

ПАРЛАМЕНТСКОЕ СОБРАНИЕ СОЮЗА БЕЛАРУСИ И РОССИИ

*Сессия*

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА В УСЛОВИЯХ  
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

*Материалы постоянно действующего семинара*

(Заседание восемнадцатое, РГЦ «Силичи»,  
25 – 26 февраля 2010 года)

Минск  
2010

**П.С. Лопух,**

*заведующий кафедрой общего землеведения географического факультета Белорусского государственного университета, доктор географических наук, доцент;*

**О.В. Давыденко,**

*преподаватель кафедры общего землеведения Белорусского государственного университета;*

**И.С. Данилович,**

*инженер-гидролог Государственного учреждения «Республиканский гидрометеорологический центр» Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь*

### **ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ХОЗЯЙСТВА К УСЛОВИЯМ ПОСТОЯННО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Адаптация режима водопользования к изменению климата в настоящее время является необходимым условием устойчивого развития регионов. Изменения климатических характеристик могут негативно отразиться на гидрологическом цикле и доступности водных ресурсов, а также услуг, связанных с водой. Для понимания причин, влияющих на формирование водного режима, необходим анализ тех факторов, которые, прежде всего, объясняют причины колебания климата, а затем – изменения речного стока.

С изменением климата связана повторяемость стихийных гидрометеорологических явлений. К таковым на территории Беларуси можно отнести наводнения во время прохождения весеннего половодья и дождевых паводков. Анализ стихийных гидрометеорологических явлений и оценка влияния изменения климата на водные ресурсы является одним из направлений реализации концепции устойчивого развития Республики

Беларусь. Поэтому цель исследований заключалась в установлении пространственно-временных закономерностей формирования речного стока в пределах территории Беларуси в зависимости от общей циркуляции атмосферы, а также изменения агрометеорологических условий для выращивания отдельных культур в условиях изменяющегося климата (1989 – 2005 годы). Практическое значение исследований заключается в разработке прогноза (сценария) формирования максимального весеннего стока и разработки научно обоснованных рекомендаций по безопасному выращиванию картофеля и сахарной свеклы на территории Беларуси в создавшихся условиях.

### **О разработке научных основ прогноза максимального весеннего половодья на период до 2050 года.**

Для достижения поставленной цели была использована комбинированная методика исследования, основанная на применении двух методических подходов к изучению влияния атмосферной циркуляции на гидрометеорологические условия региона. Первый методический подход – макроциркуляционный метод долгосрочного прогнозирования, составленный в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте Росгидромета (ААНИИ) под руководством Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса. Второй методический подход – индексы Северо-Атлантического колебания, рассчитанные в Национальном центре по изучению атмосферы по методике Дж. Харрелла (США).

Макроциркуляционный метод (по Г.Я. Вангенгейму и А.А. Гирсу) основан на классификации всех синоптических процессов в трех типах атмосферной циркуляции: западном (W), восточном (E) и меридиональном (C), для каждого из которых характерны особенности состояния атмосферы. Макропроцессы определенного типа сохраняются в течение продолжительного времени (циркуляционные эпохи). В результате формируется определенный тип погоды, а затем и климат территории.

Для всестороннего анализа при оценке связи циркуляции атмосферы и речного стока Беларуси были использованы

индексы Северо-Атлантического колебания (САК, NAO), свидетельствующие об интенсивности циркуляции атмосферы в Атлантико-Евразийском секторе. Определенные наработки в этой области имеются в Польше, где ведущим учреждением выступает Познанский университет. Учеными этого учреждения установлены закономерности формирования стока рек Западной Европы в соответствии с динамикой индекса Северо-Атлантического колебания. Изучением влияния Северо-Атлантического колебания на сток рек России занимается Государственный гидрологический институт (Россия, г. Санкт-Петербург). Однако на региональном уровне, в частности применительно к территории Беларуси, подобные исследования требуют детализации.

На основе анализа многолетних колебаний атмосферной циркуляции, климатических и гидрологических характеристик более чем за столетний период инструментальных наблюдений была дана оценка степени взаимозависимости этих элементов, выявлены синхронные колебания, рассмотрены колебания климатических и гидрологических характеристик по периодам, совпадающим с эпохами атмосферной циркуляции.

Прежде всего, были вычислены отклонения речного стока от средних многолетних значений при разных формах атмосферной циркуляции для зимнего сезона (декабрь-февраль) и максимального стока весеннего половодья за каждый год по рассматриваемым пунктам наблюдений. Для оценки зимнего стока были получены средние расходы за сезон (декабрь – февраль) и количество дней с преобладанием западной, восточной и меридиональной формы циркуляции за этот сезон. Во внимание принимались отклонения расходов воды за сезон, которые отличались от среднего многолетнего значения (1900 – 2005 годы) на 10% в большую или меньшую сторону. Если величина отклонения была менее 10%, то этот год исключался из обобщения. Таким образом, в расчеты приняты статистически значимые отклонения расходов воды по критерию Стьюдента ( $P_{случ} < 5\%$ ).

