

УДК 556.047

к.т.н. Павлов В. И.,
Кусайко Н. П.,
Сергейчук О. В.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, pavlow2005@rambler.ru)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК ЛНР

Проведено исследование приземной температуры, суммарных атмосферных осадков и речного стока на территории водосбора малой реки Белая ЛНР методом скользящего среднего. Выполнено сравнение полученных показателей с известными оценками климатических изменений на территории водосбора Днепра по моделям общей циркуляции атмосферы и океана МОЦАО. Установлены общие тенденции климатических изменений и их особенности для водосбора малых рек ЛНР.

Ключевые слова: парниковый эффект, климат, потепление, водосбор, приземная температура, атмосферные осадки, речной сток, водный режим, водный баланс, математические модели, прогноз.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В Луганской Народной Республике собственный водный ресурс подземных и поверхностных источников, в том числе малых рек, широко используется для удовлетворения хозяйственных и питьевых потребностей. Надёжность водоснабжения из этих источников имеет большое значение для обеспечения жизнедеятельности населения и, по сути, является вопросом обеспечения государственной безопасности. С позиции разработки стратегии использования собственных водных источников их ресурс (максимально возможный объём использования воды в единицу времени без негативных последствий на окружающую среду) является величиной непостоянной и зависимой от климатических изменений.

Факт происходящего потепления климата на планете общепризнан и подтверждается из года в год ростом средней температуры мирового океана, сокращением площади ледников, увеличением количества чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями и лесными пожарами. Международным научным сообществом тщательно изучаются особенности климатообразующих процессов на всех континентах земного шара. На основе установленных

закономерностей совершенствуются математические модели, позволяющие прогнозировать тенденции климатических изменений дифференцированно по отдельным бассейнам водосбора больших и средних рек. Без опоры на выверенные прогнозные модели трудно сделать научно обоснованные выводы о прогнозных тенденциях и причинах изменений речного стока.

Водосборы малых рек ЛНР небольшие по площади, находятся в сравнительно однородных гидроморфологических условиях и в узкой широтной полосе, что вызывает большую зависимость расхода рек от текущей изменчивости местных атмосферных явлений. Для разработки собственных математических моделей нет необходимой статистической базы, так как систематический гидрологический мониторинг в водосборах не производился.

Вместе с тем водосборы малых рек ЛНР находятся в непосредственной близости и в одной климатической зоне с водосборами Днепра и Дона и поэтому на их территории можно ожидать проявление общих климатических закономерностей.

Таким образом, анализ динамики климатических показателей и стока малых рек на территории ЛНР в сопоставлении с результатами моделирования глобальных

климатических процессов представляет научный и практический интерес.

Анализ исследований и публикаций. Уже в середине прошлого века изучение климатообразующих циркуляционных переносов тепла океаническими течениями, атмосферных переносов тепла и влаги циклонами и антициклонами позволило заложить основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов [1]. Вначале периодически повторяемые атмосферные события связывались традиционно с солнечной активностью, характеризующейся числами Вольфа. По мере развития технологий изучения космоса были установлены дополнительные связи долгопериодной атмосферной изменчивости с более сложными астрофизическими и астрономическими процессами в Солнечной системе, отражающие диссиметрию Солнца и гравитационное воздействие на Землю перемещающегося центра планетарных масс [2]. При суммарном наложении разночастотных элементарных космических сил строго математически невозможно прогнозировать тренд космического результирующего воздействия на планету. Для выделения низкочастотных составляющих из результирующего воздействия современными методами разложения (методами сингулярного спектрального анализа SSA) требуются длинные временные ряды, для которых недостаточно накопленных на настоящий момент данных. Поэтому в работе [3] на основе сопоставления долгопериодных процессов в космосе, в Мировом океане и в атмосфере были выявлены квазипериодичности: 30–35-летняя, полувековая (45–50 лет) и вековая (80–90 лет). Свойство квазипериодичности предполагает нерегулярную периодичность в указанных диапазонах. Квазипериодичность присутствует и в меньших временных интервалах, от 2-х до 22-х лет, что существенно затрудняет предсказуемость изменения климата в соразмерной глубине прогноза.

Сравнительно недавно по историческим масштабам проявилось новое атмосферное

явление — повышение температуры вследствие роста концентрации парниковых газов, среди которых вклад углекислого газа наибольший. Парниковый эффект существенно затушевает установленные метеорологические периодичности и соответственно усложняет методологические основы прогноза.

