

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-БАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ ТУРКА И ЧИСЛЕННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ REMO ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТНОГО СТОКА В УКРАИНЕ В XXI ВЕКЕ

С. И. Снежко, И.В. Куприков, О.Г. Шевченко, Е.М. Павельчук, Ю.С. Дидовец

Выполнена оценка возможных изменений водного стока на территории Украины в XXI веке. В основу расчетов с помощью водно-балансовой модели положены результаты прогнозирования изменений климата Украины с использованием региональной модели REMO. Установлены две основные тенденции развития водных ресурсов, в отношении которых нужно разрабатывать меры адаптации водохозяйственного управления в Украине: тенденция к уменьшению водного стока с территории равнинной части Украины и стабилизация водного стока горных рек Карпатского региона. Выполненные прогнозные расчеты и полученные выводы рекомендуется использовать в качестве научных основ планирования и разработки мероприятий адаптации водного хозяйства Украины к возможным изменениям климата.

*Ключевые слова:* водные ресурсы, речной сток, изменение климата.

**Актуальность проблемы.** Несмотря на то, что 70 % поверхности нашей планеты покрыто водой, пригодной для потребления населением и для функционирования большинства земных экосистем пресной воды совсем немного, ее доля в общих запасах воды составляет лишь 2,53 %.

Во многих регионах нашей планеты питьевая вода уже давно является чрезвычайно дефицитным продуктом. Более 1,1 млрд. населения планеты вообще не имеют доступа к воде, ежегодно умирает 6000 человек, в основном детей в возрасте до 5 лет, из-за болезней, связанных с использованием непригодной для питья воды [1].

Практически на всей планете наблюдается усиление негативного влияния на количественное и качественное состояния водных ресурсов таких факторов как изменение климата, землепользования, рост численности населения, загрязнение воды, растущее водопотребление. В докладе ООН о состоянии мировых водных ресурсов (2003 г.) отмечается, что в случае неблагоприятного стечения обстоятельств уже середине XXI века 7 млрд. населения нашей планеты из 60 стран, столкнутся с проблемой дефицита питьевой воды, по сценарию благоприятных условий эта проблема не исчезнет, она тоже будет иметь место в 48 странах мира, где проживает 2 млрд. населения.

Новой глобальной тенденцией современного развития является превращение водных ресурсов в главные стратегические, что все чаще становятся предметом международных конфликтов, вооруженных столкновений и даже войн. Таким образом, именно недостаточное количество воды превращается в настоящее время в главную угрозу дестабилизации ряда регионов и приводит к росту их уязвимости. Наиболее опасными являются следующие тенденции [2]:

- усиление водного стресса на африканских территориях южнее Сахары при одновременном повышении доли населения стран этого региона, испытывающих водный стресс, с 30 % до 85 %;

- усугубление водных проблем на Ближнем Востоке и в Северной Африке при одновременном падении среднего обеспечения водой более чем на 1/4. Согласно прогнозам на 2025 г., средняя обеспеченность водой в регионе составит около 500 м<sup>3</sup> на одного человека;

- присоединение Индии и Китая к группе стран, испытывающих водный стресс.

Так, в Индии уже сейчас 224 млн. человек проживают в бассейнах рек, где ощущается водный стресс. Удельный вес показателей Китая примерно на 1/3 ниже среднемировых, а 42 % населения, то есть 538 млн. человек в его северных провинциях, имеют доступ только к 14 % водных ресурсов страны.

Растущее потребление воды промышленностью приводит к истощению природных водных ресурсов, к снижению производства продовольствия и к значительной миграции населения в другие страны, в частности в Европу.

Если сегодня одной из основных глобальных проблем мира является энергетическая безопасность, то в условиях изменения климата на первый план выйдет водная безопасность. Мировое сообщество трактует ее как такое распределение воды и водоемкой продукции, при котором не возникает угрозы международной стабильности, водных войн, водного терроризма и тому подобное. Согласно прогнозам российских ученых, уже в период 2035–2045 гг. объем пресной воды, который потребляет человечество, сравняется с ее ресурсами.

Чтобы смягчить негативные влияния вышеперечисленных факторов на водные ресурсы, нужны новейшие стратегии развития водного хозяйства и рационального использования водных ресурсов, которые включают и адаптацию к ожидаемым изменениям климата.

Управление водными ресурсами – это взаимодействие технологических, экономических и институциональных механизмов для обеспечения баланса между потребностями и наличием воды. В большинстве развитых европейских стран давно установилась инфраструктура водного хозяйства. Управление водными ресурсами происходит в условиях стабильной численности населения и уменьшение антропогенного воздействия на существующие водные ресурсы. В результате эффективность управления только растет. В развивающихся странах, рост населения и растущий антропогенное давление на водные ресурсы ограничивают возможности развития водного хозяйства, возникает необходимость адаптации его к возможным изменениям климата.

