

4. Etuk H.E. Modelling monthly rainfall data of portharcourt, Nigeria by seasonal box-Jenkins method/ H.E. Etuk, U.I. Moffat, E.B. Chims // Int. J. Sci.– 2013. – № 2. – Pp. 60-67.
5. Nury, A.H. Time Series Analysis and Forecasting of Temperatures in the Sylhet Division of Bangladesh/ A.H. Nury, M. Koch, M.J. B. Alam // 4 th Int. Conf. Environ. Asp. Bangladesh. – 2013. – Pp. 24-26.
6. Sarraf, A. Relative Humidity and Mean Monthly Temperature Forecasts in Ahwaz Station with ARIMA Model in time Series Analysis/ A. Sarraf, S.F. Vahdat, A. Behbahaninia // Int. Conf. Environ. Ind. Innov. IPCBEE. – 2011. – Vol. 12. – Pp. 149-153.
7. Chen P. Time Series Forecasting of Temperatures using SARIMA: An Example from Nanjing/ P. Chen, A. Niu, D. Liu, W. Jiang, and B. Ma // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2018. – Vol. 394. – № 5. – Pp. 1-7
8. Бокс, Дж. Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление/ Бокс Дж. Дженкинс Г. – М., 1974. – Вып. 2.
9. Айвазян, С.А. Методы эконометрики/ С.А. Айвазян. – М. : Инфра-М, 2014. – 512 с.
10. Кантарович, Г.Г. Лекции по курсу «Анализ временных рядов»/ Г.Г. Кантарович // Экономический журнал ВШЭ. – 2002. – №№1–4; 2003. – № 1.
11. Информационные технологии в науке и производстве/ И.Г. Шашкова, Ф.А. Мусаев, В.С. Конкина, Е.И. Ягодкина // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 1-1. – С. 68-69.
12. Использование информационных технологий экспертных систем в АПК/ И.Г. Шашкова, В.В. Текучев, Л.В. Черкашина и др. // Сб.: Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : Материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань, 2019. – С. 421-426.

УДК 556.53:504.064.36

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ВОДЫ РЕК БАСЕЙНА ПРИПЯТИ

А.А. Волчек¹

¹*УО БГТУ, г. Брест*

Аннотация. Дана оценка современных изменений климатических и гидрологических характеристик различных видов стока воды рек бассейна Припяти. Представлены прогнозные оценки стока для различных сценариев изменения климата на период до 2035 года.

Ключевые слова: *сток, изменение, оценка, прогноз, водные ресурсы*

Summary. The assessment of modern changes in climatic and hydrological characteristics of various types of water flow in the Pripyatbasin rivers is given. Forecast runoff estimates for various climate change scenarios for the period up to 2035 are presented.

Keywords: *runoff, change, estimation, forecast, water resources*

Припять, главная река Полесья, является средней по Европейским масштабам рекой черноморского бассейна. Длина реки – 761 км, площадь водосбора – 173,7 тыс. км². Общее направление течения реки широтное с запада на восток, что не характерно для рек Восточной Европы. Русло в истоке канализованное, на остальном протяжении извилистое, слабо меандрирующее, разветвленное, изобилует заливами и примыкающими староречьями. Большинство притоков полностью или частично канализовано. Бассейн Припяти является трансграничным. Украинская часть бассейна составляет 57%, а белорусская – 43% площади водосбора. Припять берет начало в районе г. Владимир-Волынский на высоте 165 м над уровнем моря. Около 200 км река протекает по территории Украины, затем почти 500 км –

по Беларуси. Устьевой участок реки длиной 70 км – от с. Красно до впадения в Киевское водохранилище (р. Днепр) находится в пределах Украины [1].

