2-м классе изначально было 6 случаев, в результате совместной классификации добавилось еще 3 случая с  $арД_0$  и  $эбП_0$  за счет 4-го класса ПВФЗ, в котором собраны случаи расположения ПВФЗ в марте севернее Барнаула примерно на 1°, а в апреле значительно севернее (на 5°), что проявилось, очевидно, в возникновении ситуаций  $эрД_5$ .

Характеристики режимов перехода приземной температуры воздуха через 0 и 5°C по классам представлены в табл. 3. Использование ПВФЗ в классификации позволило отделить годы с  $нП_0$  от лет с  $эбП_0$  (избавиться от неопределенности в 3 классе классификации ст. Барнаул). Заметим, что  $нП_0$  был сформирован преимущественно за счет 2-го и 5-го классов по ПВФЗ.

Содержание классов для всех рассмотренных станций является общим по главным свойствам процесса перехода, но, тем не менее, не совпадает абсолютно точно, имея индивидуальную наполняемость (обеспеченность случаями). Так, анализ данных табл. 3 с учетом данных табл. 1 показал, что:

- режим, близкий к норме, дат установления положительных температур отражает для ст. Барнаул 2-й класс; для ст. Томск – 8-й класс; для ст. Колпашево – 6-й класс;

- аномально поздние даты для ст. Барнаул – 1-й класс, для ст. Томск и Колпашево подобная наполняемость для какого-либо класса отсутствует;

- экстремально ранние даты для ст. Барнаул отражает 3-й класс, для ст. Томск – 7-й класс, Колпашево – отсутствует;

– разнонаправленную аномальность наступления дат  $D_0$  и  $D_5$  в Барнауле характеризует 7-й класс, в Колпашево – 4-й класс, в Томске такое сочетание отсутствует;  
 – разнонаправленную экстремальность – в Барнауле – 7-й класс, в Томске – 1-й класс, в Колпашево – 8-й класс;

– сочетания  $nD_5$  с различными  $D_0$  – в Барнауле 5, 6, 8 и 9-й классы, в Томске – 3, 5 и 6-й классы, Колпашево – 1, 3 и 9-й классы;  
 – сочетания  $nD_0$  с различными  $D_5$  – в Барнауле отсутствует, в Томске 2-й и 4-й классы, в Колпашево – 2-й и 5-й классы.

