

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.4

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-21-30

ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА САНЫ

ИСАЕВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, старший преподаватель

andisrgau@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49, Россия

Цель исследования – изучение возможности получения сельскохозяйственной продукции с неорошаемых земель в аридных климатических условиях горных территорий в зависимости от естественной влагообеспеченности. Рассмотрена возможность оценки естественной влагообеспеченности на основе средних многолетних осадков, условных показателей годового естественного атмосферного увлажнения и уравнения водного баланса. Однако, при современной гидрологической изученности территории бассейна Саны, в условиях отсутствия необходимых данных для расчёта водного баланса продуктивных земель, предложена методика оценки составляющих водного баланса и расчёта естественной влагообеспеченности пахотопригодных земель на уровне «чёрного ящика» с точностью, достаточной для оценки продуктивности земель при естественном увлажнении и возможности интенсификации богарного земледелия.

Ключевые слова: агроклиматические ресурсы, естественная влагообеспеченность, показатель годового естественного атмосферного увлажнения, уравнение водного баланса, пространственная модель системы движения воды по склону в виде типов местоположений

Формат цитирования: Исаев А.С. Оценка агроклиматических ресурсов и естественной влагообеспеченности территории бассейна Саны // Природообустройство. – 2021. – № 3. – С. 21-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-21-30.

© Исаев А.С., 2021

Original article

ASSESSMENT OF AGRO CLIMATIC RESOURCES AND NATURAL WATER SUPPLY OF THE SANAA BASIN AREA

ISAEV ANDREJ SERGEEVICH, senior lecturer

andisrgau@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

The aim of the study is to study the possibility of obtaining agricultural products from non-irrigated lands in arid climatic conditions of mountain areas, depending on the natural moisture supply. The possibility of assessing the natural moisture supply on the basis of average long-term precipitation, conditional indicators of annual natural atmospheric moisture and the water balance equation is considered. However, with current hydrological knowledge of the Sanaa basin area in the absence of the necessary data for calculating the water balance of the productive soils, there is proposed the a methodology for assessment of components of water balance and calculation of natural moisture provision of arable landson the level of «black box» with an accuracy sufficient for assessment of land productivity under natural moistening and a possibility of intensification of dry farming.

Keywords: agroclimatic resources, natural moisture supply, indicator of annual natural atmospheric moistening, water balance equation, spatial model of the water movement system on the slope in the form of location types

Format of citation: Isaev A.S. Assessment of agro climatic resources and natural water supply of the Sanaa basin area // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 3. – С. 21-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-21-30.

Введение. Возможность получения сельскохозяйственной продукции с неорошаемых земель в аридных климатических условиях зависит от естественной влагообеспеченности. В связи с тем, что орошаемое земледелие осуществляется на незначительной площади пахотнопригодных земель, оценка естественной влагообеспеченности богарных земель приобретает важное практическое значение и в то же время является трудной задачей ввиду необходимости учета взаимосвязанных факторов среды обитания растений.

Сложность и важность задачи оценки естественной влагообеспеченности привели к появлению многочисленных методов и способов ее решения. Наиболее доступным является косвенный метод оценки по осадкам и условным показателям увлажнения. Но в связи с тем, что указанные методы не позволяют учесть особенности естественного увлажнения горного террасированного земледелия, был разработан новый метод, позволяющий учесть перехват местного поверхностного стока террасами.

1. Оценка влагообеспеченности по осадкам и условным показателям увлажнения

Данные оценки естественной влагообеспеченности по осадкам и условным показателям увлажнения приведены в таблицах 1-3.

Анализ данных таблиц 1-3 позволяет сделать следующие выводы [1-9]:

- годовая величина осадков изменяется по территории бассейна Саны в 1,7 раза;

- 50%-ная обеспеченность территории осадками ниже среднемноголетней;

- основным периодом выпадения осадков является март-август, на который приходится во влажные годы около 93%, в средние годы – около 86%, в засушливые годы – около 30% от годового слоя осадков.