Менеджмент водных ресурсов по своей природе является процессом адаптации к реальным условиям, основанный на опыте и научном познании.

Управление водными ресурсами в странах Восточной Европы осложняется их переходной экономикой и рядом нерешенных экологических проблем. При дальнейшем развитии этих стран потребности в водных ресурсах будут расти даже при постоянной численности населения. Это приведет к потребности в развитии водоснабжения и водоотведения и будет требовать значительных капиталовложений на развитие необходимой инфраструктуры.

При долгосрочном планировании (20–30 лет) водохозяйственных проектов в развивающихся странах, водные менеджеры должны учитывать и влияние изменения климата на новую инфраструктуру водного хозяйства.

Неопределенности существуют на локальном и региональном уровнях воздействия изменения климата на гидрологические ресурсы; они будут распространяться на неопределенности менеджмента водных ресурсов, условия водоснабжения. В результате, эти локальные и региональные неопределенности обострят еще больше уже имеющиеся неопределенности будущих потребностей водных ресурсов, которые регулируются социально-экономическими процессами.

Управление водными ресурсами должно осуществляться таким образом, чтобы защитить социально-экономическую систему от климатических вариаций.

Уменьшение стока может означать уменьшение водоснабжения и угрозу экономическому развитию. Рост стока может угрожать переполнением построенных водохранилищ и потенциальной возможностью развития паводков.

Задачей данных исследований является выявление тенденций изменения ресурсов местного водного стока в условиях изменения климата.

**Состояние исследований.** В течение двадцатого века глобальные изменения климата характеризуются ростом температуры воздуха Земли примерно на  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , на 5–10 % увеличились осадки в северном полушарии, возросло количество ливней и случаев чрезмерного выпадения осадков в средних и высоких широтах северного полушария, выросли темпы аридизации в Азии и Африке, средний уровень Мирового океана

повышался ежегодно на 1–2 мм, продолжительность ледостава на реках и озерах северного полушария снизилась примерно на две недели, толщина ледового покрова арктических морях уменьшилась на 15–40 %, снежный покров сократился на 10 %, а вечная мерзлота начала деградировать (*Изменение климата, 2001*).

Высока вероятность того, что повышение глобальных средних температур, которое наблюдается с середины XX в., в основном вызвано повышением концентраций антропогенных парниковых газов (*ClimateChange 2007*). Промышленная деятельность привела к значительному росту содержания в атмосфере парниковых газов, что вызвало парниковый эффект в приземном слое атмосферы и стало причиной глобальных изменений климата. Климатические изменения не могли не повлиять на материковые водные ресурсы, одной из составляющих которых является речной сток.

Влияние климатических изменений на пополнение стока и подземных вод меняется в зависимости от региона и типа сценария и в значительной мере соответствует прогнозируемым изменениям осадков. Последовательная перспективная оценка на основе большинства климатических сценариев показывает увеличение ежегодного среднего стока в высоких широтах и в Юго-Восточной Азии и уменьшение в Центральной Азии, в районе, прилегающем к Средиземному морю, южной части Африки и Австралии [3]. Масштабы изменений меняются в зависимости от сценария. Для других районов, включая средние широты, перспективные оценки не отличаются четкой последовательностью стока, частично ввиду разногласий в прогнозируемых осадках и отчасти из-за разногласий в прогнозируемом испарении, которое может свести на нет увеличение осадков.

Наши исследования показывают [4–6], что в условиях современного климата на большей части территории Украины формируются устойчивые положительные тенденции изменения водного стока рек. Анализ временных трендов, которые были рассчитаны за многолетний период, позволил установить, что средние величины роста водного стока составляют для рек Верхнего Днепра – 20 % (с 1880 по 2004 г.), рек Нижнего Днепра – 9,3 % (с 1880 по 2004 г.), р. Десна – 3,2 %, р. Северский Донец – 16 % (с 1925 по 2004 г.), р. Южный Буг – 25 % (с 1910 по 2004 г.). Несколько противоположная тенденция наблюдается в Закарпатье. По данным пограничного гидрологического поста Вилок с 1880 по 2004 г. средний годовой водный сток реки уменьшился на 20 %. Обе тенденции наблюдаются на фоне значительных циклических колебаний речного стока [7].

Установлено [8–10], что в течение последних двадцати лет сезонный ход речного стока и атмосферных осадков в Украине претерпел существенные изменения. Равнинная территория характеризуется уменьшением весенней (паводочной) доли стока и увеличением доли меженного стока. В Карпатах изменения водного стока в течение зимних и весенних месяцев незначительны, уменьшаются летние и увеличиваются осенние расходы воды. Весной и осенью почти на всей территории страны наблюдается увеличение количества осадков, а летом и зимой (за исключением Карпат) – уменьшение.

Приведенные выше данные характеризуют только современные особенности формирования водного стока с территории Украины, оцененные по ретроспективным данным и никак не могут быть перенесенными на перспективу, ведь существует слишком много неопределенностей как природного характера (изменение климата), так и социально-экономических изменений.

