

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.4

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-52-58

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАГОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПАХОТОПРИГОДНЫХ БОГАРНЫХ ЗЕМЕЛЬ БАССЕЙНА САНЫ

**ИСАЕВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, инженер

andisrgau@mail.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп.2, Россия

*По разработанной методике оценки естественной влагообеспеченности типов местоположений пахотопригодных земель бассейна Саны и рекомендуемым значениям коэффициентов стока проведены расчеты ресурсов влаги по 54 водосборам для 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности значений годовых осадков и для среднегодовой величины осадков. Расчеты показали, что использование местного поверхностного стока путем перехвата террасами позволяет формировать ресурсы влаги в диапазоне 0,9-1,8 величины осадков. Ввиду того, что продуктивность богарного земледелия в основном определяется площадью пашни с полусухими и весьма засушливыми условиями, которая занимает 52% пахотопригодных богарных земель, имеется возможность увеличения объема производства зерна на территории бассейна Саны за счет интенсификации богарного земледелия.*

**Ключевые слова:** водосборный бассейн, естественная влагообеспеченность, ресурсы влаги пахотопригодных земель, типы местоположений пахотопригодных земель, коэффициент поверхностного стока, показатель естественной влагообеспеченности

**Формат цитирования:** Исаев А.С. Результаты расчета естественной влагообеспеченности пахотопригодных богарных земель бассейна Саны // *Prirodoobustrojstvo*. – 2021. – № 5 – С. 52-58. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-52-58.

© Исаев А.С., 2021

Original article

## RESULTS OF CALCULATION OF NATURAL MOISTURE AVAILABILITY OF ARABLE BOGHARA LANDS OF THE SANA POOL

**ISAEV ANDREY SERGEEVICH**, engineer

andisrgau@mail.ru

All-Russian scientific research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, B. Akademicheskaya St., house 44, building 2. Russia

*According to the developed methodology for assessing the natural moisture availability of the types of arable land locations in the Sana basin and the recommended values of runoff coefficients accepted for calculations, calculations of moisture resources for 54 catchments were carried out for 5, 25, 50 and 75% of the annual precipitation and for the average annual precipitation have shown that the use of local surface runoff by terracesinterception allows the formation of moisture resources in the range of 0.9-1.8 of the precipitation values. Since the productivity of bogharaagriculture is mainly determined by the area of arable land with semi-dry and very arid conditions, which occupies 52% of arable boghara land, it is possible to increase the volume of grain production in the Sanaa basin due to the intensification of boghara agriculture.*

**Keywords:** catchment area, natural moisture availability, moisture resources of arable land, types of arable land locations, surface runoff coefficient, natural moisture availability indicator

*Format of citation: Isaev A.S. Results of calculation of natural moisture availability of arable boghara lands of the Sana pool // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 5 – S. 52-58. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-52-58.*

**Введение.** По разработанной методике оценки естественной влагообеспеченности типов местоположений пахотопригодных земель бассейна Саны проведены расчеты ресурсов влаги по 54 водосборам для 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности значений годовых осадков и для среднегодовой величины осадков. Проведен анализ полученных результатов и сделаны выводы о возможности увеличения объема производства зерна на территории бассейна Саны за счет интенсификации богарного земледелия.

**Результаты расчета естественной влагообеспеченности пахотопригодных богарных земель бассейна Саны.** Расчеты ресурсов влаги выполнены по 54 водосборам с относительно однородными условиями естественного увлажнения земель. Для более полного учета особенностей увлажнения земель водосборных бассейнов основных вад и контроля полученных результатов путем сравнения крупные водосборные бассейны основных вад были разделены на более мелкие водосборные бассейны притоков [1, 2].

Для оценки изменчивости ресурсов влаги в многолетнем периоде расчеты выполнялись для 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности значений годовых осадков и для среднегодовой величины осадков. При этом принималось допущение, что осадки, поверхностный сток и валовое увлажнение земель имеют одинаковую обеспеченность.

Полученные значения ресурсов влаги по типам местоположений пахотопригодных земель водосборных бассейнов притоков основных вад последовательно осреднялись в пределах водосборных бассейнов основных вад, а затем – по природно-сельскохозяйственным районам с учетом весов средних значений ресурсов влаги, в качестве которых выступали соответствующие площади террасированных пахотопригодных земель [3-7].

