



**ГЛОБАЛЬНЫЕ
И РЕГИОНАЛЬНЫЕ
ИЗМЕНЕНИЯ
КЛИМАТА**

МИНИСТЕРСТВО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
УКРАИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Киев
Ника-Центр
2011

УДК 551.58 + 551.583.2 + 551.581.1
ББК 26.237
Г54

Редакционная коллегия:

акад. НАН Украины Шестопалов В.М., акад. НАН Беларуси Логинов В.Ф., чл.-кор. НАН Украины Осадчий В.И., чл.-кор. НАН Украины Полонский А.Б., д-р геогр. наук Георгиевский В.Ю., д-р физ.-мат. наук Волошук В.М., д-р физ.-мат. наук Мартазинова В.Ф., канд. физ.-мат. наук Баханов В.П., канд. физ.-мат. наук Краковская С.В., канд. геогр. наук Набиванец Ю.Б.

В книге представлены научные статьи по наиболее актуальным вопросам современной климатологии, которые были рассмотрены в ходе работы Международной научной конференции «Глобальные и региональные изменения климата» (16-19 ноября 2010 г., г. Киев, Украина).

В статьях приведена информация о проявлении современных климатических изменений как в отдельных странах и регионах земного шара, так и на глобальном уровне, указываются пути и возможности смягчения последствий таких изменений. Рассмотрены характерные особенности циркуляции атмосферы и синоптических процессов на протяжении XX–XI ст. Приведены результаты моделирования и проекции возможных климатических изменений, а также результаты исследований влияния изменения климата на водные ресурсы и природные экосистемы.

Для широкого круга специалистов, которые интересуются вопросами современного состояния климатической системы, тенденциями изменения климата в будущем и возможностями адаптации экономики и природных экосистем к изменению климата.

Book presents scientific papers devoted to the most actual problems of modern climatology. Results of studies were discussed during International Conference «Global and regional climate changes» (16-19 November 2010, Kyiv, Ukraine).

Information concerning modern global and regional climate changes in different countries, regions and at global scale, adaptation to climate change is reflected in materials presented. Characteristic peculiarities of atmospheric circulation and synoptic processes in the 20th-21st centuries are considered. Results of modeling and projections of future climate change and results of estimation of climate change impact on water resources and natural ecosystems are presented as well.

Book may be interesting for the wide range of experts working in the sphere of modern status of climatic systems, climate projections, developing adaptation strategies of economy and nature ecosystems to climate changes.

У книзі представлені наукові статті з найактуальніших питань сучасної кліматології, які були розглянуті під час Міжнародної наукової конференції «Глобальні та регіональні зміни клімату» (16-19 листопада 2010 р., м. Київ, Україна).

У статтях наведено інформацію щодо прояву сучасних кліматичних змін як в окремих країнах і регіонах земної кулі, так і на глобальному рівні, вказуються шляхи і можливості пом'якшення наслідків таких змін. Розглянуто характерні особливості циркуляції атмосфери та синоптичних процесів у XX–XXI ст. Наведено результати моделювання та проєкції можливих кліматичних змін, а також результати досліджень впливу зміни клімату на водні ресурси та природні екосистеми.

Для широкого кола фахівців, котрі цікавляться питаннями сучасного стану кліматичної системи, тенденціями зміни клімату у майбутньому і можливостями адаптації економіки і природних екосистем до зміни клімату.

Рекомендовано к печати ученым советом Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института 4 июля 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	7
------------------	---

Раздел 1

Климатические изменения и пути смягчения их последствий

Подготовка Национального сообщения Украины по вопросам изменения климата	9
<i>Осадчий В.И., Набиванец Ю.Б., Странадко Н.В., Бабиченко В.Н., Краковская С.В.</i>	
Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база	23
<i>Логинов В.Ф.</i>	
Региональные климатические изменения в Восточной Европе: документальное подтверждение и их связь с глобальными изменениями	38
<i>Гройсман П.Я., Иванов С.В., Паламарчук Ю.О.</i>	
Модель «зелёного» развития Кореи в условиях уменьшения выбросов углерода	57
<i>Парк Ил Су, Хун-Джин Чой</i>	
О развитии Северо-Евразийского климатического центра.....	67
<i>Вильфанд Р.М., Киктёв Д.Б.</i>	
Атлас «Климат и водные ресурсы Украины»	69
<i>Липинский В.Н., Осадчий В.И., Шестопапов В.М., Руденко Л.Г., Дмитренко В.П., Мартазинова В.Ф., Набиванец Ю.Б., Бабиченко В.Н., Кульбида Н.И., <u>Шерешевский А.И.</u></i>	

Раздел 2

Мониторинг изменения климата и стихийных гидрометеорологических явлений. Системы мониторинга

Изменчивость количества случаев «Asian Dust» на протяжении XX столетия над Южной Кореей в результате изменения атмосферной циркуляции над Северным полушарием.....	77
<i>Мартазинова В.Ф., Парк Ил Су</i>	
Характерные особенности синоптических процессов различной вероятности конца XX – начала XXI столетий.....	86
<i>Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К.</i>	
Циркуляция атмосферы как фактор изменчивости регионального климата	96
<i>Морозова С.В.</i>	

