

УДК 551.573

Доктор геогр. наук М.Х. Сарсенбаев *
Ж.М. Калдарбекова *

ИСПАРЯЕМОСТЬ, ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЛАНДШАФТНЫМ ЗОНАМ КАЗАХСТАНА

ТЕМПЕРАТУРА, ДЕФИЦИТ ВЛАЖНОСТИ, ОСАДКИ, УПРУГОСТЬ ВОДЯНОГО ПАРА, ВОДНЫЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС, РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС, ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН, СКРЫТАЯ ТЕПЛОТА ИСПАРЕНИЯ, ТЕПЛОПОТОК В ПОЧВЕ, ПРИРОДНАЯ СРЕДА, ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ

Впервые для Казахстана произведен расчет испаряемости по методу Будыко-Зубенок, учитывающий соотношения радиационного баланса увлажненной территории с температурой и влажностью воздуха, которые оказывают главенствующее влияние на физико-географические процессы и состояние природной среды. Определена внутригодовая изменчивость испаряемости по ландшафтным зонам, построена карта изолиний годовой испаряемости. Получены переходные коэффициенты %-ной изменчивости испаряемости от годовой ее суммы, позволяющие в дальнейшем рассчитывать месячное суммарное испарение для различных геоботанических зон Казахстана.

Испаряемость, как это следует из работ [1, 2, 6], представляет собой потенциально возможное испарение при данных метеорологических условиях с достаточно увлажненной поверхности, и дает наглядное представление о верхнем пределе испарения с суши, когда оно не лимитируется недостатком влаги в почве.

Испаряемость – характеристика, широко используемая в географических и климатических исследованиях при расчете безвозвратных потерь влаги на испарение. Она определяется следующими метеорологическими факторами: теплоэнергетическим балансом территории, дефицитом влажности воздуха и интенсивностью турбулентного влагообмена в погранич-

* КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

ном слое лито- и атмосферы. Испаряемость принято считать комплексной характеристикой процессов тепло- и влагообмена в различных географических зонах. Поэтому определение этой характеристики необходимо для расчета суммарного испарения, основного расходного элемента уравнений теплового и водного балансов любой территории. Различное сочетание теплового и водного балансов в пространстве и во времени приводит к разнообразию физико-географических условий и ландшафтов.

Испарение является определяющим параметром при разработке конкретных схем рационального использования водных и земельных ресурсов для оптимально-логистического развития экономики региона.

Следует отметить, что за испаряемость ряд исследователей принимали испарение с водной поверхности, другие – максимально возможное испарение с оптимально увлажненной поверхности суши. К настоящему времени имеются достаточно большое количество методов для расчета этой характеристики, которые неоднократно обсуждались в научной литературе [1, 6, 7, 8, 9, 11].

В работе приведен обзорный анализ ранних исследований испаряемости в Казахстане по методикам Н.Н. Иванова и В.С. Мезенцева [4, 5], и дано сравнение с результатами расчётов авторов по методу Л. Тюрка и М.И. Бudyко, до настоящего времени не проводимых для территории РК.

Формула Н.Н. Иванова [7], широко распространена для расчета испаряемости в середине прошлого столетия, имеет вид:

$$E_0 = 0,0018(T + 25)^2 \cdot (100 - r), \text{ мм/с}, \quad (1)$$

где E_0 , T , r – среднемесячные значения испаряемости, температуры и относительной влажности воздуха соответственно.

Эта формула получена по водному балансу крупных водоемов. Однако, как следует из [2, 6, 9, 11], из-за различия радиационных и теплофизических условий и шероховатости поверхностей водной глади и суши испаряемость с воды не может представлять энергетические ресурсы процесса суммарного испарения с поверхности почвы и растительности. Это приводит к значительным погрешностям. В условиях достаточного увлажнения данный метод дает приближенные результаты E_0 , в условиях сухого пустынного климата – слишком высокие значения (табл. 1).

