

## Подходы к оценке потенциальной эвапотранспирации

Понькина Е.В., Россова А.С., Герпсумер К.Ю., Бондарович А.А., Шмидт Г., Иллигер П.

*Алтайский государственный университет, г. Барнаул*

*Университет Мартина Лютера Галле-Виттенберг, г. Галле(Саале)*

*ponkinaelena77@mail.ru, alyonarossova@gmail.com, ksen4ik\_97\_97@mail.ru,*

*a9130262571@gmail.com, gerd.schmidt@geo.uni-halle.de, patrick.illiger@geo.uni-halle.de*

### Аннотация

Подходы к оценке эвапотранспирации разнообразны и отличаются по точности и степени агрегированности результатов по используемым климатическим параметрам. В статье рассматривается базовая модель оценки потенциальной эвапотранспирации ЕТо (FAO 56). Сравнительный анализ оценок ЕТо показал их высокую чувствительность к набору входных климатических данных.

*Ключевые слова:* эвапотранспирация, испарение, водный баланс, мелиорация, модель FAO 56

### 1. Введение

Важнейшей характеристикой в гидромелиорации и расчетах водного баланса является величина суммарного испарения или водопотребления. Совокупное испарение влаги, как с поверхности почвы, так и с растительности называется эвапотранспирацией (evapotranspiration). Оценка величины совокупной эвапотранспирации и ее мониторинг имеет важное прикладное значение для подбора и обоснования технологии возделывания сельскохозяйственных культур, а также оценки потенциальной продуктивности культур по климату. Также данная величина выступает информационным базисом оценки критичности климатических условий в растениеводстве.

Наиболее полный обзор по расчетным методам оценки эвапотранспирации в России и за рубежом для целей гидромелиорации приведен в работе А.А. Черемисинов, А.Ю. Черемисинов (2016) [1]. В качестве эталонного метода по расчету эвапотранспирации в России долгое время рассматривали метод на совместном решении уравнений водного и теплового балансов по данным региональных метеостанций (Мезенцев, 1957; Константинов и др., 1966; Константинов, 1969) [2–4]. Этот метод применялся в региональных исследованиях в аридных областях в период развития мелиорации в СССР в 1970-80 е годы – “Кулундинская степь и вопросы мелиорации” (1972), Н.А. Мосиенко (1972) [5, 6]. Существуют и немногочисленные работы по изучению влажности почв и испарения на основе лизиметров (Рабочев и др., 1978; Шишов и др., 1987; Первова, Егоров, 2012; Муромцев, 2013) [7–10]. Среди международных монографий на русском языке по водному балансу территории и почвогрунтов следует назвать “Методы расчета водных балансов” (1976) [11] и “Трани гидрологии” (1980) [12]. Среди расчетных методов эвапотранспирации в мировой практике признан метод Пейнмана-Монтейта или модель, утвержденная в качестве стандарта оценки эвапотранспирации по климатическим данным FAO 56 (Allen et. al., 1998) [13].

## 2. Эталонная эвапотранспирация по модели ФАО 56 Пенмана-Монтейта

Уравнение Пенмана-Монтейта (1) было выведено из уравнений аэродинамики и сопротивления растительности [11]:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \cdot u_2)}, \quad (1)$$

где  $ET_o$  – эталонная эвапотранспирация [мм сут<sup>-1</sup>];  $R_n$  – чистая радиация на поверхности культуры [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $G$  – плотность теплового потока почвы [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $T$  – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [°C];  $u_2$  – скорость ветра на высоте 2 м [м с<sup>-1</sup>];  $e_s$  – давление насыщенного пара [кПа];  $e_a$  – фактическое давление пара [кПа];  $(e_s - e_a)$  – дефицит давления насыщенного пара [кПа];  $\Delta$  – наклон кривой давления пара [кПа °C<sup>-1</sup>];  $\gamma$  – психрометрическая постоянная [кПа °C<sup>-1</sup>].

Оценка базовых параметров модели выполняется на основе данных измеряемых метеостанцией.

*Психрометрическая константа:*

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{\varepsilon \cdot \lambda} = 0.664742 \cdot 10^{-3} \cdot P, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – постоянная [кПа °C<sup>-1</sup>];  $P$  – атмосферное давление [кПа];  $\lambda$  – скрытая теплота испарения = 2,45 [МДж · кг<sup>-1</sup>];  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении = 1013 · 10<sup>-3</sup> [МДж · кг<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>];  $\varepsilon$  – соотношение молекулярной массы водяного пара / сухого воздуха = 0,622.

