

УДК 502.52:551.5 (476)

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ РЯДОВ ЗАМОРОЗКОВ И ЗАСУХ
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*д-р геогр. наук Г.И. САЧОК, канд. техн. наук Г.А. КАМЫШЕНКО
(Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, Минск)*

В основу исследования положена гипотеза эквивалентности стационарности климата и статистической однородности рядов наблюдений метеоэлементов при разных масштабах их осреднения. Приводятся результаты выполненного многомерного статистического анализа временных рядов заморозков и засух для шести административных областей Республики Беларусь за период 1960 - 2003 гг., дается его развернутая количественная характеристика.

Введение. Климатическая изменчивость является одним из актуальнейших направлений современных научных исследований вследствие необходимости адаптации всех сфер жизнедеятельности к новым природным реалиям [1 - 5]. Один из важных признаков этих изменений - увеличение частоты экстремальных явлений. В статье рассматривается временная структура изменчивости климатических условий на примере проявления заморозков и засух, их интенсивности и частоты наблюдения как серий лет (1960 - 2003 гг.).

Постановка задачи. Статистические материалы по экстремальным климатическим явлениям преобразованы в матрицы числовых показателей данных, характеризующие весенне-летний и летне-осенний периоды по заморозкам, а вегетационный период - по условиям засушливости. Временные ряды данных исследуются на неоднородность во времени и делятся на климатические микроэпохи: по заморозкам и засухам. Приводятся статистические параметры микроэпох, выделенных по комплексам показателей, характеризующих экстремальные климатические эпохи на уровне административных областей и страны в целом.

При проведении исследований опасных климатических явлений в качестве исходных использованы материалы Управления гидрометеорологической службы Беларуси по распространению и интенсивности заморозков и засух на уровне административных областей страны за 1960 - 2003 гг.¹.

Объекты и методы исследования. Ряды векторов данных о заморозках исследовались на неоднородность с дихотомическим разделением на однородные отрезки отдельно для летне-весеннего и летне-осеннего периодов. Результаты таких расчетов были получены для заморозков по всем административным областям и по Беларуси в целом. При этом для каждого из вариантов расчетов определены границы (длины) однородных отрезков, начиная с 1960 г.

Конечная граница микроэпохи - отрезка ряда (календарный год) - определяется от начального, 1960 года, по формуле

$$t_i = 1960 + \Delta t - 1,$$

где Δt -- длина отрезка в годах.

Алгоритм дихотомического деления многомерных рядов на однородные отрезки широко использовался авторами ранее в исследованиях геологических, гидрологических, климатических рядов данных [4, 5], где показал высокую эффективность.

Для исследования рядов заморозков на основе собранных данных были рассчитаны отдельно для каждого года по двум сезонам три параметра, а именно, по весенне-летнему периоду - балл опасности, число дней с заморозками в апреле - мае, июне - июле; по летне-осеннему - балл опасности, число дней с заморозками в августе-сентябре и октябре (табл. 1).

Весенне-летний период характеризовался тремя показателями: числом дней с заморозками в апреле-мае, числом дней с заморозками в июне и обобщенным для сезона показателем - баллом опасности. Отсутствие заморозков обозначалось баллом «ноль». В остальных случаях единичные заморозки апреля (в днях) прибавлялись к майским. При этом привлекались также сведения о потерях урожая. Шкала опасности в баллах строилась по схеме: 0 - заморозков не было; 1 - до 3-х дней с заморозками в мае; 2 - до 6...7 дней с заморозками; 3 - от 8 дней и более с заморозками в мае (максимальная оценка). Заморозки в июне добавляли к этой оценке 1 балл, если потери не фиксировались, в противном случае оценке присваивалось значение, равное 3 баллам. Кроме того, данные исходной таблицы уточнялись по списку лет с потерями урожая (присваивался балл 3, если ранее была оценка ниже). Такое корректирование шкалы баллов позволяет увеличить контрастность между годами.

¹ Данные Ю.А. Дмитренковой.