Факт повышения среднего содержания CO_2 в атмосфере планеты доказан прямыми измерениями, а также по его концентрации в пузырьках воздуха ледовых кернов Гренландии и Антарктики. Согласно обобщающему анализу Лаборатории глобального мониторинга Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) Соединенных Штатов Америки [4] на протяжении последних 800 тыс. лет через каждые 100 тыс. лет происходило чередование ледниковых и теплых периодов. В ледниковые периоды средняя концентрация CO_2 в атмосфере составляла 185 ppm (0,0185 %), в теплые периоды — 278 ppm (0,0278 %).

С наступлением индустриальной эпохи вследствие сжигания углеводородного топлива концентрация углекислого газа в атмосфере планеты начала с ускорением повышаться. С 1957 г. по 1970 г. прирост концентрации составлял 0,5 ppm в год. В 2016 г. он уже составлял 2,0 ppm. Общий прирост за последние 100 лет составил 100 ppm. Такой же прирост в постледниковые периоды происходил за сравнительно большие временные интервалы, за 15–20 тыс. лет. Таким образом, сейчас наращивание концентрации углекислого газа в атмосфере происходит катастрофически быстро, в 150–200 раз быстрее.

Такое ускоренное антропогенное изменение климата изучается в рамках Всемирной программы исследования климата (ВПИК), учрежденной Организацией Объединенных Наций. В этой программе был реализован ряд международных научно-исследовательских проектов:

- GEWEX [<http://www.gewex.org>];
- ACSYS, CliC [<http://acsys.npolar.no>].

Разработанные в них модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) прошли проверку в специальных международных проектах сравнения АМIP и СМIP [5].

Особое внимание программа проектов ВПИК уделяет арктическим регионам России. По своему географическому положению ЛНР и европейская часть России находятся под воздействием общих, одних и тех же воздушных масс, пришедших с Атлантики, Арктического бассейна или сформировавшихся над обширными континентальными территориями Евразии [6]. В этой связи следует рассмотреть результаты совместного научно-исследовательского проекта Национального Агентства по аэронавтике и освоению космического пространства NASA (США) и Российской Академии Наук «Международная партнерская инициатива в области наук о Земле в Северной Евразии (NEESPI). В проекте была создана интегральная база данных по состоянию окружающей среды на территории России из результатов космического зондирования и всех накопленных наземных наблюдений. Из программных продуктов ВПИК было проанализировано двадцать моделей МОЦАО и отобрано семь, наиболее близко отражающих фактические данные по крупнейшим водосборам России и сопредельным регионам: Волги, Оби,

Енисея, Лены, Печоры, Балтики, Днепра и Дона [7]. Предсказуемость изменения климата по любой модели МОЦАО зависима от ожидаемого изменения концентрации парниковых газов. Известно 40 сценариев их накопления в атмосфере XXI-го века. В работе [7] сделаны прогнозные расчеты климатических показателей по двум наиболее негативным сценариям, отражающим низкие темпы сокращения углеводородной энергетики и более быстрый рост численности населения. В таблице 1 показано изменение средних оценок климатических показателей, рассчитанных с помощью отобранных моделей МОЦАО по водосборным бассейнам рек, наиболее приближенных к водосборам малых рек ЛНР, и по наиболее неблагоприятному сценарию эмиссии парниковых газов.

Из таблицы 1 видно, что на протяжении всего XXI-го века в бассейнах рек Днепр и Волга приземная температура будет повышаться. По более близкому к ЛНР водосбору Днепра температура летом будет расти чуть быстрее. По сибирским рекам темпы потепления зимой по сравнению с летом намного выше на протяжении всего столетия. Например, по Лене к середине века рост температур составит зимой 3,1 %, а к концу века 5,0 %, летом соответственно 2,1 % и 3,2 % [7].