Результаты расчета ресурсов влаги для 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности значений годовых осадков и среднегодовых значений осадков, а также показателей валового увлажнения пахотопригодных земель за год и расчетный вегетационный период приведены в таблице 1.

Расчеты показали, что использование местного поверхностного стока путем перехвата террасами позволяет формировать ресурсы влаги в диапазоне 0,9-1,8 величины осадков. Наибольшие среднемноголетние влагозапасы формируются на террасированных склонах и составляют 255-425 мм, что в 1,2-1,8 раза превышает среднемноголетние осадки. Среднемноголетние влагозапасы в днищах вад имеют несколько меньшую величину, но во влажные годы могут превышать влагозапасы склонов [7-9].

Террасирование склонов позволяет в определенных пределах компенсировать уменьшение осадков и тем самым выравнивает ресурсы влаги по территории. Так, в самом сухом горном природно-сельскохозяйственном районе «А» на террасированных пахотопригодных склонах формируются такие же влагозапасы, как в днищах вад горного природно-сельскохозяйственного района «Д», обеспеченность осадками которого в 1,2 раза больше. На склонах горных природно-сельскохозяйственных районов «F» и «D» формируются такие же влагозапасы, как на плато горного природно-сельскохозяйственного района «E», обеспеченность осадками которых соответственно в 1,2 и 1,4 раза больше.

Тысячелетняя история развития земледелия в горной части ЙАР позволила фермерам накопить бесценный опыт использования поверхностного стока для выращивания сельскохозяйственных культур, согласно которому наблюдается сокращение площади террасированных земель в соответствии с сокращением осадков с юго-запада на северо-восток бассейна Саны.

На основе материалов полевых обследований и изысканий получена аналитическая зависимость площади террасированных земель от осадков 50%-ной обеспеченности:

$$\bar{F} = \frac{F_T}{F} = 0,004 \cdot O_{c_{50}} - 0,594, \quad (1)$$

где  $\bar{F}$  – относительная площадь террасированных земель в долях единицы от площади водосборного бассейна;  $F_T$  – площадь террасированных земель в границах водосборного бассейна, км<sup>2</sup>;  $F$  – площадь водосборного бассейна км<sup>2</sup>;  $O_{c_{50}}$  – годовые осадки 50%-ной обеспеченности, мм.

Таблица 1

Результаты расчета ресурсов влаги для 5-, 25-, 50- и 75%-ной обеспеченности значений годовых осадков и среднегодовых значений осадков, а также показателей валового увлажнения пахотопригодных земель за год и расчетный вегетационный период

Table 1

Results of calculation of moisture resources for 5, 25, 50 and 75% of the provision of annual precipitation and average annual precipitation values, as well as indicators of gross moisture of arable land for the year and the estimated growing season

№	Горный природно-сельскохозяйственный район Mountain natural and agricultural area	Обеспеченность осадками, % Provision of precipitation, %	Годовые осадки, мм Annual precipitation, mm	Плато (Ic <sup>1</sup> , Ic <sup>2</sup> ) Plateau (Ic <sup>1</sup> , Ic <sup>2</sup> )			Склоны (IIc) Slopes (IIc)			Днище (IIIc) Bottom (IIIc)			Равнина (IV) Plain		
				W, мм	Kw		W, мм	Kw		W, мм	Kw		W, мм	Kw	
					Период Period			Период Period			Период Period			Период Period	
					I-XII	III-VIII		I-XII	III-VIII		I-XII	III-VIII		I-XII	III-VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	A	5	390				330	0,15	0,24	400	0,19	0,29			
		25	260				290	0,13	0,21	265	0,12	0,19			
		50	190				265	0,12	0,19	190	0,09	0,14			
		75	130				180	0,08	0,13	130	0,06	0,09			
		Средн.	205				255	0,12	0,18	215	0,10	0,16			
2	B	5	445	445	0,22		280	0,19	0,29	460	0,23	0,36			
		25	310	310	0,15		350	0,17	0,27	315	0,16	0,24			
		50	235	235	0,12		330	0,16	0,26	235	0,12	0,18			
		75	170	170	0,08		240	0,12	0,19	170	0,08	0,13			
		Средн.	250	250	0,12		310	0,15	0,24	265	0,13	0,21			
3	C	5	440				375	0,18	0,29	455	0,22	0,35	440	0,22	0,34
		25	305				345	0,17	0,26	310	0,15	0,24	305	0,15	0,23
		50	230				320	0,16	0,25	230	0,11	0,18	230	0,11	0,18
		75	165				230	0,11	0,18	165	0,08	0,13	165	0,08	0,13
		Средн.	245				300	0,15	0,23	260	0,20	0,21	245	0,12	0,19
4	D	5	435	375	0,19	0,30	605	0,31	0,49	595	0,31	0,48			
		25	300	345	0,18	0,28	500	0,26	0,40	380	0,20	0,31			
		50	225	315	0,16	0,25	420	0,22	0,34	265	0,14	0,21			
		75	160	225	0,12	0,18	320	0,16	0,26	185	0,09	0,15			
		Средн.	240	300	0,15	0,24	425	0,22	0,34	310	0,16	0,25			
5	E	5	560	560	0,30	0,47	540	0,29	0,46	690	0,37	0,58			
		25	410	410	0,22	0,35	460	0,25	0,39	470	0,25	0,40			
		50	320	320	0,17	0,27	410	0,22	0,35	335	0,18	0,28			
		75	250	250	0,14	0,21	320	0,17	0,27	240	0,13	0,20			
		Средн.	335	335	0,18	0,28	410	0,22	0,35	385	0,21	0,32			
6	F	5	490	420	0,22	0,35	605	0,32	0,50	675	0,36	0,56			
		25	345	370	0,20	0,31	500	0,26	0,41	435	0,23	0,36			
		50	265	305	0,16	0,25	420	0,22	0,35	300	0,16	0,25			
		75	195	255	0,13	0,21	320	0,17	0,26	200	0,11	0,17			
		Средн.	280	320	0,17	0,26	425	0,22	0,35	350	0,19	0,29			