Температурный режим и режим выпадения осадков для территории Беларуси в период 1900 – 2005 годов форми-

ровался в соответствии с развитием общей циркуляции атмосферы. Периоды изменения трендов климатических характеристик совпадают с эпохами атмосферной циркуляции.

В эпоху западной циркуляции (1900 – 1928 годы) высокая повторяемость западных процессов отмечалась летом, поэтому в рассматриваемый период наблюдалась прохладная погода в летние месяцы, отклонения температуры составляли  $-0,2... -0,7^{\circ}\text{C}$ . Зимой преобладала восточная циркуляция, которая обуславливала холодную погоду во все зимние месяцы этого периода, температура воздуха колебалась в пределах нормы. В эпоху восточной циркуляции (1929 – 1939 годы) наблюдалась холодная зима (особенно февраль, апрель) из-за преобладания меридиональной циркуляции, при этом отклонения достигали  $1,5^{\circ}\text{C}$  и наблюдалось теплое лето из-за преобладания восточной циркуляции, положительные отклонения были в пределах  $+1,0...+1,3^{\circ}\text{C}$ .

Меридиональная эпоха циркуляции (1940 – 1948 годы) выделяется низкими температурами во все месяцы, отклонения температуры воздуха зимой составили  $-1,5...-3,0^{\circ}\text{C}$ , летом колебались в пределах  $1^{\circ}\text{C}$ . Комбинированная меридиональная+восточная эпоха (1949 – 1970 годы) отличается холодной зимой с отклонениями до  $-1,5^{\circ}\text{C}$  и весной (особенно март), в остальные месяцы отмечалась температура выше нормы.

Восточная эпоха (1971 – 1995 годы) характеризуется повышенной температурой зимой и в начале весны, отклонения составили  $+1,0...+1,3^{\circ}\text{C}$ , что связано с постепенным увеличением повторяемости западной формы циркуляции. Западная эпоха (1996 – 2005 годы) отличается высокими положительными аномалиями (до  $+2,7^{\circ}\text{C}$ ) во все месяцы, но наибольшие положительные отклонения характерны для зимы, что объясняется преобладающей западной формой циркуляции зимой и восточной летом.

Наибольшее количество осадков выпадало в эпохи западной циркуляции (1900 – 1928 и 1996 – 2005 годы). В первом периоде 1900 – 1928 годов наибольшее количество осадков приходилось на январь, в период 1996 – 2005 годов –

на февраль. Наименьшее количество осадков отмечено в эпоху меридиональной циркуляции зимой. В остальные эпохи отклонения осадков от нормы и по месяцам небольшие.

Установлено, что преобладание процессов западной формы циркуляции атмосферы обуславливает оттепельную погоду с положительными отклонениями среднемесячной температуры воздуха в январе, феврале  $+2,5...+4,0^{\circ}\text{C}$ . Отклонения месячных сумм осадков составляют 10 – 15% от нормы.

Восточная циркуляция обуславливает отрицательные отклонения среднемесячной температуры воздуха в зимние месяцы  $-2,0...-3,6^{\circ}\text{C}$ , причем наибольшие отклонения характерны для северной части Беларуси, наименьшие – для западной. Осадки при восточной форме в декабре – феврале составляют 112 – 139% от месячной нормы, за исключением северной части, где отмечен недобор 10 – 25%.

При преобладании меридиональной циркуляции погода зимой в Беларуси формируется под влиянием арктических воздушных масс, которые обуславливают значительное понижение температуры воздуха. Месячные аномалии температуры воздуха по величине составляют  $-1,5... - 2,8^{\circ}\text{C}$ , однако меридиональная форма циркуляции наиболее редко повторяется среди трех форм. Вместе с тем в периоды преобладания меридиональной циркуляции в Беларуси устанавливается очень холодная погода с наиболее низкими отрицательными температурами воздуха до  $-25... - 30^{\circ}\text{C}$ . Осадков зимой при меридиональной циркуляции выпадает меньше нормы, и они составляют 69 – 95% в декабре, 64 – 81% в январе, а в феврале их количество близко к норме или выше (превышение до 25%).