Оценка условий естественной влагообеспеченности природно-сельскохозяйственных районов по количеству выпадающих осадков является недостаточно правомерной, так как осадки характеризуют только приходную часть водного баланса. Более объективные данные могут быть получены с помощью условных показателей годового естественного атмосферного увлажнения K_y и M_d [9-12]:

$$K_y = \frac{O}{ET_0}; \quad M_d = \frac{O}{\sum_1^{12} d}, \quad (1)$$

где

K_y – показатель (коэффициент) годового естественного атмосферного увлажнения в виде отношения среднемноголетних осадков к среднемноголетнему потенциальному суммарному испарению (эвапотранспирации) по Пенману;

M_d – показатель (коэффициент) годового естественного атмосферного увлажнения в виде отношения среднемноголетних осадков к среднемноголетней сумме среднесуточных дефицитов влажности воздуха, характеризующий испаряемость с водной поверхности, мм/год;

O – среднемноголетние осадки, мм/год;

ET_0 – среднемноголетнее потенциальное суммарное испарение (эвапотранспирация) по Пенману, мм/год;

$\sum_1^{12} d$ – среднемноголетняя сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, характеризующая испаряемость с водной поверхности, мм/год.

Таблица 1

Внутригодовое распределение среднемноголетних осадков, мм

Table 1

Intra-annual distribution of average long-term precipitation, mm

Горный природно-сельскохозяйственный район <i>Mountainous natural-agricultural region</i>	Год	Месяцы / Months											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A	193	6	6	28	36	29	3	24	45	2	3	9	2
B, C, D	242	7	7	35	45	36	4	31	57	2	4	11	3
E	324	10	10	46	61	48	5	41	76	3	5	15	4
F	284	9	9	41	53	42	4	36	66	3	4	13	4

Таблица 2

Среднемноголетние осадки 5, 25, 50, 75% обеспеченности, мм

Table 2

Average long term precipitation of 5, 25, 50, 75% provision, mm

Горный природно-сельскохозяйственный район <i>Mountainous natural-agricultural region</i>	Год	Обеспеченность, % / Provision, %			
		5	25	50	75
A	193	375	247	177	123
B, C, D	242	438	304	226	164
E	324	544	395	309	235
F	284	494	351	269	199

Таблица 3

Внутригодовое распределение среднемноголетних осадков во влажный, средний и засушливый годы, %

Table 3

Intra-annual distribution of average long-term precipitation in wet, middle and dry years, %

Влажность года <i>Humidity of year</i>	Месяцы / Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Влажный год ($P < 33\%$) <i>Wet year</i>	0,2	0,5	10,3	21,5	13,3	0,8	21,7	25,1	1,3	0,0	2,8	2,5
Средний год ($33 < P < 67\%$) <i>Middle year</i>	3,0	3,2	14,3	18,7	14,9	1,5	12,7	23,4	0,9	1,5	4,6	1,3
Засушливый год ($P > 67\%$) <i>Dry year</i>	4,3	11,4	7,9	18,3	13,0	0,3	12,0	28,4	1,3	0,7	1,8	0,6

Для классификации естественной влагообеспеченности природно-сельскохозяйственных горных районов используется шкала оценки обеспеченности растений влагой, приведенная в таблице 4 [1].

Результаты расчета показателей атмосферного увлажнения при средних значениях метеорологических элементов представлены в таблице 5.

Анализ данных таблиц 4, 5 показывает, что значения показателей Md и K_u для природно-сельскохозяйственных районов соответствуют примерно одним и тем же типам и подтипам увлажнения, поэтому в дальнейшем для удобства изложения будет применяться показатель K_u .

Годовой показатель атмосферного увлажнения K_u дает общее представление об увлажнении местности и поэтому больше подходит для районирования территории

по условиям, определяющим дефицит водопотребления орошаемых культур. Для характеристики климатических условий при богарном земледелии целесообразно рассчитывать годовой показатель атмосферного увлажнения K_u за период март-август, так как в это время, в зависимости от влажности года, выпадает от 80 до 93% годовой величины осадков.

Значения показателя годового атмосферного увлажнения K_u для осадков 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности за период март-август приведены в таблице 6.

Показатель годового атмосферного увлажнения K_u характеризует естественную влагообеспеченность богарного земледелия, получающего воду только за счет атмосферных осадков. Основными районами размещения пахотнопригодных земель с таким видом влагообеспеченности являются плато района E (*Ic*), пологонаклонный склон горного

обрамления района В (I^2c) и горная равнина района С (IV), где (I^2c), (I^2c), IV – индексы типов местоположения пахотнопригодных земель на карте природно-сельскохозяйственного районирования бассейна Саны.

На естественную влагообеспеченность остальных типов местоположений пахотных земель, кроме осадков, значительное влияние оказывает водное питание за счет поверхностного стока.

