

УДК 556.18.004.14

Канд. техн. наук С.П. Шиварева *
Канд. геогр. наук А. Авезова *

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ HBV ДЛЯ РАСЧЁТА СТОКА Р. ОБА НА ПЕРСПЕКТИВУ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

ПАВОДОК, ГИДРОГРАФ, СТОК, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ

Приводится краткое описание модели HBV, гидрологический очерк реки Оба, предварительные работы для расчёта стока по модели, тестирование модели, моделирование стока на перспективу в связи с изменением климата.

Водный режим. Река Оба (Уба) образуется от слияния рек Черная и Белая Уба, берущих начало с Корганских «белков». Длина реки – 278 км, площадь водосбора – 9850 км². Впадает р. Оба в р. Ертис (Иртыш) на 127 км ниже плотины Усть-Каменогорского водохранилища. Важной фазой гидрологического режима р. Оба, необходимой для оценки водности в весенний период, является вскрытие. Начало ледохода на р. Оба наблюдается в среднем во второй декаде апреля.

Конец половодья на реке наступает в среднем в середине августа. Около 80 % годового стока проходит в апреле – сентябре. Зимний сток имеет почти постоянную величину и составляет 5...9 % от годового.

Сток весеннего половодья р. Оба обеспечивает специализированные попуски по затоплению поймы р. Ертис ниже створа с. Шульба [1].

Краткое описание модели HBV. Модель HBV и программное обеспечение HBV/INMS были разработаны в Шведском гидрометеорологическом институте (Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)). Модель HBV является компьютеризированной моделью водосбора, которая преобразует осадки, потенциальное испарение и тающий снег, если применимо, в речной сток/приток водохранилища с помощью моделирования естественных гидрологических процессов.

Она является частью компьютеризированной системы, предназначенной для гидрологического прогнозирования, моделирования расхода, вычисле-

* РГП «Казгидромет», г. Алматы

ния расчетных паводков и изучения влияния изменения климата, под названием HBV/ИМС (интегрированная система гидрологического моделирования). Специальные варианты модели (HBV-N и PULSE) могут быть использованы для моделирования качества воды, например азота, рН и щелочности [2].

Модель включает ряд процедур, описывающих накопление снега и его таяние, расчет почвенной влаги, учет подземных вод и расчет гидрографа стока.

Стандартная модель HBV рассчитывает сток путем объединения используемого метода, например метода Маскингам – упрощенный метод расчета неустановившегося движения, основанный на совместном использовании уравнения баланса воды на расчетном участке и кривой объемов, выраженной в виде линейной зависимости объема воды на участке (W) от средневзвешенного расхода ($Q_{cp.}$), с дополнительной функцией добегания. Расчет стока при прохождении его через озера осуществляется с помощью расчета уровней. В очень сложных системах водохранилищ в случае регулирования могут быть приняты в расчет стратегии их эксплуатации.

Самые важные параметры оцениваются с помощью процедуры калибровки, для которой обычно требуются синхронные ряды стока и метеорологические данные за три-пять лет.

Если речной сток не измеряется, то в некоторых случаях параметры могут быть оценены на основе известных характеристик бассейна.

Входная информация: суммы осадков, а в случае выпадения снега, также средняя температура воздуха, по используемым временным интервалам, и потенциальная эвапотранспирация.

Программное обеспечение HBV/ИМС может работать с любым из следующих интервалов времени: 24, 12, 6, 4, 3, 2 и 1 час.

Выходная информация: система моделирования обладает обширными средствами графического представления. До осуществления калибровки, моделирования или прогнозирования можно применять различные методы контроля данных. Результаты работы системы в виде распечаток или графиков включают осадки, зарегистрированный или рассчитанный сток, накопленные разности между зарегистрированным и рассчитанным стоком, рассчитанная влажность почвы, накопление снега, таяние снега и испарение, а также статистический анализ результатов.

Основная программа, реализующая модель, написана на языке FORTRAN, в то время как графический интерфейс пользователя (GUI) работает в системе Windows 95/NT. Система используется на персональном компьютере.