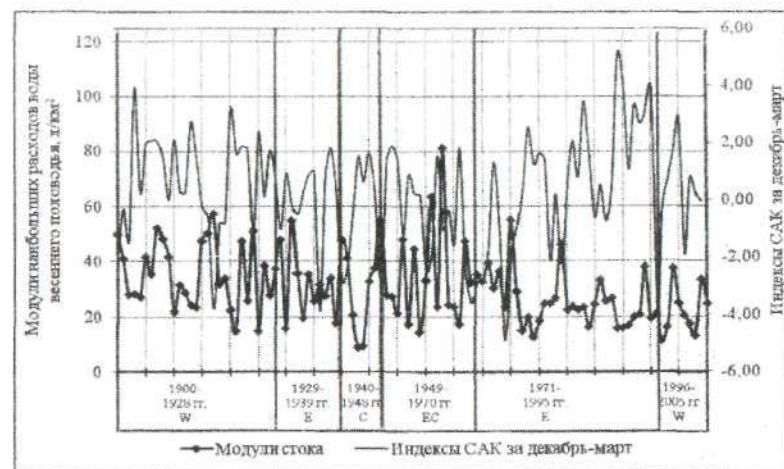


Рис. 1. Изменение модулей наибольших расходов воды весеннего половодья и индексов Северо-Атлантического колебания за декабрь-март

**Изменения гидрологических характеристик.** В эпоху западной циркуляции (1900 – 1928 годы) в зимний сезон сток колебался в пределах многолетних значений и был ниже на 10 – 20%, а весной на 10 – 20% выше средних многолетних значений. Пониженный речной сток зимой объясняется невысокой повторяемостью западной формы в этот сезон, основное количество случаев западной формы приходилось на летний сезон. В эпоху восточной циркуляции (1929 – 1939 годы) речной сток в зимний сезон был ниже на 10 – 30%, а весной выше на 20 – 60% по сравнению со средним многолетним. В меридиональную эпоху (1940 – 1948 годы) и меридиональную+восточную эпоху (1949 – 1970 годы) отмечен очень низкий зимний сток (на 10 – 40% ниже среднего многолетнего), а весной речной сток был выше до 20% по сравнению со средним многолетним (рисунок 1).

В эпоху восточной (1971 – 1995 годы) и западной (1996 – 2005 годы) циркуляции отмечается повышенный зимний сток до 25%, а весной пониженный – до 45 – 87% от среднего многолетнего, что связано с постепенным увеличением повторяемости западной формы циркуляции с 1970 года. Наибольшее количество случаев с западной формой

циркуляции приходилось на зимний сезон, в отличие от эпохи западной циркуляции в период 1900 – 1928 годов.

Речной сток во время весеннего половодья, количество и масштаб наводнений во время весеннего половодья существенно отличались по циркуляционным эпохам. В эпохи западной циркуляции (1900 – 1928, 1996 – 2005 годы) максимальный сток весеннего половодья наблюдался ниже средних многолетних значений, в эти периоды отмечено наименьшее количество наводнений во время весеннего половодья (2 наводнения).

В эпохи восточной циркуляции (1929 – 1939, 1971 – 1995 годы) условия для формирования весеннего половодья были более благоприятны, что обусловило высокую повторяемость (каждые 4 года) наводнений в период весеннего половодья. В эпоху меридиональной циркуляции (1940 – 1948 годы) формировались условия для высокого весеннего половодья, которые отмечались трижды за 9 лет. Наиболее благоприятные условия для формирования высокого весеннего половодья наблюдались в эпоху комбинированной восточной+меридиональной эпохи, когда отмечено наибольшее количество наводнений (каждые два года) и зафиксированы экстремальные значения характеристик весеннего половодья (таблица 1).

Рассмотрено формирование речного стока в зимний и весенний сезоны при установлении западной, восточной и меридиональной форм циркуляции. Для этого использовались среднемесячные расходы воды за декабрь – февраль и март – май, а также наибольшие расходы воды весеннего половодья.

Западная форма циркуляции атмосферы обуславливает повышенный речной сток в зимний сезон на реках Поозерской провинции или Западно-Двинского района, отдельных рек Полесья и самой реки Припять. Речной сток оказывается выше средних многолетних значений на 50 – 68%. На реках Западно-Белорусской провинции или Вилейского и Неманского районов превышение речного стока составляет 27 – 37%, Восточно-Белорусской или Верхне-Днепровского района – 40 – 42%,

Предполесской провинции или Центрально-Березинского района и реки Днепр – на 32 – 40%.

Таблица 1. Многолетние колебания циркуляции атмосферы и гидрометеорологических условий Беларуси

Повторяемость наводнений	Годы с наводнениями во время весеннего половодья	Особенности метеорологических условий	Период	Форма циркуляции
1 наводнение за 28 лет	1908	Холодные зимы, незначительные снегозапасы перед половодьем	1900–1928 гг.	Западная W
3 наводнения за 10 лет	1929, 1931, 1932	Холодные зимы и достаточные запасы снега перед половодьем	1929–1939 гг.	Восточная E
3 наводнения за 9 лет	1940, 1941, 1947	Очень холодные зимы, глубокое промерзание почвы	1940–1948 гг.	Меридиональная C
9 наводнений за 21 год	1951, 1953, 1956, 1958, 1962, 1963, 1965, 1968	Холодные зимы, значительные снегозапасы перед половодьем	1949–1970 гг.	Восточная+меридиональная E+C
5 наводнений за 24 года	1970, 1974, 1975, 1979, 1981	Холодные зимы и достаточные запасы снега перед половодьем	1971–1995 гг.	Восточная E
1 наводнение за 9 лет	1999 (Припять)	Теплые зимы, незначительные снегозапасы	1996–2005 гг.	Западная W