Таблица 4

Шкала оценки обеспеченности растений влагой

Table 4

Assessment scale of plants moisture provision

Тип увлажнения <i>Type of assessment</i>	Подтип (степень) увлажнения <i>Subtype (degree) of moistening</i>	Показатель среднемноголетнего естественного атмосферного увлажнения <i>Indicator of average long-term natural atmospheric moistening</i>	
		$Md = \frac{O}{\sum_1^{12} d}$	$Ky = \frac{O}{ET_0}$
Недостаточное увлажнение <i>Insufficient moistening</i>	Полузасушливо <i>Semi-arid</i>	0,35-0,25	0,77-0,55
	Засушливо <i>Arid</i>	0,25-0,20	0,55-0,44
	Очень засушливо <i>Very arid</i>	0,20-0,15	0,44-0,33
Незначительное увлажнение <i>Minor moistening</i>	Полусухо <i>Semi-dry</i>	0,15-0,10	0,33-0,22
	Сухо <i>Dry</i>	0,10-0,05	0,22-0,12
	Очень сухо <i>Very dry</i>	менее 0,05 <i>less</i>	менее 0,12 <i>less</i>

Таблица 5

Расчетные значения показателей атмосферного увлажнения

Table 5

Calculated values of indicators of atmospheric moistening

Показатель <i>Indicator</i>	Размерность <i>Quantity</i>	Природно-сельскохозяйственный горный район <i>Mountainous natural-agricultural region</i>					
		А	В	С	Д	Е	Ф
Md	-	0,04	0,07	0,07	0,07	0,11	0,09
Ky	-	0,09	0,12	0,12	0,12	0,18	0,15
O	мм/год <i>mm/year</i>	193	242	242	242	324	284
$\sum_1^{12} d$	мм/год <i>mm/year</i>	4300	3580	3720	3320	2960	3100
ET ₀	мм/год <i>mm/year</i>	2150	2010	2030	1940	1850	1890
Тип увлажнения <i>Type of moistening</i>		Незначительное увлажнение <i>Minor of moistening</i>					
Подтип (степень) увлажнения <i>Subtype (degree) of moistening</i>		Очень сухо <i>Very dry</i>	Сухо <i>Dry</i>	Сухо <i>Dry</i>	Сухо <i>Dry</i>	Сухо <i>Dry</i>	Сухо <i>Dry</i>

Таблица 6

Значения показателя годового атмосферного увлажнения K_y для осадков 5, 25, 50 и 75% обеспеченности за период март-август

Table 6

Values of the indicator of annual atmospheric moistening K_y for precipitation of 5, 25, 50 and 75% provision for the March-August period

Показатель / Indicator	Природно-сельскохозяйственные горные районы Mountainous natural-agricultural regions			
	A	B, C, D	E	F
ЕТо за март-август, мм <i>for march – august, mm</i>	1190	1100	1020	1040
Ос за март-август 5% обеспеченности, мм <i>for march – august 5% provision, mm</i>	320	370	470	420
Ос за март-август 25% обеспеченности, мм <i>for march – august 25% provision, mm</i>	210	260	340	300
Ос за март-август 50% обеспеченности, мм <i>for march – august 50% provision, mm</i>	150	190	260	230
Ос за март-август 75% обеспеченности, мм <i>for march – august 75% provision, mm</i>	100	140	200	170
Ос среднемноголетние, мм <i>average long-term, mm</i>	170	210	280	240
К_y 5% обеспеченности <i>5% provision</i>	0,27	0,34	0,46	0,40
К_y 25% обеспеченности <i>25% provision</i>	0,18	0,24	0,33	0,29
К_y 50% обеспеченности <i>50% provision</i>	0,13	0,17	0,25	0,22
К_y 75% обеспеченности <i>75% provision</i>	0,08	0,13	0,20	0,16
К_y среднемноголетний <i>average long-term</i>	0,14	0,19	0,27	0,23

Примечание. Годовые осадки независимо от обеспеченности приводились к периоду март-август по распределению среднего года, что позволило упростить расчеты и исключить иллюзию точности при относительно коротком ряде метеонаблюдений.

2. Оценка влагообеспеченности путем составления уравнения водного баланса

Особенность горного земледелия в аридной зоне заключается в зависимости от наличия естественных продуктивных земельных ресурсов и естественной влагообеспеченности корнеобитаемой зоны культурных растений, которая определяется величиной атмосферных осадков и закономерностями поверхностного стока.