Предварительные работы для прогноза. По р. Оба – с. Шемонаиха была собрана база данных с 1960 по 2013 гг. за каждые сутки расходы воды и за весь период наблюдений среднемесячные расходы воды. Также за весь период наблюдений по М Лениногорск и М Усть-Каменогорск получены данные за каждые сутки: осадки, температура воздуха, дефицит влажности воздуха, который был взят за потенциальное испарение.

Был посчитан коэффициент bf – для перевода стоковых величин из $\text{м}^3/\text{с}$ в мм, т.к. программа HBV моделирует сток в мм. Коэффициент bf рассчитывался за базовый период (с 1960 г. по 1990 г.), в течение которого сток принимался условно не нарушенным, и влияние изменения климата на сток было незначительным. Рассчитывались средние расходы воды за декабрь, январь, февраль – за каждый год, потом общее среднее.

В программе ArcGIS была построена цифровая модель рельефа водосбора бассейна р. Оба – с. Шемонаиха (рис. 1) в итоге получена атрибутивная таблица, характеристики которой вводятся в модель HBV.

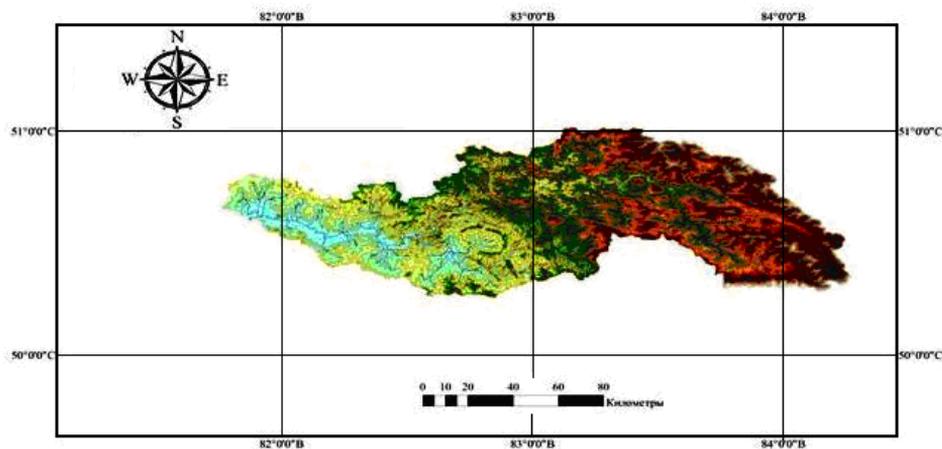


Рис. 1. Цифровая модель рельефа водосбора бассейна р. Оба.

Площадь бассейна была распределена по высотным зонам. В пределах площади водосбора были выделены склоны различных экспозиций: северной, южной, западной и восточной.

Перед прогнозом производилось тестирование модели HBV (табл. 1 и рис. 2).

На рис. 2 показано сопоставление наблюденного и моделированного стока с коэффициентом корреляции, равным 0,97. Высокий коэффициент корреляции свидетельствует о хорошем качестве тестирования. По-

следнее позволило применить модель для расчёта стока на перспективу с учётом изменения климата.

Таблица 1

Расходы воды р. Оба – с. Шемонаиха, м³/с

Месяц	Год							
	1987		1988		1989		1990	
	факт.	прогноз	факт.	прогноз	факт.	прогноз	факт.	прогноз
1	26,1	31,5	58,7	32,9	32,1	31,6	44,8	34,0
2	29,0	31,9	39,6	30,5	25,0	30,4	38,1	30,6
3	30,2	31,1	38	30,4	37,4	74,9	55,7	50,0
4	434	478,1	583	638,0	441	345,0	645	631,7
5	914	856,3	828	1083,3	964	688,2	1140	1043,5
6	321	313,6	315	351,2	320	305,0	258	337,6
7	147	214,7	99,9	186,6	101	122,4	249	255,3
8	58,0	81,6	106	173,0	70,9	65,7	254	264,9
9	162	101,8	94,9	93,5	69,0	59,1	87,8	84,2
10	238	150,2	113	89,0	170	140,1	78,3	50,1
11	111	80,7	99,8	88,6	88	79,5	119	81,0
12	68,3	36,2	36	49,8	64,8	88,3	43,5	69,6
Среднее	212	201	201	237	199	170	251	245