При восточной форме циркуляции сток отмечается ниже нормы на территории Поозерской провинции или Западно-Двинского района и составляет 65 – 75% от среднего многолетнего значения, Восточно-Белорусской провинции (в Верхне-Днепровском районе) и Предполесской (в Центрально-Березинском районе) – 77 – 81%, в пределах территории Западно-Белорусской провинции (в Вилейском и Неманском районах) – 77 – 87%, Полесской провинции или в Припятском районе – 70 – 81% от среднего многолетнего значения.

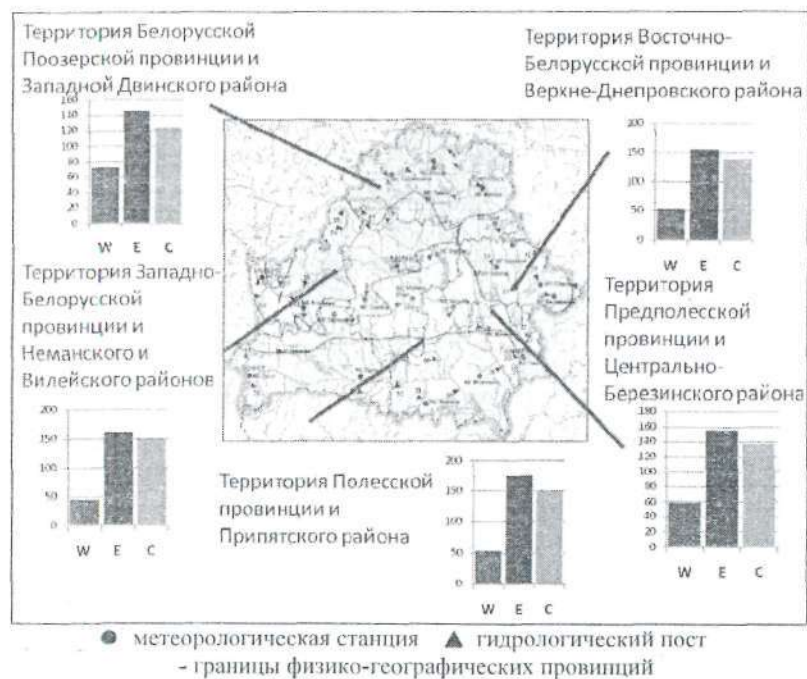


Рис. 2. Формирование наибольших расходов воды провинций при преобладании западной (W), восточной (E) и меридиональной (C) форм циркуляции (отклонения от средних многолетних значений, %)

В годы с преобладанием меридиональной циркуляции меженный сток зимой составляет 72 – 85% от среднего многолетнего в пределах территории Поозерской провинции

или Западно-Двинского района и на территории Западно-Белорусской провинции (в Вилейском и Неманском районах), 66 – 76% на реках Восточно-Белорусской провинции или в Верхне-Днепровском районе, 67 – 83% в Предполесской провинции или Центрально-Березинском районе, 63 – 83% в Полесской провинции или Припятском районе, причем около 80% от среднего многолетнего речной сток составляет на Днепре и Соже и около 60% на Припяти и ее притоках Горыни и Уборти.

На основе анализа многолетних наблюдений за атмосферной циркуляцией и речным стоком были выбраны годы, когда однозначно преобладала одна из трех форм атмосферной циркуляции. Такие годы приняты за основу в качестве типовых, и для каждой формы циркуляции были вычислены значения отклонения речного стока от средних многолетних (рисунок 2).

В годы, когда в течение зимнего сезона преобладает западная циркуляция, наблюдается весеннее половодье ниже нормы вследствие малых запасов воды в снеге, недружной весны, когда затяжные периоды оттепели сменяются затоками холодных воздушных масс. Наибольшие расходы воды наблюдаются значительно ниже средних многолетних и составляют 63 – 81% от нормы на реках Поозерской провинции или в Западно-Двинском районе, 40 – 67% в Восточно-Белорусской провинции или в Верхне-Днепровском районе, 33 – 57% в пределах Западно-Белорусской провинции (в Вилейском и Неманском районах), 53 – 65% в Предполесской провинции или Центрально-Березинском районе, 40 – 76% на реках Полесья или Припятского района. Как правило, при преобладании западной циркуляции весеннее половодье наступает раньше обычных сроков – в среднем на две недели, и заканчивается тоже раньше – с опережением до двух недель.