Объем и интенсивность поверхностного стока определяются объемом и интенсивностью выпадающих осадков; рельефом местности (уклон поверхности земли, длина и форма склонов и др.); состоянием поверхности почвогрунта; развитием эрозионных процессов, сопровождающихся перераспределением фракций каменистых отложений и почвенных частиц вниз по склонам, образованием промоин и ложбин стока; развитием и направленностью

антропогенных процессов; мощностью слоя мелкозема; начальным увлажнением и водно-физическими свойствами почвогрунта,

Несмотря на большое разнообразие условий формирования стока, можно выделить общие свойства горных склонов, а именно:

- наличие выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли, являющихся водоупором;
- наличие относительного водоупора на небольшой глубине от поверхности почвы;
- распространение элювиальных, аллювиальных и делювиально-пролювиальных рыхлых отложений разной мощности, залегающих на водоупоре и перекрытых почвенным слоем с широко изменяющейся водопроницаемостью;
- непостоянство глубин залегания водоупора по ширине и длине склонов.

Указанные общие свойства горных склонов обуславливают общие закономерности

формирования стока, которые в условиях глубокого залегания грунтовых вод характеризуются следующим образом.

1. Поступающие на горные склоны дождевые воды, в зависимости от интенсивности и продолжительности дождя, с одной стороны, и водопроницаемости почвогрунта – с другой, частично впитываются в почвогрунт, а частично образуют поверхностный сток.

2. Впитавшаяся в почвогрунт вода, в зависимости от конкретных сочетаний элементов системы «Осадки-горные образования», распределяется по трем направлениям в том или ином соотношении:

- частично удерживается в поровом пространстве почвогрунта за счет молекулярных и капиллярных сил и в дальнейшем расходуется на физическое испарение с поверхности почвогрунта и транспирацию с листьев растений;

- частично, при большой мощности мелкозема и глубоком залегании водоупора, просачивается в глубинные горизонты почвогрунта;

- частично, при небольшой мощности мелкозема и близком к поверхности залегании водоупора, расходуется на образование внутрипочвенного стока.

3. В зависимости от количества дождевой воды, поступающей в почвогрунт, внутрипочвенный сток может осуществляться в виде сплошного потока по порам всего профиля почвогрунта или потока по контакту с подстилающим водоупором, трещинам и расщелинам в подстилающей горной породе.

4. Наряду с внутрипочвенным стоком образуется поверхностный склоновый сток, интенсивность которого зависит от соотношения интенсивности дождя и впитывающей способности почвогрунта, то есть поверхностный сток формируется как избыток интенсивности дождя над интенсивностью впитывания, которая определяется физическими свойствами, начальной влажностью и объемом свободных пор почвогрунта. Часть поверхностного стока теряется на заполнение депрессий в рельефе.

5. Общей особенностью поверхностного стока равнинных территорий при глубоком залегании грунтовых вод является его формирование за счет разности интенсивности осадков и интенсивности впитывания. При относительно высокой водопроницаемости почвогрунтов вероятность образования поверхностного стока мала и определяется исключительно сильными ливнями. Внутрипочвенный сток на равнинных территориях, как правило, незначителен и носит локальный характер.

Теоретической основой оценки естественной влагообеспеченности пахотнопригодных земель служит уравнение водного баланса корнеобитаемой зоны за расчетный период, выражающее закон сохранения материи [7, 10-12]:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \text{Приток} - \text{Отток} = \\ &= (O + K + \text{Пп} + \text{Пв} + \text{Ор}) - \\ &- (Eф + Eт + \text{Оп} + \text{Ов} + \text{Др}) \pm B; \end{aligned}$$

$$\Delta W = O + K + (\text{Пп} - \text{Оп}) + (\text{Пв} - \text{Ов}) + \text{Ор} - (Eф + Eт) - \text{Др} \pm B;$$

$$\Delta W = O_c + K + \text{Ппс} + \text{Пвс} + \text{Ор} - E_{\text{сум}} - \text{Др} \pm B, \quad (2)$$

где

ΔW – изменение влагозапасов на рассматриваемом участке в расчетном слое почвогрунта (корнеобитаемой зоне) за расчетный период (при одинаковой влажности в начале и конце расчетного периода $\Delta W = 0$), мм;

