

УДК 502/504:631.6:631.61

**А. И. ГОЛОВАНОВ, В. В. ШАБАНОВ, Н. НИЙОНЗИМА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ БАСЕЙНА РЕКИ РУСИЗИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (РЕСПУБЛИКА БУРУНДИ)**

*Предложено два направления решения продовольственной задачи. Первое – подбор мест и времени года для культур с учетом климатических условий, почвы, уклонов, экспозиций и уровня грунтовых вод. Второе направление – активное изменение условий внешней среды (мелиорация), т. е. создание оптимального мелиоративного режима для культуры в любом месте и в любое время года.*

*Для решения поставленной задачи используются следующие подходы: первый – на основе расчета водного режима почв и оценки относительной продуктивности сельскохозяйственных культур проводится размещение их в пространстве и во времени (районирование) (методика В. В. Шабанова); второй – на основе оценки эффективности орошения различных сельскохозяйственных культур в различные периоды года и рассматривается возможность круглогодичного земледелия.*

*Оба подхода реализуются методами математического моделирования с использованием программы «Водный режим и продуктивность» (разработчик А. И. Голованов). С помощью этой системы моделей на основе комплексных входных данных (климатические геологические, почвенные и свойства растения) решаются поставленные задачи.*

*Прогнозирование водного режима почв, сухой сезон, влажный сезон, расчет орошения и продуктивности, программа «Водный режим и продуктивность».*

*There are proposed two directions of solution of the food task. The first one – choice of places and time of the year for crops taking into consideration climatic conditions, soil, inclinations, expositions and level of ground water. The second direction is an active change of environmental conditions (reclamation) that is creation of the optimal reclamation regime for a crop in any place and in any time of the year.*

*For solution of the assigned task the following approaches are used: - on the basis of calculation of soils water regime and assessment of the relative productivity of agricultural crops they are placed in space and time (zoning) (V.V. Shabanov's method); the second one – the efficiency of irrigation of different agricultural crops in different periods of a year is assessed and the possibility of round-year farming is considered.*

*Both approaches are realized by mathematical simulation methods using the program «Water regime and productivity» (developer A.I. Golovanov). By means of this system of models on the basis of complex input data (climatic geological, soil and plant properties) the tasks are decided.*

*Forecasting of soils water regime, dry season, humid season, calculation of irrigation and productivity, program «Water regime and productivity».*

В Республике Бурунди год разделяется на два периода: сезон дождей (или влажный сезон) и сухой сезон. Можно выделить еще два сезона – полусухой (период постепенного прекращения дождей перед сухим сезоном) и полувлажный (период постепенного увеличения дождей перед влажным сезоном). Это четыре сезона вегетации по 90 дней – время, за которое вызревает большинство продовольственных культур [1, 2].

В связи с малыми атмосферными

осадками и большими испарением в сухой сезон ничего не выращивается. Авторами поставлена задача: что нужно предпринять, чтобы заниматься сельским хозяйством круглый год, включая и сухой сезон?

Бассейн реки Русизи – это равнина, которая находится в западной части страны. В этом регионе возможно развитие мелиорации для решения задач продовольствия. В сухом сезоне здесь не хватает влаги для сельскохозяйственных

культур в связи с высокими испарениями и малыми атмосферными осадками [2]. Для этого региона необходима комплексная мелиорация, направленная на регулирование основных факторов жизни растения, в первую очередь водного фактора. Известно, что мелиорация сельскохозяйственных земель включает комплекс технических, организационно-хозяйственных и социально-экономических мероприятий, направленных на коренное улучшение неблагоприятных природных условий и повышение плодородия почв с целью получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и недопущения ущерба окружающей среде [3].

Для оценки продуктивности растений с позиций влияния водного фактора внешней среды значимы продуктивные влагозапасы корнеобитаемого слоя почвы. На метеорологических станциях Бурунди регулярное измерение влагозапасов не проводится. Рассчитаем их на основе моделирования процессов влагообмена в почве по программе «Водный режим и продуктивность» [3]. Программа основана на модели передвижения влаги в почве А. И. Голованова (1972). В ней решаются уравнения влагопереноса методом конечных разностей при большом разнообразии начальных и граничных условий. Для расчета продуктивности растений в программе использована модель продуктивности В. В. Шабанова [4].

Для оценки влажности почвы в бассейне реки Русизи программа переработана и усовершенствована в соответствии с тропическими условиями. Условия Республики Бурунди – это прежде всего климатические характеристики страны: субэкваториальный климат, где среднемесячная температура варьирует между 15 и 25 °С круглый год в зависимости от региона страны. В бассейне реки Русизи средняя декадная температура воздуха в течение года изменяется от 23,3 до 25 °С в сухом сезоне, во влажном – от 24,3 до 25,5 °С. В связи с этим программа переработана для расчета влажности почвы и режима орошения на протяжении четырех сезонов выращивания разных сельскохозяйственных культур в году. В расчетах учтена дифференциация требований культур к водному режиму в разные фазы их развития.