Таблица 1

Изменение климатических показателей по ближайшим к ЛНР водосборам в процентах к базовому периоду 1981–2000 гг. по данным [7]

| Водосбор реки | Показатели | 2041–2060 | | | 2080–2099 | | |
|---------------|-----------------------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|
| | | Зима | Лето | Год | Зима | Лето | Год |
| Днепр | Приземная температура | 2,1 | 2,3 | 2,1 | 3,3 | 3,2 | 3,1 |
| | Осадки | 7,2 | -3,4 | 2,8 | 10,8 | -6,3 | 3,7 |
| | Речной сток | | -1,4 | -3,3 | | -2,8 | -6,2 |
| | Масса снега | | | -17,1 | | | -32,7 |
| Волга | Приземная температура | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 3,8 | 3,0 | 3,5 |
| | Осадки | 9,3 | 0,0 | 5,4 | 12,3 | 2,6 | 8,9 |
| | Речной сток | | -3,9 | -2,0 | | 2,2 | 6,2 |
| | Масса снега | | | -12,0 | | | -18,2 |
| Дон | Масса снега | | | -17,1 | | | -32,7 |

Повышение температуры приведёт к увеличению годовых осадков по всем водосборам России. По Днепру прирост годовых осадков наименьший. Примечательно, что водосбор Днепра единственный, по которому летом ожидается снижение осадков. Явным признаком потепления по водосбору Днепра является повышение осадков зимой за счет дождя, так как осадки в виде снега будут существенно уменьшаться на 17,1–32,7 %.

Результирующий показатель потепления — речной сток по Днепру — будет снижаться на протяжении всего текущего столетия. У Волги, как и по остальным водосборам России, в первой половине века будет снижение стока даже большее, чем по Днепру. Во второй половине века ситуация сменится на противоположную — во всех водосборах, кроме Днепра, речной сток увеличится.

Причиной изменения климата в Северной Евразии являются циркуляционные факторы [8]. Рост среднегодовой температуры воздуха происходит за счет отдельных месяцев: февраля, марта, мая и октября. В конце сезона, для весны в мае и для осени в октябре, повышение температуры происходит в первую очередь за счет увеличения продолжительности солнечной радиации, характерной для антициклонической деятельности. При этом воздухо-теплоперенос реализуется из южных широт, т. е. активизируются меридиональные процессы циркуляции воздуха.

Из проведенного анализа результатов расчета климатических показателей по проверенным моделям МОЦАО можно сделать следующие выводы по водосборам Днепра и Дона:

– текущем столетии ожидается аномальное изменение климата — снижение осадков летом, повышение зимой и уменьшение годового речного стока. Эта аномальность объясняется систематическим возникновением над территорией во-

досборов Днепра и Дона южной периферии атмосферных фронтов Северной Евразии со сравнительно небольшим, остаточным влагосодержанием;

– водосборы малых рек ЛНР по сравнению с водосборами Днепра и Дона имеют большую степень континентальности, и поэтому на их территории тенденции климатических изменений должны быть более выраженными.

Целью работы является исследование особенностей проявления планетарного потепления на территории водосборов малых рек ЛНР и тенденций изменения их речного стока на ближайшие 30 лет. В работе поставлены задачи установления тенденций климатических изменений по бассейну водосбора реки Белой ЛНР и их согласованности с показателями по водосбору реки Днепр:

– выполнить сравнительный анализ изменений приземной температуры и атмосферных осадков за весь период наблюдений Луганской метеостанции;

– сравнить динамику сезонных изменений температуры и атмосферных осадков;

– установить прогнозные тенденции речного стока реки Белая на основе согласованности климатических показателей с прогнозными моделями МОЦАО.

Изложение материала и его результаты. Ландшафт и гидрологические показатели бассейна водосбора реки Белой являются характерными практически для всех малых рек ЛНР. Излагаемая работа является продолжением исследований [9–11] по реке Белой. Для получения сопоставимых климатических оценок по водосборам рек Белой и Днепра в данной работе использован метод скользящего среднего с двадцатилетним окном усреднения, как и в работах [7, 9].

Тренды среднегодовых среднегодовых температур и годовых осадков, представленные на рисунке 1, визуально можно разделить на два периода — до и после 40-х годов прошлого столетия.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

