

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.4

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-38-45

## ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПО ТИПАМ МЕСТОПОЛОЖЕНИЙ ПАХОТНОПРИГОДНЫХ ЗЕМЕЛЬ БАСЕЙНА САНЫ

**ИСАЕВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, инженер

andisrgau@mail.ru

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

*Целью исследования является изучение возможности получения сельскохозяйственной продукции с неорошаемых земель в аридных климатических условиях горных территорий в зависимости от естественной влагообеспеченности. Введено понятие типов местоположений пахотнопригодных земель. Все разнообразие местоположений пахотнопригодных земель территории бассейна Саны подразделено на пять типов местоположений в зависимости от расположения той или иной формы и элемента рельефа. Дана характеристика типов местоположений основных вад, межгорной котловины, равнины и других форм рельефа бассейна Саны. Разработана методика оценки естественной влагообеспеченности типов местоположений пахотнопригодных земель основных форм рельефа. На основе материалов экспериментальных полевых работ на стокообразующих площадках и в соответствии с данными источников литературы определены и приняты для расчетов естественной влагообеспеченности значения коэффициентов стока выходов коренных горных пород, рыхлых элювиальных, делювиально-пролювиальных и аллювиальных отложений, пахотнопригодных земель.*

**Ключевые слова:** водосборный бассейн, естественная влагообеспеченность, ресурсы влаги пахотнопригодных земель, типы местоположений пахотнопригодных земель, коэффициент поверхностного стока

**Формат цитирования:** Исаев А.С. Особенности естественного увлажнения по типам местоположений пахотнопригодных земель бассейна Саны // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 38-45. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-38-45.

© Исаев А.С., 2021

Original article

## FEATURES OF NATURAL HYDRATION BY THE TYPES OF ARABLE LAND LOCATIONS OF THE SANAA BASIN

**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

*The aim of the study is to study the possibility of obtaining agricultural products from dry lands in arid climatic conditions of mountain areas, depending on natural moisture availability. The concept of types of arable land locations was introduced. The entire variety of locations of arable land in the Sanaa basin is divided into five types of locations depending on the location of a particular one or another form and relief element. The characteristics of the types of locations of the main wadi, intermountain basin, plain and other forms of relief of the Sanaa basin are given. The methodology for assessing the natural moisture availability of the types of locations of arable land of the main landforms was developed. Based on the materials of experimental field work on drain-forming sites and literary sources, the values of the runoff coefficients of the exits of indigenous rocks, loose eluvial, deluvial-proluvial and alluvial sediments of arable lands were determined and adopted for the calculation of natural moisture availability.*

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

**Format of citation:** Isaev A.S. Features of natural hydration by the types of arable land locations of the Sanaa basin // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4. – С. 38-45. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-38-45.

**Введение.** Основной задачей исследований является нахождение ресурсов для увеличения урожайности и объема производства растениеводческой продукции на неорошаемых землях в аридных климатических условиях горных территорий, а также установление зависимости объема производства от типа местоположения и естественной влагообеспеченности, определяемой объемом выпадающих осадков и поверхностного стока.

**Особенности естественного увлажнения по типам местоположений пахотнопригодных земель бассейна Саны.** Разнообразие местоположений пахотнопригодных земель на территории бассейна Саны включает в себя следующие типы [1, 2].

Первый тип местоположений – водораздельное плато с террасированными и не террасированными пахотнопригодными землями, используемыми в богарном земледелии.

Второй тип местоположений – верхние естественные части склонов с уклонами более 15°, занятые низко плодородными естественными пастбищами.

Третий тип местоположений – средние и нижние части склонов с уклонами 5-15°, занятые террасированными пахотнопригодными землями, используемыми в богарном земледелии.

Четвертый тип местоположений – днища вади с уклонами 0-5°, занятые террасированными и нетеррасированными пахотнопригодными землями, используемыми в богарном земледелии.

Пятый тип местоположений – равнины с террасированными и не террасированными пахотнопригодными землями.

Рассмотрим особенности формирования естественной влагообеспеченности типов местоположений пахотнопригодных земель по гидрологическим водосборам основных форм рельефа бассейна Саны.