Годовой ход уровней воды рек бассейна Припяти характеризуется сравнительно невысоким и распластанным весенним половодьем, низкой летней меженью, нарушаемой почти ежегодно дождевыми паводками, и более повышенной осенней и зимней меженью за счет дождей и оттепелей, следствием которых являются зимние паводки, в отдельные годы, превышающие весеннее половодье. Среднегодовой расход р. Припять в устье составляет 450 м³/с. Внутригодовое распределение стока характеризуется неравномерностью. Сток весеннего периода составляет в среднем около 61%, летне-осеннего – 23%, зимнего – 16% годового стока. Количественная характеристика модулей стока рек различных обеспеченностей представлена в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Модули стока воды (μ, л/(с·км²)) рек бассейна Припяти различной обеспеченности

Вид стока	Коэффициенты изменчивости	μ _{ср}	μ _{p=1%}	μ _{p=5%}	μ _{p=95%}	μ _{p=99%}
Годовой	0,32	3,85	7,17	5,97	2,22	1,77
Максимальный весеннего половодья	0,89	18,12	73,4	44,3	5,06	3,40
Минимальный летне-осенний	0,51	1,53	4,23	2,98	0,68	0,52
Минимальный зимний	0,76	1,48	5,37	3,31	0,52	0,39

Половодье обычно начинается в первой половине марта, но в отдельные годы может смещаться на февраль или апрель. Среднегодовое продолжительность затопления поймы р. Припять составляет 80–110 дней, а иногда – до 150–180 дней. Ширина весеннего разлива изменяется от 5 до 15 км, наибольшая же в районе г. Пинска достигает 30 км. Глубина затопления преимущественно 0,3–0,8 м, местами 2–2,5 м [2]. Максимальное половодье на Припяти отмечено в 1845 г. и было столь катастрофическим, что его, вероятно, можно отнести к группе предельно возможных в нашу климатическую эпоху. Максимальный расход воды в районе г. Мозыря оценивается в 11000 м³/с и приближенно можно считать повторяющимся не чаще чем один раз в 800 лет. Последнее значительное половодье было в 1999 г. [3]. В таблице 2 приведены расходы воды 10 наиболее значительных половодий на Припяти и их обеспеченности [3, 4].

Таблица 2. – Максимальные расходы воды (Q) весеннего половодья и обеспеченность (P) р. Припять – г. Мозырь

Годы	1 845	1 877	1 895	1 888	1 889	1 940	1 979	1 932	1 970	1 958
Q, м ³ /с	11 000	7 500	5 670	5 100	4 700	4 520	4 310	4 220	4 140	4 010
P, %	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	7,0	7,6

Паводочные подъемы уровней, в отличие от половодий, возникают нерегулярно и по величине максимального расхода и слою стока паводки, как правило, существенно меньше максимумов половодья. Однако дождевые паводки 1952, 1960, 1974, 1993, 1998 гг. на многих водотоках и створах самой Припяти превысили половодье и нанесли значительный ущерб народному хозяйству. Даже локальные паводки на притоках способны вызвать значительные подъемы уровня в нижнем течении Припяти, обусловленные продвижением вниз паводочной волны. Высота паводков в среднем и нижнем течении Припяти достигает 2–3,5 м над предподъемным уровнем [5].

Половодье сменяется летне-осенней меженью, характеризующейся значительной изменчивостью. Летняя межень обычно ниже зимней и почти ежегодно прерывается

дождевыми паводками. Зимняя межень нередко прерывается оттепелями, следствием которых являются зимние паводки, в отдельные годы, превышающие половодье. Условия формирования меженного стока рек в целом можно считать благоприятными, т.к. территория Полесья находится в зоне избыточного увлажнения, а отток подземных вод в речную сеть более или менее длителен и постоянен. Минимальные уровни и сток воды в летний период наблюдаются при высоких среднесуточных температурах воздуха и при продолжительных периодах отсутствия осадков; в зимний период – при низких температурах. В Полесье в засушливые годы (1939, 1951, 1952 гг. и др.) наблюдалось пересыхание водотоков с площадями водосборов свыше 1000 км². Промерзание наблюдается лишь на малых реках и на непродолжительное время. Наиболее маловодный период летне-осенней межени в основном наблюдается в июле – августе, реже – в сентябре. Продолжительность его для малых и средних водотоков составляет до 130 дней, для Припяти – 85–90 дней [6]. Зимняя межень, как правило, устанавливается в конце декабря. Наиболее ранние даты наступления межени приходятся на конец октября – начало ноября, а наиболее поздние – на январь, окончание – с началом весеннего половодья. В бассейне Припяти нулевой сток отмечен на 17 водотоках с площадями водосборов 11–1280 км². Средняя продолжительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 суток, зимой – 75–100 суток. Величины наименьших летних расходов закономерно снижаются по территории Полесья с северо-запада и севера на юг и юго-восток, подчиняясь на больших и средних реках географической зональности. Однако на малых реках обнаруживается внутризональный характер изменений, зависящий от местных гидрогеологических особенностей [6].