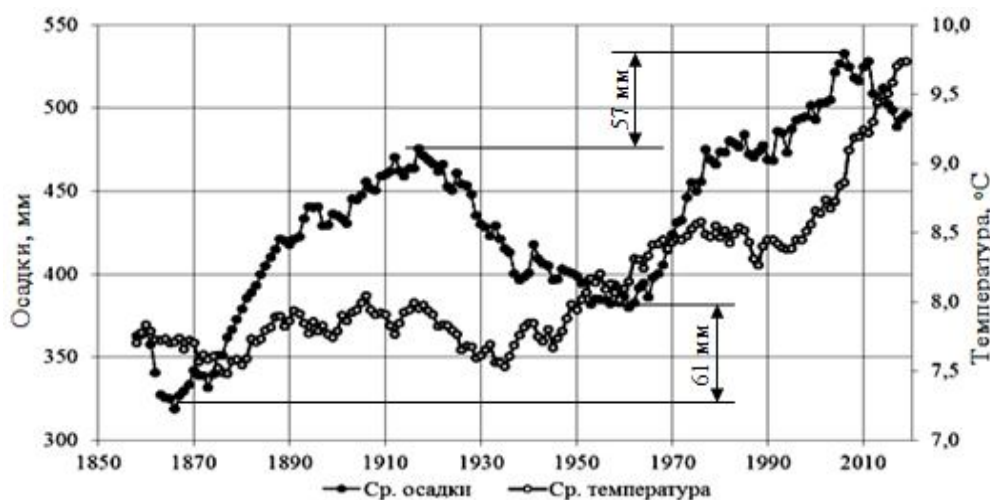


Рисунок 1 Динамика скользящего среднего суммарных годовых осадков и среднегодовой приземной температуры

В период до 40-х годов первый и второй минимумы температуры были абсолютно равными, составляли 7,5 °С и наблюдались в 1877 и 1935 годах. Интервал между ними составил около 60-ти лет. Максимумы среднегодовой температуры составляли около 8,0 °С. Соответствующие температурной волне первый минимум осадков составил 319 мм (1866 г.), второй минимум — 380 мм (1961 г.). Интервал между минимумами осадков (период) составил 95 лет — около века. Сопоставление полученных волн температуры и осадков на рисунке 1 обнаруживает их видимую взаимосвязь. Однако эта связь не поддается корреляционно-регрессионному описанию. Не обнаруживается и ковариационная связь их циклических компонент в исходных рядах [9]. Визуально взаимосвязь, отмечаемая климатологами, и неравенство периодов волн температуры и осадков объясняется следующим:

- тепловая энергия солнца является первопричиной, возмущающим фактором атмосферных явлений;

- циркуляционные переносы влаги в атмосфере реагируют инерционно, с некоторым запаздыванием от активности солнца [7], что является следствием большой теплопроводности и массы воды мирового океана. До начала интенсивного испарения

с поверхности океана необходимо время для накопления достаточного тепла. Суша разогревается быстрее, поэтому возникает запаздывание роста осадков относительно роста приземной температуры;

- период волны осадков становится больше периода волны температуры также из-за теплопроводности воды. После снижения теплового воздействия солнца интенсивность испарения снижается не сразу из-за накопленного тепла большой массой воды.

Определяющее влияние энергии солнца иллюстрируется полученными графиками (рис. 1). Запаздывание максимума осадков (1917 г.) от максимума температуры (1906 г.) составило 11 лет, т. е. равно периоду солнечной активности по числам Вольфа. Циклы периодической активности солнца создают интегральное воздействие на мировой океан и задают тренд изменения атмосферных осадков. Такие же выводы получены методом сингулярного спектрального анализа (SSA) по анализируемой статистической базе в работе [9].

После 40-х годов прошлого века согласованные циклические колебания осадков и температуры начали затухать и стал проявляться их линейный тренд роста.

Очевидно, что непрерывный рост приземной температуры в водосборе реки Белой вызван общим ростом концентрации

ГЕОЭКОЛОГИЯ

парниковых газов в атмосфере. Из графика температуры (рис. 1) для анализа темпов роста взяты два периода: с 1935 по 1976 гг. и с 1995 по 2019 гг.

Сравнивались линейные тренды (рис. 2).

Результаты корреляционно-регрессионного анализа изменения температуры во времени по этим периодам приведены в таблице 2, где использованы следующие обозначения:

N — количество использованных значений температуры, °С;

R — коэффициент корреляции;

*R*² — коэффициент детерминации;

a и *b* — величины коэффициентов регрессии;

S — среднеквадратическая ошибка вычисления;

Y — значение функции (температуры), °С;

X — интервал времени от начального года анализируемого периода, лет.