*Атмосферное давление (P)* оценивается с учетом высоты поверхности измерения относительно нуля мирового океана:

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065 \cdot z}{293} \right)^{5.26}, \quad (3)$$

где  $P$  – атмосферное давление [кПа];  $z$  – высота над уровнем моря [м].

Значение *скрытой теплоты испарения* изменяется в зависимости от температуры. Поскольку  $\lambda$  изменяется незначительно в пределах нормальных температурных диапазонов, в расчетах учитывается значение 2,45 МДж кг<sup>-1</sup>. Это соответствует процедуре расчета для уравнения ФАО Пенмана-Монтейта 56. Фиксированное значение для  $\lambda$  представляет собой скрытую теплоту испарения при температуре воздуха около 20 °C.

*Температура воздуха T* [°C] измеряется либо как среднее значение максимальной и минимальной температур воздуха в течение суток, либо фактически измеренное среднее значение по часовым наблюдениям, полученным с метеостанции. Температура воздуха является обязательным параметром в уравнении (1) поэтому, если данные о температуре воздуха отсутствуют, то  $ET_o$  не может быть рассчитано.

*Давление насыщенного пара* определена как функция температуры воздуха:

$$e^0(T) = 0.6108 \cdot \exp \left( \frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3} \right) \quad (4)$$

где  $e^0(T)$  – давление насыщенного пара при температуре воздуха  $T$  [кПа];  $T$  – температура воздуха [°C].

Формула (4) используется для оценки параметров модели (1).

Среднее давление насыщенного пара ( $e_s$ ) за день, 10 дней или месяц – рассчитывается как среднее между давлением паров насыщения при средней суточной максимальной и минимальной температурах воздуха за этот период:

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) - e^0(T_{\min})}{2},$$

где  $e_s$  – оценка давление насыщенного пара [кПа] в среднем за период;  $e^0(T_{\max})$  – давление насыщенного пара при среднесуточной максимальной температуре воздуха [кПа];  $e^0(T_{\min})$  – давление насыщенного пара при среднесуточной минимальной температуре воздуха [кПа].

Наклон кривой давления насыщенного пара при заданной температуре определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T+237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2},$$

где  $\Delta$  – наклон кривой давления насыщенного пара при температуре воздуха [кПа · °С<sup>-1</sup>];  $T$  – температура воздуха [°С].

Фактическое давление пара, полученное из температуры точки росы

$$e_a = e^0(T_{dew}) = 0.6108 \cdot \exp\left[\frac{17.27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237.3}\right],$$

где  $e_a$  – фактическое давление пара [кПа];  $T_{dew}$  – температура точки росы [°С].

Второй вариант оценки фактического давления пара осуществляется на основе психрометрических данных

$$e_a = e^0(T_{dew}) - \gamma_{psy} \cdot (T_{dry} - T_{wet}),$$

где  $e_a$  – фактическое давление пара [кПа];  $e^0(T_{wet})$  – давление насыщенного пара при температуре мокрой колбы, кПа;  $\gamma_{psy}$  – психрометрическая постоянная прибора [кПа · °С<sup>-1</sup>];  $T_{dry} - T_{wet}$  – разрежение влажной колбы ( $T_{dry}$  сухой колбой,  $T_{wet}$  мокрой колбы) [°С].

Психрометрическая константа инструмента определяется по формуле:

$$\gamma_{psy} = a_{psy} P,$$

где  $a_{psy}$  – коэффициент, зависящий от типа вентиляции мокрой колбы [°С<sup>-1</sup>];  $P$  – атмосферное давление [кПа].

Фактическое давление пара, полученное из данных относительной влажности можно рассчитать по относительной влажности. В зависимости от наличия данных о влажности используются различные уравнения.

Пусть  $RH_{\max}$  – максимальная относительная влажность воздуха [%],  $RH_{\min}$  – минимальная относительная влажность [%],  $RH_{mean}$  – средняя относительная влажность [%],  $e_a$  – фактическое давление пара [кПа],  $e^0(T_{\min})$  – давление насыщенного пара при суточной минимальной температуре [кПа],  $e^0(T_{\max})$  – давление насыщенного пара при суточной минимальной температуре [кПа], тогда формула расчета фактического давления пара примет следующие варианты:

1. При наличии  $RH_{\max}$  и  $RH_{\min}$ :

$$e_a = \frac{e^0(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^0(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2}.$$

2. При наличии только максимальной относительной влажности:

$$e_a = e^0(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100}.$$

3. Если известно значение средней температуры и влажности  $RH_{mean}$ , то формула примет вид:

$$e_a = e^0(T_{mean}) \frac{RH_{mean}}{100}.$$

Если данные о влажности воздуха отсутствуют, то  $e_a$  оценивается исходя из предположения, что минимальная температура воздуха ( $T_{\min}$ ) является хорошей оценкой для средней температуры точки росы ( $T_{dew}$ ).