Наиболее водообильными являются водоносные горизонты в трещиноватых и закарстованных карбонатно-сульфатных породах верхнего мела и неогена. Выходы меловых вод в виде восходящих источников с дебитом до 200 м³/ч, модуль минимального среднесуточного стока 97% обеспеченности изменяется от 0,07–0,18 л/(с·км²). Те реки, питание которых происходит из водоносных горизонтов аллювиальных и флювиогляциальных отложений, имеют низкие модули минимального стока, и в засушливые годы сток их полностью прекращается на период от 15 до 120 дней. Прекращение стока на этих реках возможно также и во время холодных, без оттепельных зим [7].

Для исследования гидрометеорологического и гидрологического режимов бассейна Припяти отобрано 7 метеорологических станций и 11 гидрологических постов. Выбор конкретных станций и постов обусловлен условиями их наличия в 1961 году и непрерывного последующего функционирования до 2015 года.

По результатам оценок изменения климата за период 1961 – 2015 гг. по бассейну Припяти можно сделать следующие обобщенные выводы [7]:

- произошло повышение температуры воздуха в среднем на 1,1°C, причем наибольшее повышение температуры произошло в зимний период – на 2,0°C, наименьшее – в осенний период с максимальным повышением на 0,3°C;
- количество осадков в среднем уменьшилось максимально на 10%.

Оценка изменения стока выполнена для каждого из гидрологических постов в среднемесячном и в среднегодовом разрезах для периода с 1986 по 2015 год по отношению к периоду с 1961 по 1986 год. Дополнительно выполнена оценка для максимальных расходов половодья и минимальных расходов летне-осенней межени (таблица 3). Итоговые обобщенные результаты по оценке изменения стока за период с 1961 года по 2015 год реки бассейна Припяти представлены в [7].

По результатам оценок изменения стока рек бассейна Припяти за период с 1961 по 2015 год можно сделать следующие обобщенные выводы [7]:

- среднегодовой сток изменился незначительно в сторону его уменьшением на 9%;
- значительное снижение стока половодья на 42% с более ранним наступлением его пика;
- увеличение стока в зимний период на 20%;

- сток в летний период изменился не значительно за весь период с 1961 по 2015 год, однако в последние годы произошло значительное снижение стока, который был даже меньше минимального за весь указанный период.

Сценарии изменения климата для рек бассейна Припяти на период до 2035 года получены с использованием материалов, представленных в Атласе глобальных и региональных климатических прогнозов, являющегося приложением к Пятому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [7]. Для общего прогноза изменения климата и стока до 2035 года используется представленный в Пятом докладе МГЭИК для Европы мультимодельный ансамбль из четырех сценариев – RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6 и картосхемы, разработанные МГЭИК с использованием глобальных климатических моделей и представленные в данном атласе.

Таблица 3 – Изменение характерных расходов воды рек бассейна Припяти за период 1961 – 2015 гг.

