

Оценка возможных ИЗМЕНЕНИЙ водных ресурсов Восточно-Европейской равнины в XXI веке

Представлены ожидаемые в XXI в. изменения водных ресурсов на территории Восточно-Европейской равнины в рамках концепции глобального антропогенно обусловленного изменения климата. Обоснована методика расчетной схемы среднего годового стока и его изменчивости по данным об осадках и температуре. Основой прогнозных оценок являются результаты моделирования климата XXI в. по сценарию эмиссии парниковых газов и аэрозолей «А2».

Введение

В качестве меры возобновляемых водных ресурсов обычно используется величина среднего многолетнего стока рек. В работе предпринята попытка оценить изменение речного стока как характеристики водных ресурсов на территории Восточно-Европейской равнины в рамках концепции антропогенного глобального потепления климата.

Глобальное потепление XX-XXI веков – инструментально подтвержденный данными метеорологических наблюдений факт. Возможны два варианта объяснения этого явления: естественные колебания климатической системы либо антропогенные воздействия, связанные с ростом концентрации в атмосфере парниковых газов вследствие техногенных выбросов.

В настоящий момент антропогенно обусловленное потепление – наиболее разработанная научная концепция, на основе которой возможно построение климатического про-

М.В. Сидорова*,
аспирант кафедры
гидрологии суши
географического
факультета
Московского
государственного
университета
им. М.В.Ломоносова

гноза путем проведения численных экспериментов на климатических моделях общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В современных проектах по исследованию возможных изменений климата разработан ряд сценариев выбросов парниковых газов и аэрозолей, и, естественно, описываемые в данной работе изменения вероятны в такой же степени, в какой вероятна реализация выбранного сценария.

Реализация того или иного сценария выбросов, в свою очередь, зависит от сценария развития мира, то есть уровня будущего социально-экономического и демографического развития.

В этой ситуации представляется разумным использовать «оценку сверху», то есть учитывать максимально возможные изменения. Поэтому в данной работе был использован сценарий А2 (по номенклатуре Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – 2001 [1]), представляющий собой один из наиболее жестких вариантов развития антропогенно обусловленного потепления в XXI в.

Воспроизводимость различных гидрометеорологических полей современными климатическими моделями неодинакова и определяется, прежде всего, особенностями самих моделей (исходными уравнениями и их упрощениями, допущениями, методами решения). Лишь небольшой набор модельных полей прошел надежное тестирование,

* Адрес для корреспонденции: iskra_si@mail.ru

как таковое оно выполнено только для температуры воздуха, атмосферного давления и поля геопотенциала [2].

Материалы и методы исследования

Исходя из вышеизложенного, в работе были использованы самые необходимые показатели изменения климатических условий формирования среднесуточного годового стока: годовой суммы осадков P и положительных температур воздуха в виде суммы среднемесячных значений T_0 . По существу, задача сведена к построению расчетной схемы на основе имеющихся данных о современных среднесуточных гидроклиматических показателях: сток y , осадки P , испарение E , испаряемость E_0 , сумма положительных температур T_0 .

В качестве основы для расчета средних многолетних величин годового стока принят метод водного баланса в виде

$$\bar{Y} = \bar{P} - \bar{E},$$

где: $\bar{Y}, \bar{P}, \bar{E}$ – средние многолетние величины (мм) стока, осадков и испарения с поверхности бассейнов. Расчет испарения \bar{E} сведен к оценкам по уравнению связи $\bar{E} = E(P, E_0)$, где E_0 – испаряемость. Испаряемость, в свою очередь, определяется по эмпирической зависимости от суммы положительных температур воздуха T_0 .

Исходными данными для построения схемы расчета среднего многолетнего стока y по осадкам и температуре воздуха $y = f(P, T_0)$, послужили сведения Научно-прикладного справочника по климату СССР [3], Государственного водного кадастра [4] и карт Атласа Мирового водного баланса [5].