Согласно В.С. Мезенцеву [9] испаряемость представляет собой энергетические ресурсы испарения, которые равны сумме положительных, «направленных к поверхности почвы» основных элементов теплового ба-

ланса – R^+ , P^+ , B^+ (положительные значения радиационного баланса, теплового потока в почве и турбулентного теплообмена в атмосфере). Трудности их определения привели автора этого метода к расчету испаряемости через суммы среднесуточных температур воздуха выше 10°C , т.е. его формула была разработана для теплого периода:

$$E_0 = 0,2 \sum T_{>10^\circ\text{C}} + 306, \text{ мм/год.} \quad (2)$$

Анализ этого метода, приведенный в работе [6] показал, что неучет затраты тепла на нагревание почвы завышают годовые значения максимально возможного испарения (табл. 1).

Таблица 1

Годовые значения испаряемости для различных природных условий Казахстана, мм/год

Геоботанические зоны	Расчетный метод автора			
	Иванов	Мезенцев	Тюрк	Будыко-Зубенко
Лесостепная	873	880	395	739
Степная	893	1000	395	797
Полупустынная	844	1130	470	1092
Пустынная	1446	1320	592	1255
Предгорная	973	-	437	911

Примечание: данные по формулам (1) и (2) приняты из работ [8, 9].

Уравнение Л. Тюрка [11] получено на основе обобщений и анализа элементов водного баланса для речных бассейнов. Для годового периода эта формула имеет вид:

$$E_0 = 300 + 25T + 0,05T^3, \text{ мм/год,} \quad (3)$$

где T – среднегодовая температура воздуха.

Анализ, проведенный в работе [2] показал, что формула (3) не пригодна для определения E_0 в условиях континентального климата, где среднегодовая температура не характеризует температурный режим летнего периода, когда в основном происходит максимальное испарение, т.е. для условий Казахстана данный метод не подходит и дает априори заниженные результаты (табл. 1).

В настоящее время принято считать, что теоретически обоснованным методом является метод Будыко, который используя основные положения теплового баланса установил, что при расчете испаряемости для больших территорий можно пренебречь турбулентным теплообменом с атмосферой, т.е.

$$E_0 = \frac{R_0 - P}{L}, \quad (4)$$

где R_0 – радиационный баланс увлажненной территории, P – теплопоток в почве; L – скрытая теплота испарения.

В целом же за год, когда величина P близка к нулю, затраты тепла на испарение E_0L приближаются к значению радиационного баланса R_0 , т.е. для годового интервала:

$$E_0 = \frac{R_0}{L}. \quad (5)$$

Будыко разработал комплексный метод определения испаряемости, который является наиболее физически обоснованным, т.к. в нем учитываются основные определяющие испаряемость факторы – R_0 , а также температура и влажность воздуха.

Для территории СССР Л.И. Зубенок [6] усовершенствовала комплексный метод до практического использования, что позволяет определять значения E_0 для каждого месяца в зависимости от среднемесячного дефицита влажности воздуха и характера климатических условий различных геоботанических зон – от тундры до пустынь и предгорных районов. Для вычисления ежемесячных значений условного дефицита влажности используются материалы сетевых метеостанций по температуре и упругости водяного пара. Таким образом,

$$E_0 = f(d_t), \text{ мм/мес}, \quad (6)$$

где $d(t) = (e_t - e_\phi)$ – условный дефицит влажности воздуха; e_t – максимальная упругость водяного пара, насыщенного при его температуре; e_ϕ – фактическая влажность воздуха.

При определении величин испаряемости по формулам (3) и (6) были использованы материалы 51 метеостанции за период наблюдений 1990...2010 гг., расположенных в различных географических зонах. Из них, для лесостепной зоны использованы 5 метеостанций, степной – 9, полупустынь – 10, пустынь – 15, для предгорий Юго-Восточного и Восточного Казахстана – 12. Результаты расчетов E_0 усреднялись по метеостанциям для каждой геоботанической зоны в отдельности (табл. 1).