Река, гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Относительные значения, %			
		средний	максимальный половодья	минимальный	
				летне-осенней	зимней
Припять – Черничи (Туров)	74 000	-6.77	-18.33	2.27	-1.82
Припять – Мозырь	101 000	-0.63	-29.76	-0.75	2.55
Ясельда – Береза	1 040	1.69	-65.97	98.21	39.35
Ясельда – Сенин	5 110	-12.41	-47.14	20	12.13
Цна – Дятловичи	1 100	6.79	-42.79	16.28	31.74
Горынь – Малые Викоровичи	27 000	-16.74	-45.68	-6.89	3.92
Случь – Ленин	4 480	-16.51	-38.97	-33.03	-5.29
Уборть – Краснобережье	5 260	-10.47	-49.64	8.68	14.62
Птичь – Лучицы	8 770	-13.54	-44.56	-10.74	3.77
Шать – Шацк	208	-13.74	-53.61	-31.91	13.04
Оресса – Андреевка	3 580	-11.67	-26.9	-24.77	-1.09

Для рек бассейна Припяти более подробный прогноз климата с учетом региональной его изменчивости, выявленной по метеорологическим станциям за период с 1961 по 2015 год, разработан с использованием наиболее неблагоприятных (консервативных) сценариев наибольшего повышения температуры и снижения осадков, а также с учетом линейной интерполяции [7]. С учетом использования наиболее консервативных сценариев изменения климата повышение температуры в бассейн Припяти в среднем за год может составить до 1,9°C при максимальном повышении зимой на 2,3°C, летом – на 1,9 °C, весной и осенью – примерно на 1,7°C. При этом годовое количество осадков изменится незначительно (суммарно за год уменьшится на 2%) с увеличением их зимой (в среднем на 7%), максимальным уменьшением летом (в среднем на 10%), в меньшей степени уменьшением весной (на 4%) и незначительном уменьшении осенью (в среднем на 1,6%) [7].

По предложенной в [8, 9, 10] методике выполнены прогнозные оценки изменения речного стока рек бассейна Припяти на период до 2035 года. При этом использовались результаты оценки фактического изменения климата и речного стока за период с 1961 по 2015 год и уточненный прогноз изменения климата на период до 2035 года в данных бассейнах рек с учетом мультимодельного ансамбля из четырех сценариев, рекомендуемого МГЭИК, а также региональной изменчивости климата.

Обобщение результатов прогнозного изменения стока рек бассейна Припять на период до 2035 года приведено в табл. 4 и на картосхемах [7], которые можно представить как:

- снижение среднегодового стока;
- незначительное уменьшение стока в зимний период по большинству рек;

- в весенний период, за редким исключением, вероятно снижение стока;
- в летний период прогнозируется существенное и максимальное из всех периодов года уменьшение стока;

- в осенний период также прогнозируется снижение стока.

Следует отметить, что прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата следует рассматривать как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей исходя из различных факторов, основные из которых, это:

- погрешность выявленных тенденций изменения метеорологических и гидрологических характеристик с учетом оценки статистической значимости этих тенденций;

- неопределенность и неоднозначность сценариев изменения климата;

- неопределенность результатов расчетов с использованием гидрологических моделей для прогнозирования стока, обусловленную как погрешностями самих моделей и их верификации, так и с неопределенностями используемых в них данных и коэффициентов;

- неопределенность прогнозов влияния факторов антропогенной нагрузки на водные ресурсы с учетом изменения климата.

Таблица 4 – Прогноз изменения стока до 2035 г. рек бассейна Припяти, в % от современного

Река – створ	Зима	Весна	Лето	Осень	среднегодовой
Припять –Черничи (Туров)	4,90	5,50	-19,2	0,57	-2,10
Припять – Мозырь	0,23	1,60	-20,6	-2,40	-5,30
Ясельда – Береза	-0,27	-27,0	-41,7	-23,3	-23,1
Ясельда – Сенин	-3,90	-10,6	-37,7	-11,8	-16,0
Цна – Дятловичи	-3,73	-8,9	-26,9	-19,9	-14,9
Горынь – Малые Викоровичи	-4,00	-11,8	-20,1	-16,7	-13,2
Случь – Ленин	10,1	5,70	-15,8	1,57	0,40
Уборть – Краснобережье	-13,4	-5,63	-25,2	-38,8	-20,8
Птичь – Лучицы	10,3	-0,17	-24,0	16,7	0,70
Шать – Шацк	-0,17	-9,20	-10,7	-4,40	-6,10
Оресса – Андреевка	-14,7	-10,7	-28,4	5,40	-12,1
<i>В среднем по бассейну:</i>	<i>-1,33</i>	<i>-6,47</i>	<i>-24,6</i>	<i>-8,46</i>	<i>-10,3</i>

Значимость прогнозов стока в условиях изменяющегося климата определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохраных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речными бассейнами.