Величины T_0 (сумма положительных среднемесячных температур воздуха) обобщены Л.С. Евсеевой [6] в виде карты изолиний масштаба 1:10000000, построенной по данным свыше 400 станций справочника [3]. Испаряемость E_0 оценена по карте Атласа МВБ [4], построенной на той же картографической основе. Данные по осадкам P , испарению E и стоку y взяты из справочника ГВК, дискретность – области и другие соразмерные административные единицы бывшего СССР и речные бассейны.

Зависимость испаряемости E_0 от суммы положительных среднемесячных температур T_0 получена по данным 81 области Европейской территории бывшего СССР и 18 соразмерных им по площади бассейнов рек Восточно-Европейской равнины. Уравнение регрессии:

$$E_0 = 6,72 T_0 \quad (1),$$

при коэффициенте корреляции $r = 0,97$ и среднеквадратической погрешности (остаточное СКО) ± 32 мм.

Для аппроксимации эмпирических зависимостей $E = E(P, E_0)$ использована функция В.С. Мезенцева в виде

$$\frac{E}{E_0} = (1 + J^n)^{-1/n} \quad (2),$$

где: $J = E_0/P$ – «индекс сухости», а n – параметр подгонки. Параметр n получен методом наименьших квадратов, $n = 3,8$.

Окончательная увязка данных P, E, E_0, T_0 произведена по тем же 99 территориальным единицам в виде уравнения регрессии

$$y = 0,96 (P - E_m) + 3 \quad (3).$$

Здесь E_m – «модельное» испарение, т. е. рассчитанное по значениям T_0 , с помощью уравнений (1) и (2). Коэффициент корреляции $r = 0,97$ и остаточное СКО ± 24 мм. По классическому уравнению водного баланса $y = P - E_m$ получается малозначимое среднее систематическое завышение 4 мм за счет северных территорий с величинами стока (y) порядка 150-350 мм. Остаточное среднеквадратическое отклонение (СКО) этого уравнения практически одинаково с (3): $\pm 24,1$ мм, т.е. нет видимых оснований для предпочтения в пользу (3). Кроме того, уравнение $y = P - E_m$ лучше аппроксимирует зависимость y от $(P - E_m)$ в области очень низких значений климатического и гидрометрического стока.

Для оценки изменений нормы годового стока в XXI веке были использованы 3 набора данных:

- реализации 5 моделей IPCC-2001: HadCM3, CSIRO-Mk2, CGCM1, GFDL-R30, ECHAM4 – доступных на сайте распространения информации проектов IPCC.

- синтетическая реализация 11 МОЦАО CMIP3 более позднего выпуска (2004-2005 гг.). Модели были отобраны из всего набора моделей CMIP3 (табл. 1) по критерию наилучшей воспроизводимости осадков и температур, затем создана реализация путем осреднения среднесуточных значений.

- реализации 7 МОЦАО CMIP3 (CCCMA-cgcm3-1, GFDL-cm2-0, GFDL-cm2-1, INM-cm3-0, MRI-cgcm2-3-2a, NCAR-ccsm3-0, NCAR-rcm1). Основанием для выбора этих моделей (из 11 упомянутых выше) послужило то, что именно они наилучшим образом воспроизвели осадки холодного периода и, соответственно, величину водного эквивалента снежного покрова, что важно для рек