Восточная форма циркуляции обуславливает устойчивую морозную погоду в течение всего зимнего сезона, в результате чего к весеннему сезону происходит накопление запасов воды в снеге, что определяет высокие значения наибольших расходов воды в период весеннего половодья. Наибольшие расходы воды

в годы с преобладанием восточной циркуляции зимой имеют максимальное превышение над средними многолетними показателями. В целом они составляют 129 – 162% на реках Поозерской провинции или в Западно-Двинском районе, 140 – 171% в Восточно-Белорусской провинции или Верхне-Днепровском районе, 150 – 200% в пределах Западно-Белорусской провинции (Вилейском и Неманском районах), 145 – 165% в Предполесской провинции или Центрально-Березинском районе, 159 – 192% на реках Полесской провинции или Припятского района. В такие годы половодье обычно начинается позже обычного, пик проходит позже обычных сроков.

В годы с преобладанием меридиональной формы циркуляции в зимний сезон, когда наблюдается преимущественно очень холодная погода, также происходит накопление запасов воды в снеге и наблюдается более глубокое промерзание почвы, что затрудняет впитывание воды в начале весны и обуславливает дополнительный сток талых вод в реки. Максимальные расходы воды после таких зим наблюдаются выше средних многолетних значений и составляет 118 – 129% на реках Поозерской провинции или Западно-Двинского района, 131 – 146% в Восточно-Белорусской провинции или Верхне-Днепровском районе, 137 – 160% в пределах территории Западно-Белорусской провинции (Вилейском и Неманском районах), 130 – 144% в Предполесской провинции или Центрально-Березинском районе, 123 – 169% в Полесской провинции или Припятском районе. Начало весеннего половодья и пик, как и при восточной циркуляции, наблюдаются позже обычных сроков.

Сценарий формирования максимального стока весеннего половодья можно представить следующим образом. При западной форме циркуляции на реках Беларуси следует ожидать повышенный сток в зимний сезон и низкое весеннее половодье, при котором расход воды весеннего половодья будет составлять 33 – 81% от средних многолетних значений. Увеличение повторяемости восточной формы и наступление более холодных и снежных зим обусловит формирование

высокой водности рек во время весеннего половодья и наибольший расход предполагается в пределах 129 – 200% от средних многолетних значений. В случае преобладания меридиональной формы циркуляции с холодными зимами ожидается высокое весеннее половодье и наибольшие расходы будут составлять 118 – 169% от средних многолетних значений.

### **Перспективы выращивания картофеля и сахарной свеклы в условиях изменяющегося климата.**

Влияние климата всегда сказывалось на урожайности выращиваемых культур. На современном этапе важно выяснить, насколько климатические условия определяют продуктивность сельского хозяйства.

В пределах компактной территории Беларуси сочетаются условия для выращивания таких различных по требованиям к факторам окружающей среды сельскохозяйственных культур, как картофель и сахарная свекла. Причем если картофель традиционен для всей территории республики, то сахарная свекла преимущественно выращивается в юго-западной части страны. Посевы сахарной свеклы имеются и на остальной территории Беларуси. Однако в период повышения температур актуально введение сахарной свеклы технического назначения и в регионах, где она не выращивалась. Еще в 30-е годы XX века были проведены исследования, которые подтвердили возможность выращивания сахарной свеклы в условиях ближнего севера, где недостаток тепловых ресурсов компенсируется световыми ресурсами. В то же время примечательно, что для родины картофеля характерны влажные и прохладные условия, а это уже в период потепления климата в Беларуси обеспечивается не в полной мере.

Оценка влияния агроклиматических показателей на урожайность картофеля и сахарной свеклы проводилась на основе корреляционных зависимостей отклонений урожайности от трендов и метеорологических показателей. Отклонения выражались в процентах от значения по линии тренда.

Разделение периода исследований (1970 – 2006 годы) для построения трендов урожайности обусловлено тем обстоятельством, что климатические показатели оценивались для 1989 – 2006 годов на фоне базовых показателей (1961 – 1988 годы). Рубеж этих периодов стал переломным и для урожайности. Кроме того, с увеличением продолжительности периода необходимо повышать степень функции линии тренда в связи с периодическими изменениями экономических тенденций. При агрометеорологической оценке рекомендуется построение трендов для периодов 10 – 15 лет. В нашем случае продолжительность периодов 18 лет. Для урожайности период 1961 – 1988 годов заменяется периодом 1970 – 1987 годов по причине того, что необходимые данные об урожайности имеются лишь с 1970 года, а за 1988 год отсутствуют.

В ходе анализа метеоданных за исследуемый период получены следующие результаты.

1. Произошло увеличение термических ресурсов на всей территории Республики Беларусь.