Струйные течения нижних уровней над Украиной	102
<i>Ивус Г.П., Савченко Т.С., Семергей-Чумаченко А.Б.</i>	
Колебания продолжительности солнечного сияния в Украине в современных условиях	108
<i>Рыбченко Л.С., Савчук С.В.</i>	
Мониторинг глобальных изменений климата с микроспутника в точке Лагранжа Луны	117
<i>Мороженко А.В., Видьмаченко А.П.</i>	
Динамика атмосферного аэрозоля по измерениям с солнечным фотометром и со спутника над Украиной для исследований изменений климата	122
<i>Данилевский В.А., Милиневский Г.П., Сосонкин М.Г., Грицай А.В., Ивченко В.Н., Бовчалюк А.П., Войтенко В.П., Голуб Ф.</i>	
Многолетние изменения радиационных параметров атмосферы в Москве во второй половине XX – начале XXI века	135
<i>Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловецова О.А.</i>	
Интегрированная информационная система о стихийных метеорологических явлениях и процессах, которые их обуславливают	147
<i>Балабух В.А., Ягодинец С.Н., Лавриненко Е.Н., Сотник Т.Л., Талерко Н.Д.</i>	
Статистический анализ поля ветра над Восточной Украиной в условиях изменения климата	155
<i>Ивус Г.П., Зубкович С.А., Семергей-Чумаченко А.Б.</i>	
Межгодовая изменчивость интенсивности конвекции в Украине.....	161
<i>Балабух В.А.</i>	
Особенности изменений облачного покрова над территорией Украины.....	174
<i>Заболоцкая Т.Н., Подгурская В.Н., Шпиталь Т.Н.</i>	
Влажность воздуха в условиях современного климата	184
<i>Киптенко Е.Н., Козленко Т.В., Щербань И.М.</i>	
Современное состояние режима осадков на территории Украины как следствие изменения климата.....	198
<i>Барабаш М.Б., Татарчук О.Г., Гребенюк Н.П., Корж Т.В.</i>	
Экстремальная температура воздуха на территории Украины в условиях современного климата.....	207
<i>Бабиченко В.Н., Адаменко Т.И., Бондаренко З.С., Николаева Н.В., Рудишина С.Ф., Гущина Л.М.</i>	
Нелинейное обобщение метода Педея для определения устойчивого перехода средней суточной температуры через заданное значение	222
<i>Скрыник О.А.</i>	

Изменение климатических ресурсов Одесского региона.....	227
<i>Волошина Ж.В.</i>	
Динамика климата и изменение верхней границы леса в Карпатах на протяжении XX столетия	237
<i>Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Савчук С.В., Шандра А.В.</i>	
Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря.....	247
<i>Ильин Ю.П.</i>	
Пространственно-временные изменения климата в арктических регионах России в конце XIX – начале XXI веков.....	255
<i>Шиловецова О.А., Кононова Н.К., Романенко Ф.А.</i>	
О роли атмосферной циркуляции в изменении климата в районе Антарктического полуострова	267
<i>Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е.</i>	

Раздел 3

Моделирование и прогнозирование климатических изменений

Модель земной климатической системы.....	280
<i>Володин Е.М., Галин В.Я., Дианский Н.А., Смышляев С.П.</i>	
Применение и оценка региональной климатической модели для Восточной Европы	289
<i>Павлик Д., Зель Д.</i>	
Региональные изменения климата в Украине в XXI столетии на основе проекций МОЦАО	299
<i>Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Шеддеменко И.П., Дюкель Г.А., Гнатюк Н.В.</i>	
Региональные изменения режима температуры и осадков на Украине в 2011–2025 годах	311
<i>Латыш Л.Г., Хохлов В.Н.</i>	
Применение модели климата HadRM3P к Черноморскому региону	317
<i>Ефимов В.В., Анисимов А.Е.</i>	
Турецкие проливы как важный элемент регулирования климата Черного моря.....	327
<i>Мадерич В.С.</i>	
Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев).....	340
<i>Лобода Н.С.</i>	
Влияние изменений климата на гидрологические параметры в бассейне р. Западный Буг	352
<i>Плюнтке Т., Барфус К., Михнович А., Бернхофер К.</i>	

Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев)

Лобода Н.С.

Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина

Введение

Оценка влияния глобального потепления на состояние водных ресурсов континентов, стран и водосборов рек является важнейшей стратегической задачей водного хозяйства. Изучением происходящих изменений водных ресурсов рек Украины занимаются такие ведущие научно-исследовательские и образовательные учреждения Украины, как АН Украины, Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Киевский Национальный университет имени Тараса Шевченко, Одесский государственный экологический университет и др. Рядом исследователей установлены происшедшие изменения в формировании стока весенних половодий, подземного питания рек, ледового режима.

Наиболее полное обобщение происшедших в Украине изменений основных климатических факторов формирования стока и его основных характеристик представлены в работе В.В. Гребиня (Гребинь, 2010), где приведен сравнительный анализ изменения гидрометеорологических характеристик за периоды до и после 1989 г. для различных ландшафтно-географических зон (ЛГП) Украины. При этом 1989 г. рассматривается как единая для всей территории Украины точка перелома в хронологическом ходе ресурсов тепла и влаги, обусловленная процессами изменений глобального климата. Опираясь на результаты работ многих украинских ученых-гидрологов, можно сделать вывод о существенном влиянии происходящих климатических изменений на водные ресурсы рек. Большое значение в этих условиях приобретает прогноз состояния водных ресурсов в будущем, который осуществляется на основе математического моделирования.