Все результаты анализа значимы при уровне значимости 0,05. Полученные зависимости имеют вид:

– для периода с 1935 по 1976 гг.:

$$Y = 0,023X + 7,58; \quad (1)$$

– для периода с 1995 по 2019 гг.:

$$Y = 0,060X + 8,25. \quad (2)$$

Из этих уравнений следует, что в первый период, с 1935 по 1976 гг., каждые 10 лет шёл средний прирост температуры на 0,023 °С (коэффициент регрессии *a* = 0,023), в последующий период, с 1995 по 2019 гг., прирост составлял уже 0,060 °С (*a* = 0,060), т. е. рост температуры происходил в 3 раза быстрее. Ускоренный рост приземной температуры на территории водосбора ре-

ки Белой согласуется с общими тенденциями на планете, вызванными увеличением концентрации парниковых газов.

Также можно отметить по рисунку 2 закономерное изменение в выбранных периодах отклонений температуры от линии тренда, оцениваемых среднеквадратической ошибкой *S*. В период после 40-х годов значение *S* уменьшилось (табл. 2), что дополнительно подтверждает интенсификацию процесса роста приземной температуры. При сравнении периодов до и после 40-х годов отмечается рост среднегодовых осадков по максимальным и минимальным значениям на 57–61 мм (рис. 1).

Таким образом, до 40-х годов наблюдалось длиннопериодное согласованное колебание приземной температуры и осадков. После 40-х годов согласованное колебание этих показателей заменилось растущими трендами, что объясняется ростом концентрации углекислого газа в атмосфере и усилением парникового эффекта в результате широкого промышленного освоения добычи природного углеводородного топлива на Донбассе и во всем мире.

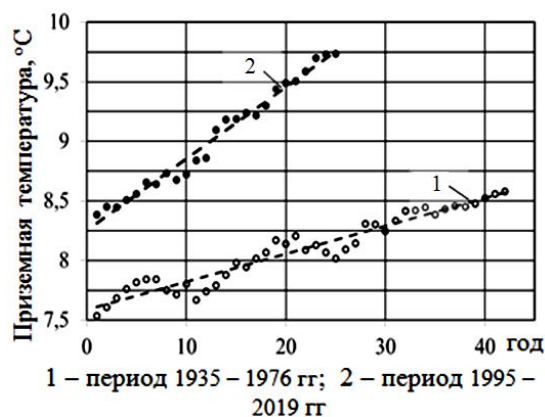


Рисунок 2 Темпы роста температуры

Корреляционно-регрессионный анализ изменения температуры во времени

| Период | | <i>n</i> | <i>R</i> | <i>R</i> ² | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>S</i> | Форма связи |
|--------|-----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|----------|---------------------|
| № | годы | | | | | | | $Y = a \cdot X + b$ |
| 1 | 1935–1976 | 42 | 0,97 | 0,93 | 0,023 | 7,58 | 0,077 | значима |
| 2 | 1995–2019 | 25 | 0,99 | 0,98 | 0,060 | 8,25 | 0,063 | значима |

Приведенные результаты расчетов по моделям МОЦАО свидетельствуют о разном воздействии парникового эффекта на осадки по сезонам года [7]. В связи с этим был проведен аналогичный анализ изменения осадков и температур в бассейне реки Белая.

Зимой (рис. 3, а) до 40-х годов, до интенсивной отработки угольных месторождений Донбасса наблюдалось согласованное волновое изменение температуры и осадков. Рост температуры приводил к увеличению осадков. При снижении температуры снижались и осадки. После 40-х годов волновое согласованное изменение заменилось непрерывным ростом обоих показателей. Весной (рис. 3, б) наблюдалось аналогичное изменение.

Летом волновые изменения температуры и осадков находились в противофазе — увеличение температуры вызывало уменьшение осадков (рис. 3, в) и наоборот. Осенью такие изменения наблюдались только до 40-х годов (рис. 3, г). После произошло согласование волнового изменения температуры и осадков.

Для количественной оценки сезонных изменений взяты два периода с двадцати-

летним окном усреднения, с 1920 по 1940 гг. и с 1999 по 2019 гг. (табл. 3). Рост температуры зафиксирован во все сезоны на 0,9–1,9 %, наибольший рост зимой — 3,9 %. Годовая сумма осадков увеличилась на 96,0 мм, т. е. на 24,0 % (табл. 4). Наибольший прирост осадков происходил в зимние месяцы и составил в среднем 117,8 %. Летом происходило снижение осадков в среднем на 7,6 %. В период с 1920 по 1940 годы суммарное среднее значение зимних и весенних осадков, формирующих сток половодья, составляло 147,8 мм (36,9 % от годовых осадков). В 1999–2019 гг. это среднее значение увеличилось до 232,8 мм и составило 46,9 % от годовых осадков.

