

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРНЫХ РЕК КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Трансформация метеорологических характеристик при изменении глобального климата учитываются в уравнении водно-теплового баланса водосбора. Закономерности изменения метеорологических элементов и норм стока с высотой положены в основу прогнозирования возможного состояния водных ресурсов Горного Крыма.

Ключевые слова: *глобальное потепление, сценарии, климатический сток.*

Вступление. Неопределённость в изменениях природной среды и климата в современную эпоху является одной из наиболее важных проблем, которые стоят перед гидрометеорологами.

Это обстоятельство зафиксировано в конвенции по изменениям климата, подписанной многими странами и, в частности, Украиной, а также в Декларации, принятой на Всемирном Конгрессе IGBP в 2001 году. Вопросы изменений климата, оказывающих влияние на окружающую среду, в том числе и водные ресурсы, неоднократно обговаривались на многочисленных конференциях и конгрессах, которые проводились по линии ООН, ВМО и других международных организаций, занимающихся исследованиями взаимодействия климата и окружающей среды.

Причины наблюдающегося в последние десятилетия потепления рассматриваются и как результат проявления низкочастотной, естественной изменчивости [7,10], и как результат антропогенных воздействий на окружающую среду, заключающийся в усиливающемся выбросе парниковых газов в атмосферу [5]. Вне зависимости от причин, вызывающих изменения климата, актуальной стала проблема разработки новых методик расчёта характеристик водных ресурсов, позволяющих учитывать изменение характеристик климата при оценке и прогнозах состояния водных ресурсов исследуемых территорий. К настоящему моменту в Одесском государственном экологическом университете под руководством проф. Е.Д. Гопченко и проф. Н.С.Лободы разработана модель «климат-сток», позволяющая оценивать состояние водных ресурсов Украины в зависимости от климатических условий и масштабов водохозяйственных преобразований на водосборах [2,4]. Предложенная модель позволяет выполнять расчёт характеристик годового стока в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях на основе метеорологических данных. На базе этой модели была выполнена оценка возможных состояний водных ресурсов равнинной Украины в соответствии с предполагаемым развитием глобального потепления по трём сценариям ВМО [8].

Целью данной работы является оценка состояния водных ресурсов рек Горного Крыма в условиях глобального потепления на основе реализации модели «климат-сток».

Материалы и методы исследований. Теоретической основой исследований является метод водно-теплового баланса, в модификации, предложенной В.С. Мезенцевым и получивший своё дальнейшее развитие в работах Е.Д. Гопченко и

Н.С.Лободы [3,4,8]. Разработанные методологические подходы оценки естественных водных ресурсов на основе метода водно-теплового баланса открывают возможности для предварительного прогноза возможных изменений водных ресурсов в условиях глобального потепления. Решение проблемы достигается посредством учёта возможных (сценарных) изменений метеорологических характеристик в расчетном уравнении

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

где \bar{Y}'_k - среднегодовая величина (норма) годового стока, рассчитанная по метеорологическим данным или так называемый «климатический» сток;

\bar{E}'_m - среднегодовая величина (норма) максимально возможного испарения в условиях изменений климата (мм);

\bar{X} - исходная норма годовых осадков (мм);

$\Delta\bar{X}$ - возможные изменения норм годовых осадков (мм), приводимые в сценариях ВМО;

n -интегральный показатель, отражающий условия формирования стока на водосборе, для равнинных территорий и низких гор принимается равным 3 [3].