Сопоставление годовых значений испаряемости из работ [8, 9] и расчетов по формулам (3) и (6) приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 указывают, что расчетные величины испаряемости по первым трем методам, полностью соответствуют выше проведенному анализу формул (1, 2, 3). Вместе с тем, в работе [3] формулу Тюрка, разработанную для бассейнов экваториальной зоны, пытались «адаптировать» через подобранные поправочные коэффициенты к континентальным условиям Казахстана, что, на наш взгляд, не совсем корректно, и выводы из этой статьи остаются весьма сомнительными. Поэтому, за эталон нами был принят метод Будыко-Зубенок, который, как отмечается в [9], является физически и теоретически обоснованным и показывает наиболее реальные величины испаряемости и их изменения по географическим зонам.

Следует отметить, что E_0 рассчитывалась для двух предгорных районов: для Восточного Казахстана она составила 765 мм/год, для Южных и Юго-Восточных предгорий – 1050 мм/год. Кроме того, испаряемость за зимний период для различных географических условий составляет от 0,2 до 2,2 % от ее годовой суммы, т.е. этими значениями можно пренебречь.

По результатам произведенных расчетов по методу Будыко-Зубенок впервые была построена карта изолиний годовых значений испаряемости для геоботанических зон Казахстана с шагом изолиний в 50 мм (рис.). Надо сказать, что подобной карты в географическом атласе РК нет. Справедливости ради укажем, что в работе [5] приводится карта испаряемости на основе расчетов по методике Н.Н. Иванова, которая априори даёт существенные отклонения от реальных значений E_0 .

Месячные значения испаряемости по методу Будыко-Зубенок приведены в табл. 2, где видно, что величины E_0 плавно возрастают в весенний период, достигают максимума в июне – июле и, начиная с августа, плавно уменьшаются к концу года. По широтам годовые значения E_0 увеличиваются от лесостепной зоны и достигают наибольших величин в полупустынях – пустынях, в предгорных зонах они соответственно уменьшаются на 20...38 %.

Таблица 2
Расчетные значения испаряемости по методу Будыко-Зубенок, мм

Природная зона	Месяц												Год	3-11
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Лесостепная	0	1	10	68	121	149	139	120	84	40	6	1	739	737
Степная	1	2	9	75	124	156	148	132	94	47	7	2	797	793
Полупустын.	3	7	30	98	154	199	200	182	130	67	17	6	1092	1077
Пустынная	6	12	52	114	163	215	223	201	145	83	31	9	1255	1228
Предгорья	5	9	25	84	128	159	164	148	106	56	18	6	907	887