Аналогично были сформированы показатели заморозков для осеннего периода. При этом значимые августовские заморозки добавлялись к сентябрьским с присвоением году балла опасности 3. Балл 1 присваивался ситуации до 3...4 дней с заморозками в сентябре-октябре, балл 2 - от 5 до 8 дней, балл 3 - от 9 дней и более. Для лет с фиксированными существенными ущербами от осенних заморозков всегда присваивался балл 3. Полные таблицы данных имеют форму табл. 1, однако содержат недостающие нулевые строки.

Таблица 1

Количественные параметры весенне-летних (а) и летне-осенних (б) заморозков на территории Республики Беларусь (1960 - 2003 гг.)²

Годы с заморозками	а			б		
	Балл опасности	Число дней с заморозками		Балл опасности	Число дней с заморозками	
		апрель - май	июнь - июль		август - сентябрь	октябрь
1960	1	2	0	1	3	0
1961	1	1	0	2	4	0
1962	1	3	1	0	0	0
1963	0	0	0	1	2	0
1964	0	1	0	0	0	0
1965	3	8	0	0	0	0
1966	0	1	0	2	5	0
1967	0	1	0	1	1	0
1968	3	9	4	1	1	0
1969	1	4	0	0	0	0
1970	1	3	0	0	0	0
1972	3	2	0	0	0	0
1973	1	2	0	2	8	0
1974	3	15	0	2	5	0
1980	1	4	0	1	1	2
1982	3	3	5	2	2	3
1983	3	0	3	2	2	4
1984	3	1	3	3	2	0
1985	1	1	0	2	5	0
1986	3	5	0	3	5	2
1987	1	4	0	2	2	5
1988	1	1	0	1	0	5
1989	3	3	0	1	0	4
1990	3	7	0	1	1	0
1991	2	3	2	2	0	5
1992	1	4	0	2	7	0
1993	1	2	0	3	6	?
1994	3	12	0	3	0	10
1995	3	7	0	1	4	0
1996	1	1	1	2	9	0
1997	3	8	0	3	11	0
1998	1	1	0	1	2	0
1999	3	18	0	2	8	0
2000	3	10	2	3	7	0
2001	3	5	1	2	5	0
2002	2	2	0	2	6	0
2003	1	0	1	0	0	0

В материалах по засушливым условиям для каждого года приводятся даты возникновения и окончания, продолжительность в днях, территория распространения, максимальная температура засушливого периода.

На основе этих и других материалов была составлена серия таблиц, аналогичных таблицам по заморозкам. В них указаны для каждого года пары чисел: 1) продолжительность засух в днях и 2) распространение ее по площади в долях от площадей области или страны в целом.

Засухи исследовались по общей схеме анализа данных. Использовались два показателя для каждой административной области и года: число дней с засухой, доля территории объекта, охваченная засухой.²

² Для остальных лет все значения нулевые.

выми явлениями (табл. 2). Таким образом, для каждой области были получены 2 ряда, для Республики Беларусь в целом - 12 (а также 2 осредненных по сезонам ряда и ряды, включающие все области вместе, среднее по областям).

Таблица 2

Засухи на территории Беларуси в 1960-2003 гг.³
(число дней с засухой / оценка охваченной площади в долях от 1)

Годы	Административные области						Беларусь
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская	
1960 ^{3,4}			25/1				25/0,15
1961			55/1		55/1		55/0,33
1963	24/1		50/1	24/1			33/0,5
1964	25/1				25/1		27/0,5
1965	21/1	18/1					20/0,33
1967	21/1	18/1					20/0,33
1968	20/0,5		20/1	20/0,5	20/0,5	20/1	20/0,5
1969	27/1	27/0,2	27/0,5	27/0,5	27/0,2		25/0,4
1971	36/1	36/1	36/0,5	36/1	36/1	36/0,5	36/0,9
1976			18/1				18/0,15
1979	47/1	47/1	47/1	47/1	47/1	47/1	47/1
1981	39/1		39/1		39/0,5	39/0,5	39/0,5
1985			11/0,5			11/0,5	3/0,1
1986	17/1		17/1	17/1	17/1	17/1	14/0,9
1990	7/1		7/1	7/1	7/1		5/0,7
1992	60/1	60/1	60/1	60/1	60/1	60/1	60/1
1993	28/1	28/1	28/1	28/1	28/1	28/1	28/1
1994	44/1	44/1	44/1	44/1	44/1	44/1	44/1
1995	35/1	35/1	35/1	35/1	35/1	35/1	35/1
1996	46/1		46/1		26/0,5	46/0,5	21/0,5
1999	82/1	82/1	82/1	82/1	82/1	82/1	82/1
2000	33/1	33/1	33/1	33/1	33/1	33/1	33/1
2002	140/1	140/1	140/1	140/1	140/1	140/1	140/1
2003	32/0,3		32/1		32/0,3		32/0,3