Программа позволяет решить ряд

задач:

рассчитать водный режим и продуктивность посевов без орошения;

рассчитать режим полива и продуктивность для одного или несколько лет;

оценить заданный режим полива, водообмена и урожайности;

подобрать параметры дренажа при переувлажнении.

Исходные данные для программы следующие:

суточные атмосферные осадки;

средняя декадная температура воздуха;

средняя декадная относительная влажность воздуха;

требования растений к водному режиму, дифференцированные по фазам развития растения (требования растений к водному режиму представляются в виде минимальных, оптимальных и максимальных значений влажности в увлажняемом слое почвы за каждую декаду вегетации);

свойства почвы (толщина почвенных горизонтов, их пористость, характерная влагоемкость, коэффициент фильтрации).

Дополнительные входные данные: тип растения, его биологический коэффициент, гидрогеологические характеристики местности (начальная глубина грунтовых вод, дренированность территории, напорность).

Год разделен на четыре сезона по 90 дней (срок вегетации для картофеля и пшеницы в бассейне реки Русизи). Первый сезон – март–май (полувлажный сезон); второй сезон – июнь–август (сухой сезон); третий сезон – сентябрь–ноябрь (полусухой сезон) и четвертой сезон – ноябрь–февраль (влажный сезон).

Бассейн Русизи сложен аллювиальными почвами различного механического состава. Моделирование проведено для различных по механическому составу почв (песок, супесь, суглинок легкий, суглинок тяжелый). Изучена и продуктивность различных культур, произрастающих на разных почвах в различные сезоны года.

Структура севооборота выбрана «специфическая» – в основном продовольственные культуры, травы из севооборота исключены. Это обусловлено тяжелой продовольственной ситуацией в Бурунди (в дальнейшем в

севооборот можно включать бобовые травы). На рис. 1 показаны результаты расчета урожайности без орошения (результаты моделирования за 21 год: с 1990 по 2010).

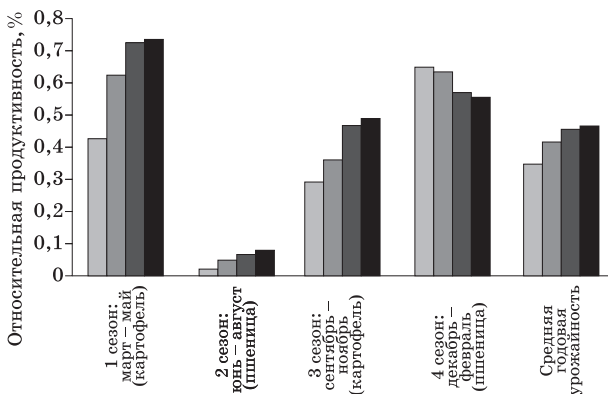


Рис. 1. Относительная продуктивность культур, произрастающих на почвах различного механического состава: ■ – песок; ■ – супесь; ■ – суглинок легкий; ■ – суглинок тяжелый

На рисунке 1 видно, что в сухой сезон при любом механическом составе почвы относительная урожайность практически нулевая (не больше 0,08). Такие результаты совпадают с выводом, что «в сухой сезон требуется орошение в связи с малыми атмосферными осадками» [5, 6]. Относительная продуктивность для первого, второго и третьего сезонов больше у суглинистых почв, чем у песчаных и супесчаных, так как суглинистые почвы лучше сохраняют влагу в почве, которая необходима культуре. В четвертом сезоне влаги в почве избыточно много, поэтому для некоторых культур на тяжелых почвах необходимо осушение.

Для того чтобы повысить урожайность культур в другие сезоны года, также необходимо орошение.

В связи с тем что воды в 1, 2 и 3 периоды не хватает, необходимо разработать «экономный» режим орошения. Одним из методов экономии оросительной воды может быть увеличение диапазона регулирования влажности почвы. Однако при этом неизбежно снижается урожай. По-видимому, можно найти такое соотношение экономии воды и потерь урожая, которое будет экономически выгодно. В этих целях могут рассматриваться варианты с различной предполивной влажностью.

Авторами проведены расчеты изменения влагозапасов и потребности в орошении при влажности начала полива, равной  $W_{внп} = 0,58$  ПВ. Результаты расчетов показаны на рис. 2 и 3.