### Характеристика водосборных бассейнов основных вади (вади первого порядка)

Основные вади составляют территории горных природно-сельскохозяйственных районов А, D, E, F.

В районе E в состав водосборного бассейна вади Захр входит высокогорное плато, включающее в себя 100,1 км<sup>2</sup> пахотнопригодных

земель. В районах F и D в состав водосборных бассейнов вади входят плато, имеющие соответственно 19,7 и 1,8 км<sup>2</sup> пахотнопригодных земель.

Водосборные бассейны основных вади включают в себя следующие элементы рельефа (рис.): канал стока вади (русло временного водотока) (1), пахотнопригодные склоны днища вади включающее в себя канал стока, террасированные и не террасированные склоны с уклонами 0-5° (2), пахотнопригодные нижние и средние части склонов долины вади с уклонами 5-15° (3), средние и нижние части террасированных и не террасированных склонов с уклонами 5-15°; верхние естественные части склонов долины вади с уклонами более 15° (4), водораздел в виде горных вершин или плато с выходами коренных горных пород на дневную поверхность, естественными низкоплодородными пастбищами и продуктивными землями (5) [3-7].



Рис. Поперечный профиль долины вади  
Fig. Transverse profile of the Wadi Valley

Приведем характеристику распределения воды по поверхности земли на примере водосборного бассейна вади Захр, расположенного в природно-сельскохозяйственном районе E и включающего в себя все вышеперечисленные элементы рельефа.

На территории водосборного бассейна вади Захр выделяют следующие типы местоположений [3-7, 8].

*Первый тип местоположения – высокогорное плато (Индекс Ic)*

Общая площадь плато составляет 114,2 км<sup>2</sup>, в том числе 100,1 км<sup>2</sup> пахотнопригодных земель. Плато имеет наивысшие отметки поверхности земли водосборного бассейна вади Захр, составляющие 2650-2700 м. На дневной поверхности земли

залегают выходы коренных горных пород, элювиальные отложения и продуктивные пахотнопригодные земли. Рельеф плато включает в себя такие элементы, как слабопологую равнину с уклонами 0-5°, склоны и локальные депрессии с уклонами 5-15°.

Территория, занятая естественным ландшафтом, составляет 14% от общей площади плато. На остальной территории, занимающей 86% площади плато, распространена комбинация земледельческого и горно-земледельческого ландшафтов, то есть на равнинной части плато с уклонами 0-5° земледелие осуществляется без применения террас, а на склонах и в локальных депрессиях с уклонами 5-15° устраивают террасы.

Водное питание преобладающей части пахотнопригодных земель осуществляется за счет атмосферных осадков, в локальных депрессиях и у подножья склонов – за счет атмосферных осадков и поверхностного стока.

Принимается следующая модель поверхностного стока на плато: избыточное количество воды стекает с поверхности выходов коренных горных пород на рыхлые элювиальные отложения, а затем – на продуктивные сельскохозяйственные земли. Ввиду высокой степени сельскохозяйственной освоенности территории плато поверхностный сток за его пределы возможен только во влажные годы.

Расчет ресурсов влаги пахотнопригодных земель на плато производится по формуле:

$$W1 = Op \cdot \left( \frac{Fk}{Fп} \cdot Kк \cdot Kр + \frac{Fr}{Fп} \cdot Kр + 1 \right) \cdot (1 - Kп), \quad (1)$$

где W1 – ресурсы влаги пахотнопригодных земель на плато, мм; Op – атмосферные осадки расчетной обеспеченности P%, мм; Fк – площадь выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли на плато, км<sup>2</sup>; Fr – площадь рыхлых элювиальных отложений на плато, км<sup>2</sup>; Fп – площадь пахотнопригодных земель на плато, км<sup>2</sup>; Kк – коэффициент поверхностного стока выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли; Kр – коэффициент поверхностного стока рыхлых элювиальных отложений; Kп – коэффициент поверхностного стока пахотнопригодных земель.