Результаты и их обсуждение. Результаты разбиения рядов данных о заморозках и засухах на однородные отрезки приводятся в табл. 3 и представлены на рисунке. Из таблицы следует, что максимально выраженной границей в вариации характеристик заморозков является 1981 год (абсолютная конечная граница, для всех вариантов счета). Немногим менее выражена граница 1994 года, не проявившаяся в должной мере в Витебской и Минской административных областях. Отметим, что на уровне сезонов года также есть некоторые различия по оценкам для Беларуси в целом. В варианте «а» по шести областям используются $6 \times 3 = 18$ рядов, что обеспечивает четкое отслеживание всех упомянутых выше границ отрезков. Вариант «б» определяется тремя рядами данных, полученных осреднением по 6-ти административным областям. В нем трендовые тенденции отдельных рядов взаимно нивелируются по амплитуде, частично погашается их амплитуда, стохастическая составляющая приближается к «белому шуму». Столь высоко агрегированная информация уже не содержит заметных трендов и скачков дисперсии «белого шума».

Как видно из рисунка (а), по распространенности границ микроэпох по заморозкам по административным областям можно выделить следующий ряд: Минская и Витебская области (только $t = 22$ года); Могилевская и Гродненская области (дополнительная граница $t = 35$ лет); Брестская область (дополнительная граница $t = 15$), Гомельская область (добавляется $t = 25$ года). Таким образом, первая половина изучаемого периода отличалась существенно более низкой интенсивностью заморозков по всей территории страны.

В наиболее детализированной схеме деления (табл. 4) показаны волновой характер вариации заморозков и наличие определенной согласованности в проявлении весенне-летних и летне-осенних заморозков (для страны в целом).