В последние 20 лет из-за повышения зимней температуры и частых оттепелей не происходило накопления зимних осадков, и в половодье уровень воды в реке не повышался до критического подтопления прибрежных территорий. В летний межень период уровень воды в устье реки Белой заметно снизился. Часть постоянных водотоков водосбора перешла в категорию временных.

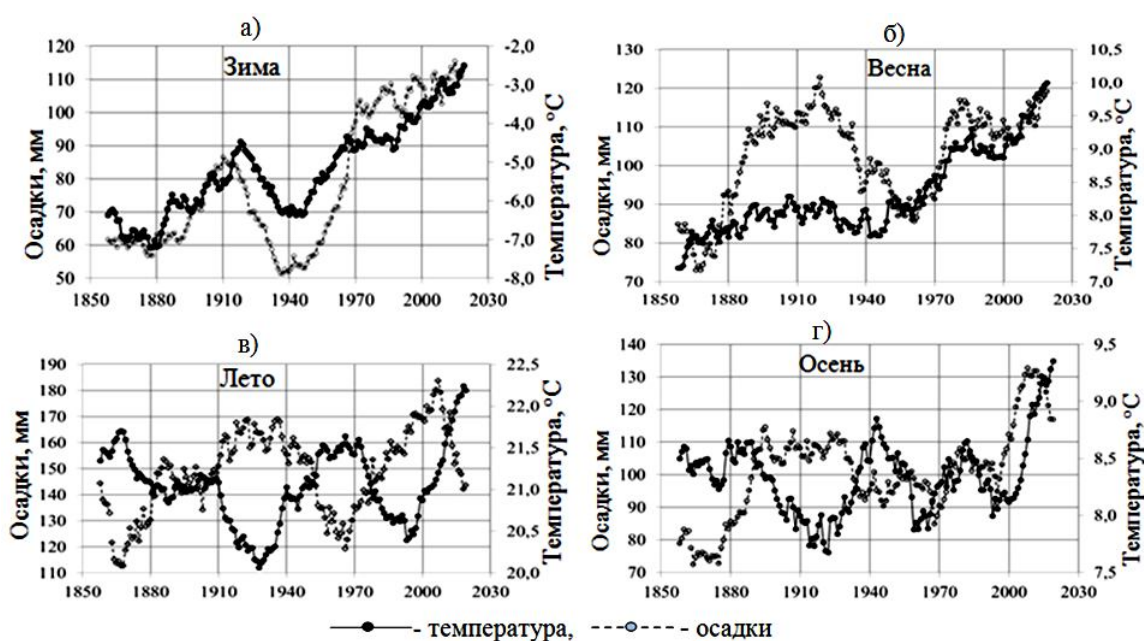


Рисунок 3 Динамика скользящего среднего суммарных годовых осадков и среднегодовой приземной температуры по сезонам года (а — зима, б — весна, в — лето, г — осень)

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Таблица 3

Сезонное изменение приземной температуры

| Окно усреднения, лет | Ед. изм. | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|----------------------|----------|------|-------|------|-------|-----|
| 1920–1940 | °С | –6,3 | 8,1 | 21,0 | 8,5 | 7,8 |
| 1999–2019 | °С | –2,5 | 10,0 | 22,2 | 9,4 | 9,8 |
| Изменение | % | 3,9 | 1,9 | 1,2 | 0,9 | 1,9 |

Таблица 4

Сезонное изменение атмосферных осадков

| Периоды, г. | Зима | | Весна | | Лето | | Осень | | Год | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | мм | % | мм | % | мм | % | мм | % | мм | % |
| 1920–1940 | 52,2 | 13,0 | 95,7 | 23,9 | 155,4 | 38,8 | 95,3 | 23,8 | 400,6 | 100 |
| 1999–2019 | 113,6 | 22,9 | 119,2 | 24,0 | 143,7 | 28,9 | 116,9 | 23,5 | 496,6 | 100 |
| Изменение | 61,5 | 117,8 | 23,6 | 24,65 | –11,8 | –7,6 | 21,6 | 22,7 | 96,0 | 24,0 |

Отмеченные изменения структуры сезонных осадков отразились не только на водном режиме реки. Изменилась структура водного баланса.