#### *Второй тип местоположения – верхняя естественная часть склонов с уклонами более 15° (Индекс II)*

На дневной поверхности земли, как правило, выше по склону, залегают выходы коренных горных пород, ниже по склону залегают рыхлые делювиально-пролювиальные отложения и естественные не террасированные пастбища. В качестве исключения встречаются небольшие террасированные площади

скудных естественных пастбищ. Общая площадь пастбищ составляет 53,1 км<sup>2</sup>.

Принимается следующая модель поверхностного стока на верхней части склонов с уклонами более 15°: избыточное количество воды стекает с плато на выходы коренных горных пород, затем – на рыхлые делювиально-пролювиальные отложения, после этого – на естественные пастбища.

Расчет ресурсов влаги естественных пастбищ на склонах с уклонами более 15° производится по формуле:

$$W2 = \left[ \left( \left( \frac{W1 \cdot Kп}{(1 - Kп)} \cdot \frac{Fп}{Fк^{15}} + Op \right) \cdot \frac{Fк^{15}}{Fпб^{15}} \cdot Kк \times \right. \right. \\ \left. \left. \times Kр + Op \cdot \frac{Fr^{15}}{Fпб^{15}} \cdot Kр + Op \right) \right] \cdot (1 - Kпб), \quad (2)$$

где W2 – ресурсы влаги естественных нетеррасированных пастбищ на верхней части склонов с уклонами более 15°, мм; W1 – ресурсы влаги пахотнопригодных земель на плато, мм; Op – атмосферные осадки расчетной обеспеченности P%, мм; Fп – площадь пахотнопригодных земель на плато, км<sup>2</sup>; Fк<sup>15</sup> – площадь выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли на верхних частях склонов с уклонами более 15°, км<sup>2</sup>; Fr<sup>15</sup> – площадь рыхлых делювиально-пролювиальных отложений на верхних частях склонов с уклонами более 15°, км<sup>2</sup>; Fпб<sup>15</sup> – площадь естественных пастбищ на склонах с уклонами более 15°, км<sup>2</sup>; Kк – коэффициент поверхностного стока выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли; Kр – коэффициент поверхностного стока рыхлых делювиально-пролювиальных отложений; Kп – коэффициент поверхностного стока пахотнопригодных земель; Kпб – коэффициент поверхностного стока естественных пастбищ.

В отдельных местах склонов с уклонами более 15° сток с выходов коренных горных пород и делювиально-пролювиальных отложений может поступать непосредственно на средние и нижние части склонов с уклонами 5-15°, минуя естественные пастбища.

#### *Третий тип местоположения – средние и нижние части склонов с уклонами 5-15° (Индекс III)*

На средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, как правило, выше по склону залегают выходы коренных горных пород, затем – рыхлые делювиально-пролювиальные отложения и ниже по склону – террасы горного земледелия, занимающие площадь 81,7 км<sup>2</sup>.

В зависимости от обеспеченности осадками террасы могут занимать всю площадь средних и нижних частей склонов или часть площади, в местах сосредоточения поверхностного стока. В результате многовекового развития горного земледелия выбирается такое расположение

террас, которое обеспечивает максимальное использование местного поверхностного стока.

Принимается следующая модель поверхностного стока на средней и нижней части склонов с уклонами 5-15°: избыточное количество воды стекает с верхней части склонов с уклонами более 15° на поверхность выходов коренных горных пород, затем – на рыхлые делювиально-пролювиальные отложения, после этого – на террасированные пахотнопригодные сельскохозяйственные земли, далее – в днище вади. В отдельных местах сток с делювиально-пролювиальных отложений склонов может поступать непосредственно в днище вади, минуя террасы на склонах.

Таким образом, водное питание пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15° осуществляется за счет прямых атмосферных осадков и поверхностного стока с верхней части склонов с уклонами более 15°.