**Примечание.** Величины осадков в таблице могут незначительно отличаться от величин, приведенных в других таблицах, ввиду способа осреднения по площади.

**Note.** The precipitation values in the table may differ slightly from the values given in other tables due to the method of averaging over the area.

Фактическая и расчетная относительная площадь террасированных земель горных природно-сельскохозяйственных районов приведена в таблице 2.

Оценка естественной влагообеспеченности расчетного вегетационного периода богарных пахотопригодных земель производится с помощью показателя естественной влагообеспеченности  $K_w$ , рассчитываемого для осадков 50%-ной обеспеченности, характеризующих средние условия увлажнения, по формуле:

$$K_w = \frac{K_{пр} \cdot W}{\sum_{i=1}^{I=180} ET_{oi}}, \quad (2)$$

где  $K_w$  – показатель естественной влагообеспеченности расчетного вегетационного периода богарных пахотопригодных земель;  $K_{пр} = 0,86$  – коэффициент приведения среднегодового валового увлажнения к периоду расчетного вегетационного периода;  $W$  – слой среднегодового валового увлажнения, мм;  $\sum_{i=1}^{I=180} ET_{oi}$  – суммарное увлажнение (эвапотранспирация) за расчетный вегетационный период, мм;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  – порядковый номер суток вегетационного периода;  $I = 180$  сут. – продолжительность расчетного вегетационного периода.

На основе связи между показателем увлажнения  $K_u$  и коэффициентом роста сельскохозяйственных растений богарные пахотопригодные земли подразделяются на два вида [7-10]:

1. Необеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли, включающие в себя типы местоположений пахотопригодных земель, которые при 50%-ной обеспеченности осадками не позволяют получить урожай зерновых или позволяют получить урожай зерновых не выше 10-25%-ной урожайности при достаточном увлажнении. По степени естественной влагообеспеченности необеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли подразделяются на земли недостаточно влагообеспеченные и мало влагообеспеченные.

2. Полуобеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли, включающие в себя типы местоположений пахотопригодных земель, которые при 50%-ной обеспеченности осадками позволяют получить урожай зерновых не выше 45-50% урожайности при достаточном увлажнении. По степени естественной влагообеспеченности полуобеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли выделяются как неустойчиво влагообеспеченные.

Таблица 2

### Фактическая и расчётная относительная площадь террасированных земель горных природно-сельскохозяйственных районов

Table 2

#### Actual and estimated relative area of terraced lands of mountain natural and agricultural areas

Горный природно-сельскохозяйственный район <i>Mountain natural and agricultural area</i>	Осадки 50% обеспеченности <i>Precipitation of 50% provision</i>	Относительная площадь <i>Relative area</i>	
		Фактическая <i>Actual</i>	Расчётная <i>Estimated</i>
2	3	4	5
E	320	0,64	0,69
F	265	0,39	0,47
D	240	0,23	0,36
B	235	0,23	0,35
A	190	0,12	0,17

Распределение типов местоположений пахотопригодных земель по видам богары и естественной влагообеспеченности приведено в таблице 3.