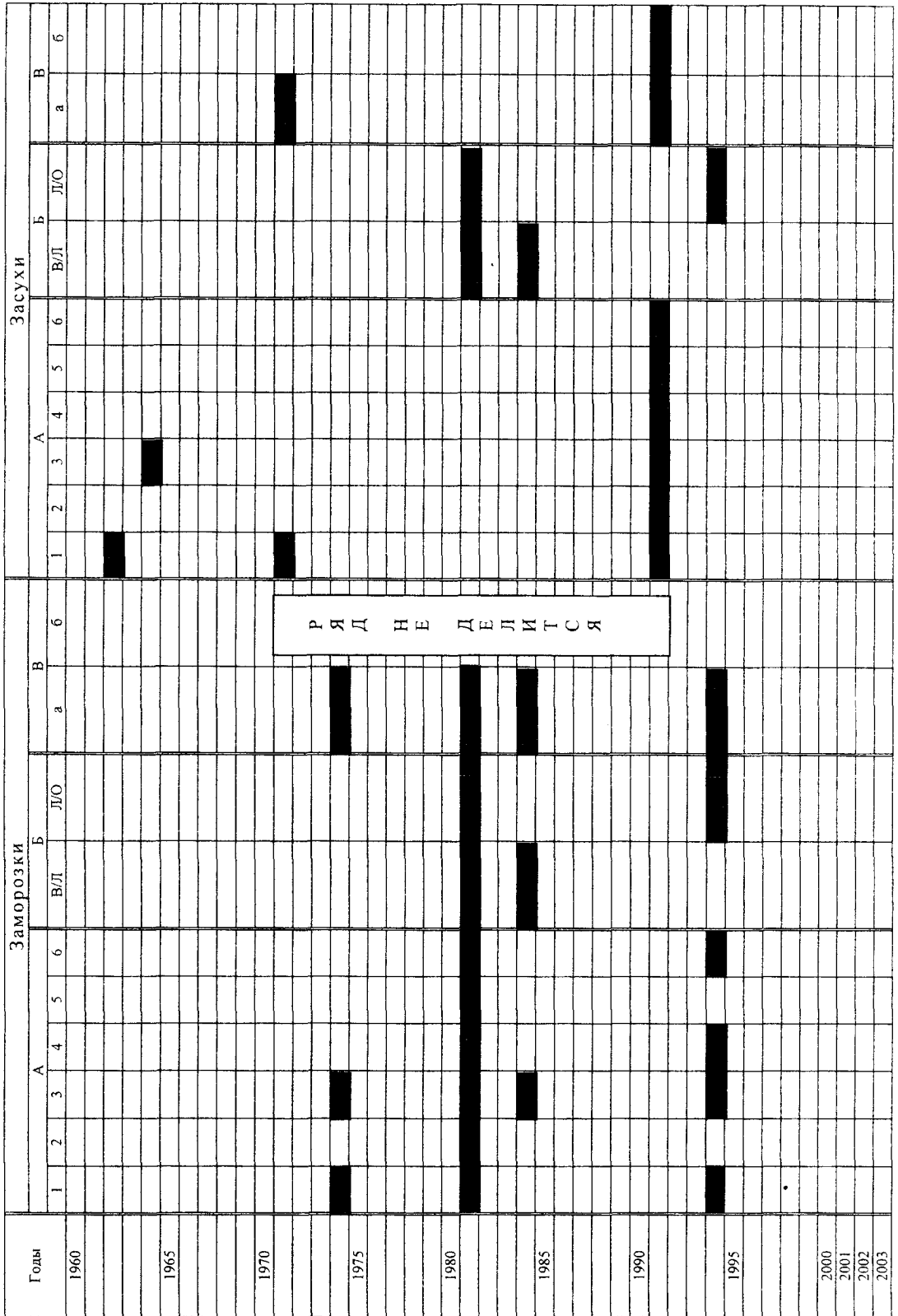
³ Для остальных лет все значения нулевые.

⁴ Пропуск соответствует паре значений 0/0.

Таблица 3

Однородные интервалы по условиям заморозков и засух в Беларуси за 1960 - 2003 гг.

А) 1...6 – по административным областям; Б) сезоны: весенне-летний (В/Л), летне-осенний (Л/О); В) все области вместе (а), среднее по областям (б)





Границы климатических микроэпох (Δt) для интервала 1960 – 2003 гг.: по заморозкам (а) и засухам (б) (на уровне административных областей)

Таблица 4

Распределение заморозков по микроэпохам на территории Беларуси (средние значения)

Годы	Средний балл	Количество дней		Средний балл	Количество дней	
		апрель - май	июнь - июль		август - сентябрь	октябрь
1960- 1974	1,2	3,5	0,3	0,8	1,9	0,0
1975- 1981	0,1	0,6	0,0	0,1	0,1	0,3
1982- 1984	3,0	1,3	3,7	2,3	2,0	2,3
1985- 1994	1,9	4,2	0,2	2,0	2,6	3,8
1995 -2003	2,2	5,8	0,6	1,8	5,8	0,0

При этом тройка лет 1982 - 1984 гг. (табл. 5) является исключительной по весенне-летним заморозкам. Последние 19 лет характеризовались наиболее длительными весенними заморозками.

Таблица 5

Распределение заморозков весенне-летних (а) и летне-осенних (б) на территории Беларуси по сезонам, дни

Годы	Средний балл	Весенне-летние, дни		Годы	Средний балл	Летне-осенние, дни	
		апрель - май	июнь - июль			август-сентябрь	Октябрь
1960-1981	0,9	2,6	0,2	1960- 1981	0,6	1,4	0,1
1982- 1984	3,0	1,3	3,7	1982-1994	2,1	2,5	3,5
1985-2003	2,1	5,0	0,4	1995-2003	1,8	5,8	0,0

Выделенные по засухам на уровне административных областей границы неоднородности статистически значимы. Совокупность 12 рядов по засушливым дням для страны в целом делится на три интервала с границами $t = 12$ лет и $t = 32$ года (см. рисунок, б и табл. 3, В). При манипуляциях с уровнем значимости граница $t = 12$ лет исчезает. Этот же результат дает деление пары осредненных по всей территории рядов: единственная граница $t = 32$ года. Таким образом, деление на 12, 20 и 12 лет достаточно статистически обоснованно. А это соответствует микроэпохам: сухо, нормально, очень сухо.