Расчет ресурсов влаги пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15° производится по формуле:

$$W3 = \left[ \left( \frac{W2 \cdot K_{пб}}{(1 - K_{пб})} \cdot \frac{F_{пб}^{15^\circ}}{F_{к}^{5-15^\circ}} + O_p \right) \cdot \frac{F_{к}^{5-15^\circ}}{F_{п}^{5-15^\circ}} \cdot K_{к} \cdot K_{р} + O_p \cdot \frac{F_{р}^{5-15^\circ}}{F_{п}^{5-15^\circ}} \cdot K_{р} \right] \cdot (1 - K_{п}), \quad (3)$$

где:  $W3$  – ресурсы влаги пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, мм;  $W2$  – ресурсы влаги естественных пастбищ на склонах с уклонами более 15°, мм;  $O_p$  – атмосферные осадки расчётной обеспеченности  $P\%$ , мм;  $F_{р}^{5-15^\circ}$  – площадь рыхлых делювиально-пролювиальных отложений на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, км<sup>2</sup>;  $F_{п}^{5-15^\circ}$  – площадь пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, км<sup>2</sup>;  $F_{пб}^{15^\circ}$  – площадь естественных пастбищ на склонах с уклонами более 15°, км<sup>2</sup>;  $K_{к}$  – коэффициент поверхностного стока выходов коренных горных пород на дневную поверхность земли;  $K_{р}$  – коэффициент поверхностного стока рыхлых элювиальных или делювиально-пролювиальных отложений;  $K_{п}$  – коэффициент поверхностного стока пахотнопригодных земель;  $K_{пб}$  – коэффициент поверхностного стока естественных пастбищ на верхней части склонов с уклонами более 15°.

#### *Четвертый тип местоположения – днище вади с уклонами 0-5° (Индекс III)*

Днище вади сложено рыхлыми делювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями. Склоны днища с уклонами 0-5°, как правило, террасированы и имеют площадь 38,4 км<sup>2</sup>.

Естественное водное питание пахотнопригодных земель днища вади осуществляется

за счет прямых атмосферных осадков, поверхностного стока средних и нижних частей склона с уклонами 5-15° и руслового стока в периоды паводков. В отдельных случаях склоновый сток может непосредственно поступать в русло вади, минуя террасы днища вади.

Расчет ресурсов влаги пахотнопригодных земель днища вади с уклонами 0-5° производится по формуле:

$$4 = \left[ \frac{W \cdot K_{п}}{K_{п}} \cdot \frac{F_{п}^{5-15^\circ}}{F_{п}^{0-5^\circ}} + O_c \right] \cdot (1 - K_{п}), \quad (4)$$

где  $W4$  – ресурсы влаги пахотнопригодных земель днища вади с уклонами 0-5°, мм;  $W3$  – ресурсы влаги пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, мм;  $F_{п}^{5-15^\circ}$  – площадь пахотнопригодных земель на средних и нижних частях склонов с уклонами 5-15°, км<sup>2</sup>;  $F_{п}^{0-5^\circ}$  – площадь пахотнопригодных земель в днище вади с уклонами 0-5°, км<sup>2</sup>;  $K_{п}$  – коэффициент поверхностного стока пахотнопригодных земель.

В замыкающем створе водосборного бассейна основных вади должно выполняться условие:

$$R_p = \left[ \frac{W3 \cdot K_{п}}{1 - K_{п}} \cdot \frac{F_{п}^{5-15^\circ}}{F_{п}^{0-5^\circ}} + O_c \right] \times K_{п} \cdot \frac{F_{п}^{0-5^\circ}}{F} = \frac{W4 \cdot K_{п} \cdot F_{п}^{0-5^\circ}}{(1 - K_{п}) \cdot F}, \quad (5)$$

где  $R_p$  – годовой слой стока в замыкающем слое водосборного бассейна вади первого порядка, мм/год;  $F$  – площадь водосбора вади.

**Характеристика водосборного бассейна межгорной котловины [3-7].** Морфологический комплекс межгорной котловины представляет собой днище центрально-йеменской межгорной впадины и занимает всю территорию природно-сельскохозяйственного района С.

Структурными элементами межгорной котловины являются аллювиально-пролювиальная подгорная равнина и склоны внутреннего водораздела, заканчивающиеся в устьях основных вади.

Естественное увлажнение пахотнопригодных земель аллювиально-пролювиальной подгорной равнины (Индекс IV) осуществляется в основном за счет атмосферных осадков. Паводковый сток, поступающий во влажные годы из бассейнов основных вади, быстро поглощается рыхлыми отложениями и не имеет практического значения для сельского хозяйства. Поэтому оценка влагообеспеченности пахотнопригодных земель подгорной равнины должна производиться с помощью условного показателя увлажнения  $K_u$ .