Для определения норм максимально возможного испарения в ОГЭКУ разработана эмпирическая зависимость \bar{E}'_m от сумм температур летнего (май - сентябрь) сезона, представленная эмпирическим уравнением вида [3,9]

$$\bar{E}'_m = 13,3 \frac{\sum_{V}^{IX} T_M}{V} - 307, \quad (2)$$

где $\frac{\sum_{V}^{IX} T_M}{V}$ - сумма норм среднемесячных температур воздуха за летний период (с мая

по сентябрь, включительно). Коэффициент полученного уравнения линейной парной регрессии составляет $0,94 \pm 0,01$. Оценить значения максимально возможного испарения в новых климатических условиях возможно, если известно изменение

температуры воздуха за этот период. Другими словами, сумма $\frac{\sum_{V}^{IX} T_M}{V}$ должна быть

откорректирована в соответствии с прогнозом изменений температуры воздуха в приземном слое $\Delta T_M^{\circ}C$.

Таким образом, для оценки изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления достаточно располагать прогнозом изменений норм годовых осадков и среднемесячных температур воздуха. В работе [2] были использованы результаты прогнозов изменений климатических характеристик (осадков и температур воздуха) по трем альтернативным сценариям изменения климата (табл.1.1), рекомендованным на Второй Всемирной Климатической конференции (Женева, 1990)[9].

Как видно из табл.1.1, в альтернативных сценариях прогноз изменений температур и осадков приведен для конкретных временных интервалов: декабрь-февраль, июнь-

август. В связи с этим для перехода к другим временным интервалам использовались эмпирические связи, полученные по материалам прошлых лет.

Особенность рассматриваемых сценариев состоит в том, что прогнозные данные для северной части Украины, расположенной выше 50 град. северной широты, и для остальной её территории, согласно данным табл.1.1, существенно различаются. Наиболее ярко эта разница проявляется в прогнозах изменений осадков тёплого периода в сценарии 3, где выше 50° с.ш. осадки за июнь - август должны предположительно увеличиться на 25%, а ниже 50° с.ш. - уменьшатся на 31%. Во избежание появления разрыва непрерывности в пространственных распределениях составляющих водно-теплового баланса величины прогнозируемых сценариями поправок и поправочных коэффициентов были вначале отнесены к центрам выделенных в сценариях территорий, а затем интерполировались в зависимости от географических координат метеостанций с использованием интерполяционных методов. Такой подход был использован для оценки состояния водных ресурсов равнинной части Украины [8].

Таблица 1.1- Прогнозные изменения климатических характеристик (осадков и температур воздуха) по трем альтернативным сценариям

Регион	Сценарии	Изменения температур, град., С		Изменения осадков, %	
		декабрь-январь-февраль	июнь-август	декабрь-январь-февраль	июнь-август
Запад бывшего СССР, 50 – 60° с.ш. 30 – 60° в.д.	1	6,8	3,1	30	-1
	2	4,3	5,0	20	15
	3	7,3	4,5	32	25
Южная Европа, 35 – 50° с.ш. 10 – 45° в.д.	1	4,1	4,7	12	-26
	2	4,1	4,7	17	-07
	3	4,7	5,3	-5	-31

Применение такого подхода для горных районов является более сложной задачей, поскольку изменение температур и осадков, приведенных в сценариях, не учитывают вертикальной зональности в изменениях метеорологических элементов. Для перехода от значений метеорологических элементов на равнинной территории к значениям этих же метеорологических элементов на заданной высоте Н нами был использован градиентный метод, т.е. принимались во внимание закономерности распределения метеорологических элементов по высоте для различных районов Горного Крыма, полученные Н.С. Лободой и Нгуен Ле Минем [6]. Согласно этим исследованиям, было выполнено районированием Горного Крыма по характеру распределения норм осадков, максимально возможного испарения и климатического стока с высотой [7]. В пространственном распределении максимально возможного испарения выделены 2 района:

юго-западная часть

$$\bar{E}_m = 1101 - 0,458(H - 100), r = 0.99;$$

остальная часть Горного Крыма

$$\bar{E}_m = 933 - 0.387(H - 100), r = 0.93$$

где H ср. - высота местности.