Определенный ответ относительно будущих изменений водных ресурсов Украины можно получить в работах некоторых отечественных и зарубежных ученых. В частности, в работах А. И. Шерешевского [11], который для исследования водного стока рек бассейна Днепра использовал несколько сценариев изменения климата, построенных на основе расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы GFDL, UKMO, MPI. На основе анализа полученных данных автор делает следующие выводы:

1. Для сценариев, построенных на основе модели GFDL: при повышении концентрации  $\text{CO}_2$  на 20 % годовой сток рек верхней части бассейна снизится на 2–18 %. Сток остальных рек бассейна увеличится на 20–30 %. При повышении концентрации  $\text{CO}_2$  на

30 % произойдет уменьшение годового стока всех водосборов в пределах от 13 до 36 %. В условиях удвоения концентрации  $\text{CO}_2$  сток рек бассейна увеличится вследствие существенного увеличения количества осадков. В зависимости от количества осадков и температуры воздуха, а также их внутригодового распределения, увеличение стока может составлять от 1–2 % до 42–46 %. Сток самой южной реки – Самары – может увеличиться на 24 мм, что относительно его современной величины составляет 11 %.

2. Для сценариев, построенных на основе модели MPI, в условиях увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  на 20 и 30 %, сток рек бассейна уменьшится на 7–50 % (за исключением самой южной его части).

3. Для сценария, построенного на основе модели UKMO для условий удвоения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, в результате существенного повышения количества зимних осадков (от 10–20 % до 30–50 %) следует ожидать увеличения стока по всем бассейнам-индикаторам.

Значительный интерес представляют и исследования Е.Д. Гопченко и Н. С. Лободы [12–15]. Они осуществляли оценку водных ресурсов Украины по трем альтернативным сценариям глобального потепления, рекомендованными II Всемирной климатической конференцией (Женева, 1990 г.). Как считают авторы, увеличение концентраций парниковых газов в атмосфере и последующее глобальное потепление приведут к росту теплоэнергетических ресурсов Украины, способствуя увеличению дефицита влажности воздуха. Характер изменения ресурсов увлажненности неодинаков и определяет особенности изменения водных ресурсов. Увеличение водных ресурсов в условиях глобального потепления не будет. Напротив, по данным двух сценариев, ожидается снижение стока. Развитие глобального потепления по первому сценарию приведет к серьезным последствиям, поскольку только климатическая норма стока в среднем по Украине уменьшится на 25 %. Одновременно со снижением нормы будет наблюдаться усиление его многолетней изменчивости и асимметричности распределения. В результате, уменьшение стока маловодных лет может превысить в южных районах 50 %. Ими также установлено, что при сохранении современного уровня хозяйственного освоения водосборов и изменении климатических характеристик по первому сценарию сток рек на юге будет близким к нулю.

По данным П.Д. Джонса, который построил прогностические карты годового стока и осадков на перспективу до 2080 г., для территории Украины следует ожидать уменьшения годового стока рек на 25–35 мм [16].

По данным Национальной метеорологической службы Великобритании [17] в странах Центральной и Восточной Европы, включая Украину, сток летом уменьшится на 50 %. (Оличев и др., 2002, Экхардт и Ульбрич, 2003). Т. Плютке с соавторами [18] оценивают уменьшение стока в бассейне Западного Буга на период до 2080 г. на 24,5–28 %.

Оценки будущих изменений речного стока на территории Украины, полученные этими исследователями не характеризуются системностью, опираются на различные информационные базы и методические подходы, характеризующие особенности различных регионов Украины. Поэтому неудивительно, что полученные оценки меняются в широком диапазоне (от -50 % до + 30 %) и не создают серьезной научно-методической базы для менеджмента водных ресурсов и проведения адаптационных мероприятий к климатическим изменениям (рис. 1).