Условия формирования и распределения поверхностного стока, а также методика расчета ресурсов влаги пахотнопригодных земель на склонах внутреннего водораздела аналогичны расчетам для водосборных бассейнов основных вад.

**Характеристика пологонаклонного склона горного обрамления межгорной котловины [3-7].** Морфологический комплекс пологонаклонного склона горного обрамления межгорной котловины расположен в границах природно-сельскохозяйственного района В.

Значительная часть поверхности горного обрамления представлена сильно выветрелой вулканической лавой и пахотнопригодными землями, большей частью созданными человеком в результате удаления лавы.

Ресурсы влаги местоположения пахотнопригодных земель горного обрамления формируются за счет прямых осадков и притока поверхностных вод с вышележащего водосбора. Однако в связи со спорадическим характером распространения сельскохозяйственных земель и незначительной степенью расчлененности рельефа поверхностный сток вносит незначительный вклад в формирование ресурсов пахотнопригодных земель. Поэтому, в расчетах в качестве основного источника увлажнения земель рассматриваемого типа местоположений, можно принять прямые осадки.

Расчет ресурсов влаги пахотнопригодных земель, распространенных в местах локальных понижений и на пологих склонах горного обрамления, может производиться по формулам, приведенным для террасированных склонов и днища основных вад.

**Определение коэффициентов поверхностного стока [3-7].** В уравнениях (1-5) слой поверхностного стока определяется с помощью коэффициентов стока в виде отношения слоя стока к слою выпавших осадков:

$$K_c = \frac{H_c}{O_c}, \quad (6)$$

где  $K_c$  – коэффициент поверхностного стока;  $H_c$  – слой поверхностного стока, стекающий с участка земли, мм;  $O_c$  – прямые осадки, выпадающие на участок земли, мм.

В рассматриваемых исследованиях коэффициенты поверхностного стока при различном сложении верхнего слоя почвогрунта и различных уклонах земной поверхности определяются согласно источникам литературы и на основе полевого эксперимента.

**Определение коэффициентов поверхностного стока типов местоположений водосборных бассейнов.**

**Коэффициент поверхностного стока выходов коренных горных пород  $K_k$  [3-7].** Под выходами коренной горной породы понимается горная порода, выходящая на дневную поверхность земли и не затронутая или слабо затронутая процессами выветривания.

По данным источников литературы, коэффициент поверхностного стока выходов коренной горной породы при отсутствии крупных и глубоких трещин изменяется в диапазоне  $K_k = 0,8-0,9$ .

**Коэффициент поверхностного стока рыхлых элювиальных, делювиально-пролювиальных и аллювиальных отложений [3-7].** Мощности рыхлых отложений различных типов местоположений водосборного бассейна вад:

- элювиальные отложения, залегающие на плато – 10-400 см;
- делювиально-пролювиальные отложения на естественных склонах с уклонами более  $15^\circ$  – 10-100 см;
- делювиально-пролювиальные отложения на склонах с уклонами  $5-15^\circ$  – более 100 см;
- делювиально-пролювиальные и аллювиальные отложения днища вад – более 100 см.

Коэффициент поверхностного стока рыхлых непахотнопригодных отложений был определен экспериментально на 10 стоковых площадках, расположенных на склонах с разными уклонами и разным гранулометрическим составом рыхлых пород. В результате анализа и обобщения полученных данных для дальнейших приближенных расчетов было принято среднее из полученных значений:  $K_r = 0,4$ .

Для определения слоя стока с естественной поверхности водосбора необходимо знать соотношение площади распространения коренных горных пород и рыхлых отложений.

Коренные горные породы бассейна Саны представлены известняками, песчаниками и базальтами, которые обладают разными физическими свойствами и, соответственно, разной степенью устойчивости к экзодинамическим процессам. Поэтому каждой из указанных пород присуще определенное соотношение площади распространения коренных горных пород и рыхлых отложений, приведенное в таблице.