В работе [10] была установлена зависимость среднемноголетнего притока (Y) в Исаковское водохранилище от среднемноголетнего количества осадков (X) в виде линейной формы связи $Y = a \cdot X + b$. Оказалось, что коэффициент регрессии a в трёх последовательных по времени статистических выборках по периодам 1984–1997 гг., 2002–2011 гг. и 2011–2019 гг. увеличивался и составлял соответственно 0,33, 0,44 и 0,45. Этот коэффициент регрессии a отражает, какая часть с каждого 1 млн осадков, выпадающих на территории водосбора реки, стекает в водохранилище, т. е., по сути, является коэффициентом стока. Отсюда следует, что, несмотря на увеличение приземной температуры, в структуре годового водного баланса водосбора происходит увеличение доли речного стока и снижение доли испаренных осадков за счет увеличения осадков в зимнее и уменьшения в летнее время.

Данные по водосбору реки Белой приведены в таблице 5. Из сравнения таблиц 1 и 5 следует, что климатические изменения в водосборах рек Белой и Днепра имеют общие тенденции. Поэтому для прогнозирования тенденций в изменении гидрометеорологических показателей по водосборам малых рек ЛНР можно ориентиро-

ваться на результаты математического моделирования по бассейну водосбора реки Днепр. Тогда, исходя из прогнозных расчетов по моделям МОЦАО, в ближайшем будущем следует ожидать дальнейший рост приземной температуры во все сезоны года, увеличение зимних осадков, а летом их уменьшение и, как результирующее последствие метеорологических изменений, — уменьшение годового речного стока. Отличительной особенностью климатических изменений в водосборах малых рек ЛНР, по сравнению с водосбором Днепра, является несравнимо быстрый рост приземной температуры (на 28,3 %) и осадков (на 6,3 %) в холодное время года. Снижение осадков в теплое время года настолько значительно (на –15,1 %), что задает тренд на снижение суммарных годовых осадков (на –1,0 %). Более резкое влияние температуры объясняется большим коэффициентом континентальности территории ЛНР, так как амплитуда колебания температур больше и расположение центров водосбора рек более южное.

С 2007 г. наметилось снижение среднегодовых осадков. Длительность низкого уровня осадков, возможно, продлится на 10–15 лет [9], что подтверждается и расчетом индекса засух SPI [11].

Выводы. Климатические изменения на территории водосбора реки Белой заключаются в следующем.

Таблица 5

Изменение среднемноголетних климатических показателей по водосбору реки Белой в процентах к базовому периоду 1981–2000 гг.

| Сравниваемые периоды, гг. | Показатели | Зима | Лето | Год |
|---------------------------|---|------|-------|-------|
| 1981–2000 | Приземная температура | –3,5 | 20,9 | 8,6 |
| | Осадки | 108 | 169 | 501 |
| | Приток (сток) в водохранилище, млн м ³ | | | 42,0 |
| 2000– 2019 | Приземная температура | –2,5 | 22,2 | 9,8 |
| | Осадки | 114 | 144 | 497 |
| | Приток (сток) в водохранилище, млн м ³ | | | 36 |
| Изменение показателей | Приземная температура, % | 28,3 | 6,3 | 13,5 |
| | Осадки, % | 4,9 | –15,1 | –1,0 |
| | Приток (сток) в водохранилище, % | | | –14,3 |

До 40-х годов, когда не проявлялось антропогенное потепление климата, зимой и весной наблюдались волнообразные тренды с согласованной направленностью изменения температуры и осадков. Летом и осенью наблюдались волнообразные тренды изменения температуры и осадков, но с обратной направленностью (если температура повышалась, то осадки снижались).

После 40-х годов, в период заметных климатических изменений зимой и весной, волнообразные тренды с согласованной направленностью изменения обоих показателей сменились на линейно-возрастающие. Осенью волнообразные тренды температуры и осадков с их обратной взаимосвязью сменились на волнообразные с согласованными направлениями изменения этих показателей. Появление согласованных по направлению сезонных трендов осадков и температуры, при росте последней, привело к снижению среднемноголетних осадков и перераспределению осадков по сезонам года — возникла тенденция к постоянному увеличению осадков зимой и снижению летом. За счет перераспределения осадков изменилась

структура водного баланса — доля речного стока начала увеличиваться, а доля испаренной влаги уменьшаться.