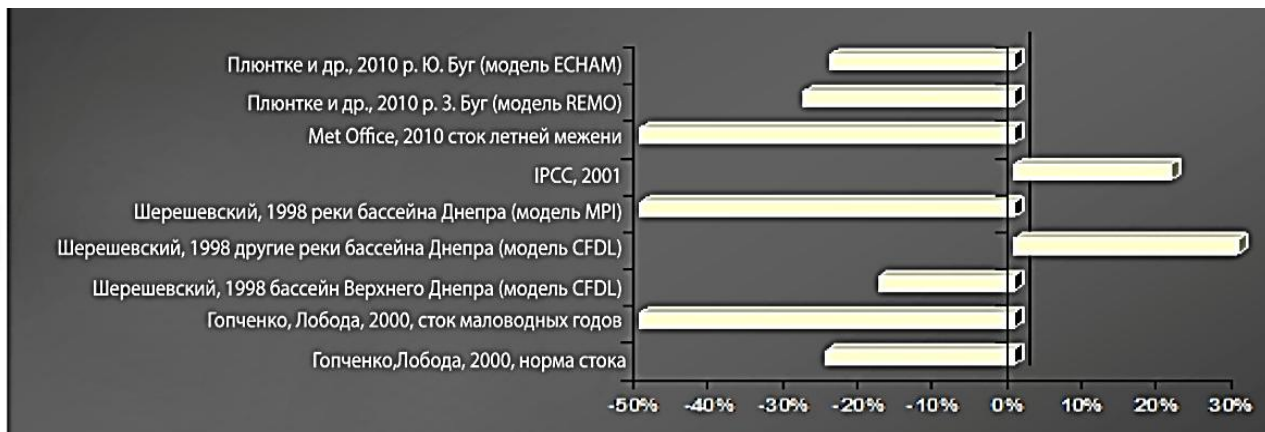


Рис. 1. Сопоставление оценок возможных изменений водного стока на территории Украины в XXI веке.

Именно поэтому для получения современных и достоверных оценок, которые опираются на результаты тщательно проведенного моделирования климата и были выполнены данные исследования.

**Материалы и методика исследования.** С целью диагностики влияния климатических изменений на состояние водных ресурсов нами было выбрано 18 малых и средних рек Украины, которые являются репрезентативными для различных природных зон Украины.

При их отборе использовались следующие критерии:

- водоемы рек должны быть размещены в пределах территории с однородными условиями формирования климата (природная зона, физико-географическая область); трансзональные реки, которые пересекают несколько природных зон, не исследовали;

- водные объекты должны иметь естественный или близкий к природному гидрологический режим; реки с зарегулированным стоком и с высокой степенью хозяйственного использования не подлежали исследованию;

- ряды наблюдений, выбранных водных объектов, должны характеризовать максимально длительный временной период, который бы включал как минимум данные за период 1961–1990 гг., который рекомендован ВМО в качестве базового климатического периода для расчета климатических норм и сравнение их с нормами следующих климатических периодов; при наличии длинных рядов наблюдений рекомендуется использовать их в полном объеме;

- количество пропусков в гидрометеорологических данных должна быть минимальной (на большей части метеорологических станций и гидрологических постов Украины ряды наблюдений имеют пропуски (следствие гражданской и второй мировой войн и т.д.);

- метеорологические данные должны принадлежать только станциям, не находящимся в зонах влияния городских островов тепла;

- используются только данные по таким станциям, которые не меняли своего географического положения с момента начала наблюдений.

Для оценки воздействия климатических изменений на водный сток речного бассейна было использовано метод водного баланса, который уже более века относится к основным методам исследований гидрологической науки. А начиная со второй половины XX в., он довольно успешно используется для решения задач, связанных с оценкой воздействия климата на водные ресурсы, как отдельных речных бассейнов, так и целых регионов, стран и континентов [19–21].

Общим во всех методах водного баланса является расчет массового водного баланса речного бассейна. Эта методика достаточно подробно описана в многочисленных научных публикациях.

Например, Dooge [22] предложил фундаментальную теорему для теории гидрологии, которая является частичной формой уравнения непрерывности.

Когда рассматривается водный баланс большого бассейна или региона за многолетний период, то принимается условие, что изменение водного баланса равен нулю.

$$P_A = E_{tA} + Q_A,$$

где  $P_A$  – средняя годовая сумма осадков,  $E_{tA}$  – средняя величина испарения,  $Q_A$  – средняя годовая величина водного стока.

Dooge [22] указывает, что любые оценки воздействия климатических изменений на водные ресурсы зависят от способности связать изменения в реальных величинах испарения с прогнозируемыми изменениями осадков и потенциального испарения.

Успешным примером применения метода водно-теплового баланса, по нашему мнению, является работа Е.Д. Гопченко и Н.С. Лободы [15], в которой было реализовано уравнение водно-теплового баланса В.С. Мезенцева и др. [23] для решения задачи оценки природных водных ресурсов Украины. Используя этот метод, авторы также выполнили оценку возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления [12].

В данной работе использована водно-балансовая модель L. Turc [24], которая была успешно применена польским гидрологом Z. Kaczmarek [25] для оценки изменений водных ресурсов планеты при подготовке III доклада Межправительственной группы экспертов по вопросам изменения климата.

Данная методика является достаточно чувствительной для изменений осадков и температуры [26] и позволила получить вполне удовлетворительные результаты прогноза для бассейнов рек Европы [25].

Упомянутая расчетная водно-балансовая модель рассчитана на использование средних годовых данных была предложена французским гидрологом L. Turc в 1954 г. [27], которому впервые удалось установить четкое соотношение между осадками, температурой и стоком. Она получила широкое распространение для прогноза возможных изменений водных ресурсов во второй половине XX в. в связи с возникновением новой научной задачи – оценки будущих запасов водных ресурсов в случае изменения климата вызванных глобальным потеплением.