В 1989 – 2006 годы отмечено увеличение сумм активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  на величину до  $300^{\circ}\text{C}$  (при стандартной ошибке расчета среднего  $\pm(40-55^{\circ}\text{C})$  в сравнении с 1961 – 1988 годами. Увеличение сумм температур является следствием повышения среднесуточных температур, а также увеличения продолжительности периода активной вегетации.

Для 1989 – 2006 годов по сравнению с 1961 – 1988 годами характерно увеличение продолжительности периодов с температурами выше  $5$  и  $10^{\circ}\text{C}$  на преобладающем большинстве исследуемых станций.

Сдвиг на более ранние даты устойчивого перехода среднесуточных температур через  $15^{\circ}\text{C}$  в сторону их повышения характерен для территории, расположенной западнее линии Шарковщина – Минск – Слуцк – ст. Полесская.

В пользу утверждения о неравномерности потепления на западе и на востоке Беларуси свидетельствует то, что период с температурами выше  $15^{\circ}\text{C}$  сократился на многих станциях восточной части республики: Брагин, Василевичи, Гомель,

Горки, Жлобин, Могилев. При этом на станциях западной части страны он увеличился.

Отмечено появление дополнительных ресурсов тепла для возделывания сахарной свеклы. Согласно Вострухину Н. П., нижний предел необходимых для сахарной свеклы температур  $24^{\circ}\text{C}$ . Эта величина имеет обеспеченность выше 80% на всей территории страны. Средние значения сумм положительных температур почти на всей территории Беларуси достигли и верхнего предела, указываемого тем же автором,  $28^{\circ}\text{C}$ . Однако минимальная приемлемая обеспеченность этой величины, равная 50%, отмечена лишь в южной части Беларуси.

2. Отмечен рост числа дней с высокими температурами.

Увеличилось как число дней с высокими средними температурами, так и с высокими максимальными температурами. Если в 1961 – 1988 годах число дней с максимальными температурами  $30^{\circ}\text{C}$  и выше составляло 2 – 6 дней, то в 1989 – 2006 годах – 5 – 10 дней. Таким образом, увеличение термических ресурсов вегетационного периода сопровождается ростом диапазона колебаний температур в рамках вегетационного периода.

3. На большей части территории страны сократился безморозный период. Однако на северо-западе его продолжительность увеличилась.

Для картофеля опасными являются заморозки ниже минус  $1^{\circ}\text{C}$ . Улучшение условий для выращивания картофеля в связи с изменением заморозкоопасности выявлено лишь на севере и северо-западе Беларуси, где в 1989 – 2006 годах по сравнению с 1961 – 1988 годами отмечено смещение последнего заморозка (минус  $1^{\circ}\text{C}$ ) на почве на более ранние даты и увеличение продолжительности безморозного периода.

Установлено, что благоприятная для сахарной свеклы тенденция (увеличение периода без заморозков ниже минус  $3^{\circ}\text{C}$ ) наблюдается лишь весной на северо-западе ареала ее выращивания, тогда как на востоке и на юго-западе заморозкоопасность повышается.



4. При некотором увеличении количества осадков произошло сокращение увлажненности на значительной части территории Беларуси, за исключением севера и юга.

Увеличилось количество осадков за год и за теплый период (апрель – октябрь). Наибольшее увеличение характерно для юго – юго-восточной и северной части Беларуси. Исключением является юго-западная часть республики.

При обнаружении преобладающего снижения ГТК установлено его повышение на севере и юге Беларуси. Увеличение его на севере Беларуси можно объяснить высокой степенью озерности данного региона. На юге зона повышения ГТК соответствует районам с повышенной лесистостью, а также территории, в пределах которой расположен национальный парк Припятский с высокой заболоченностью территории. Кроме того, естественная растительность (лес) может способствовать испарению, в то время как после уборки сельскохозяйственных культур испарение уменьшается.

Условия засушливости характеризует и высокая степень дефицита насыщения воздуха влагой. Число дней с высоким дефицитом насыщения (20 гПа и более) за май – сентябрь увеличилось с менее 10 – 18 до 10 – 22 дней.

Сочетание высокой температуры (выше 25°C) и низкой влажности воздуха (30% и менее) также является показателем засушливости. Повторяемость таких условий увеличилась преимущественно в западной части Беларуси. При этом характерно увеличение среднегодового числа дней с такими условиями.

Низкий уровень дефицита насыщения характеризует условия переувлажнения. Среднее число дней с низким дефицитом насыщения увеличилось, и наиболее интенсивно это проявляется на юго – юго-востоке Беларуси, где отмечен рост ГТК.

Рассмотренные выше изменения метеопараметров оказывают влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Заметно изменение в характеристиках агроклиматических областей. В.И. Мельник даже выделяет на юге Беларуси новую агроклиматическую область.

Исследование связи урожайности с метеорологическими показателями позволило сделать следующие выводы.