*Внеземное излучение:*

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)],$$

где  $R_a$  – внеземное излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $G_{sc}$  – солнечная постоянная = 0,0820 МДж м<sup>-2</sup> мин<sup>-1</sup>;  $d_r$  – обратное относительное расстояние от Земли до Солнца;  $\omega_s$  – угол закатного часа [рад];  $\varphi$  – географическая широта [рад];  $\delta$  – склонение Солнца [рад].

Широта  $\phi$ , выраженная в радианах, положительна для Северного полушария и отрицательна для Южного. Преобразование из десятичных градусов в радианы задается формулой:

$$Radians = \frac{\pi}{180} decima \text{ degrees}.$$

*Обратное относительное расстояние от Земли до Солнца* и солнечное склонение задаются формулой:

$$d_r = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right),$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right),$$

где  $J$  – число дней в году между 1-м (1 января) и 365-м или 366-м (31 декабря).

*Угол закатного часа задается формулой:*

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)).$$

*Дневное время* – продолжительность светлого времени суток определяется по формуле:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s.$$

Если солнечное излучение не измеряется, его можно вычислить по формуле Андреса Ангстрема, который связывает солнечное излучение с внеземным излучением и относительной продолжительностью солнечного света:

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a,$$

где  $R_s$  – солнечное или коротковолновое излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $n$  – фактическая продолжительность солнечного света [час];  $N$  – максимально возможная продолжительность солнечного или светового дня [час];  $n/N$  – относительная продолжительность солнечного света;  $R_a$  – внеземное излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $a_s$  – константа регрессии, выражающая долю внеземной радиации достигающей Земли в пасмурные дни ( $n = 0$ );  $(a_s + b_s)$  –

доля внеземного излучения, достигающего земли при ясном небе ( $n = N$ ). Значения по умолчанию для  $a_s$  и  $b_s$  равны 0,25 и 0,50 соответственно.

*Солнечное излучение ясного неба*

Расчет излучения чистого неба, когда  $n = N$ , требуется для вычисления длинноволнового излучения. В зависимости от наличия исходных данных, данное излучение вычисляется в оценке ЕТо по формулам (5) и (6).

Когда требуется регулировка высоты станции:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5}z)R_a, \quad (5)$$

где  $R_{so}$  – солнечное излучение ясного неба [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $z$  – высота станции над уровнем моря [м];  $R_a$  – внеземное излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>].

Если регулировка высоты станции не требуется (доступны значения для  $a_s$  и  $b_s$ ):

$$R_{so} = (a_s + b_s)R_a, \quad (6)$$

*Чистая солнечная или чистая коротковолновая радиация*, возникающая в результате баланса между входящим и отраженным солнечными излучениями, задается формулой:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s,$$

где  $R_{ns}$  – чистое солнечное или коротковолновое излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $\alpha$  – коэффициент отражения навеса для эталонной культуры [м];  $R_s$  – поступающее солнечное излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>].

Если при вычислении ЕТо необходимо использовать чистую солнечную радиацию, то  $\alpha$  принято задавать значение 0,23.

*Чистое длинноволновое излучение*

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right),$$

где  $R_{nl}$  – чистое исходящее длинноволновое излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана [4,903·10<sup>-9</sup> МДж К<sup>-4</sup> м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $T_{\max,K}$  – максимальная абсолютная температура в течение 24-часового периода [К = °С + 273,16];  $T_{\min,K}$  – минимальная абсолютная температура в течение 24-часового периода [К = °С + 273,16];  $e_a$  – фактическое давление пара [кПа];  $R_s/R_{so}$  – относительное коротковолновое излучение ( $\leq 1,0$ );  $R_s$  – измеренное или рассчитанное формуле солнечное излучение [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>];  $R_{so}$  – рассчитанное по формулам излучение чистого неба [МДж м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>].

В случае, когда максимальная и минимальная температура воздуха отсутствуют,  $\left[ \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right]$  в формуле заменяется на  $T_{mean,K}^4$ .

*Чистая радиация*, чистое излучение ( $R_n$ ) – это разность между входящим чистым коротковолновым излучением ( $R_{ns}$ ) и исходящим чистым длинноволновым излучением ( $R_{nl}$ ).