Дополнительно границы, проявившиеся на уровне административных областей, следующие: $t = 3$ года (Брестская обл.); $t = 5$ лет (Гомельская обл.); $t = 12$ (страна в целом). Для Республики Беларусь по двум рядам вычленяется единственная граница $t = 32$ года (уровень значимости $q = 0,05$). Этот же результат получен по всем областям при расчетах на уровне административных областей. Для Гомельской и Брестской областей она становится единственной при изменении уровня значимости.

Таким образом, основным региональным репером влияния засух на урожайность является совпадение границ микроэпох с $t = 32$ года (с 1991 г.), а также указанная выше граница $t = 12$ лет (1971 г.).

Использование данных раздельно по сезонам для всей страны - весенне-летнему и летне-осеннему (см. табл. 3, Б) - дает результаты, отличные от варианта, выполненного на уровне областей: по две границы - для весенне-летнего периода, конечные границы микроэпох: 1981 г. (22 года), 1984 г. (3 года), 2003 г. (12 лет). Для летне-осеннего периода характерны следующие границы: 1981 г. (22 года); 1994 г. (13 лет); 2003 г. (9 лет).

Особый интерес представляет схема деления данных по областям и сезонам (6 пар рядов) и осредненных по областям двух рядов (средняя длительность засухи и ее средняя продолжительность). Здесь для всех областей выделяется единственная общая граница - 1991 г. (32 года). Она является наиболее выраженной в вариабельности условий увлажненности вегетационного (теплого) периода (см. рисунок, б). Не-

делимость пары рядов, полученных осреднением по всем областям и по сезонам, объясняется осреднением разнонаправленных трендов и шумовых составляющих множества исходных стохастических рядов и сглаживанием математического ожидания случайного процесса. Это свидетельствует, в свою очередь, об увеличении роли стохастической вариабельности условий засушливости в теплый период для объекта регионального масштаба. Таким образом, универсальными являются границы: 1981 г. - для сезонов весенне-летнего и летне-осеннего; 1991 г. - для областей и средних значений для Беларуси в целом.

Выводы. Впервые в стране количественными методами выполнен анализ неоднородности рядов данных по экстремальным климатическим явлениям - заморозкам и засухам. Основными климатическими границами, начиная с 1960 г., являются:

- по заморозкам - 22 и 35 лет, т.е. вторая часть исследуемого периода отличается более продолжительными и интенсивными заморозками;
- по засухам - по отдельным областям и стране в целом: 32 года - по сезонам весенне-летнему и летне-осеннему; 22, а также 25 и 35 лет. Засухи второй части периода более интенсивны и охватывают большую часть страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольберг М.А., Волобуева Г.В., Фалей А.А. Опасные явления погоды и урожай. - Мн., 1988. - 120 с.
2. Логинов В.Ф., Мельник В.И. Изменения климата и сельское хозяйство // Изменения климата и использование климатических ресурсов / Под ред. П.А. Ковриго. - Мн.: БГУ, 2001. - С. 113 - 130.
3. Стихийные гидрометеорологические явления, наблюдавшиеся на территории Беларуси за последние 27 лет (засуха, заморозки, высокие уровни воды) / Под ред. Т.Г. Терещенко. Государственный комитет по гидрометеорологии Республики Беларусь. - Мн., 1997. - 29 с.
4. Сачок Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов - Мн.: Наука и техника, 1980. - 222 с.
5. Сачок Г.И., Камышенко Г.А., Дмитренкова Ю.А. Статистический анализ однородности рядов температуры воздуха как климатического ресурса Беларуси // Природные ресурсы: Межведомств. бюл. - 2004. - №3. - С. 5 - 12.