Сезонные тренды изменения температуры, осадков и речного стока в водосборах малых рек ЛНР совпадают с трендами водосборов Днестра и Дона, по которым имеются климатические математические модели, прошедшие широкую апробацию в международном научном сообществе. На основе расчетов по климатическим моделям на ближайшие 30 лет следует ожидать:

- продолжения повышения приземной температуры во все сезоны года;
- дальнейшего изменения сезонной структуры осадков — летом осадки будут уменьшаться, а зимой-весной увеличиваться;
- продолжения изменения водного баланса — доля речного стока будет увеличиваться, а доля испаренной влаги уменьшаться,
- уменьшения годового стока. Изменение водного режима рек за счет увеличения стока зимой и уменьшения летом создаст проблему с использованием водных ресурсов для сельского хозяйства и при эксплуатации водохранилищ.

Библиографический список

1. Вангенгейм, Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики [Текст] / Г. Я. Вангенгейм. — М. : АНИИ, 1952. — 314 с.
2. Дмитриев, А. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов [Текст] / А. А. Дмитриев, В. А. Белязо. — СПб. : Гидрометеоиздат, 2006. — 358 с.

3. Дубравин, В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря [Текст] / В. Ф. Дубравин. — М. : Перо, 2017. — 438 с.
4. Национальный центр атмосферных исследований NCAR США [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ncar.ucar.edu>.
5. The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) [Text] / G. A. Meehl, G. I. Boer, C. Covey, et al. // Bull. Amer. Meteorol. Soc.. — 2000. — P. 313–318.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 6. Украина и Молдавия, Вып. 3. Бассейн р. Северского Донца и реки Приазовья [Текст]. — Л. : Гидрометеиздат, 1967. — 280 с.
7. Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии [Текст] / В. П. Мелешко, В. М. Катцов, В. А. Говоров, С. П. Малевский-Малевич, Е. Д. Надежина, П. В. Спорышев // Метеорология гидрология. — 2004. — № 7. — С. 5–26.
8. Роль циркуляционных факторов в потеплении климата Сибири [Текст] / В. П. Горбатенко, И. И. Ипполитов, С. В. Логинов, Н. В. Поднебесных, Е. В. Харюткина // Вестник Томского государственного университета. — 2011. — № 346. — С. 174–180.
9. Подлипенская, Л. Е. Исследование временных рядов климатических показателей с помощью метода сингулярного спектрального анализа [Текст] / Л. Е. Подлипенская, Е. Д. Долгих, С. А. Горельников // Экологический вестник Донбасса. — 2021. — № 2. — С. 41–49.
10. Павлов, В. И. Анализ изменения составляющих водного баланса бассейна водосбора Исаковского водохранилища [Текст] / В. И. Павлов, Н. П. Кусайко, С. И. Кулакова // Экологический вестник Донбасса. — 2021. — № 2. — С. 73–81.
11. Мониторинг гидрологических засух по результатам многолетних данных центра гидрометеорологии города Луганска [Текст] / Л. Е. Подлипенская, Н. П. Кусайко, И. А. Ладыш, Е. Д. Долгих // Экологический вестник Донбасса. — 2021. — № 2. — С. 83–91.

© Павлов В. И.© Кусайко Н. П.© Сергейчук О. В.

**Рекомендована к печати д.с.-х.н., проф., зав. каф. Э и П ЛГАУ Ладыш И. А.,
к.т.н., проф. каф. ПГМ ДонГТИ Левченко Э. П.**

Статья поступила в редакцию 20.01.2022.

Ph.D. Pavlov V. I., Kusayko N. P., Sergeychuk O. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR,
pavlow2005@rambler.ru)

CLIMATIC PECULIARITIES OF THE SMALL RIVERS RUNOFF FORMATION IN THE LPR

Investigation of surface temperature, total atmospheric precipitation and river runoff within the territory of the catchment area of the small river Belaya (LPR) was carried out using the moving average method. The obtained indicators are compared with the known assessments of climate change in the Dnieper catchment area according to the AOGCMs of the general circulation of the atmosphere and the ocean. The general tendencies of climatic changes and their features for the catchment area of small rivers of the LPR are found.

Key words: *greenhouse effect, climate, warming, catchment, surface temperature, atmospheric precipitation, river runoff, water regime, water balance, mathematical models, forecast.*