O – осадки, выпадающие на рассматриваемый участок почвогрунта за расчетный период, мм;

K – внутрипочвенная конденсация воды на рассматриваемом участке почвогрунта в расчетном слое за расчетный период, мм;

Пп – приток поверхностных вод с верхней по уклону части водосбора на рассматриваемый участок почвогрунта за расчетный период, мм;

Пв – приток внутрипочвенных вод с верхней по уклону части водосбора через верхнюю вертикальную границу рассматриваемого участка почвогрунта в расчетный слой за расчетный период, мм;

Ор – количество воды, поступившей на рассматриваемый участок почвогрунта в расчетный слой за расчетный период при орошении, мм;

$Eф$ – физическое испарение с поверхности почвогрунта рассматриваемого участка за расчетный период, мм;

$Eт$ – транспирация в виде испарения с листьев растений с рассматриваемого участка почвогрунта за расчетный период, мм;

Оп – отток поверхностных вод на нижнюю по уклону часть водосбора с рассматриваемого участка почвогрунта за расчетный период, мм;

Ов – отток внутрипочвенных вод на нижнюю часть водосбора через нижнюю вертикальную границу рассматриваемого участка почвогрунта из расчетного слоя за расчетный период, мм;

Др – количество воды, удаленное с рассматриваемого участка почвогрунта из расчетного слоя за расчетный период в результате работы дренажной системы, мм;

$\pm B$ – вертикальный водообмен в виде притока или оттока воды с рассматриваемого участка из расчетного слоя почвогрунта за расчетный период, мм.

$(\text{Пп} - \text{Оп}) = \text{Ппс}$ – часть поверхностного стока, задержанная на рассматриваемом участке почвогрунта в расчетном слое за расчетный период, мм;

$(\text{Пв} - \text{Ов}) = \text{Пвс}$ – часть внутреннего стока, задержанная на рассматриваемом участке почвогрунта в расчетном слое за расчетный период, мм;

$(Eф + Eт) = E_{\text{сум}}$ – суммарное испарение (эвапотранспирация), равное суммарным затратам воды на физическое испарение с поверхности почвы и транспирацию в виде испарения с листьев растений с рассматриваемого участка почвогрунта за расчетный период, мм.

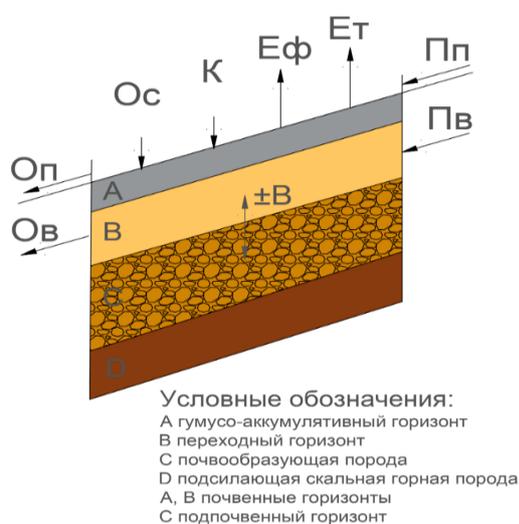


Рис. Составляющие водного баланса рассматриваемого участка почвогрунта

Fig. Components of the water balance of the considered soil lot

Для практического решения задачи определения естественной влагообеспеченности почвогрунтов можно пренебречь расходом воды на глубинное просачивание за пределы корнеобитаемой зоны, то есть принять $\pm B = 0$, что предположительно не отразится на результатах исследований. Основанием для этого служит сочетание следующих взаимообусловленных факторов: аридность климата, ограниченность одновременно охваченной дождем территории и кратковременность выпадения осадков, значительная потенциальная способность сухой почвы удерживать воду, неглубокое залегание водоупора на склонах.

Подтверждением незначительно малого вертикального водообмена служат результаты режимных наблюдений за уровнем грунтовых вод на территории бассейна Саны, на основании которых был установлен коэффициент инфильтрационного питания в виде отношения среднегодовых осадков, идущих на пополнение подземных вод к сумме среднегодовых осадков, величина которого составляет 0,03-0,08.