Среднее соотношение площади распространения  
коренных горных пород и рыхлых отложений для известняка,  
песчаника и базальта по отношению к занимаемой ими площади, %

Table

The average ratio of the spreading area of bedrocks and loose sediments  
for limestone, sandstone and basalt relative to the area they occupy, %

№	Горная порода <i>Rock</i>	Доля площади, занимаемая <i>Area share, occupied</i>	
		Доля площади, занимаемая коренной горной породой, % <i>Area share, occupied by bedrock, %</i>	Доля площади, занимаемая рыхлыми отложениями, % <i>Area share, occupied by loose sediments, %</i>
1	<b>Известняки</b> <i>Limestone</i>	85	15
2	<b>Песчаники</b> <i>Sandstone</i>	80	20
3	<b>Базальты</b> <i>Basalt</i>	70	30

**Коэффициент поверхностного стока террасированных пахотнопригодных земель [3-7].** Коэффициент поверхностного стока террасированных пахотнопригодных земель вычисляется путем решения уравнения водного баланса при известном объеме поверхностного стока на выходе из данного типа местоположения, который определяется по гидрологическим зависимостям.

При проведении расчета ресурсов влаги террасированных пахотнопригодных земель принимается допущение, что величина коэффициента поверхностного стока с указанных земель одинакова для всего объекта.

Объем среднегодового поверхностного климатического стока системы, который мог бы сформироваться, если бы не было потерь стока на террасах склонов и днища вади, рассчитывается по эмпирическим гидрологическим зависимостям, полученным в результате аппроксимации данных полевых изысканий и источников литературы по формуле:

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

$$\bar{Y}_p = \bar{Y} \cdot K_p;$$

$$C_v = \frac{2,07 - 0,17 \cdot \lg(F + 10)}{(\bar{Y} + 1)^{0,25}};$$

$$K_p \left( C_v, P, \frac{C_s}{C_v} = 1,5 \right), \quad (7)$$

где  $\bar{Y}$  – объем среднегодового поверхностного климатического стока системы, который мог бы сформироваться, если бы не было потерь стока на террасах склонов и днища вади, млн м<sup>3</sup>;  $\bar{X}$  – среднегодовой слой осадков, определяемый по карте изолиний, мм;  $F$  – площадь водосбора системы, км<sup>2</sup>;  $\bar{Y}_p$  – объем среднегодового поверхностного

климатического стока обеспеченности Р%, который мог бы сформироваться, если бы не было потерь стока на террасах склонов и днища вади, млн м<sup>3</sup>;  $P$  – обеспеченность, %;  $K_p$  – модульный коэффициент;  $C_s$  – коэффициент асимметрии;  $C_v$  – коэффициент вариации годового стока.

Годовой слой осадков  $\bar{X}_p$  обеспеченности Р% рассчитывается по формуле:

$$\bar{X}_p = \bar{X} \cdot K_p; \quad C_v = 10,7 \cdot \bar{X}^{-0,58};$$

$$K_p \left( C_v, P, \frac{C_s}{C_v} = 2 \right), \quad (8)$$

где  $\bar{X}_p$  – годовой слой осадков обеспеченности Р%, мм;  $\bar{X}$  – среднегодовой слой осадков, определяемый по карте изолиний, мм;  $P$  – обеспеченность, %;  $K_p$  – модульный коэффициент;  $C_s$  – коэффициент асимметрии;  $C_v$  – коэффициент вариации;

Объем среднегодового поверхностного климатического стока обеспеченности Р% на выходе из системы, включающей в себя все имеющиеся подсистемы (типы местоположений), с учетом потерь стока на террасированных пахотнопригодных землях склонов и днища вади рассчитывается по формуле:

$$Y_p = \bar{Y}_p - W_{pz}; \quad W_{pz} = \frac{166 \cdot F_d - 4 \cdot F_c}{1000}, \quad (9)$$

где  $Y_p$  – объем среднегодового поверхностного климатического стока обеспеченности Р% на выходе из системы, включающей в себя все имеющиеся подсистемы (типы местоположений), с учетом потерь стока на террасированных пахотнопригодных землях склонов и днища вади, млн м<sup>3</sup>;  $\bar{Y}_p$  – объем среднегодового поверхностного климатического стока обеспеченности Р%, который мог бы сформироваться, если бы не было потерь стока на террасах склонов и днища вади, млн м<sup>3</sup>;  $W_{pz}$  – условный среднегодовой поверхностный сток обеспеченности Р%, задержанный на террасированных пахотнопригодных землях склонов и днища вади, млн м<sup>3</sup>;  $F_d$  – площадь

террасированных пахотнопригодных земель днища вад, км<sup>2</sup>;  $F_c$  – площадь террасированных пахотнопригодных земель средних и нижних частей склонов, км<sup>2</sup>.