Таблица 1

Климатические модели СМIP3, данные которых использованы в работе

Модель	Организация, страна	Разрешение модели в градусах по широте и долготе
CCSM3	Национальный центр атмосферных исследований, США	1.40625×1.40625
CGCM3.1	Канадский центр климатического моделирования и анализа, Канада	1.875×1.875
CNRM-CM3	Национальный центр климатических исследований, Франция	2.8125×2.8125
CSIRO-Mk3.0	Общественно-благотворительная научная и производственно-исследовательская организация Атмосферные исследования, Австралия	1.875×1.875
ECHAM5/ MPI-OM	Институт метеорологии Макса Планка, Германия	1.875×1.875
GFDL-CM2.0	Лаборатория геофизической гидродинамики Национальной администрации исследований атмосферы и океана, США	2.5×2
GFDL-CM2.1	Лаборатория геофизической гидродинамики Национальной администрации исследований атмосферы и океана, США	2.5×2
INM-CM3.0	Институт вычислительной математики РАН, Россия	5×4
MIROC3.2	Центр исследований климатической системы, Япония	2.8125×2.8125
MRI- CGCM2.3.2A	Метеорологический исследовательский институт, Япония	2.8125×2.8125
PCM	Национальный атмосферный центр, США	2.8125×2.8125

с весенним половодьем, которые преобладают на исследуемой территории.

Эти данные представляют собой средние многолетние значения смоделированных климатических характеристик в узлах сетки $2^\circ \times 2^\circ$ для 30-летних периодов: 1961-1990 гг. (базисный), 2040-2069 гг. (условно обозначаемый как «середина» XXI в.) и 2070-2099 гг. («конец» XXI века). Для моделей выпуска 2004-2005 гг. периоды несколько изменены: «середина» XXI века – 2041-2060 гг. и «конец» XXI века – 2081-2100 гг. Для оценки качества данных МОЦАО по их реализациям в узлах сеток построены карты изолиний T_0 и P . По ним определены их средневзвешенные значения для территориальных единиц (области, бассейны, ячейки сетки) и сравнены с аналогичными значениями фактических данных.

Поле T_0 хорошо описывается всеми МОЦАО: коэффициенты корреляции 0,91 – 0,99. Воспроизводство осадков реализациями МОЦАО (2001 г) характеризуется следующими показателями $r = 0,69 - 0,87$ при смещениях от -12 до +15%. Воспроизводимость осадков моделями 2004-2005 гг. несколько хуже, чем моделями IPCC-2001: коэффициенты корреляции от 0,56 до 0,77 (ансамблевая реализация 0,67). В целом, ансамбль завышает осадки в области больших значений и занижает – в области малых значений. Итоговая проверка качества воспроизведения гидрометрического стока по реализациям ансамбля МОЦАО значений $T_{\text{мод}}$ и $P_{\text{мод}}$

через расчетную схему $y = f(T_0, P)$ характеризуется уравнением регрессии

$$y = 0,95y_{\text{мод}} - 13,$$

при коэффициенте корреляции $r = 0,94$, СКО ± 32 мм и среднем отрицательном смещении 6 мм (-4%).

Описанные выше несоответствия модельных и фактических данных для базисного периода могут значительно влиять на результаты прогноза. Для проверки этой гипотезы был проведен анализ скоррелированности модельных величин базисного и прогнозного периодов. Для T_0 коэффициенты корреляции между базисными и прогнозными величинами составляют от 0,993 до 0,999, для P от 0,875 до 0,987

Высокая скоррелированность модельных величин базисного и прогнозного периодов в отдельно взятых ячейках территории ВЕР показывает, что индивидуальные погрешности модельного воспроизведения современного климата в значительной степени дублируются в модельных оценках прогнозного периода. Поэтому при оперировании в прогнозе относительными величинами

$$\Delta T_{0, \text{мод}} = T_{\text{мод}, 2050} - T_{\text{мод}, б}$$

и

$$\Delta P_{0, \text{мод}} = P_{\text{мод}, 2050} - P_{\text{мод}, б}$$

можно частично или полностью устранить упомянутые систематические смещения и минимизировать индивидуальные погрешности. Наиболее просто это сделать для величин

$$T_0 : T_{2050} = T_{0, \text{факт}} + T_{0, \text{мод}}$$

Ключевые слова:

водные ресурсы,
речной сток,
изменения климата,
Модели Общей
Циркуляции
Атмосферы и Океана
(МОЦАО)