Удобство ее использования объясняется тем, что все современные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) имеют целью расчет основных параметров будущего климата планеты в зависимости от того или иного сценария развития общества, а именно, температуры и осадков. То есть именно тех параметров, которые используются в модели L. Turc как входные параметры.

Исходя из результатов апробации данной модели на речных бассейнах различных природных зон и сравнение их с результатами U. S. CountryStudiesProgram [19], которые оценивают изменения водных ресурсов в более чем 40 странах мира [28], можно рекомендовать ее как основную модель для прогнозирования изменений водных ресурсов под влиянием климата и в условиях Украины.

Для расчета входных параметров водно-балансовой модели нами были использованы опубликованные результаты прогнозирования температуры воздуха и количества осадков в XX в., которые были рассчитаны учеными из Украинского гидрометеорологического института и кафедры метеорологии и климатологии Киевского национального университета имени Тараса Шевченко с использованием региональной модели REMO (Институт метеорологии Макса-Планка, г. Гамбург, Германия) и данных мирового климатического центра CRU [29–31]. Учен сценарий глобального развития A1B.

Значение климатических параметров рассчитывалось в каждом узле прямоугольной координатной сетки с шагом  $0,25^\circ$  по широте и долготе, которой условно была покрыта территория Украины (всего 1183 узлов). Прогнозные расчеты велись с временным шагом в

20 лет. Таким образом, прогнозные значения температуры воздуха и количества осадков для 20-летних периодов XXI в.: 2001–2020 гг., 2021–2040 гг., 2041–2060 гг., 2061–2080 гг. и были использованы нами в расчетах.

**Основные результаты исследований.** Результаты расчетов по водно-балансовой модели позволили получить прогнозные величины характеристик водных ресурсов местного стока в виде слоя годового стока. В табл. 1 приведены характеристики стока как для средних по водности лет, так и для маловодных и многоводных лет.

Таблица 1. Результаты прогноза водного стока репрезентативных рек Украины в XXI в. (Слой стока – мм).

		2001–2020	2021–2040	2041–2060	2061–2080
Лугань– Луганск	Среднее	121,6	107,4	127	87,5
	Min	107,9	93,2	117,5	74,2
	Max	130,3	132,3	140,7	97,7
Буг – Каменка Бугская	Среднее	247,2	236,8	233,1	221,5
	Min	228	213,9	221,4	204,9
	Max	260,7	254,1	245,6	236,7
Уж – Ужгород	Среднее	465,5	458,4	441,1	440,8
	Min	448,5	438	426,8	422,5
	Max	480,4	481,2	458,3	459,6
Тиса – Вилоч	Среднее	730,9	706,6	652,4	657,6
	Min	699,9	670,2	643,1	624,5
	Max	757,7	748	699,3	692,6
Рось– Корсунь-Шевченковский	Среднее	68,8	51,4	55,2	37,2
	Min	56,1	32,5	36,2	27,4
	Max	91,9	75,5	90,5	47,5
Случ– Сарны	Среднее	141,5	135,5	117,2	112,3
	Min	128,8	117,1	105,3	95,1
	Max	159,6	156,9	138,1	128,5
Стыр– Луцк	Среднее	135,5	117,3	102,5	77,8
	Min	111,3	94,7	90,6	59,1
	Max	148	138,5	120,2	95,4
Северский Донец – Изюм	Среднее	102,1	91,2	94,7	47,6
	Min	96,6	63,1	75,3	18,9
	Max	117,6	110,5	107,9	80,7
Сула– Лубны	Среднее	77,6	79,4	55,1	5,1
	Min	53,6	50,6	28,5	0
	Max	98,3	92,7	90	37,6
Стрый – Верхнее Синевидное	Среднее	618,2	609,4	611,7	602,3
	Min	584,1	566,9	589,3	571,3
	Max	643	640,2	634	631,4
Дерекойка – Ялта	Среднее	481,6	459	450,6	443,6
	Min	457,1	437,4	415,2	406,8
	Max	516,7	478,3	491,5	487,4
Тетерев – Житомир	Среднее	100,9	96	74,5	68,6
	Min	88,5	63,9	58,6	47,9
	Max	124,4	124,2	90,5	85,8
Ворскла–Кобеляки	Среднее	95	96,2	82,8	63,1
	Min	80,9	78,1	67,1	48,4
	Max	105,1	106,8	100,1	80,5
Прут – Черновцы	Среднее	302,9	302,2	290,1	282,2
	Min	287,2	292,8	274,5	263,2
	Max	316,9	318,9	302,1	301,3
Кальмиус– Саргана	Среднее	124,4	111,3	101,8	84,3
	Min	115,3	91,8	85,1	69,4
	Max	133,2	138,2	129,3	122,6
Ю. Буг – Александровка	Среднее	62,5	44	21,4	18,7
	Min	39,3	19	0	0,6
	Max	82,2	62,2	44,1	43,3

Самара – Кочережки	Среднее	44,6	0,3	0	0
	Min	32,1	0	0	0
	Max	52,1	20,5	13,5	3,1
Десна – Чернигов	Среднее	138	151,5	131,8	85,5
	Min	121,6	132,2	109,7	65,4
	Max	160,1	162,5	162,8	114,8
Днестр – Залещики	Среднее	320,1	300,5	277,8	267,1
	Min	297,7	274,1	258,3	242,4
	Max	336,1	323,5	297	284,9

Анализ данных предыдущей таблицы и их сравнение со средней многолетней нормой стока позволяет оценить ожидаемые изменения водного стока в средние по водности годы в различные прогнозные периоды (рис. 2).