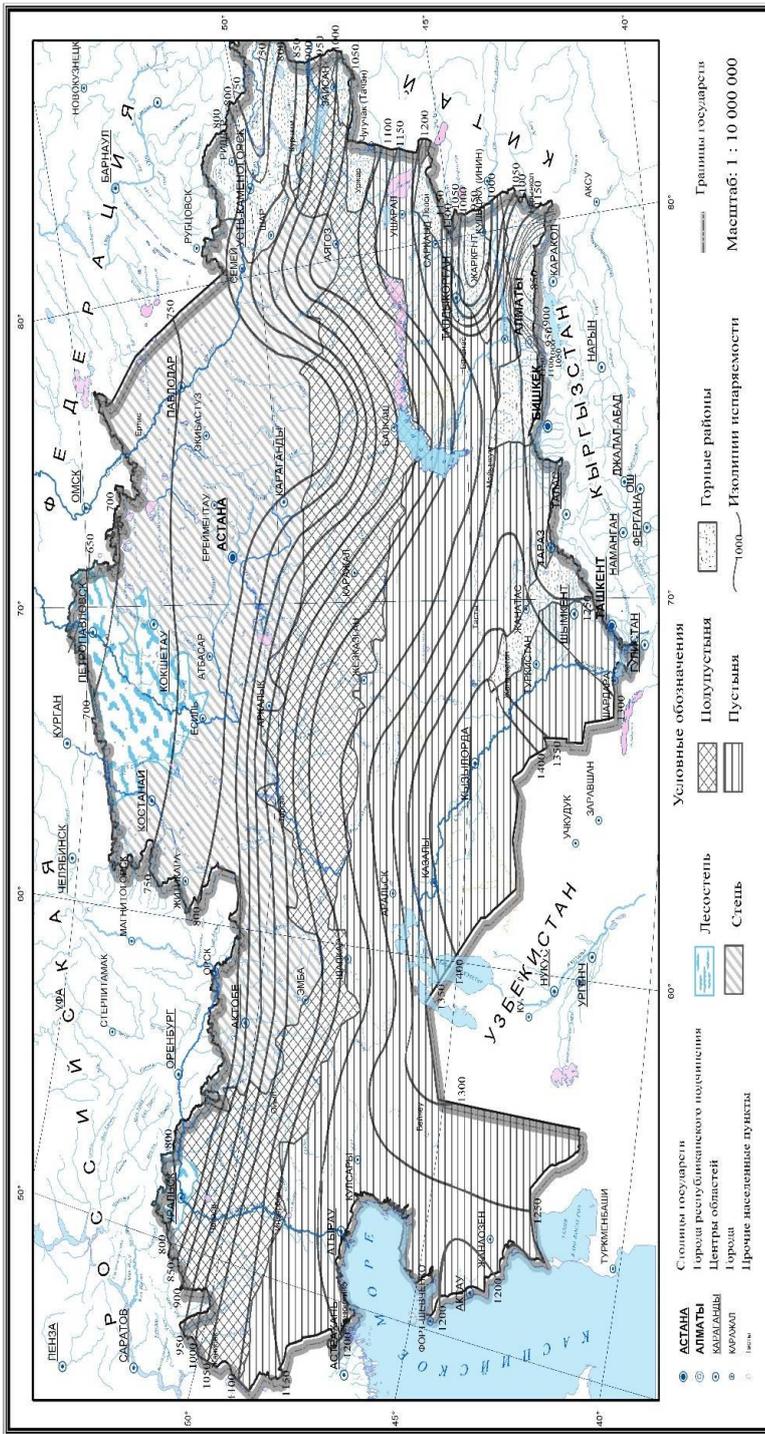


Рис. Карта годовых значений испаряемости E_0 (мм) по методу Будыко-Зубенко для геоботанических зон Казахстана.

Кроме того, на основе табл. 2 были получены переходные коэффициенты для расчета месячных величин испаряемости в %-х от годовой суммы E_0 по соотношению

$$K = \frac{E_{0,мес}}{E_{0,год}} \cdot 100 \% . \quad (7)$$

Полученные коэффициенты оказались весьма устойчивой характеристикой и закономерно изменяются как внутри года, так и по ландшафтными условиям. Значения этих коэффициентов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Распределение для территории Казахстана месячной испаряемости в %-х от годовой суммы

Природная зона	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Лесостепная	0,0	0,2	1,4	9,2	16,4	20,2	18,9	16,2	11,3	5,4	0,8	0,1
Степная	0,1	0,2	1,1	9,4	15,6	19,5	18,6	16,5	11,9	6,0	0,9	0,5
Полупустынная	0,3	0,6	2,7	9,0	14,1	18,2	18,3	16,7	11,9	6,1	1,5	0,5
Пустынная	0,5	1,0	4,1	9,1	13,0	17,2	17,7	16,0	11,5	6,6	2,4	0,7
Предгорная	0,6	1,0	2,8	9,3	14,1	17,5	18,0	16,3	11,7	6,2	2,0	0,7

На взгляд авторов, внутригодовой ход процессов испарения должен соответствовать аналогичным изменениям теплоэнергетических и климатических факторов, т.е. изменчивость суммарного испарения внутри года следует аналогичному ходу испаряемости. Основываясь на логическом анализе этих процессов полагаем, что полученные значения переходных коэффициентов из табл. 3 вполне позволяют использовать их для расчета суммарного испарения за месячные интервалы времени в %-х от годовой суммы. Они вполне сопоставимы с аналогичными коэффициентами для некоторых географических зон бывшего СССР, приведенных в [9]. Однако данные табл. 3 были получены по материалам двух последних десятилетий и целенаправленно только для географических зон Казахстана.

