

УДК 551.583

**И. В. БУЯКОВ, С. А. ЛЫСЕНКО**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

## **ИЗМЕНЕНИЕ БАЛАНСА АТМОСФЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Как известно из курса общей физики, чем сильнее нагревается атмосфера, тем больше водяного пара ей необходимо для достижения состояния насыщения. Вследствие этого возрастает потенциальное испарение. В результате потепления климата в регионах, где сумма атмосферных осадков возрастает несущественно или наоборот сокращается, происходит систематическое иссушение почв и возрастает риск возникновения засух. Наибольшему риску подвержены южные регионы Беларуси, где преобладают легкие по механическому составу почвы, не способные эффективно удерживать влагу.

Наиболее важным элементом баланса атмосферного увлажнения является разность между осадками и эвапотранспирацией ( $P - E$ ). Именно этот компонент водного баланса атмосферы расходуется на увлажнение или иссушение территории. По оценкам [1] в теплый период года в южных областях Беларуси потенциальное испарение уже превышает сумму выпадающих осадков.

Влагосодержание единичного столба атмосферы складывается из приходной части, формируемой поступлением влаги в результате процессов адвекции и местного испарения, и расходной, связанной с выпадением атмосферных осадков. При осреднении уравнения баланса атмосферной влаги за определенный промежуток времени (месяц) его можно записать в следующем виде (уравнение 1):

$$Q_{in} - Q_{out} + E - P = 0, \quad (1)$$

где  $Q_{in}$  и  $Q_{out}$  – количество влаги, поступающее в рассматриваемый регион и покидающее его в результате адвекции в единицу времени,  $E$  – суммарное испарение,  $P$  – сумма осадков.

Из уравнения (1) можно выразить величину влаги, образующуюся за счет адвекции и за счет переиспарения ранее выпавших осадков. Искомой неизвестной в этих уравнениях будет доля общего количества осадков, обусловленная местным испарением. Для его нахождения вводится дополнительное предположение, что атмосферные осадки,

обусловленные адвекцией влаги  $P^a$  и местным испарением  $P^r$ , пропорциональны соответствующим потокам влаги  $P_{out}^a$  и  $P_{out}^r$ , а коэффициент пропорциональности является константой. В этом случае осадки, обусловленные местным испарением ( $R$ ), можно легко рассчитать по известным значениям суммарного испарения  $E$  и адвективного потока влаги  $Q_{in}$  (уравнение 2) [2].

$$R = (1 + Q_{in}/E)^{-1}. \quad (2)$$

Таким образом, среднюю долю осадков, выпадающих в заданном регионе за счет местного испарения, можно оценить на основании данных по суммарному испарению в этом регионе и адвекции в него влаги. Долю адвективной влаги в региональном осадкообразовании можно записать в следующем виде (уравнение 3):

$$1 - R = Q_{in}/(EA + Q_{in}). \quad (3)$$

Учитывая, что скорость адвекции влаги в регион складывается из ее составляющих для различных направлений переноса, можно отдельно определить доли местных осадков, обусловленных адвекцией влаги в регион с севера ( $N$ ), юга ( $S$ ), запада ( $W$ ) и востока ( $E$ ) (уравнение 4):

$$H_D = \frac{Q_{in}^D}{EA + Q_{in}}, \quad (4)$$

где индекс  $D$  определяет направление переноса, а  $Q_{in}^D$  – соответствующую этому направлению скорость поступления влаги в регион. Очевидно, что для суммы величин  $H_D$  и  $R$  должно выполняться следующее условие (уравнение 5) [3; 4]:

$$H_N + H_S + H_W + H_E + R = 1. \quad (5)$$

Для расчета влагооборота на территории Беларуси использованы среднемесячные данные по испарению, осадкам и потокам влаги в зональном и меридиональном направлениях, взятые из реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ERA5.

По результатам вычислений была составлена схема составляющих баланса атмосферного увлажнения территории Беларуси для всего года, а также теплого и холодного периодов года (рисунок 1). На ней используются следующие обозначения:  $Q_{in}$  – суммарный поток влаги, привносимой в регион извне за единицу времени;  $Q_{out}$  – поток влаги, выносимой

из региона, включающий в том числе и влагу переиспарившуюся в регионе;  $P$  – сумма атмосферных осадков;  $E$  – суммарное испарение;  $\bar{R}$  – средняя для региона доля атмосферных осадков, обусловленных местным испарением;  $P \cdot \bar{R}$  и  $P(1-\bar{R})$  – суммы осадков, образованных за счет местного испарения и адвекции влаги соответственно;  $E - P \cdot \bar{R}$  – вклад местного испарения в поток выносимой из региона влаги  $Q_{out}$ ;  $P - E$  – составляющая баланса, которая характеризует увлажненность территории. При ее положительном значении происходит пополнение запасов почвенной влаги, формирование поверхностного и подземного стока, а при отрицательном – иссушение почв.