Распределение площади пахотопригодных земель по видам богары и влагообеспеченности расчетного вегетационного периода приведено в таблице 4.

**Распределение типов местоположений пахотопригодных земель по видам богары и естественной влагообеспеченности**

Table 3

**Distribution of types of arable land locations by types of bogara and natural moisture availability**

№	Горный природно-сельскохозяйственный район <i>Mountain natural and agricultural area</i>	Осадки 50% обеспеченности за расчётный вегетационный период (III-VIII) <i>Precipitation of 50% provision for the growing season</i>	Тип местоположения <i>Type of locations</i>				
			Расчётные ресурсы влаги расчётного вегетационного периода W, мм <i>Calculated moisture resources of the estimated growing season W, mm</i>				
			Необеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли <i>Moisture unprovided arable boghara lands</i>			Полуобеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли <i>Moisture semi-provided arable boghara lands</i>	
			Недостаточно влагообеспеченные (сухо) <i>Insufficiently moisture provided (dry)</i>	Мало влагообеспеченные (полусухо) <i>Low moisture provided (semi-dry)</i>	Неустойчиво влагообеспеченные (очень сухо) <i>Unstable moisture provided (very dry)</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	А	165	III <sub>t</sub>	II <sub>t</sub>	-	-	-
			165	225	-	-	-
2	В	200	I <sub>c</sub> <sup>2</sup>	III <sub>t</sub>	II <sub>t</sub>	-	-
			200	200	285	-	-
3	С	200	IV	III <sub>t</sub>	II <sub>t</sub>	-	-
			200	200	275	-	-
4	D	195	-	III <sub>t</sub>	I <sub>c</sub> <sup>1</sup>	-	II <sub>t</sub>
			-	230	270	-	360
5	F	230	-	-	I <sub>c</sub> <sup>1</sup>	III <sub>t</sub>	II <sub>t</sub>
			-	-	260	260	360
6	E	275	-	-	I <sup>1</sup>	III <sub>t</sub>	II <sub>t</sub>
			-	-	275	290	350
7	W, мм	(120-140)-(225-260)	(225-260)-(335-390)		(335-390)-(450-520)		
8	K <sub>y</sub>	0,12-0,22	0,22-0,33		0,33-0,44		
9	K <sub>p</sub>	0,00-0,19	0,19-0,41		0,41-0,57		

**Примечание.** Данные 7, 8 и 9 строк таблицы 3 получены путём обобщения данных литературных источников. В строке 7, таблицы 3 приведены значения слоя среднегодового валового увлажнения W, соответствующие значению показателя естественной влагообеспеченности (валового увлажнения) K<sub>w</sub>. Величина потенциальной эвапотранспирации имеет разные значения в горных природно-сельскохозяйственных районах. Поэтому, одному и тому же значению показателя естественной влагообеспеченности (валового увлажнения) K<sub>w</sub>, соответствуют свои значения слоя среднегодового валового увлажнения W. Меньшая величина W соответствует району E, большая – району A. Районы B, C, D, F занимают промежуточное положение, зависящее от высотного положения. В строке 8 таблицы 3 приведены значения показателя естественной влагообеспеченности (валового увлажнения) K<sub>y</sub> и соответствующие значения коэффициента роста сельскохозяйственных культур K<sub>p</sub> по шкале оценки, приведённой в работах [1, 2].

**Note.** The data of the 7th, 8th and 9th lines of Table 3 are obtained by summarizing the data of literary sources. In line 7, Table 3, the values of the layer of average annual gross moisture W corresponding to the value of the indicator of natural moisture availability (gross moisture) K<sub>w</sub> are given. The magnitude of potential evapotranspiration has different values in mountainous natural and agricultural areas. Therefore, the same value of the indicator of natural moisture availability (gross moisture) K<sub>w</sub>, correspond to its values of the layer of average annual gross moisture W. A smaller value of W corresponds to the area E, a larger – to the area A. Districts B, C, D, F occupy an intermediate position depending on the altitude position. Line 8 of Table 3 shows the values of the indicator of natural moisture availability (gross moisture) K<sub>y</sub> and the corresponding values of the growth coefficient of crops K<sub>p</sub> according to the assessment scale given in the works [1, 2].