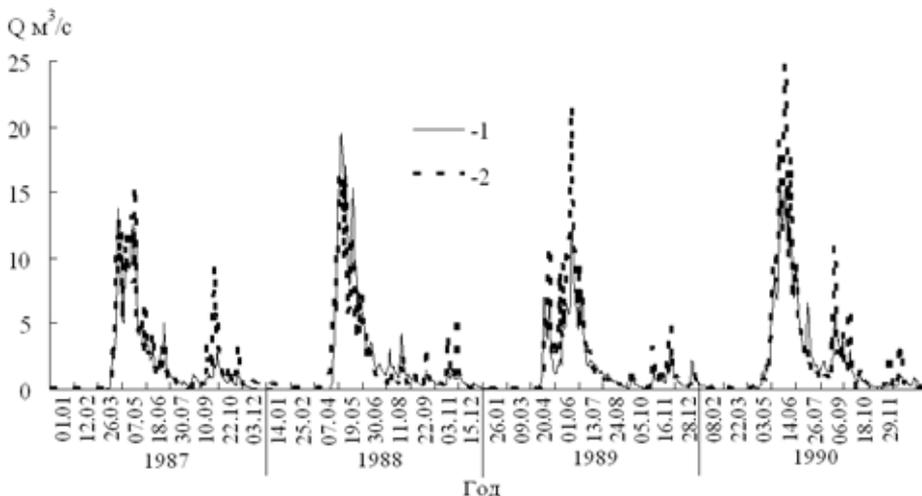


Рис. 2. Гидрограф стока р. Оба – с. Шемонаиха. 1 – смоделированный сток, 2 – наблюдаемый сток.

В настоящее время основным инструментом исследования возможных будущих изменений климата являются трехмерные глобальные численные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), которые занимают высшую ступень в иерархии климатических моделей. В

этих моделях по возможности наиболее полно и точно учитывается все многообразие явлений и процессов, которые и образуют вместе климатическую систему.

Для бассейна р. Оба была создана база мультимодельных данных о возможном будущем изменении климата. Данная мультимодельная база является результатом Пятой фазы проекта Всемирной программы исследований климата (the World Climate Research Programme's, WCRP'S) по сравнению модельных расчетов (Coupled Model Intercomparison Project phase 5, CMIP5) и содержит данные с пространственным разрешением $1,0 \times 1,0$. В базу включены данные 21-ой модели глобального климата, которые были использованы в исследованиях при подготовке отчета IPCC AR5. Период моделирования: 1956...2005 гг., и предполагаемый период для оценки 2006...2100 гг.

По результатам моделирования в соответствии со сценарием РТК 4.5, в бассейне р. Ертис ожидается значительное увеличение годовых и сезонных температур к концу этого века. Средние годовые температуры повысятся на $3,6^\circ\text{C}$. Максимальное увеличение температуры ожидается в зимнее время года на $4,2^\circ\text{C}$. Увеличение годового количества осадков ожидается на $13,1\%$ с наибольшим увеличением в зимний и весенний периоды (на 18%) [3].

Далее, спрогнозированные на перспективу осадки и температура воздуха по М Усть-Каменогорск и М Лениногорск были введены в модель НВУ для расчёта стока р. Оба на перспективу (рис. 3).