Для наглядного представления о величине потоков влаги сумма выпадающих осадков была принята за 100 %, а остальные составляющие вычислены в процентах от суммы выпадающих осадков.

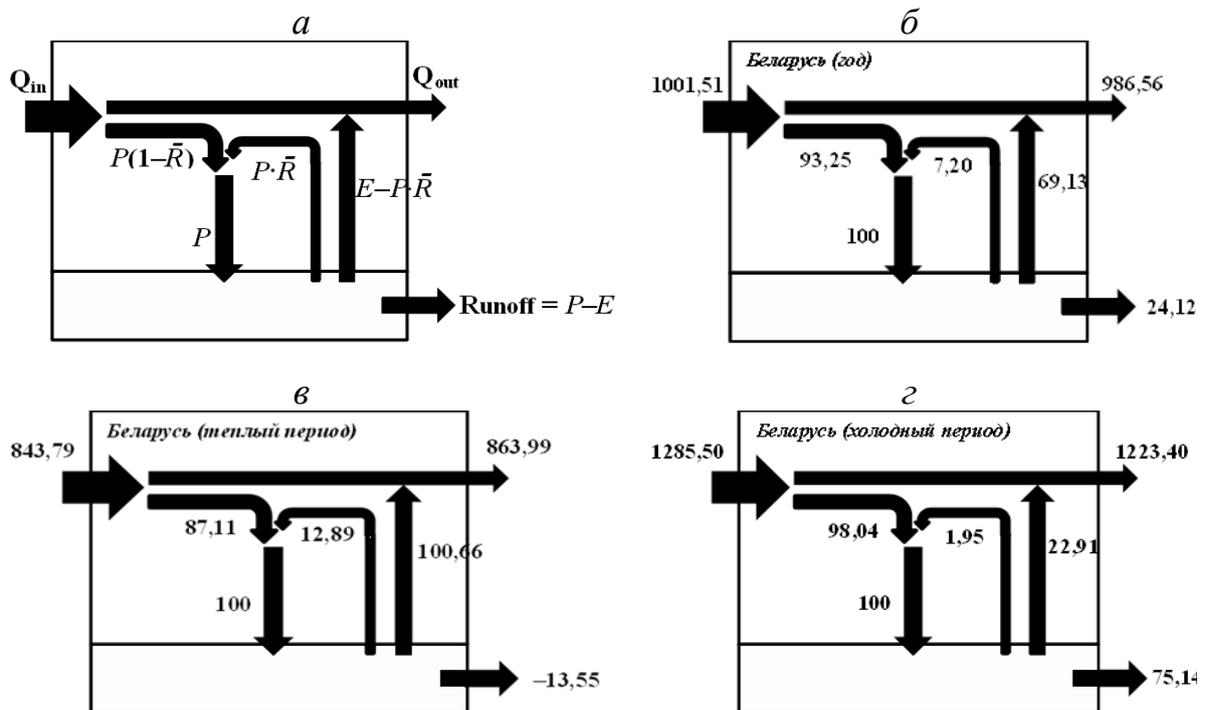


Рисунок 1 – Баланс атмосферного увлажнения Беларуси:  
 а – общая схема, б – среднегодовой, в – за теплый период,  
 з – за холодный период года

В целом в годовом разрезе разность осадков и испарения для территории Беларуси положительная и составляет 24 % от суммы осадков. Для холодного периода года характерно наибольшее его значение (75 % суммы осадков). В теплый период года ситуация противоположная, преобладает испарение на 13,5 % суммы осадков. Прослеживается

тенденция к уменьшению разности осадков и испарения в годовом разрезе (рисунок 2). В отдельные годы в теплый период дисбаланс между осадками и испарением достигал 40–60 % в сторону последнего.

Особенно явно это фиксируется в годы, когда наблюдались сильные засухи в 1999, 2002, 2011 и 2015 гг., когда положительная разность между осадками и испарением в холодный период года не смогла существенно скомпенсировать отрицательную величину теплого периода года.