1. В целом урожайность картофеля в постсоветский период, который практически совпал с периодом наиболее активных климатических изменений в Беларуси, снизилась. Зона невысоких урожаев, расположенная в 1970 – 1987 годах на севере Беларуси (Витебская область), в 1989 – 2006 годах увеличилась в размерах, охватив и северные районы Минской и Могилевской областей. Экономическими и экологическими причинами и последствиями мелиорации, скорее всего, обусловлено снижение урожайности в пределах Полесья.

2. Зависимость отклонений урожайности картофеля от трендов и метеопараметров в период 1989 – 2006 годов по сравнению с 1970 – 1987 годами возросла или изменила свой знак.

2.1. В 1970 – 1987 годах на всей территории Беларуси связь температур с урожайностью картофеля была положительной, за исключением нескольких преимущественно восточных районов. В 1989 – 2006 годах повсеместно выявлены отрицательные коэффициенты корреляции величины сумм температур и отклонений в урожайности картофеля, снова исключение – некоторые преимущественно восточные районы.

Причиной данного изменения зависимости урожайности от температурных показателей может служить выявленное нами ранее увеличение сумм температур. Яркое выражение во втором периоде отрицательное влияние на урожайность картофеля увеличившегося числа дней с высокими средними и максимальными температурами воздуха. С учетом нелинейной зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от метеорологических показателей, в том числе и температурных, отметим, что если ранее причиной недобора урожая картофеля преимущественно служил недостаток тепла, то в период потепления потери урожая связаны с избытком термических ресурсов. Повышение температур может привести к такому явлению, как климатическое (тепловое) вырождение картофеля, которое ранее было характерно для регионов, расположенных южнее Беларуси.

2.2. При сохранении отрицательного влияния на урожайность картофеля увеличившегося количества заморозкоопасных дней в мае негативное воздействие усилилось преимущественно на юго-западе и западе Беларуси. На большей части территории страны это влияние снизилось, что может быть вызвано как более поздним севом, так и более ранним окончанием весенних заморозков в ряде районов.

2.3. Если в 1970 – 1987 годах повсеместно, за исключением крайнего юго-запада Беларуси, отмечалась отрицательная корреляция отклонений урожайности с ГТК, то в 1989 – 2006 годах районы с отрицательными коэффициентами сохранились только на севере и северо-востоке.

В то время как на протяжении периода 1970 – 1987 годов проявлялось положительное влияние температур, воздействие увлажнения – отрицательное. Для 1989 – 2006 годов характерным было то, что большее положительное влияние на урожайность картофеля почти на всей территории страны оказывало увлажнение. В то же время между урожайностью и температурами (суммы и средние значения) в 1989 – 2006 годах отмечается отрицательная корреляция. Эта особенность нарушается лишь на севере и северо-востоке, где отрицательная связь отклонений урожайности с температурами ослабевает. Кроме того, на севере чаще наблюдается отрицательная корреляция с увлажнением, которая, однако, во втором периоде стала слабее.

3. Изменились коэффициенты корреляции отклонений урожайности от трендов для сахарной свеклы и метеопказателей.

3.1. В первом периоде высокие средние и максимальные температуры оказывали незначительное, преимущественно положительное влияние на урожайность сахарной свеклы. Во втором периоде они оказывают более интенсивное и однозначно негативное влияние. При отмеченном приближении климатических условий Беларуси к оптимальным для сахарной свеклы следует отметить, что в 1970 – 1987 годах преобладало положительное влияние сумм температур на урожайность сахарной свеклы, а в 1989 – 2006 годах оно

сменилось отрицательным влиянием. Особенно негативно на урожайности картофеля сказывается увеличение продолжительности наиболее теплого периода (со среднесуточными температурами 15°C и выше), приводящее к увеличению сумм температур за этот период.

3.2. Усилилась положительная связь урожайности сахарной свеклы с увлажнением. Увеличились коэффициенты корреляции с ГТК. Отрицательно сказалось на урожайности сахарной свеклы увеличение числа дней с высоким дефицитом насыщения. Сохраняется отрицательное воздействие заморозков, особенно на возвышенностях.

Выводы:

1. Температурный режим и режим выпадения осадков на территории Беларуси в период 1900 – 2005 годов формировался в соответствии с развитием общей циркуляции атмосферы, то есть периоды изменения трендов климатических характеристик совпадают с эпохами атмосферной циркуляции. Формирование метеорологических условий в каждую эпоху происходило в зависимости от чередования форм циркуляции по сезонам.