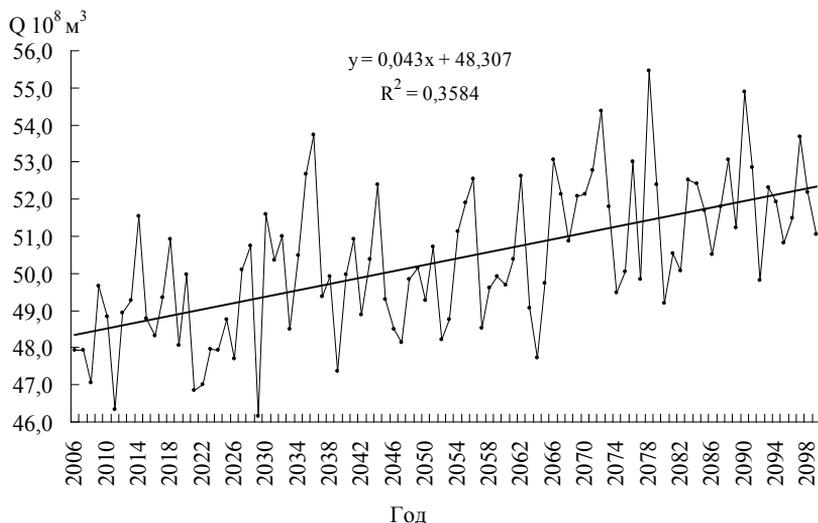


Рис. 3. Годовой ход моделированного стока р. Оба – с. Шемонаиха, 2006...2099 гг.

На рис. 3 представлен тренд рассчитанного стока р. Оба по сравнению со стоком, наблюдаемым в 2006...2010 гг. На перспективу, в связи с изменением климата по р. Оба – с. Шемонаиха ожидается увеличение стока на 11 % относительно стока в 2006 г., это связано с увеличением годовых температур воздуха и количества осадков в рассматриваемом бассейне.

В табл. 2 показаны результаты расчёта стока на перспективу по сравнению с базовым периодом 1956...1995 гг., во время которого сток реки был принят равным естественному состоянию.

Таблица 2

Моделирование изменения стока, 10^8 м^3

Период осреднения									
1956...1995	2006...2020	2021...2030	2031...2040	2041...2050	2051...2060	2061...2070	2071...2080	2081...2090	2091...2099
Наблюдённый сток	Смоделированный сток								
57,3	48,9	48,5	50,3	49,8	50,1	51,0	51,8	51,9	51,8
	Изменение стока относительно 1956...1995 гг.								
-	-8,43	-8,82	-6,96	-7,51	-7,19	-6,31	-5,46	-5,42	-5,50
	Изменение стока относительно 1956...1995 гг., %								
-	-14,5	-15,2	-12,0	-12,9	-12,39	-10,87	-9,40	-9,34	-9,47

Выводы. На перспективу в связи с изменением климата по р. Оба – с. Шемонаиха ожидается увеличение стока на 11 %, если сравнивать результаты расчёта со стоком, измеренным в 2006...2010 гг. (рис. 3), но по сравнению со стоком естественного периода, т.е. базового периода (1956...1995 гг.), приведенного в табл. 2, смоделированный сток имеет тенденцию к понижению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработать метод долгосрочного прогноза притока воды в Шульбинское водохранилище на кварталы и месяцы: Отчет о НИР / КазНИИ Госкомгидромета. – № ГР 81025336; Инв. № 02840034100. – Алма-Ата. 1983. – 90 с. – Отв. исполн. В.В. Голубцов.
2. Концептуальная модель речного бассейна (модель HBV) [Электрон. ресурс]. – 1999. – URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/homs/Components/Russian/j04202.html> (дата обращения: 20.09.2014)
3. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth As-

assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Поступила 1.09.2015

Техн. ғылымд. канд. С.П. Шиварева
Геогр. ғылымд. канд. А. Аvezова

**КЕЛЕШЕКТЕГІ АУА РАЙЫНЫҢ ӨЗГЕРУІН ЕСЕПKE АЛА
ОТЫРЫП ОБА ӨЗЕН, АҒЫНЫҢ ЕСЕПTEУ ҮШІН НВУ ҮЛГІCІН
ҚОЛДАНУ**

*СУ ТАСҚЫНЫ, ГИДРОГРАФ, АҒЫН, АУА-РАЙЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ,
ҮЛГІЛЕУ*

*Келешектегі ауа райының өзгеруіне байланысты ағынды
үлгілеу, үлгіні тестілеу, үлгілеу бойынша ағынды есептеу үшін
алдын ала жұмыстар, Оба өзенінің гидрологиялық очеркі, НВУ
үлгілеудің қысқаша сипаттамасы келтірілген.*