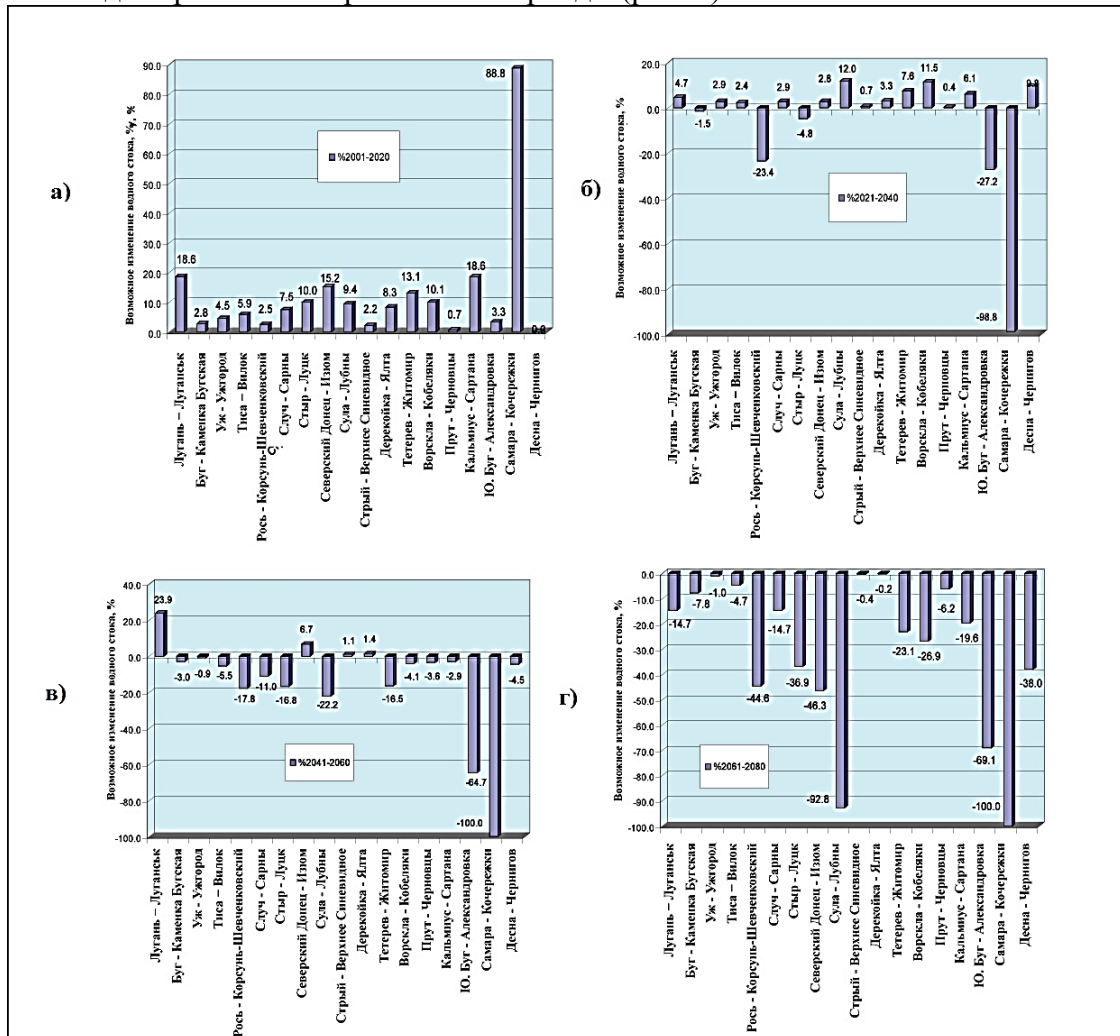


Рис. 2. Ожидаемое изменение водного стока рек Украины(%) по отношению к их многолетним нормам стока в разные прогнозные периоды (а) 2001–2020 гг., б) 2021–2040 гг.в) 2041–2060 гг. г) 2061–2080 гг.).

На следующем рис. 3 показано отклонение прогнозируемых значений водного стока от их средних многолетних норм в разные временные периоды. Этот рисунок дает возможность наглядно оценить временную динамику ожидаемых изменений водного стока (%) для различных водных объектов на территории Украины.