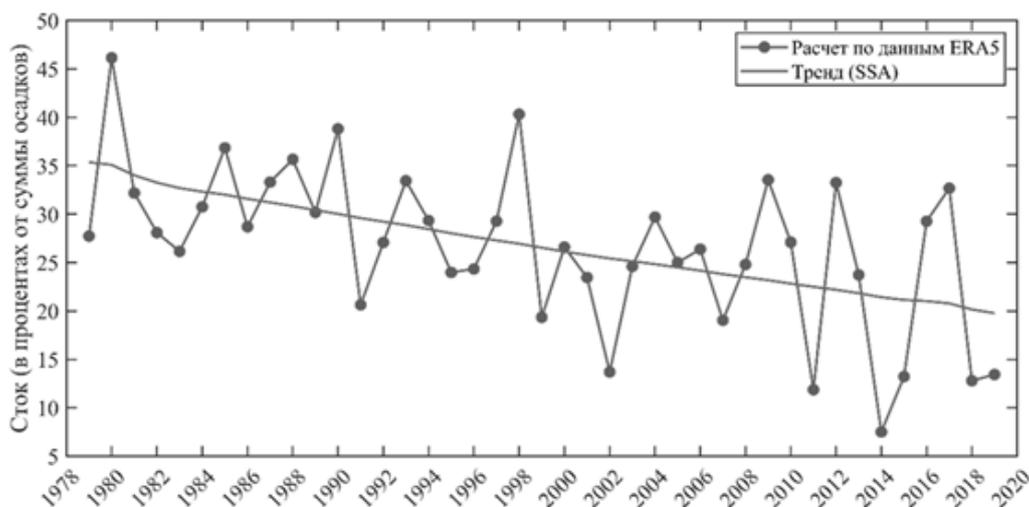


Рисунок 2 – Динамика и трендовая компонента годовой разности суммы осадков и испарения на территории Беларуси

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что потепление климата оказало значительное влияние на баланс атмосферного увлажнения. Годовая сумма атмосферных осадков в Беларуси превышает годовое испарение на 18–30 %. В теплый период на всей территории Беларуси отмечается отрицательный баланс атмосферного увлажнения – испарение превышает осадки на 8–23 %. Годовой баланс атмосферного увлажнения понижается во всех областях Беларуси. Так, если в конце 1970-х гг. трендовая компонента составляла 30–40 % по отношению к годовому количеству осадков, то к 2020 г. она уменьшилась до 18–25 %.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 218 с.
2. Brubaker, K. Estimation of Continental Precipitation Recycling / K. Brubaker, D. Entekhabi, P. S. Eagleson // J. Clim. – 1993. – Vol. 6, № 6. – P. 1077–1089.

3. Eltahir, E. A. B. Precipitation recycling in the Amazon basin / E. A. B. Eltahir, R. L. Bras // Q. J. R. Meteorol. Soc. – 1994. – Vol. 120, № 518. – P. 861–880.

4. Li, R. Changes in precipitation recycling over arid regions in Northern Hemisphere / R. Li, C. Wang, D. Wu // Theor. Appl. Climatol. – 2018. – Vol. 131. – P. 489–502.

УДК 553.04

**Т. П. ВОЛКОВА, К. В. РЕПИНА**

Донецк, Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела

E-mail: voltep@rambler.ru

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ДОНБАССА КАК ТРАНСГРАНИЧНОГО РЕГИОНА**

Донбасс относится к трансграничным регионам, как с политических, так и с геологических позиций. Протягиваясь с территории Украины на северо-западе до Ростовской области России на юго-востоке, он является крупным структурным элементом Припятско-Днепровско-Донецкого палеорифта Европейской платформы. Вдоль всего Донбасса протягивается Южно-Донецкий глубинный разлом, отделяющий Днепровско-Донецкую впадину от возвышенной части – Приазовского блока Украинского щита. Благодаря своему положению и длительной геологической истории формирования, недра Донбасса и прилегающего к нему Приазовья исключительно богаты полезными ископаемыми [1].

Считается, что географические условия трансграничных регионов способствуют их экономическому развитию [2]. Промышленный потенциал Донбасса всегда был на высоком уровне. Традиционной для региона отраслью промышленности является топливно-энергетическая отрасль. Даже переход на альтернативные виды топлива существенно не изменил значение угледобывающих предприятий для региона. Они важны не только для развития экономики, но и для обеспечения уровня жизни и экологической безопасности населения. Одной из основных проблем при добыче угля является наличие метана, который является, с одной стороны, ценным сырьем, с другой – создает угрозу безопасности труда шахтеров. Хотя метан угольных месторождений во многих странах Европы утилизируется и широко используется