В связи с тем, что рассматривается вопрос определения естественной влагообеспеченности без учета орошения и осушения, следует принять $O_p = 0$ и $D_p = 0$. Конденсация влаги в почве представляет в большей мере теоретический интерес для ограниченных во времени и пространстве условий, и ею также можно пренебречь, то есть принять $K = 0$. Тогда уравнение (2) принимает вид [7, 10-12]:

$$\Delta W = O + П_{пс} + П_{вс} - E_{сум}. \quad (3)$$

Количественная оценка составляющих водного баланса является трудноразрешимой задачей в результате сложности системы «Осадки-сток», не позволяющей детально проанализировать все процессы, протекающие в подсистемах морфологической системы горного склона. Поэтому решение этой задачи может быть осуществлено приближенно, на уровне «черного ящика», с некоторым анализом внутреннего строения системы.

Рассмотрим систему, включающую в себя водораздел, склон и долину временного водотока вади. В общем виде пространственную модель движения воды по склону от водораздела до нижней границы системы можно представить как цепочку подсистем в виде типов местоположений:

1. Первая подсистема представлена водораздельным плато.

2. Вторая подсистема представлена естественным водосбором, включающим в себя верхние части нетеррасированных склонов с уклонами более 15° , на которые непосредственно выпадают осадки. Верхней границей естественного водосбора являются водораздел или водораздельное плато, нижней границей является третья подсистема террасированных продуктивных земель. Выход из второй подсистемы приравнен к поверхностному стоку, величина которого определяется на основании результатов экспериментов, проведенных на различных геоморфологических элементах с целью измерения стока и стокоформирующих факторов при искусственном дождевании. При этом допускается, что весь сток с естественного водосбора поступает на нижерасположенную третью подсистему пахотных земель.

3. Третья подсистема представлена террасированными продуктивными землями, расположенными на средних и нижних частях склонов с уклонами $5-15^\circ$.

4. Четвертая подсистема представлена террасированными или нетеррасированными продуктивными землями, расположенными в днище долины вади с уклонами $0-5^\circ$.

5. Пятая подсистема представлена равниной с террасированными или нетеррасированными продуктивными землями.

Вход на каждую из подсистем образуется за счет поверхностного стока с вышерасположенной подсистемы и прямых осадков:

- сток с первой подсистемы водораздельного плато поступает на вторую подсистему естественного водосбора верхних частей склонов с уклонами более 15° ;

- сток со второй подсистемы естественного водосбора верхних частей склонов с уклонами более 15° поступает на третью подсистему террасированных продуктивных земель средних и нижних частей склонов с уклонами $5-15^\circ$;

- сток с третьей подсистемы террасированных продуктивных земель средних и нижних частей склонов с уклонами $5-15^\circ$ поступает на четвертую подсистему террасированных или нетеррасированных продуктивных земель днища долины вади с уклонами $0-5^\circ$;

- сток с четвертой подсистемы террасированных или нетеррасированных продуктивных земель днища долины вади с уклонами $0-5^\circ$ приравнивается к поверхностному стоку системы в целом.

На основании обобщения имеющихся материалов полевых обследований и изысканий, включающих в себя метки горизонтов паводковых вод на территории бассейна Саны, среднемноголетние значения интенсивности осадков, среднемноголетние объемы стока по 25 створам водотоков ЙАР и 19 створам сопредельных стран региона (Саудовская Аравия, Оман и др.) с низкой сельскохозяйственной освоенностью, методом множественной корреляции получена эмпирическая формула для расчета объема паводкового стока:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, F) = 10^{(0,0012 \cdot \bar{X} + 1,02 \cdot \lg F - 2,06)}, \quad (4)$$

где \bar{Y} – норма годового стока водотоков с низкой сельскохозяйственной освоенностью, то есть сформировавшегося при отсутствии потерь стока на террасах склонов и днища вади, млн м^3 ; \bar{X} – норма годовых осадков, мм; F – площадь водосбора, км^2 .

Полученное высокое значение коэффициента множественной корреляции $r = 0,973$ позволяет использовать уравнение (4) для определения среднемноголетней нормы стока водотоков с низкой сельскохозяйственной освоенностью.

Террасы и нетеррасированные поля, созданные в течение тысячелетий на малых водосборах, распределены в соответствии с возможностью регулярного получения влаги, необходимой для произрастания сельскохозяйственных культур. Террасы, расположенные на склонах, получают влагу за счет прямых осадков и склонового стока с вышерасположенных частей водосбора. Террасы в днищах вади получают влагу за счет прямых осадков, склонового стока с вышерасположенных частей водосбора и условного стока.