Анализ полученных результатов показывает, что в период до 2020 г. водность



практически всех исследуемых рек будет выше их средних многолетних норм. Так же, в период с 2021 по 2040 г. водность большинства рек все еще будет выше средней. Для горных рек Карпат и Крыма (р. Дерекойка) она не испытает существенных изменений. Для некоторых рек ожидается уменьшения стока (р. Южный Буг, р. Рось), а р. Самара начнет превращаться в бессточную водную систему.

В последующий период (2041–2060 гг.) водность большинства рассмотренных рек прогнозируется меньше базовой. Исключение составляют лишь реки востока страны (Лугань и Северский Донец). Водность горных рек останется близкой к норме. Значительное уменьшение стока ожидает Южный Буг, а для Самары возможно полное прекращение стока.

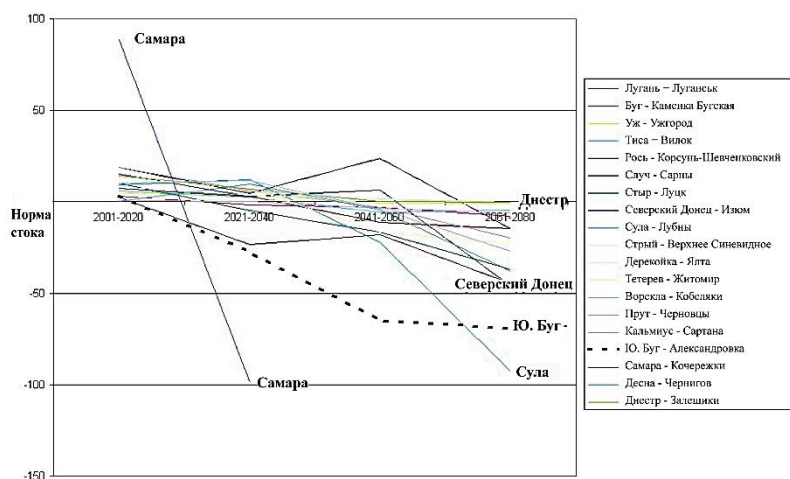


Рис. 3. Временная динамика ожидаемых изменений водного стока (%) для различных водных объектов на территории Украины.

В течение 2061–2080 гг. расходы воды почти всех исследованных рек будут меньше нормы стока, а для большинства – существенно меньше. Близкой к нулю станет водность р. Сулы. Несущественным уменьшение стока будет только для Карпатского региона и горного Крыма.

Таким образом, в течение нынешнего века для подавляющего количества административных областей Украины, кроме Закарпатской, будет наблюдаться уменьшение поверхностного водного стока, что связано с потеплением (увеличение приземных температур воздуха, увеличение испаряемости) и уменьшением количества атмосферных осадков.

Несмотря на такую доминирующую тенденцию развития водного стока, в Закарпатской, Ивано-Франковской, Тернопольской, Львовской, Волынской, Ровенской, Черновицкой и Сумской областях сток не будет прекращаться даже в маловодные засушливые годы.

Реализация этих тенденций в будущем может привести к двум основным проблемам в управлении водными ресурсами: повышению водного стресса в пределах равнинной территории страны (степная и лесостепная зона) и увеличению риска паводков на горных реках западного региона страны.

There was made the assessment of possible water runoff changes on the territory of Ukraine in the XXI century. The bases of the calculations using the water-balance model are the results of prediction of climate change in Ukraine using the regional model REMO. There are two major trends in the development of water resources, for which there is need to develop measures to adapt water management in Ukraine: the tendency to reduce water runoff from the flat part of Ukraine and the stabilization of the water flow of the mountain rivers of the Carpathian region. Received forecast calculations and the conclusions made are recommended as the scientific foundations of planning and development activities adaptation of Water Resources of Ukraine to possible climate changes.