Целью работы является представление модели «климат–сток», разработанной в Одесском государственном экологическом университете под руководством проф. Гопченко Е.Д. и проф. Лободы Н.С., примененной для оценки возможного состояния водных ресурсов Украины в условиях антропогенного влияния (Loboda, 1998; Гопченко, Лобода, 2000). Последнее подразумевает как последствия проведения водохозяйственных преобразований на водосборах, так и глобального потепления.

Методология

Модель «климат–сток» состоит из двух частей, первая из которых выполняет оценку величин стока на основе метеорологических данных, вторая –

оценку бытового (преобразованного хозяйственной деятельностью) стока (Лобода, 2005). Теоретической основой первой части модели является уравнение водно-теплового баланса водосбора (Гопченко, Лобода, 2001). Сток, рассчитанный по уравнению водно-теплового баланса, получил название «климатического». Поскольку интегральной характеристикой стока рек территорий является годовой сток, расчетам статистических параметров этой характеристики было уделено основное внимание. Вторая часть модели базируется на стохастическом подходе к изучению процесса колебаний стока.

Бытовой сток рассматривается как результат взаимодействия естественного стока и водохозяйственных факторов, которые, в свою очередь, содержат как случайные, связанные с колебаниями климата, компоненты, так и неслучайные, связанные с деятельностью человека. Генерирование рядов естественного стока как простой цепи Маркова (Раткович, Болгов, 1997) осуществляется на базе статистических параметров климатического стока. Переход к бытовому стоку выполнялся на основе уравнений водохозяйственных балансов, представленных в вероятностной форме (Лобода, 2007). Имитационное стохастическое моделирование позволило получить функции отклика (функции антропогенного влияния) характеристик естественного стока рек на воздействие водохозяйственных преобразований.

Метод водно-теплового баланса. Результирующее уравнение водно-теплового баланса представлено в модификации В.С. Мезенцева (Мезенцев, 1974). Дифференциальный вид уравнения следующий:

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1. \quad (1)$$

Частное решение уравнения (1) имеет вид

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где n – параметр, интегрирующий условия формирования стока на водосборе, равный 3; $\beta_H = \frac{H}{E_m}$; $\beta_E = \frac{E}{E_m}$; $\beta_Y = \frac{Y}{E_m}$; H – характеризует ресурсы увлажнения и включает в себя осадки и изменение влажности почвы $w_1 - w_2$; ($H = X + w_1 - w_2$); E_m – величина, называемая эквивалентом теплоэнергетических ресурсов климата, которая представляет собой слой воды, который мог бы испариться с поверхности суши, если бы на процесс испарения были затрачены теплоэнергетические ресурсы климата (приходная часть теплового баланса поверхности суши)

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (3)$$

где R^+ – положительная (приходная) часть радиационного баланса; P^+ – положительная (направленная к земной поверхности) составляющая турбулентного теплообмена; $B_1 - B_2$ – изменение запасов тепла в деятельном слое почв (теплообмен в почве); L – скрытое тепло парообразования.

Произведение LE_m рассматривается как граничные ресурсы энергии, которые обеспечивают процесс испарения в заданных климатических условиях.

Результирующее уравнение водно-теплового баланса имеет вид

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (4)$$

или представленное относительно величины стока Y :

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (5)$$

Для многолетнего периода выполняется условие $w_1 - w_2 = 0$, при котором балансовое выражение (5) принимает вид

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (6)$$

где $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ – среднегголетние величины (нормы) годового стока, осадков и теплоэнергетического эквивалента соответственно.

Средняя многолетняя величина годового стока Y , рассчитанная по (6), определяется климатическими факторами – величинами годовых осадков и максимально возможного испарения, и подчиняется закону географической зональности. Поскольку величина Y зависит только от соотношения ресурсов тепла \bar{E}_m и влаги \bar{X} и отражает их взаимодействие, она получила название «нормы климатического стока» и обозначается в дальнейшем как \bar{Y}_K .

При разработке первой части модели «климат–сток» были использованы материалы по составляющим радиационного баланса подстилающей поверхности, сведения о среднемесячных и годовых величинах температур воздуха, дефицита влажности воздуха, осадках, данные о внутригодовом изменении влажности почвы.

Пространственно-временные обобщения, полученные в результате реализации уравнения водно-теплового баланса для территории Украины, представлены в виде карт изолиний норм годовых осадков, максимально возможного испарения, климатического стока. На основе расчетов климатического стока по годам с использованием (5), получена зависимость между коэффициентом вариации и нормой климатического стока, а также выполнено районирование коэффициента асимметрии в виде отношения C_S / C_V (Лобода, 2005). Разработанные карты гидрометеорологических характеристик соответствуют состоянию, наблюдавшемуся до 1980-х годов.

Проверка адекватности первой части модели «климат–сток» выполнялась путем сравнения расчетных и фактических значений параметров годового стока рек в условиях естественного (ненарушенного хозяйственной деятельностью) режима. Установлено, что для рек с устойчивым подземным питанием норма

естественного годового стока тождественна норме климатического стока (Лобода, Гопченко, 2003). Для малых и средних рек разработаны коэффициенты перехода от норм климатического стока к естественному, учитывающие влияние факторов подстилающей поверхности. Точность расчета средней многолетней величины годового стока по модели «климат–сток» находится в пределах $\pm 10,0\%$.