Изучение картографического материала и аэрофотоснимков показало, что имеется значительное количество водосборов с большими площадями террас в днище вади, на средних и нижних частях склонов, с террасами и обвалованными полями на приводораздельной части верхних частей склонов, но с отсутствием заметного русла в замыкающем створе вади. Дело в том, что в течение тысячелетий площади сельскохозяйственных угодий на водосборах подобраны таким образом, что в среднемноголетнем разрезе террасы и обвалованные поля перехватывают практически все осадки и весь склоновый сток.

Оценка влияния сельскохозяйственной освоенности на годовой сток произведена на основе статистического анализа данных по 29 водосборным бассейнам вади Кхарид с отсутствующим аллювиальным руслом в нижней части водосбора, то есть с отсутствием стока в замыкающем створе.

В результате проведенного статистического анализа получены две линейные зависимости:

1. Зависимость объема годового стока от суммарной площади террас F_d в долине вади:

$$Y_d = 22,9 + 166,4F_d. \quad (5)$$

2. Зависимость объема годового стока от суммарной площади террас F_d в долине вади и площади обвалованных полей F_o на водосборе:

$$Y_b = 166F_d + 4F_o. \quad (6)$$

Зависимости (4), (5) и (6) используются для расчета выхода стока из подсистем пахотных земель.

Для оценки составляющих водного баланса на уровне «черного ящика» преобразуем уравнение (3):

$$W = O - O_p = O_v + E_{\text{сум}}, \quad (7)$$

где W – валовое увлажнение территории (естественная влагообеспеченность), мм; O_p – отток поверхностных вод на нижнюю по уклону часть водосбора с рассматриваемой территории, мм; O_v – отток внутрипочвенных вод на нижнюю по уклону часть водосбора с рассматриваемой территории, мм; $E_{\text{сум}}$ – суммарное испарение (эвапотранспирация), мм.

Физический смысл уравнения (7) заключается в том, что разница между осадками O_s , выпавшими на рассматриваемой территории и поверхностным стоком O_p характеризует валовое увлажнение (влагообеспеченность)

почвогрунта, которое впоследствии расходуется на суммарное испарение $E_{\text{сум}}$ и внутрипочвенный сток $O_{\text{в}}$, являющийся динамической частью ресурсов влаги.

Со временем внутрипочвенный сток $O_{\text{в}}$ распределяется по территории и удерживается в почве в виде статических ресурсов. Это обстоятельство позволило принять допущение, что выноса воды из почв за пределы системы в виде пространственных моделей движения воды по склону от верхней границы системы (водораздела) до нижней границы системы (русла вади) не происходит, а весь внутрипочвенный сток $O_{\text{в}}$ перераспределяется между подсистемами (типами местоположений).

Если за расчетный период для определения валового увлажнения (влагообеспеченности) территории принять суммарное время выпадения дождя в году,

то вследствие его небольшой продолжительности расходом ресурсов влаги на суммарное испарение $E_{\text{сум}}$ можно пренебречь, и тогда уравнение (7) принимает вид:

$$W = O - O_{\text{п}}. \quad (8)$$

Выводы

При современной гидрологической изученности территории бассейна Саны, в условиях отсутствия других доступных способов решения задачи оценки естественной влагообеспеченности продуктивных земель, уравнение может использоваться для приближенной оценки естественного валового увлажнения пахотнопригодных земель с точностью, достаточной для оценки продуктивности земель при естественном увлажнении и возможности интенсификации богарного земледелия.

Библиографический список

1. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР // Научные труды ВАСХНИЛ / Под ред. чл.-корр. ВАСХНИЛ В.В. Егорова. – М.: Колос, 1975. – 256 с.
2. **Шашко Д.И.** Агроклиматическая карта мира. – М.: 1977.
3. **Шашко Д.И.** Агроклиматические ресурсы СССР. – М.: 1985.
4. **Цубербиллер Е.А.** Агроклиматическая характеристика суховеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1959.
5. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 1. Климатические и гидрологические условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 195 с.
6. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 2. Геологические и гидрогеологические условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 195 с.
7. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 3. Почвенные условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 327 с.
8. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 4. Природно-сельскохозяйственное районирование и мелиоративная оценка земфонда. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 125 с.
9. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. Кн. 5. Использование поверхностного стока. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 165 с.
10. **Беркало В.Я.** Показатели влагообеспеченности и режимы орошения трав