**Key words:** *water resources, river runoff, climate change.*

### Список литературы

1. GLOWA – GlobalWandel des Wasserkreislaufes / GLOWA – Global Change and the Hydrological Cycle. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). 2005. – 44 p.
2. Перга Т. Международные водные конфликты – новая угроза стабильному развитию // Внешние дела. – 2011. – №4. – С. 34–38.
3. Изменение климата: Обобщенный доклад. – М., 2001. – 673 с.
4. Kuprikov I., Snizhko S. Climate change and river runoff in Ukraine // XXIII Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Belgrade, 2006.
5. Куприков И.В. Многолетние тенденции изменения климата и водного стока в Украине // Общие и прикладные вопросы эрозионных и русловых процессов. – М.: МГУ, 2006. – С. 147–151.
6. Куприков И.В., Снежко С.И. Современные тенденции изменения гидроклиматических характеристик на территории Украины // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «География». – 2011. – Том 24 (63) №2 часть 3. – С. 73–78.
7. Снежко С.И., Куприков И.В. Многолетняя изменчивость стока основных рек бассейна Черного моря // Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. – 2001. – Т. 2. – С. 373–378.
8. Куприков И., Снежко С. Влияние климата на внутригодовой ход речного стока и атмосферных осадков в Украине // Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. География. – 2009. – Вып. 56. – С. 25–28.
9. Куприков И.В. Динамика многолетнего и сезонного хода осадков и речного стока в Украине // Сборник научных трудов Военного института Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. – 2009. – Вып. 24. – С. 303–307.
10. Куприков И.В. Изменение внутригодового хода осадков и речного стока в Украине // Общие и прикладные вопросы эрозионных и русловых процессов. – М.: Географический факультет МГУ, 2010. – С. 161 – 166.
11. Украина и глобальный парниковый эффект: уязвимость и адаптация экологических и экономических систем к изменению. – К.: Издательство Агентства по рациональному использованию энергии и экологии, 1998. – 210 с.
12. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. – 2000. – т. 36, № 3. – С. 67–78.
13. Лобода Н.С. Применение метода главных компонент к исследованию закономерностей многолетних колебаний годового стока и его климатических факторов // Метеорология, климатология и гидрология. – 1998. – Вып. 38. – С. 112–123.
14. Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Водные ресурсы Украины в связи с климатическими условиями // Украина: географические проблемы устойчивого развития. – К.: БГЛ Горизонты. – 2004. – Т. 3. – С. 144–146.
15. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценивание водных ресурсов Украины методом водно-теплового баланса // Научн. труды УкрНИГМИ. – 2001. – Вып. 249. – С. 106–119.
16. Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D. et al. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100) // Tyndall Centre Working Paper No.55, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia. – Norwich, UK. – 2004.

17. Последствия изменения климата: Украина. Национальная метеорологическая служба Великобритании. Министерство иностранных дел и по делам Содружества. 2010.– 20 с.
18. Pluntke T., Barfus K., Myknovych A., Bernhofer K. Hydrologic Effects Of Climate Change in the Western Bug Basin // International Conference Global And Regional Climate Changes (16–19 November 2010). Proceedings on the CD-ROM. – 7 p.
19. Strzepek K.M., Yates D.N. Climate Change Impact on the Hydrological Resources of Europe: A Simplified Continental Scale Analysis // Climatic Change 36 – 1997. – P. 79–92.
20. Yates D.N., Strzepek K.M. Comparison Of Models For Climate Change Assessment Of River Basin Runoff, IIASA Working Paper WP – P. 94–45.
21. Yates D.N., Strzepek K.M. The Impact Of Potential Evapotranspiration Methodology On The Determination Of River Runoff, IIASA Working Paper WP– P 94–46.
22. Dooge JCI Hydrologic Models And Climate Change // Journal of Geophysical Research.– 1992. –VOL. 97. – № 3. –P. 2677–2686.
23. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.
24. Kaczmarek Z. Water Balance Model For Climate Impact Analysis, ACTA Geophysica Polonica. – 1993. – 41 (4). –P. 1–16.
25. Kaczmarek Z. Water Resource Management/ Contribution Of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge and New York. – 1996. –P. 880.
26. Kaczmarek Z. Sensitivity Of Water Balance To Climate Change and Variability, IIASA Working Paper WP – 91–047. – 1991. –P. 7–8.
27. Turc L. Water Balance Of Soils: Relationship Between Precipitation. Evapotranspiration and Runoff. Annales Agronomiques. – 1954. –Vol. 5. P. 491- 595.
28. Kaczmarek Z. Polish Water Resources Vulnerability Assessment, Report To U. S. Countries Studies Program. – 1995.
29. Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко И.П., Дюкель Г.А., Гнатюк Н.В. Верификация данных мирового климатического центра (CRU) и региональной модели климата (REMO) по прогнозу приземной температуры воздуха за контрольный период 1961–1990 гг. // Научн. труды УкрНИГМИ. – 2008. – Вып. 257. – С. 42–60.
30. Паламарчук Л.В., Краковская С.В., Шедеменко И.П., Дюкель Г.А., Гнатюк Н.В. Верификация данных мирового климатического центра (CRU) и региональной модели климата (REMO) по прогнозу поля осадков в Украине за контрольный период 1961–1990 гг. // Научн. труды УкрНИГМИ. – 2009– Вып. 258. – С. 69–84.
31. Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко И.П., Дюкель Г.А., Гнатюк Н.В. Численный прогноз регионального климата Украины на основе сценариев возможных глобальных климатических изменений в XXI веке (Заключительный отчет). № гос. регистрации 0108U007657. – 2010. –97 с.

#### **Об авторах**

Снежко С. И. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
snzhko@univ.kiev.ua

Куприков И.В. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
snzhko@univ.kiev.ua

Шевченко О.Г. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
snzhko@univ.kiev.ua

Павельчук Е.М. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

snizhko@univ.kiev.ua

Дидовец Ю.С. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
snizhko@univ.kiev.ua