Выполненные пространственно-временные обобщения позволяют рассчитывать характеристики естественного стока как за многолетний период, так и в годы различной водности для рек с отсутствием данных наблюдений или при их значительной искаженности водохозяйственными преобразованиями.

Стохастическая модель бытового стока. Динамика изменений стока в результате антропогенных воздействий может быть представлена следующими уравнениями (Коваленко, 1988):

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + L(\Lambda, Y) = \varepsilon; \quad (7)$$

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y) dt + \int \varepsilon dt, \quad (8)$$

где $Y(t_0)$ – исходное состояние водных ресурсов, соответствующее естественным условиям формирования стока; $Y(t)$ – конечное состояние водных ресурсов, являющееся результатом внутренних (водохозяйственных) и внешних (климатических) воздействий на начальное состояние водосбора, соответствующее бытовому (преобразованному) стоку; $L(\Lambda, Y)$ – оператор преобразования водных ресурсов при наличии водохозяйственной деятельности на водосборе; ε – характеристика внешних воздействий, учитывающая изменение климатических условий (обычно используется при оценке стока под влиянием изменений глобального климата).

Изменения стока при исследовании водохозяйственных преобразований на водосборе могут быть описаны уравнениями водохозяйственного баланса, в котором естественный сток рассматривается как начальное состояние гидрологической системы, а бытовой – как результат водохозяйственных воздействий

$$W_B = W_E - \Delta W_3 + \Delta W_{CB}, \quad (9)$$

где W_B, W_E – объемы бытового и естественного стока; ΔW_3 – безвозвратный забор воды из поверхностных водотоков; ΔW_{CB} – сброс вод в поверхностные водотоки.

Уравнения водохозяйственных балансов содержат составляющие, имеющие стохастическую природу (годовой сток, осадки, испарение, дефицит потребления воды растениями и др.), что позволяет использовать приемы имитационного стохастического моделирования при оценке и прогнозировании характеристик стока (Раткович, 1993). С учетом вероятностной природы водохозяйственных балансов уравнение (8) представлено в виде

$$Y_{Pt} = f(P_t(Y_{ECT})) + Y_{АНТР. | t = P_t}, \quad (10)$$

где Y_{P_t} – расчетное значение гидрологической характеристики проектной обеспеченности P_t ; $f(P_t(Y_{ECT}))$ – расчетное значение гидрологической характеристики в естественных условиях; $Y_{АНТР./t=P_t}$ – значение составляющей стока, обусловленное влиянием хозяйственной деятельности на период времени в будущем, соответствующий P_t -й расчетной обеспеченности.

Стохастическое моделирование бытового стока выполнялось в два этапа. На первом этапе генерировались ряды естественного годового стока продолжительностью в несколько тысяч лет на основе стохастической модели простой цепи Маркова (Болгов, Сарманов, Сарманов, 2009). Использовано моделирование марковских последовательностей стока, базирующееся на линейной корреляции обеспеченностей с последующим переходом к нелинейной корреляции между случайными величинами стока, подчиняющимися трехпараметрическому гамма-распределению (Болгов, Мишон, Сенцова, 2005). Входом в стохастическую модель являются статистические параметры естественного стока, полученные на основе модели «климат–сток». На втором этапе генерируются ряды бытового стока на основе уравнений водохозяйственных балансов, представленных в вероятностной форме (Лобода, 2005):

а) при заборе воды из местного стока на орошение сельскохозяйственных угодий

$$Y_{B,P} = Y_{E,P} - \frac{M_{0,100-P}}{\eta} f_{OP}; \quad (11)$$

б) при наличии на водосборе искусственных водоемов, с водной поверхности которых формируются потери стока на дополнительное испарение

$$Y_{B,P} = Y_{E,P}(1 - f_B) - (E_B - X)f_B; \quad (12)$$

в) при наличии сбросных вод с сельскохозяйственных массивов, орошаемых за счет рек-доноров

$$Y_{B,P} = Y_{E,P} + \xi \frac{M_{0,100-P}}{\eta} (1 - \eta) f_{OP}; \quad (13)$$

г) при осушении болот и заболоченных земель

$$Y_{B,P} = Y_{E,P} + \mu \Delta H_{ГР,P} f_{OC} + (w_E - w_{GC}) \Delta H_{ГР,P} f_{OC}, \quad (14)$$

где $Y_{B,P}, Y_{E,P}$ – бытовой и естественный годовой сток заданной обеспеченности P ; f_{OP}, f_B, f_{OC} – суммарные площади орошаемых массивов, водной поверхности искусственных водоемов, осушаемых земель, выраженные в долях от общей площади водосбора, соответственно; η – коэффициент полезного действия оросительной системы; ξ – коэффициент возвратных вод, образовавшихся за счет потерь стока на инфильтрацию при орошении сельскохозяйственных массивов; X – осадки, выпадающие на водную поверхность прудов и водохра-

нилищ; E_B – испарение с водной поверхности прудов и водохранилищ; $M_{0,100-P}$ – оросительная норма-нетто с вероятностью превышения $100 - P$; μ – коэффициент водоотдачи почв; $\Delta H_{ГР}$ – изменение среднего уровня подземных вод в результате осушения; w_E – объемная влажность торфяной залежи до осушения; w_{OC} – объемная влажность торфяной залежи после осушения.