References

1. Prirodno-selskokozyajstvennoe rajonirovanie zemelnogo fonda SSSR. Nauchnye Trudy VASHNIL. / Pod red. chlen-kor. V.V. Egorova. – M.: Kolos, 1975. – 256 s.
2. **Shashko D.I.** Agroklimaticheskaya karta mira. – M.: 1977.
3. **Shashko D.I.** Agroklimaticheskie resursy SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 249 s.
4. **Tsuberbiller E.A.** Agroklimaticheskaya harakteristika suhoveev. – L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 169 s.
5. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. / Kn. 1. Klimaticheskie i gidrologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 s.
6. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. / Kn. 2. Geologicheskie i gidrogeologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 s.
7. Skhema ispolzovania vodnyh resursov bassejna Sany. / Kn. 3. Pochvennye usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 327 s.
8. Skhema ispolzovaniya vodny resursov bassejna Sany. / Kn. 4. Prirodno-selskokozyajstvennoe rajonirovanie i meliorativnaya otsenka zemfonda. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 125 s.
9. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. / Kn. 5. Ispolzovanie poverhnostnogo stoka. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 165 s.
10. **Berkalo V.Ya.** Pokazateli vlagobespechennosti i rezhimy orosheniya trav

в высокогорьях Киргизии. – Кыргызстан: Фрунзе, 1966.

11. Crop water requirements. Irrigation and Drainage paper. – № 24. – FAO: Rome, 1975.

12. Голованов А.И., Кожанов Е.С., Сухарев Ю.И. Ландшафтоведение: учебник. / 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. – 224 с.

13. Мелиорация земель / Под ред. А.И. Голованова: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. – 832 с.

14. Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. академика РАСХН В.И. Кирюшина, академика РАСХН А.Л. Иванова. – М.: 2005.

v vysokogorjah Kirgizii. – Frunze: 1966. – 178 s.

11. Crop water requirements. Irrigation and Drainage paper № 24. FAO. Rome. 1975.

12. Golovanov A.I., Kozhanov E.S., Sukharev Yu.I. Landshaftovedenie: uchebnik. / 2-eizd., ispr. idop. – SPb.: Izdatelstvo«Lan», 2015. – 224 s.

13. Melioratsiyazemel / pod red. A.I. Golovanova: uchebnik. / 2- eizd., ispr. idop. – SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. – 832 s.

14. Metodicheskoe rukovodstvo po agroekologicheskoj otsenke zemel, proektirovaniyu adaptivno-landshaftnyh system zemledeliya i agrotehnologijiorovaniyu / Pod red. Akademika RASHV. I. Kiryushina, akademika RASHN A.L. Ivanova. – M.: 2005.

Критерии авторства

Исаев А.С. имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 14.12.2020 г.

Одобрена после рецензирования 11.01.2021 г.

Принята к публикации 14.01.2021 г.

Criteria of Authorship

Isaev A.S. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 14.12.2020

Approved after reviewing 11.01.2021

Accepted for publication 14.01.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6.02:620.193.15

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-30-35

ОСОБЕННОСТИ ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЗОНЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ АЭРОПОРТОВ

КАСЬЯНОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ, д-р техн. наук, профессор

kasian64@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская, 49, Россия

Рассмотрены особенности изысканий, проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем в зоне международного аэропорта «Жуковский», расположенного в Московской области. Изыскания для проектирования включали в себя орнитологическое обследование мелиорируемой территории. Выявлены виды птиц, участки гнездования и количество гнезд. Число гнезд до мелиорации составило в среднем 200 ± 1.5 шт. (среднее значение \pm стандартная ошибка). Гидромелиорация в зоне аэропорта ликвидировала локальные участки заболачивания, и участки гнездования исчезли. Осушение выполнено открытыми собирателями. Расстояние между собирателями составляет 120 м, длина – от 700 до 1200 м. Капитальные гидромелиоративные сооружения отсутствуют. На польдерном участке проектом предусмотрены открытые собиратели и дрены. Состояние мелиоративной системы с 2001 г. ухудшается. Отмечаются периодическое переувлажнение части польдерного участка и формирование участка гнездования озерных чаек. Над птенцами при их кормлении постоянно пролетают на высоте 231.5 м самолеты типа Airbus A321, размеры которых в глазах птенцов сопоставимы с размерами чаек-родителей. У птенцов формируется устойчивый