По характеру пространственного распределения норм годовых осадков на территории Горного Крыма выделены 2 района норм годовых осадков:

западная часть

$$\bar{X} = 627 + 0,569(H - 100), r = 0.94;$$

восточная часть

$$\bar{X} = 484 + 0,481(H - 100), r = 0.93,$$

где H - высота местности.

Результаты исследований и их анализ. Для оценки теплоэнергетических ресурсов Горного Крыма был использован градиент температур воздуха, который на основной части составляет $2,90$ °С на 100 м высоты и $3,45$ °С на 100 м для юго-западного побережья. Среднее значение положительных температур воздуха за период май-сентябрь при высотных отметках, равных нулю, составляет $97,5$ °С и рассматривалось нами как базисное. К базисному значению вводились поправки ΔT_c , отражающие изменение температуры воздуха на равнинной части территории в соответствии с заданным сценарием. Поскольку было рассмотрено три сценария глобального потепления, то было получено три базисных значения $\sum_V^{IX} (\bar{T} + \Delta T_c)$.

Изменения температуры, а, следовательно, и максимально возможного испарения с высотой рассчитывались с учётом вертикального градиента.

Аналогичным образом выполнялась оценка норм годовых осадков в условиях глобального потепления. В качестве опорных («равнинных») были приняты: метеостанция Клепинино для западной части Горного Крыма и Уражайное - для восточных склонов Горного Крыма. Согласно данным сценариев глобального потепления, к осадкам вводились соответствующие поправки ΔX , а последующее изменения этих осадков с высотой учитывалось при помощи градиента норм годовых осадков, который равен $0,57$ мм на 100 м для западных склонов Крымских Гор и $0,48$ мм на 100 м - для восточных. На основе полученных зависимостей $\bar{E}_m = f(H)$ и $\bar{X} = f(H)$ рассчитывались составляющие уравнения водно-теплового баланса за многолетний период и норма годового климатического стока \bar{Y}_k

$$\bar{Y}_k = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}} \quad (3)$$

По результатам выполненных расчетов были построены зависимости норм климатического стока от высоты местности в сценарных условиях (рис.1 и 2).