Особенно это актуально в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока является возможное увеличение частоты и интенсивности неблагоприятных гидрометеорологических явлений. К этим явлениям относятся ливни, засухи, поздние заморозки, наводнения, обусловленные дождевыми паводками и весенними половодьями, особенно при соединении факторов таяния снега и осадков в виде мокрого снега и дождя, а также возможного увеличения продолжительности половодья [4]. Усиление неравномерности внутригодового перераспределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением половодья и увеличением интенсивности паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений. Проблема возникновения маловодных периодов, приводящих к засухам, также актуальна для рек бассейна Припяти. Хотя в настоящее и будущее время нет явных предпосылок для возникновения дефицита водных ресурсов, тем не менее, повышается вероятность наступления длительных маловодных

периодов, во время которых может произойти ухудшение экологического состояния и рекреационного потенциала поверхностных водных объектов и прилегающих территорий, изменение режима грунтовых вод, истощение почвенного покрова в пойме и т. п. Кроме того, за счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала.

Поэтому разработка и реализация мер по адаптации к изменению климата в части совершенствования управления водными ресурсами является актуальной задачей.

Литература

1. Водные ресурсы/ А.Г. Васенко, А.А. Волчек, В.В. Гребень и др. // Управление трансграничным бассейном Днепра: Суббассейн реки Припяти : Монография/ под ред. А.Г. Ободовского, А.П. Станкевича, С.А. Афанасьева. – К. : Кафедра, 2012. – С.46-89.

2. Логинов, В.Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз/ В.Ф. Логинов, Ан.А. Волчек, А.А. Волчек – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.

3. Волчек, А.А. Опасные гидрологические явления на р. Припяти/ А.А. Волчек, Ан.А. Волчек // Экстремальные гидрологические ситуации. – М. : ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. – С.295-322.

4. Волчек, А.А. Мониторинг, оценка и прогноз чрезвычайных ситуаций и их последствий/ А.А. Волчек, П.С. Пойта, П.В. Шведовский // Брест: Альтернатива. – 2012. – 423 с.

5. Волчек, А.А. Паводки на реках Беларуси : Монография / А.А. Волчек, Т.А. Шелест. – Брест : БрГУ, 2016. – 199 с.

6. Волчек, А.А. Минимальный сток рек Беларуси/ А.А. Волчек, О.И. Грядунова. – Брест : БрГУ, 2010. –169 с.

7. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата/ А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук и др. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.

8. Волчек, А.А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Водное хозяйство России. – 2007. – № 1. – С. 50 – 62.

Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А.А. Волчек // Мелиорация и водное хозяйство.-1986.- №12. – С.17 – 21.

Волчек, А.А. Автоматизация гидрологических расчетов / А.А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды: Тр.межд. научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико - социальных преобразований в условиях рыночных отношений. / Брест.политехн. институт.- Биберах - Брест - Ноттингем, 1998. – С.55 – 59.

Гидротехнические сооружения: виды и классификация / И.В. Шермет, С.Н. Борычев, Д.В. Колошеин и др. // Сб. Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса: Материалы Национальной научно-практической конференции, 2018. С. 365-369.

12. Опыт внедрения средств гидравлической автоматики в водозаборных узлах и сооружениях на каналах орошаемых земель/ А.Г. Соболин, Ю.А. Гулянов, Ю.И. Коровин и др. // Сб.: Повышение устойчивости биоресурсов на адаптивно-ландшафтной основе : Материалы Международной научно-практической конференции. – Министерство сельского хозяйства РФ, Администрация Оренбургской области, Оренбургский государственный аграрных университет, 2003. – С. 124-129.