Каждый шаг имитационного стохастического моделирования выполнялся исходя из гипотезы квазистационарности гидрологического процесса при условии сохранения постоянными масштабов рассматриваемого вида хозяйственной деятельности (относительной площади водной поверхности, площади орошения, характеристик оросительной системы и др.).

Результаты имитационного стохастического моделирования были обобщены в виде графических решений или аналитических функций, которые представляют собой «функции отклика» характеристик годового стока на водохозяйственные преобразования при определенных климатических условиях. Совместное влияние нескольких видов водохозяйственных преобразований может быть учтено с помощью следующего уравнения:

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m - 1)], \quad (15)$$

где m – количество видов хозяйственной деятельности, рассматриваемое в расчетах; k – коэффициент антропогенного влияния, $k = A_f / A_0$; A_0 – значение того или иного статистического параметра годового стока в естественных условиях формирования стока; A_f – значение параметра бытового стока при заданных показателях масштабов водохозяйственных преобразований (Loboda, Phan Van Chinnh, 2004).

Так, аналитический вид «функций отклика» при изъятии воды на орошение за счет местного стока рек следующий (Шахман, Лобода, 2009):

$$k_{\bar{v}} = 1,00 - a_{\bar{v}} \lg(f_{OP} + 1) - b_{\bar{v}} v_0 + m_{\bar{v}} \eta; \quad (16)$$

$$k_{C_v} = 1,00 + a_{C_v} \lg(f_{OP} + 1) + b_{C_v} v_0 - m_{C_v} \eta; \quad (17)$$

$$k_{C_s} = 1,00 + a_{C_s} \lg(f_{OP} + 1) + b_{C_s} v_0 - m_{C_s} \eta, \quad (18)$$

где $k_{\bar{v}}, k_{C_v}, k_{C_s}$ – коэффициенты влияния орошения за счет местных водных ресурсов на среднюю многолетнюю величину стока, коэффициенты вариации и асимметрии; a_A, b_A, m_A – коэффициенты уравнений множественной регрессии, зависящие от климатических условий; v_0 – безразмерная характеристика среднего за весь вегетационный период уровня увлажнения почвы, при котором развитие соответствующей сельскохозяйственной культуры является оптимальным. Аналогичным образом были получены функции отклика для других видов водохозяйственной деятельности.

Адекватность модели бытового стока наблюдаемым данным подтверждена удовлетворительным соответствием рассчитанных характеристик годового стока и полученных по водохозяйственным балансам прошлых лет.

Модель «климат–сток» при оценке изменений водных ресурсов в условиях изменений глобального климата. Основная идея применения модели «климат–сток» для оценки состояния водных ресурсов в условиях глобального потепления состоит в использовании на входе в модель данных климатических сценариев, адаптированных к территориям разных стран. Проверка чувствительности модели «климат–сток» к изменению основных метеорологических характеристик показала, что изменение нормы климатического стока становится статистически значимым при изменении годовых осадков на $\pm 3,5\%$ или при изменении сумм среднемесячных температур воздуха за период май–сентябрь на $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Предусматриваемые сценариями изменения метеорологических характеристик превышают эти границы, что позволяет использовать модель «климат–сток» для прогноза возможных состояний водных ресурсов рек в условиях глобального потепления.

В частности, нами были использованы данные стационарных моделей ВМО (CCCM, GISS, GFDL, UKMO), рассматривающие случай одновременного двукратного повышения концентрации углекислого газа в атмосфере, и нестационарной модели GFDL, рассматривающей динамику повышения концентрации углекислого газа во времени (Solomon, 2007). При этом рассматривались адаптированные к исследуемым регионам прогнозы изменений глобального климата, приведенные в работе украинских ученых (Васильченко, Рапцун, Трофімова, 1998), словацких ученых (Hlavkova, Sgolgay, Cunderlik, Račajka, Larič, 1999). Нестационарная модель GFDL предоставляет данные об изменении климата в пределах десятилетий (2000–2010, 2030–2040, 2070–2080 гг.). Из сценариев выбросов (СДСВ) использован наиболее умеренный A1B, в котором данные приведены для узлов координатной сетки 2° широты $\times 2,5^\circ$ долготы (Nakicenovic et. al., 2000). На основе метеорологической информации, представленной сценариями, оценивался годовой и среднемесячный климатический сток за многолетний период или за отдельные годы (сценарий A1B).

Изменение климатических условий определяет изменения в водопотреблении, а снижение величин стока рек – возможность обеспечения такого водопотребления. Функции отклика водосборов рек как водохозяйственных систем на изменения внешних (климата) и внутренних (водохозяйственные преобразования) воздействий, являющиеся составной частью модели «климат–сток», позволяют оценить возможное состояние водных ресурсов при имеющихся масштабах водохозяйственных преобразований в сценарных климатических условиях, а также разработать рекомендации по оптимизации водохозяйственной деятельности.

В соответствии с рекомендациями ООН, уменьшение средней многолетней величины годового стока на 10% обозначает наличие значимых изменений водных ресурсов; на 50% – их разрушение; а на 70% – невосстановимое разру-

шение. Эта градация использовалась для качественной оценки изменений водных ресурсов Украины.