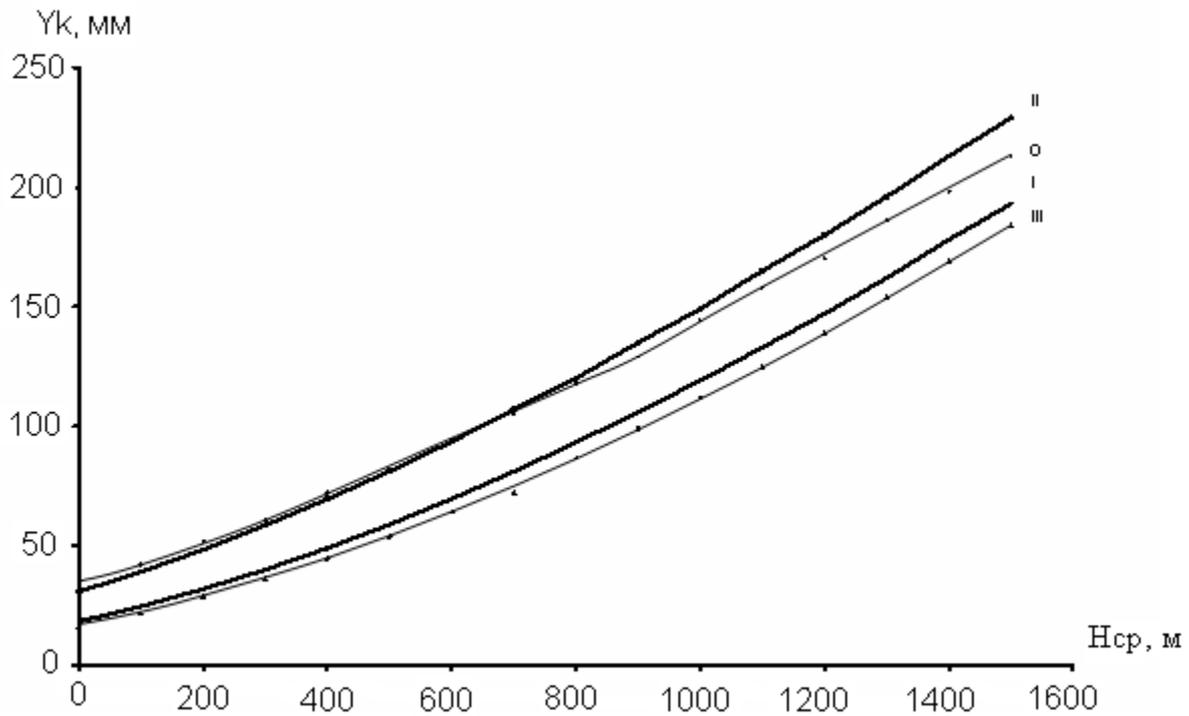


Рис. 1 – Зависимость норм климатического стока от высоты местности для трех сценариев глобального потепления (западная часть горного Крыма)
0 – начальное состояние водных ресурсов;
I, II, III – состояние водных ресурсов для сценариев I, II, III

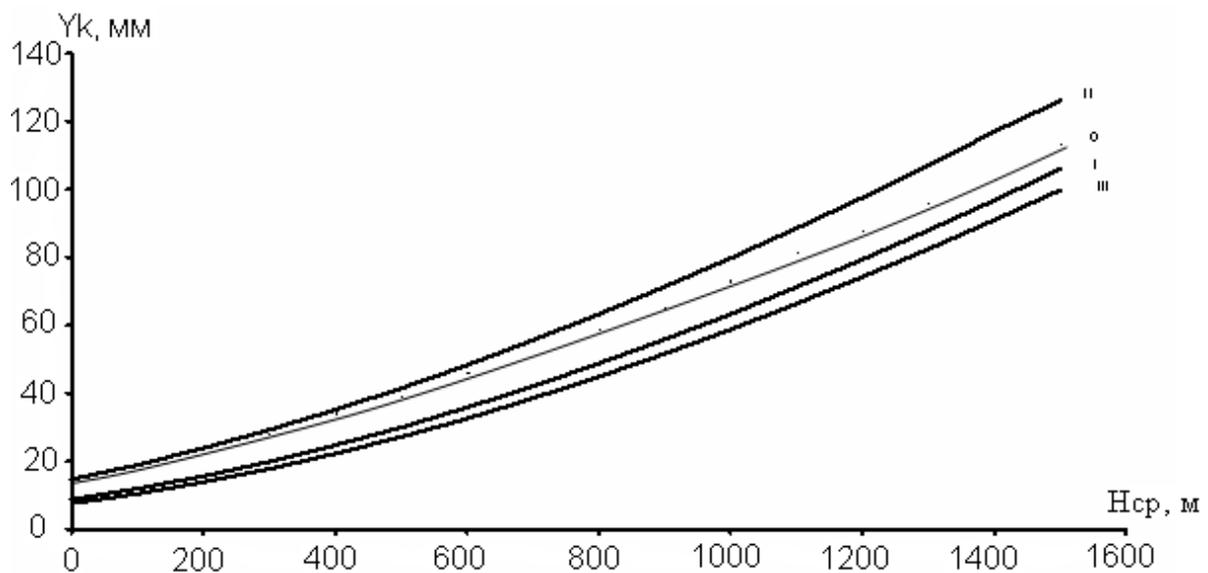


Рис. 2 – Зависимость норм климатического стока от высоты местности для трех сценариев глобального потепления (восточная часть горного Крыма)
0 – начальное состояние водных ресурсов; I, II, III – состояние водных ресурсов для сценариев I, II, III

Анализ возможных изменений климатических факторов формирования годового стока показал, что увеличение теплоэнергетических ресурсов будет наблюдаться при развитии глобального потепления в соответствии со всеми тремя сценариями и составит в среднем 6-7% от исходной величины.