Таким образом, изменения климатических условий в последние десятилетия предопределили изучение изменчивости одного из главных элементов теплового и водного балансов – испарения для территории Казахстана. По результатам проведенных исследований авторы пришли к следующим выводам и положениям.

1. Расчеты годовых величин испаряемости из работ [4, 5] и материалы наблюдений метеостанций для различных ландшафтных зон РК показали, что значения E_0 по методикам Н.Н. Иванова, В.С. Мезенцева и

- Л. Тюрка дают существенные отклонения от результатов по комплексному методу М.И. Будыко.
2. Метод Будыко-Зубенок является наиболее теоретически обоснованным, так как учитывает соотношения радиационного баланса увлажненной территории с температурой и влажностью воздуха, которые оказывают определяющее влияние на физико-географические процессы и состояние природной среды. С учетом изложенного, данный метод вычисления испаряемости является эталонным.
 3. Исследования показали, имеет место внутригодовая изменчивость E_0 по геоботаническим зонам (табл. 2).
 4. Впервые для территории Казахстана по методу Будыко-Зубенок построена карта изолиний годовой испаряемости, которая имеет как научное, так и практическое значение. Она охватывает изменения E_0 по всем ландшафтным условиям РК.
 5. Полученные переходные коэффициенты, выражающие %-е распределение месячной испаряемости от годовой ее суммы для геоботанических зон, аналогичны внутригодовым параметрам из работы [9]. Это позволяет использовать их при последующих расчетах месячных величин суммарного испарения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко М.И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 470 с.
2. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 255 с.
3. Вилесов Е.Н., Колча Т.В. О возможности использования формулы Тюрка для расчета испаряемости в условиях Казахстана. // Вестник КазГУ, серия геогр. – 2000. – №1 (10). – С. 10-14.
4. Вилесов Е.Н., Сергеева Ю.Ю. Оценка величины испаряемости и некоторых гидроклиматических параметров в условиях природных зон равнинного Казахстана // Проблемы гидрометеорологии и экологии: Матер. Междунар. научно-практ. конф. – Алматы: 2001. – С. 145-150.
5. Вилесов Е.Н., Таранец Л.К., Таранец С.А. О величине испаряемости на территории Республики Казахстан. // Вестник КазНУ, серия геогр. – 1995. – Вып. 2. – С. 188-200.
6. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 264 с.
7. Иванов Н.Н. Мировая карта испаряемости. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 38 с.

8. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 532 с.
9. Мезенцев В.С., Карнацевич Н.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 168 с.
10. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 96 с.
11. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги (перев. с франц.). – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 228 с.

Поступила 10.07.20104

Геогр. ғылымд. докторы М.Х. Сарсенбаев
Ж.М. Калдарбекова

БУЛАНУШЫЛЫҚ, ОНЫҢ АНЫҚТАЛУЫ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЛАНДШАФТТЫҚ ЗОНАЛАРЫ БОЙЫНША ТАРАЛУЫ

Алғаш рет Қазақстан үшін физико-географиялық процесстер мен қоршаған ортаға белгілі бір әсерін тигізетін, ылғалды территориядағы радиациялық баланс пен ауа температурасы мен ылғалдылығының арасындағы қатынасты ескеретін, Будыко-Зубенок әдісі бойынша буланушылықты анықтау есептелді. Ландшафттық зона бойынша жыл ішіндегі буланушылықтың өзгерісі анықталып, жылдық буланушылықтың изолиния картасы тұрғызылды. ҚР әртүрлі геоботаникалық зоналары үшін, айлық булану сомасын анықтауға мүмкіндік беретін, буланушылықтың жылдық сомасының пайыздық таралу коэффициенті анықталды.