Полученные результаты и их обсуждение

Согласно расчетам по модели «климат–сток», в случае одновременного удвоения концентрации углекислого газа в атмосфере снижение водных ресурсов в лесной зоне (Полесье) и горной части р. Днестр будет составлять 15% (CCCM, GISS) и 24%(GFDL, UKMO), в Западно-Украинской и Днестровско-Донецкой лесостепных провинциях – 23–30%, степной – 23–50%. Таким образом, в близком к состоянию разрушения водных ресурсов будет подвергнута в первую очередь степная зона Украины (табл. 1).

При использовании в расчетах годового стока данных нестационарной модели GFDL на 2000–2010 гг. установлено, что в лесной зоне верхней части р. Днепр будет происходить увеличение водных ресурсов до 24%, в лесостепной до 3–6%, степной – 22–24%. В зоне Украинских Карпат статистически значимых изменений величин годового стока наблюдаться не будет.

Полученные результаты соответствуют имеющимся данным наблюдений. Так, в работе В.В. Гребиня (Гребинь, 2010) представлен сравнительный анализ изменений годового стока за периоды до и после 1989 г. Отмечается, что за период с 1989 по 2008 гг. произошло увеличение стока в Тисо-Латорицкой ЛГП до 9%, Бужско-Днестровской до 5%, Деснянской и Днестровско-Донецкой до 1%, при этом на правобережных притоках Припяти и в бассейне р. Десна установлено увеличение стока на 3–14%. В расчетах для степной зоны показано, что в среднем уменьшение годового стока за 1989–2008 гг. составляет 8%, при этом на отдельных реках северо-западного Причерноморья его снижение достигает 30–40%.

Таблица 1. Изменения водных ресурсов степной зоны водосбора р. Днепр в соответствии с данными сценариев глобальных изменений климата

Сценарии	\bar{E}_m , мм	\bar{X} , мм	\bar{Y}_K , мм	Изменения водных ресурсов по отношению к исходному состоянию, %
0 (исходное состояние)	950	500	22	-
CCCM	1203	490	11	-50,0
GISS	1203	490	11	-50,0
GFDL	1234	565	17	-22,7
UKMO	1236	520	12	-45,5
GFDL Нестационарная модель (2000-2010 гг.)	1086	515	17	-22,7
GFDL Нестационарная модель (2030-2040 гг.)	1246	530	13	-40,9
GLFD Нестационарная модель (2070-2080 гг.)	1655	565	7	-68,2

По результатам оценки гидрологического состояния малых и средних рек Одесской области, в 2010 г. было установлено, что из 1190 водоемов на этих реках пересохло 344 и в 182 водоемах уровень воды находится ниже горизонта мертвого объема. Материалы обследования рек степной зоны свидетельствуют об уменьшении водности и глубины малых рек, заилении и эвтрофикации их русел. Таким образом, результаты оценки водных ресурсов Украины на основе модели «климат–сток» с использованием прогнозов изменений метеорологических характеристик нестационарной модели GFDL на 2000–2010 гг. подтверждаются их фактическим изменением.

В десятилетие 2030–2040 гг., в соответствии с данными нестационарной модели GFDL, в лесной зоне уменьшение водных ресурсов может достигать 30%, а в зоне степи – 40%. К 2070–2080 гг. в степной зоне произойдет разрушение имеющихся водных ресурсов.

Водохозяйственные мероприятия в виде создания искусственных водоемов, заборов воды на орошение, водопотребление усиливают негативные последствия глобального потепления в виде снижения средних многолетних величин стока, усиления неравномерности его распределения по годам. На основе расчетов бытового стока по модели «климат–сток» показано, что для больших рек, протекающих через несколько географических зон, влияние водохозяйственных преобразований способствует снижению среднемноголетнего годового стока на 5–6% (Лобода, Тучковенко, 2010). Однако для степной зоны, где количество и объемы водопользования резко возрастают по сравнению с лесной и лесостепной зоной, воздействие водохозяйственных мероприятий в сочетании с глобальным потеплением принимает решающий характер. Наличие в пределах водосборов искусственных водоемов с относительной площадью водной поверхности равной 1% способно уменьшить водные ресурсы за счет дополнительного испарения с водной поверхности на 10–15%. Так, прогнозируемое снижение стока в климатических условиях сценария GFDL на 2030–2040 гг. в степной зоне благодаря влиянию искусственных водоемов вырастает от 40 до 54%, а в десятилетие 2070–2080 – от 68% до 77% (табл. 2). При этом снижение среднемноголетнего стока на 20–30% сопровождается практически полным его уничтожением в маловодные годы.

При использовании сценария A1B (как наиболее умеренного из сценариев выбросов СДСВ) в расчетах климатического стока получено, что наиболее неблагоприятное сочетание ресурсов тепла и влаги (β_H), резко отличающее от среднемноголетней величины, будет наблюдаться в степной и лесостепной зонах уже в 2012, а в лесной – в 2020 г. Этим же сценарием предусматривается рост ресурсов увлажнения для Западной Украины и их снижение для Восточной (Левобережной) Украины.