Сопоставление прогнозируемых и фактических изменений метеорологических характеристик за последние годы позволяет сделать вывод, что фактическое развитие глобального потепления происходит по сценарию 2. Именно по этому сценарию наибольшее увеличение годовых осадков ожидается в западной части Горного Крыма (4,5%), а в восточной части Горного Крыма составляет 3,0%. Уменьшение в условиях глобального потепления осадков будет происходить при развитии событий по сценариям 1 и 3 (6-7% для западной части Горного Крыма и 4-5% - для восточной). Что касается норм климатического стока, то согласно сценарию 1, они уменьшатся на 24.2% для западной части Горного Крыма и на 19.7% - для восточной. В сценарии 2 наблюдается увеличение водных ресурсов, но незначительное, которое находится в пределах точности расчета норм стока. Оно составит 1.0 % для западной части Горного Крыма и 6.4% - для восточной части. Согласно сценарию 3, уменьшение норм годового климатического стока достигает 29.8 % и 26,4%, соответственно.

Выводы. Предложенный подход к оценке такой важнейшей характеристики водных ресурсов как норма стока в условиях меняющегося климата может быть использован для горных территорий различных стран и для оценки возможных состояний водных ресурсов в условиях глобального потепления.

Список литературы

1. *Воскресенская Е.* Особенности изменчивости стока европейских рек в связи с глобальными климатическими процессами. В сб. Страны и регионы на пути к устойчивому развитию. – К.: Академперіодика. – 2003. – С. 59-62.
2. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. - Киев: Институт гидробиологии НАН Украины. - т.36, №3. - 2000. - С. 67 - 78.
3. *Гопченко Є.Д., Лобода Н.С.* Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплого балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип.249. – С.106 - 120.
4. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Київ: КНТ. – 2005. – 188 с.
5. *Климат Молдовы в XXI: проекции изменений, воздействий откликов /* Под ред. Р. Коробова. – Кишинэу: S. n. – 2004. – 316 с.
6. *Лобода Н.С., Нгуен Ле Минь.* Оценка норм максимального возможного испарения для территории Крымского полуострова // Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса. - 2001. – Вип. 44. - С. 181 - 186.
7. *Лобода Н.С., Нгуен Ле Минь.* Оценка норм годового стока на основе уравнения водно-теплого баланса для территории Крымского полуострова // Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса. - 2003. – Вип. 47. - С. 202 –208.
8. *Лобода Н.С.* Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса: Екологія, 2005. – 208 с.

9. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // *Climat and Water*.-1998.-Vol.1.-P.1486-1494.
10. Polonsky A., Voskresenskaya E., Basharin D. Coupled Ocean – atmosphere system and its impacts on European climate // In book “Climat in Transition” // Edited by prof. L.C. Nkemderin. – Minuteman Press. –2003. – P.15-28.

Методичні підходи до оцінки впливу глобального потепління на стан водних ресурсів гірських річок Кримського півострова.

Лобода Н.С., Воробйова Л.В., Ільченко К.А.

Трансформування метеорологічних характеристик при зміні глобального клімату враховується в рівнянні водно-теплогового балансу водозборів. Закономірність зміни метеорологічних елементів і норм стоку з висотою покладені в основу прогнозування можливого стану водних ресурсів Гірського Криму.

Ключові слова: глобальне потепління, сценарій, кліматичний стік.

Methodical approaches to estimate influence of the global warming on water resource of mountain rivers of Crimia peninsula. Loboda N.S., Vorobyova L.V., Ichenko K.A.

Transformation of meteorological characteristics under global warming are taken into account in equation of waterheat balance of catchment. The regularities of the meteorological and flow norms change with height prescribed in the base of the forecasting of the possible state water resource Mountain Crimia.

Key words: global warming, scenario, climatic runoff.