Если отсутствуют данные о солнечном свете или радиации или имеется несколько климатических параметров, с помощью которых можно оценить излучение, существуют следующие дополнительные правила расчета. Ориентировочные значения по умолчанию -0,16 для внутренних территорий и 0,19 для прибрежных мест.

Для корректировки данных о скорости ветра, полученных от приборов, расположенных на высотах, отличных от стандартная высота 2 м:

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)},$$

где  $u_2$  – скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью земли [ $\text{м с}^{-1}$ ];  $u_z$  – измеренная скорость ветра на  $z$  м над поверхностью земли [ $\text{м с}^{-1}$ ];  $z$  – высота измерения над поверхностью земли [м].

Приведенная модель Пенмана-Монтейта позволяет оценивать эталонную (потенциальную) эвапотранспирацию с соответствующих климатических условиях региона наблюдения для нормативной растительности. Результат оценки зависит от имеющихся климатических данных.

Уравнение FAO 56 использует стандартные климатические замеры солнечной радиации, температуры и влажности воздуха и скорости ветра. Для повышения совместимости данных, замеры должны производиться на высоте 2 м (или преобразованы для этой высоты) над обширной поверхностью зеленой травы, затеняющей поверхность и хорошо увлажненной. Уравнение эвапотранспирации на базе климатических данных не может быть использовано для точного расчета эвапотранспирации в различных климатических условиях ввиду упрощения в формулировании и ошибок измерений.

Сравнение эталонной эвапотранспирации ЕТо обеспечивает стандарт, с которым можно сравнивать эвапотранспирацию в разные периоды вегетации растений, можно соотнести эвапотранспирацию для различных сельскохозяйственных культур.

### 3. Сравнительный анализ оценки ЕТо при различных вариантах обеспеченности входными данными

Используя набор климатических данных за июнь 2015 г., полученный в условиях сухой степи Алтайского края (стационар АлтГУ “Полуямки”, Михайловский район, с. Полуямки) выполнена оценка потенциальной эвапотранспирации для различных вариантов обеспеченности климатическими данными. Варианты наборов данных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Варианты обеспеченности климатических данных модели FAO 56

Вариант	$T_{mean}$	$T_{max}$	$T_{min}$	$RH_{mean}$	$RH_{max}$	$RH_{min}$	$u_2$
A0		+	+				
A1	+	+	+				
A1B0	+	+	+	+			
A1B1	+	+	+	+	+	+	
A1C0	+	+	+				+
A1B1C0	+	+	+	+	+	+	+

Источник: Спроектировано авторами.

Для расчета оценок эвапотранспирации использованы суточные данные за период наблюдения, агрегированные по часовым наблюдениям. За период наблюдения зафиксированы следующие климатические параметры:

- суммарное количество осадков – 58,96 мм;
- средняя суточная температура воздуха – 21,1 град. С; максимальное значение – 32,3; минимальное значение – 7,5 град. С;
- относительная влажность воздуха – среднее значение – 54,2%, максимальное – 90,7%, минимальное – 16,8%;
- скорость ветра м/сек. – среднее значение – 3,2м/с; максимальное – 6,4; минимальное значение – 1,4 м/сек.

Расчет потенциальной эвапотранспирации для различных вариантов обеспеченности климатическими данными выполнен в программе ЕТо калькулятор, разработанный

Объединенной организацией продовольствия и сельского хозяйства (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy). Результаты суммарной (месячной) эвапотранспирации за период наблюдения и оценки различий приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики оценок ETo для различных вариантов обеспеченности климатическими данными

Варианты оценки	Сумма ETo, мм	Отклонение от A0, мм	Отклонение от A0, %
A0	158.00	-	
A1	158.00	0.00	0.0
A1B0	160.30	2.30	1.5
A1B1	163.70	5.70	3.6
A1C0	160.00	2.00	1.3
A1B1C0	167.30	9.30	5.9

Источник: Расчеты авторов.

Анализ с несколькими наборами климатических данных показал, что температурный режим является определяющим параметром оценки ETo, отклонение величины ETo при использовании параметров влажности воздуха составляет от 2,3 до 5,7 мм, при добавлении параметра средней скорости ветра получены максимальные оценки, повышающие базовую оценку ETo при варианте A0 на 9,3 мм. Динамика оценок потенциальной эвапотранспирации с учетом приходящих сумм осадков приведена на рисунке. Различие суточных оценок ETo по вариантам A0 и A1B1C0 составляет в среднем 0,3 мм, максимальное отклонение – 1,7 мм, минимальное – -0,9 мм. Учитывая, что территория сухой степи характеризуется интенсивными ветрами, соответственно, наблюдается усиление испарения в результате отклонения скорости ветра от среднего значения (превышение средней скорости ветра относительно среднего значения наблюдается, например, в период 21.06 по 30.06). В целом можно констатировать, что полный вариант учета метеопараметров более предпочтителен в оценке ETo, так как в случае вариантов как A0, A1, A1B0, A1B1 и A1C0 наблюдается недооценка величины испарения.