Таблица 2. Изменение водных ресурсов степной зоны водосбора р. Днепр в соответствии с данными сценариев глобальных изменений климата при $f_B = 1\%$

Сценарий	Норма климатического стока, мм	Коэффициент антропогенного влияния $K_{\bar{y}}$	Норма бытового стока, мм	Изменение водных ресурсов по отношению к исходному состоянию, %
0 (исходное состояние)	22	0,84	19	-13,6
CCCM	11	0,80	8	-64,0
GISS	11	0,80	8	-64,0
GFDL	17	0,83	14	-36,0
UKMO	12	0,80	10	-54,0
GFDL Нестационарная модель (2000–2010 гг.)	17	0,83	14	-36,0
GFDL Нестационарная модель (2030–2040 гг.)	13	0,80	10	-54,0
GFDL Нестационарная модель (2070–2080 гг.)	7	0,74	5	-77,0

Выводы

Согласно результатам расчетов по модели «климат–сток», разработанной в ОГЭКУ, годовой сток больших рек Украины (Дунай, Днестр, Южный Буг, Днепр) за период 2000–2010 гг. (нестационарная модель GFDL) практически не изменился, а в некоторых случаях (р. Днепр) даже увеличился. Расчеты климатического годового стока, выполненные по географическим зонам (нестационарная модель GFDL), позволили установить, что при увеличении среднесезонного годового стока в горной и лесной зонах в период 2000–2010 гг. будет происходить статистически значимое его уменьшение в степной зоне, достигая 25–29%. Эти результаты подтверждаются данными наблюдений за стоком в последнее десятилетие, а также исследованиями В.В. Гребиня, выполненные для различных ландшафтно-географических зон Украины. Однако дальнейшее развитие процесса глобального потепления может привести к существенному снижению стока в лесостепной и лесной зонах. Так, на период 2030–2040 гг. снижение водных ресурсов в естественных условиях их формирования для р. Днепр в пределах лесной зоны может достигнуть 29%, р. Днестр – 37%. При этом ожидаемое снижение водных ресурсов степной зоны составит 40–45%. Водохозяйственные преобразования в виде искусственных водоемов, орошаемых земель, заборов воды на водоснабжение усиливают эффект воздействия глобального потепления. Так, прогнозируемое снижение естественных водных ресурсов р. Днестр может достигнуть 37% (нестационарная модель GFDL) в 2030–2040 гг., которое превысит 40% за счет влияния водохозяйственных мероприятий. В степной зоне в этот же период водные ресурсы в

результате взаимодействия глобального потепления и водохозяйственных преобразований достигнут состояния разрушения (снижение водных ресурсов превысит 50%).

Что касается сценариев единовременного потепления в результате удвоения концентрации углекислого газа, то ожидаемое снижение водных ресурсов Украины будет колебаться в пределах 25–30%.

При формировании стратегии развития водного хозяйства Украины основное внимание должно быть уделено сохранению потенциала водных ресурсов больших рек, особенно тех, водосборы которых находятся полностью в пределах Украины (реки Днестр, Южный Буг, Северский Донец). Возрождение старых и строительство новых каналов, водоводов и сети осушительно-оросительных мелиораций должно обеспечить переброску стока из более обводненных территорий в зону степи. Именно зона степи в наибольшей степени реагирует на антропогенную деятельность человека. Для оптимизации работы водохозяйственных сооружений необходимо увеличивать их коэффициент полезного действия путем модернизации. Особое внимание должно быть уделено пересмотру целесообразности работы многих искусственных водоемов, которые в условиях глобального потепления играют роль гигантских испарителей. Необходимыми мероприятиями по обеспечению национальной безопасности Украины является создание современных водоочистительных сооружений.

Список использованной литературы

- Болгов, М.В., Мишон В.М., Сенцова, Н.И. 2005. *Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения*. М.: Наука, 318 с.
- Болгов, М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. 2009. *Марковские процессы в гидрологии*. М.: ИВПРАН, 210 с.
- Васильченко, В.В., Рапцун, М.В., Трофімова, І.В. 1998 (ред..) *Україна та глобальний парниковий ефект. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату*. Т.2. К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології. 206с.
- Гребінь, В.В. 2010. *Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз)*. К.: Ніка-Центр. – 316 с.
- Гопченко, Е.Д., Лобода, Н.С. 2000. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления. *Гидробиологический журнал* т.36, №3: 67-78.
- Гопченко, Е.Д., Лобода, Н.С. 2001. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу. *Наук. Праці УкрНДГМІ* 249:106-120.
- Коваленко, В.В. 1988. *Динамические и стохастические модели гидрологического цикла*. Л.: ЛПИ, 34 с.
- Лобода, Н.С., Гопченко, Е.Д. 2003. Нормування характеристик природного річного стоку України. *Наукові праці УкрНДГМІ* 252: 5-10.
- Лобода, Н.С. 2005. *Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния*. Одесса: Экология, 208 с.
- Лобода, Н.С. 2007. Проблемы гидрологических расчетов в условиях антропогенного воздействия и модель «климат–сток». *Метеорологія, кліматологія та гідрологія* 50, частина друга: 14 – 19.