Влагообеспеченность богарного земледелия устанавливается на основе условий увлажнения за март-август, которые приняты в качестве расчетного вегетационного периода по следующим причинам:

- суммарное среднемесячное количество осадков, выпадающее за период март-август, формирует значимые для культурных растений влагозапасы в почве;
- суммарное среднемесячное количество осадков, выпадающее за период март-август, в 6 раз превышает суммарное среднемесячное количество осадков, выпадающее за остальной период года;
- за период март-август выпадает подавляющая часть годового слоя дождя, составляющая 85,5%;
- на период март-август приходится основной объем поверхностного стока;
- расчетный вегетационный период март-август имеет теплообеспеченность, достаточную для выращивания ведущих сельскохозяйственных культур;
- продолжительность расчетного вегетационного периода с марта по август составляет 180 сут., что превышает продолжительность вегетации главной культуры богарного земледелия (сорго), которая, при достаточной влагообеспеченности пахотнопригодных земель составляет 100-150 сут.;
- ресурсы влаги расчетного вегетационного периода являются источником формирования урожая на богарных пахотнопригодных

#### 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.: РГАУ-МСХА, 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.

землях, так как, например, при недостатке влаги сорго впадает в спячку.

Оценка естественной влагообеспеченности расчетного вегетационного периода богарных пахотнопригодных земель производится по формуле [8-10]:

$$Kw = \frac{K_{пр} \cdot W}{\sum_{i=1}^{I=180} ET_{oi}}, \quad (10)$$

где  $Kw$  – показатель естественной влагообеспеченности расчетного вегетационного периода богарных пахотнопригодных 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 испарение (эвапотранспирация) за расчетный вегетационный период, мм;  $i = 1, 2, 3, \dots, I$  – порядковый номер суток вегетационного периода;  $I = 180$  сут. – продолжительность расчетного вегетационного периода.

#### Выводы

Введено понятие типов местоположений пахотнопригодных земель, дана характеристика типов местоположений основных вад, межгорной котловины, равнины и других форм рельефа бассейна Саны. Разработана методика оценки естественной влагообеспеченности типов местоположений пахотнопригодных земель. На основе материалов экспериментальных полевых работ на стокообразующих площадках и источников литературы определены и приняты для расчетов естественной влагообеспеченности значения коэффициентов стока выходов коренных горных пород, рыхлых элювиальных, делювиально-пролювиальных и аллювиальных отложений, пахотнопригодных земель.

#### References

1. Metodicheskoe rukovodstvo po agroekologicheskoy otsenke zemel, proektirovaniyu adaptivno-landshaftnyh system zemledeliya i / Pod red. Akademika RASHN V.I. Kiryushina, akademika RASHN A.L. Ivanova. – M.: RGAU-MSHA, 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. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 1. Klimaticheskie i gidrologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 s.
4. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 2. Geologicheskie i gidrogeologicheskie usloviya. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 195 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.

#### Критерии авторства

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

Статья поступила в редакцию 24.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

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

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

7. Skhema ispolzovaniya vodnyh resursov bassejna Sany. Kn. 5. Ispolzovanie poverhnostnogo stoka. – M.: Mosgiprovodhoz, 1986. – 165 s.

8. **Berkalo V.Ya.** Pokzатели vlagoobespechennosti i rezhimy orosheniya trav v vysokogorjah Kirgizii. – Kyrgyzstan: Frunze, 1966.

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

10. Melioratsiya zemel / Pod. red. A.I. Golovanova: uchebник. – 2- e izd., ispr. i dop. – SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. – 832 s.

#### Criteria of Authorship

Isaev A.S. has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 24.02.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021