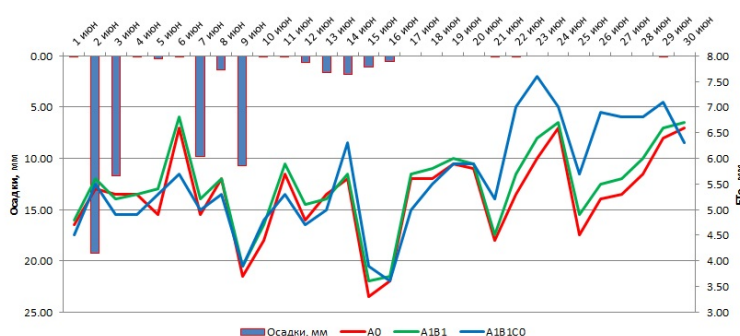


Рисунок 1. Результаты оценки ETo по суточным данным

Полученные оценки представляют интерес для обоснования минимального набора метеорологических параметров, используемых для оценки потенциальной эвапотранспирации в условиях Алтайского края. Результаты показали, что отсутствие информации о влажности воздуха и/или скорости ветра играют существенное значение для оценки потенциальной эвапотранспирации по суточным данным, однако, “потери” информации в

случае агрегирования оценок по месяцам являются несущественными (9,3 мм). Для более детального анализа вариабельности оценок ЕТо по ограниченным наборам климатических данных в дальнейшем следует рассмотреть более широкий временной интервал (2013-2018 гг.), что позволит получить устойчивые статистические оценки отклонений ЕТо при различных вариантах обеспеченности климатическими данными. Кроме того, сопоставление оценок ЕТо, оцененных по климату, и полученных посредством прямого измерения лизиметрической станцией [14] представляет интерес для оценки реального водопотребления сельскохозяйственных культур и разработки режимов регулирования их водообеспеченности (например, внедрения орошения) в условиях сухой степи Алтайского края.

## Список литературы

1. Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей // Научный Журнал Российского НИИ Проблем Мелиорации. — 2016. — № 1(21). — С. 113–133.
2. Мезенцев В.С. Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности // Труды Омск. с.-х. ин-та. — 1957. — Т. 27. — С. 121.
3. Константинов А.Р. Испаряемость и ее применение в агрометеорологических расчетах // Труды УкрНИГМИ. — 1969. — № 78. — С. 3–22.
4. Константинов А.Р. и др. Тепловой и водный режим Украины. — Л. : Гидрометеиздат, 1966.
5. Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации / Институт гидродинамики П.Я. Полубаринова-Кочина. — М. : Наука, 1972. — 508 с.
6. Мосиенко Н.А. Агрогидрологические основы орошения в степной зоне (на примере Западной Сибири и Северного Казахстана). — Л. : Гидрометеиздат, 1972.
7. Рабочев И.С., Муромцев Н.А., Пягай Э.Т. Лизиметр для одновременного определения элементов водного баланса и параметров влагопереноса почв // Аграрная наука. — 1978. — № 12). — С. 35–45.
8. Шишов Л.Л. и др. Лизиметрический метод изучения почв: результаты исследований, характеристика метода и пути его совершенствования. — 1987.
9. Первова Н.Ф., Егоров Ю.В. Изучение миграции природных вод на модельных лизиметрах // Вестник московского университета. Серия 17: Почвоведение. — 2012. — № 1. — С. 24–28.
10. Муромцев Н.А. Определения коэффициента влагопроводности почв в почвенных колоннах и лизиметрах // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2013. — № 10. — С. 84–95.
11. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике / Под ред. Соколов А.А., Чапмен Т.Г. — Л. : Гидрометеиздат, 1976.
12. Колльер К.Г., Родд Д.К. Грани гидрологии. — Л. : Гидрометеиздат, 1987. — 117 с.



13. Allen R.G. et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 // FAO, Rome. — 1998. — Vol. 300, no. 9.
14. Meissner R. et al. Measurement of dew, fog, and rime with a high precision gravitation lysimeter // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. — 2007. — Vol. 170, no. 3. — P. 335–344.