- Лобода, Н.С., Тучковенко, Ю.С. 2010. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка* 44: 143-145.
- Мезенцев, В.С.(ред.) 1974 *Режими влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края*. М.: Колос, 240 с.
- Раткович, Д.Я. 1993. *Гидрологические основы водообеспечения*. М.: РАН ИВП, 429 с.
- Раткович, Д.Я., Болгов, М.В. 1997. *Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна*. М.: РАН ИВП, 262 с.
- Шахман, І.О., Лобода, Н.С. 2009. Застосування імітаційної стохастичної моделі річного побутового стоку до оцінки стану водних ресурсів Нижнього Подніпров'я в умовах водогосподарської діяльності. *Український гідрометеорологічний журнал* 5: 192-197.
- Hlavkova, K., Sgolgay, J., Cunderlik, J., Parajka, J., Lapin M. 1999. *Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia*. Bratislava: Slovak Committee for hydrology. 101p.
- Loboda, N.S. 1998. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence, in *Proceedings the Second International Conference on Climate and Water*. -Vol.3.-p.1486-1494.
- Loboda, N.S., Phan Van Chinnh, 2004. Statistical modelling and estimating the irrigation and man-made effect on annual runoff and water resources, in: *IAHS Publication in the IAHS Series of Proceedings and Reports* 289. – P.215-218.
- Nakicenovic, N. (ed) 2000. *Special report on Emission Scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climatic Change*. Cambridge University Press, 599p.
- Solomon, S. (ed) 2007. *Climate change 2007: Physical Science Basis*. Cambridge: University Press, 996 p.

Global and regional climate changes / [Shestopalov V.M., Loginov V.F., Osadchiy V.I. et al.]. – K. : Nika-Centre, 2011. – 448 p.

ISBN 978-966-521-606-3

Book presents scientific papers devoted to the most actual problems of modern climatology. Results of studies were discussed during International Conference «Global and regional climate changes» (16-19 November 2010, Kyiv, Ukraine).

Information concerning modern global and regional climate changes in different countries, regions and at global scale, adaptation to climate change is reflected in materials presented. Characteristic peculiarities of atmospheric circulation and synoptic processes in the 20th-21st centuries are considered. Results of modeling and projections of future climate change and results of estimation of climate change impact on water resources and natural ecosystems are presented as well.

Book may be interesting for the wide range of experts working in the sphere of modern status of climatic systems, climate projections, developing adaptation strategies of economy and nature ecosystems to climate changes.

Глобальні та регіональні зміни клімату / [Шестопалов В.М., Логінов В.Ф., Осадчий В.І. та ін.]. – К. : Ніка-Центр, 2011. – 448 с.

ISBN 978-966-521-606-3

У книзі представлені наукові статті з найактуальніших питань сучасної кліматології, які були розглянуті під час Міжнародної наукової конференції «Глобальні та регіональні зміни клімату» (16-19 листопада 2010 р., м. Київ, Україна).

У статтях наведено інформацію щодо прояву сучасних кліматичних змін як в окремих країнах і регіонах земної кулі, так і на глобальному рівні, вказуються шляхи і можливості пом'якшення наслідків таких змін. Розглянуто характерні особливості циркуляції атмосфери та синоптичних процесів у ХХ–ХХІ ст. Наведено результати моделювання та проєкції можливих кліматичних змін, а також результати досліджень впливу зміни клімату на водні ресурси та природні екосистеми.

Для широкого кола фахівців, котрі цікавляться питаннями сучасного стану кліматичної системи, тенденціями зміни клімату у майбутньому і можливостями адаптації економіки і природних екосистем до зміни клімату.

**Глобальные и региональные изменения климата / [Шестопалов В.М.,
Г54 Логинов В.Ф., Осадчий В.И. и др.]. – К. : Ника-Центр, 2011. – 448 с.
ISBN 978-966-521-606-3**

В книге представлены научные статьи по наиболее актуальным вопросам современной климатологии, которые были рассмотрены в ходе работы Международной научной конференции «Глобальные и региональные изменения климата» (16-19 ноября 2010 г., г. Киев, Украина).

В статьях приведена информация о проявлении современных климатических изменений как в отдельных странах и регионах земного шара, так и на глобальном уровне, указываются пути и возможности смягчения последствий таких изменений. Рассмотрены характерные особенности циркуляции атмосферы и синоптических процессов на протяжении XX–XI ст. Приведены результаты моделирования и проекции возможных климатических изменений, а также результаты исследований влияния изменения климата на водные ресурсы и природные экосистемы.

Для широкого круга специалистов, которые интересуются вопросами современного состояния климатической системы, тенденциями изменения климата в будущем и возможностями адаптации экономики и природных экосистем к изменению климата.

**УДК 551.58 + 551.583.2 + 551.581.1
ББК 26.237**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ШЕСТОПАЛОВ В'ячеслав Михайлович,
ЛОГІНОВ Володимир Федорович,
ОСАДЧИЙ Володимир Іванович та ін.

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

(Російською мовою)

Коректори *В. Білаш, М. Бродська*
Оригінал-макет *О. Гашенко*
Обкладинка *Д. Шевчука*

Підписано до друку 11.10.2011. Формат 70x100/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Обл.-вид. арк. 39,38. Умовн. друк. арк. 36,12.
Тираж 200 пр. Зам. №87.

ТОВ «НВП «Ніка-Центр». 01135, Київ-135, а/с 192;
т./ф. (044) 39-011-39; e-mail:psyhea@i.com.ua; psyhea9@gmail.com;
www.nika-centre.kiev.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК №1399 від 18.06.2003

Віддруковано ТОВ «ДІА»
03022, Київ, вул.Васильківська, 45.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК №1149 від 12.12.2002