2. Преобладание каждой из трех форм атмосферной циркуляции в зимний сезон обуславливает разные условия, определяющие формирование стока весеннего половодья и характеризующиеся следующим образом:

– преобладание западной формы циркуляции обуславливает оттепельную погоду в зимний сезон, положительные отклонения среднемесячной температуры воздуха в январе, феврале составляют +2,5...+4,0°C. Количество осадков при западной форме колеблется в пределах нормы, однако они не накапливаются в виде снега, а быстро тают и способствуют лишь насыщению почвы влагой;

– при установлении восточной циркуляции на территории Беларуси среднемесячная температура воздуха зимой ниже нормы, отклонения колеблются в пределах – 2,0... – 3,6°C. Осадки выпадают в виде снега и составляют в декабре – феврале 112 – 139% месячной нормы;

– при меридиональной форме циркуляции зимой над территорией Беларуси формируются области отрицательных температур воздуха с наиболее низкими отрицательными температурами воздуха до  $-25...-30^{\circ}\text{C}$ . Месячные аномалии температуры воздуха невелики по величине и составляют  $-1,5...-2,8^{\circ}\text{C}$ . При меридиональной форме отмечается недобор осадков зимой – 40 – 80% от нормы.

3. В эпохи западной циркуляции (1900 – 1928, 1996 – 2005 годы) максимальный сток весеннего половодья наблюдался ниже средних многолетних значений. В эти периоды отмечено наименьшее количество наводнений (2) во время весеннего половодья. В эпохи восточной циркуляции (1929 – 1939, 1971 – 1995 годы) условия для формирования весеннего половодья были более благоприятны, что обусловило высокую повторяемость (каждые 4 года) наводнений в период весеннего половодья. В эпоху меридиональной циркуляции (1940 – 1948 годы) формировались условия для высокого весеннего половодья, которые отмечались трижды за 9 лет. Наиболее благоприятные условия для формирования высокого весеннего половодья наблюдались в эпоху комбинированной восточной+меридиональной эпохи, когда отмечено наибольшее количество наводнений (каждые два года) и зафиксированы экстремальные значения характеристик весеннего половодья.

4. Западная форма циркуляции обуславливает повышенный сток в зимний сезон и низкое весеннее половодье, при котором расходы весеннего половодья ожидаются около 33 – 81% от средних многолетних значений; при восточной форме характерна высокая водность рек во время весеннего половодья, наибольшие расходы весеннего половодья будут составлять 129 – 200%; меридиональная форма циркуляции характеризуется высоким весенним половодьем, при котором наибольшие расходы воды составят 118 – 169% от средних многолетних значений.

6. Происходившие изменения климата Беларуси за период 1988 – 2005 годов обусловили перераспределение внутри-годового стока, что привело к увеличению режима

меженных расходов зимнего сезона, уменьшению стока весеннего половодья, раннему началу, окончанию и сокращению ледоставного периода на реках, уменьшению толщины льда и смещению дат перехода температуры воды весной через характерные интервалы.

7. Учитывая различия в требованиях к условиям выращивания картофеля и сахарной свеклы, можно предположить, что выявленное увеличение термических ресурсов благоприятно для возделывания сахарной свеклы и вместе с сокращением увлажнения отрицательно сказывается на урожайности картофеля. Однако при отмеченном увеличении термических ресурсов возрастает и контрастность погодных условий в пределах вегетационного периода, что негативно сказывается как на картофеле, так и на сахарной свекле.

Снижение увлажнения на фоне роста температур привело к расширению в пределах Беларуси территории с недостаточным увлажнением. Однако прошедший 2009 год, когда неурожай картофеля был обусловлен переувлажнением, не опровергает эту тенденцию, а лишь подтверждает усиление дифференциации метеорологических показателей как внутри вегетационного периода, так и между этими периодами в разные годы. Кроме того, исследования, проведенные для среднеазиатских республик, показали, что если внесение дополнительных доз удобрений несколько повышает устойчивость картофеля к высоким температурам, то устойчивость к почвенной засухе таким способом не повышается. Следовательно, в настоящее время уже для Беларуси актуально орошаемое земледелие, которое позволит не только лучше обеспечить растения влагой, но и сократить негативное влияние высоких температур.

8. При размещении посевов сахарной свеклы необходимо учитывать то, что термических ресурсов для выращивания самых нетребовательных к теплу ее сортов на всей территории Беларуси уже достаточно. Однако при этом следует брать в расчет и наличие пригодных для выращивания сахарной свеклы почв, а также определить рентабельность производства

сахарной свеклы в данных условиях (достаточно ли высок выход сахара). В годы же с недостаточным увлажнением для получения наибольшей выгоды необходимо орошение, хотя и здесь все решается соотношением затрат и доходов.

При более ранних сроках сева картофеля, которые способствуют его развитию в лучших условиях увлажненности почвы, следует принимать во внимание опасность поздних заморозков, которые несмотря на более ранний переход температур через  $5^{\circ}\text{C}$ , отмечаются в более поздние сроки.

9. Агротехнику выращивания картофеля и сахарной свеклы следует согласовывать с выявленными изменениями климата, а также с прогнозами погоды.