**Распределение площади пахотопригодных земель по видам богары и влагообеспеченности расчетного вегетационного периода**

Table 4

**Distribution of the area of arable land by types of boghara and moisture availability of the calculated growing season**

№	Горный природно-сельскохозяйственный район <i>Mountain natural and agricultural area</i>	Всего, км <sup>2</sup> <i>Total, km<sup>2</sup></i>	Необеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли, км <sup>2</sup> <i>Moisture non-provided arable boghara land, km<sup>2</sup></i>		Полуобеспеченные влагой пахотопригодные богарные земли, км <sup>2</sup> <i>Semi-moisture-provided arable boghara land, km<sup>2</sup></i>
			Недостаточно влагообеспеченные (сухо) <i>Insufficiently moisture provided (dry)</i>	Мало влагообеспеченные (полусухо) <i>Low moisture provided (semi-dry)</i>	Неустойчиво влагообеспеченные (очень сухо) <i>Unstable moisture provided (very dry)</i>
1	A	47,9	47,9	-	-
2	B	161,7	117,5	44,2	-
3	C	347,6	301,0	46,6	-
4	D	102,7	43,2	1,8	57,7
5	E	220,2	-	138,5	81,7
6	F	185,5	-	81,0	104,5
	Всего <i>Total</i>	1065,6	509,6	312,1	243,9
		100%	48%	29%	23%

### Выводы

Продуктивность богарного земледелия в основном определяется площадью пашни с полусухими и очень засушливыми условиями, которая занимает 52% пахотопригодных

богарных земель. Поэтому, с учетом невысокого современного уровня земледелия, имеется возможность увеличения объема производства зерна на территории бассейна Саны за счет интенсификации богарного земледелия.

### Библиографический список

1. 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.: Мин-во с.-х. РФ, 2005. – 741 с.

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

3. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. – Кн. 1. Климатические и гидрологические условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 195 с.

4. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. – Кн. 2. Геологические и гидрогеологические условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 195 с.

### References

1. Metodicheskoe rukovodstvo po agroekologicheskoy otsenke zemel, proektirovaniyu adaptivnolandshaftnyh systemzem ledeliyai agrotehnologij. Pod redaktsiej akademika RASHN V.I. Kiryushina, akademika RASHN A.L. Ivanova. – M.: Min-vos/hRF, 2005. – 741 s.

2. Golovanov A. I., Kozhanov E. S., Sukharev Yu. I. Landshaftovedenie: uchebnik. – 2-e izd., ispr. i dop. – SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. – 224 s.

3. Shema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 1. Klimaticheskie i gidrologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 s.

4. Shema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 2. Geologicheskie i gidrologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 s.

5. Shema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 3. Pochvennye usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 327 s.

5. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. – Кн. 3. Почвенные условия. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 327 с.

6. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. – Кн. 4. Природно-сельскохозяйственное районирование и мелиоративная оценка земфонда. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 125 с.

7. Схема использования водных ресурсов бассейна Саны. – Кн. 5. Использование поверхностного стока. – М.: Мосгипроводхоз, 1986. – 165 с.

8. **Беркало В.Я.** Показатели влагообеспеченности и режимы орошения трав в высокогорьях Киргизии. – Кыргызстан: Фрунзе, 1966.

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

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

6. Shema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 4. Prirodno-selskohozyajstvennoe rajonirovanie i meliorativnaya otsenka zemfonda. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 125 s.

7. Shema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn5. Ispolzovanie poverhnostnogostoka. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 165 s.

8. **Berkalo V.Ya.** Pokazateli vlagoobespechennosti i rezhima orosheniya trav v vysokogorjyah Kirgizii. – Kyrgyzstan: Frunze, 1966.

9. Crop water requirments. Irrigation and Drainage paper. – № 24. – FAO: Rome, 1975.

10. Melioratsija zemel: uchebnik / Pod red. A.I. Golovanova. – 2-eizd., ispr.idop. – SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. – 832 s.

#### Критерии авторства

Исаев А.С. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 08.06.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2021 г.

Принята к публикации 01.11.2021 г.

#### Criteria of authorship

A.S. Isaev carried out theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript, has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 08.06.2021

Approved after reviewing 18.10.2021

Accepted for publication 01.11.2021