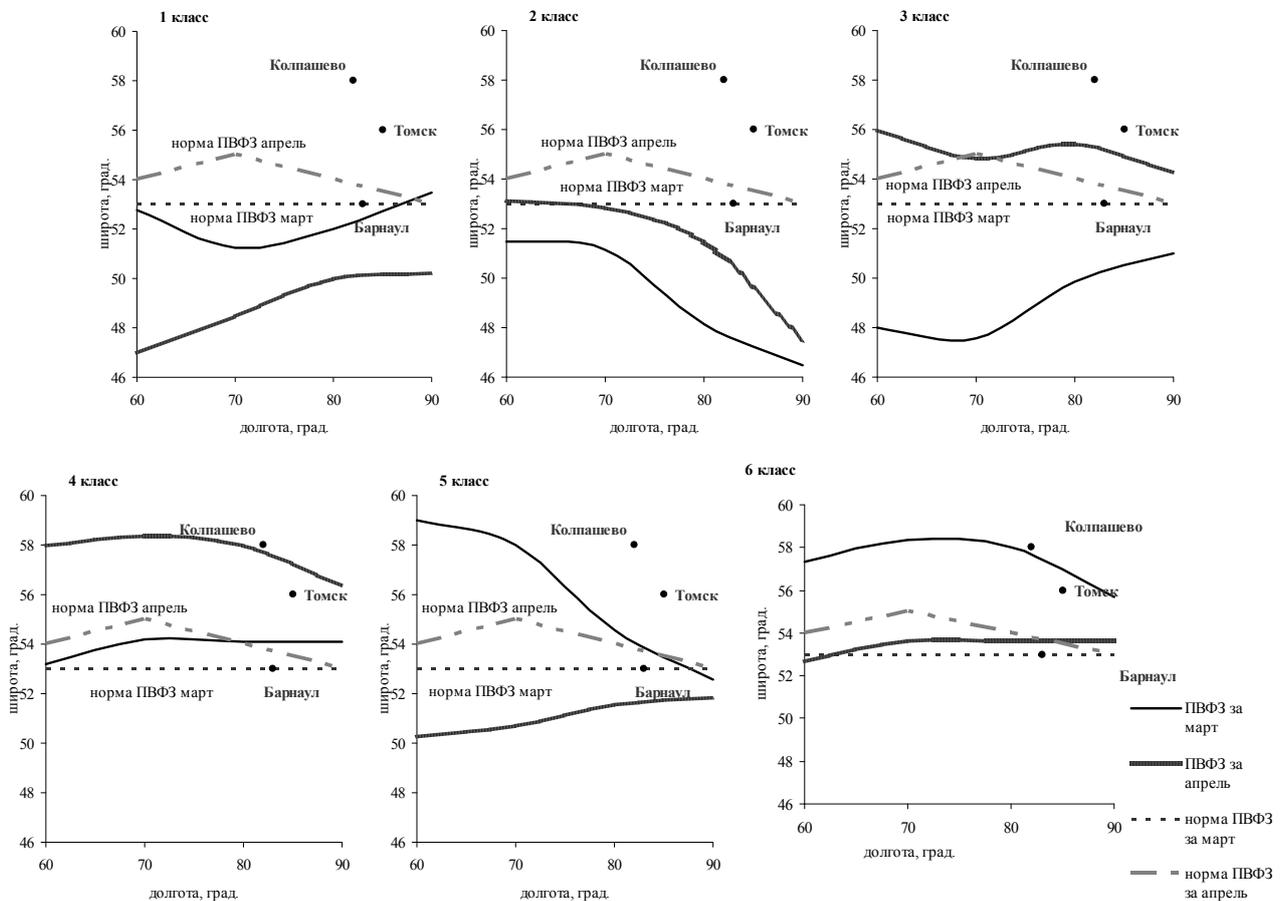


Рис. 3. Положение ПВФЗ, среднее внутри классов

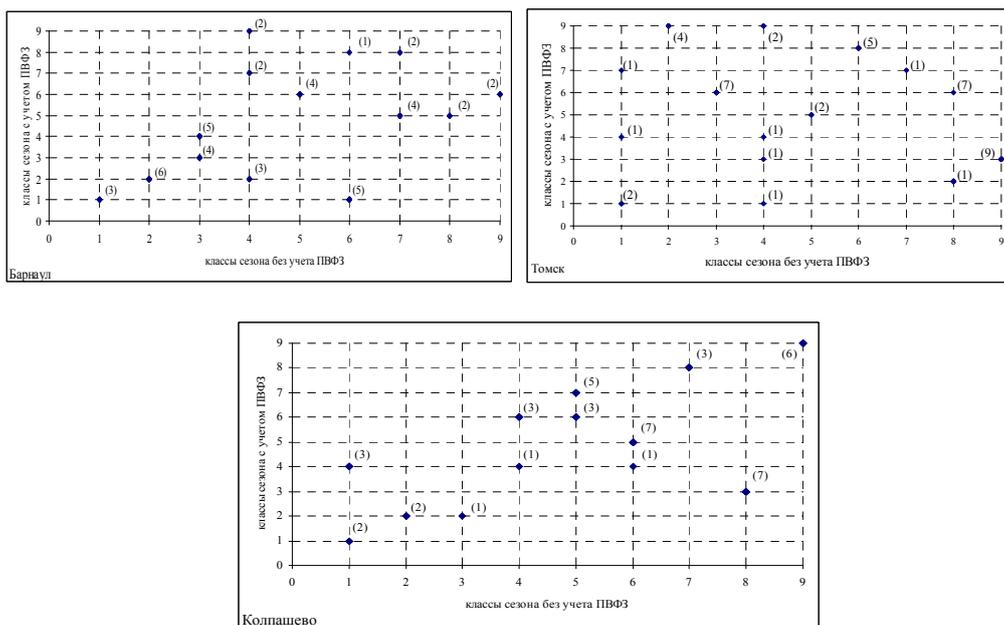


Рис. 4. Распределение числа случаев в классах для станций с учетом и без учета ПВФЗ, где (m) – число случаев

Средние периоды (П, дни) и даты (Д) устойчивого перехода температуры воздуха через 0 и 5°C по классам

Станция		Класс								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Колпашево	П <sub>0</sub>	1	74	22	10	32	11	27	7	40
	П <sub>5</sub>	46	7	22	37	27	11	5	15	8
	Д <sub>0</sub>	23.03	23.04	11.04	12.04	25.04	22.04	21.04	02.04	05.05
	Д <sub>5</sub>	07.05	30.04	03.05	18.05	22.05	03.05	26.04	17.04	13.05
Томск	П <sub>0</sub>	8	22	11	1	53	23	2	31	20
	П <sub>5</sub>	42	7	23	29	5	5	30	22	30
	Д <sub>0</sub>	01.04	11.04	07.04	09.04	28.04	26.04	21.03	11.04	18.04
	Д <sub>5</sub>	13.05	18.04	30.04	08.05	03.05	30.04	20.04	03.05	18.05
Барнаул	П <sub>0</sub>	13	3	9	4	32	4	17	26	42
	П <sub>5</sub>	19	25	16	38	14	11	4	6	18
	Д <sub>0</sub>	10.04	29.03	26.03	27.03	09.04	10.04	09.04	19.04	08.04
	Д <sub>5</sub>	29.04	24.04	12.04	04.05	23.04	21.04	13.04	24.04	26.04

В то же время, как видно из рис. 4, привлечение нового признака (ПВФЗ) не позволило полностью избавиться от неопределенности отнесения отдельных весен к конкретному классу. Очевидно, необходимо расширение признакового пространства классификации за счет дополнительных характеристик периода установления устойчивых положительных температур.

Результаты данного исследования позволяют глубже и детальнее понять динамику и структурные осо-

бенности начала безморозного периода, который имеет множество прикладных аспектов (начало сезона повышенной пожароопасности, вегетационного сезона, окончание активного отопительного сезона и др.) на юге Западной Сибири. Кроме того, полученные средние и классификационные характеристики являются необходимыми при разработке долгосрочного прогноза условий погоды на начало весны в рассматриваемом регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. 552 с.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 2: Последствия изменений климата. М.: Росгидромет, 2008. 288 с.
3. Гулинова Н.В. Методы агрометеорологической обработки наблюдений. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 280 с.
4. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н. и др. Многомерный статистический анализ. М.: ЮНИТИ, 1999. 482 с.
5. Байдал М.Х., Неушкин А.И., Глуховец Л.М. Глобальные параметры атмосферной циркуляции и их роль в формировании аномальных условий погоды над территорией СССР // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1982. Вып. 86. 128 с.
6. Бурлуцкий Р.Ф., Рафаилова Х.Х., Семенов В.Г., Храбров Ю.Б. Колебания общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 300 с.
7. Каталог параметров атмосферной циркуляции. Северное полушарие. Обнинск, 1988. 420 с.
8. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие // Бюллетень 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 гг. Обнинск, 1992, 1997, 2002. С. 112, 124, 134.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 3 марта 2009 г.