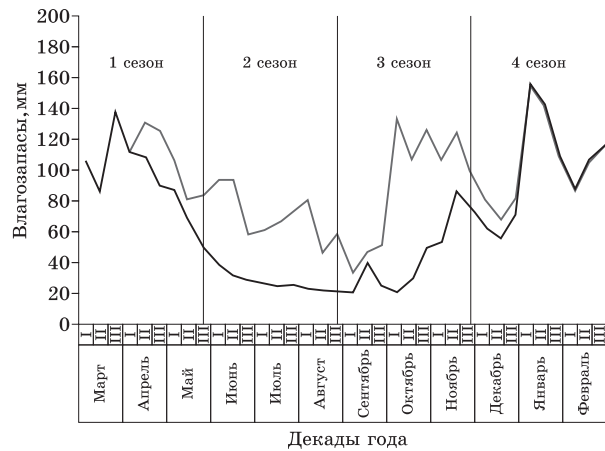


Рис. 2. Изменение влагозапасов с орошением и без орошения в метровом слое в течение года (2010)

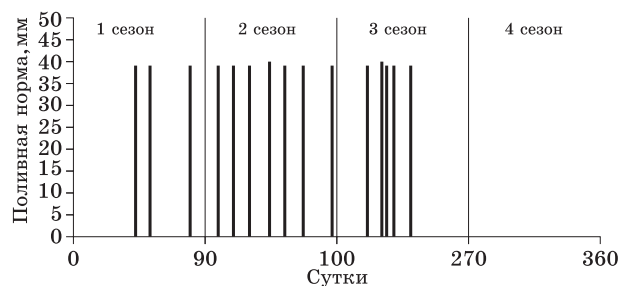


Рис. 3. Распределение поливных норм по сезонам

Режим распределения оросительной воды нормы показан на рис. 4. При таком режиме орошения получается разная относительная урожайность.

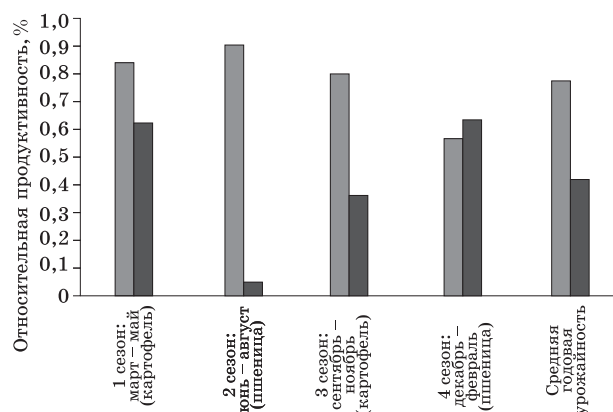


Рис. 4. Сравнение средней относительной урожайности без орошения и с орошением: ■ – с орошением; ■ – без орошения

Расчеты показали, что средняя годовая относительная урожайность с орошением в два раза больше, чем без орошения. А в сухой сезон в 17 раз больше. Несмотря на нулевую оросительную норму в четвертом сезоне, урожайность с орошением немного ниже, чем без орошения (четвертый сезон – это очень влажный сезон, и снижение продуктивности возникает из-за переувлажнения). Хотя оросительная норма в данном сезоне равна нулю, сказывается избыток воды от орошения в предыдущие сезоны. Это показывает, что в четвертом сезоне необходимо проводить либо осушительные мероприятия (двухсторонние системы регулирования) или использовать более влаголюбивые культуры (например, рис).

Следует иметь в виду, что при одинаковой относительной продуктивности абсолютные значения урожая (ц/га) будут различны, так как в более сухие годы фотосинтетически активная радиация (ФАР) будет несколько больше. Для учета этого обстоятельства в расчетах сделано предположение, что изменение ФАР будет пропорционально изменению дефицита влажности.

Дефицит влажности

$$\Delta V = R - E_{pot}$$

где  $\Delta V$  – дефицит влажности, мм;  $R$  – осадки, мм;  $E_{pot}$  – потенциальное испарение, мм.

Расчет  $E_{pot}$  выполняется по формуле Н. Н. Иванова [3]:

$$E_{pot} = 0,018 K (25 + T^2) \cdot (1 - 0,01 a).$$

На графике 5 показана кривая обеспеченности дефицита влажности, в таблице 1 – максимальная урожайность культур в разные годы обеспеченности.

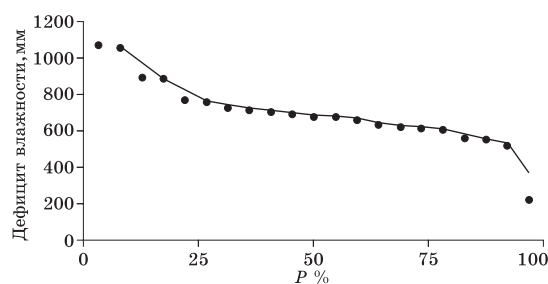


Рис. 5. Кривая обеспеченности дефицита влажности (урожаи приводятся для среднесухого года – 25 %, среднего года – 50 % и средневлажного года – 75 %)

Таблица 1

Максимальная урожайность культур в разные годы обеспеченности

P, %	U <sub>max</sub> картофеля, ц/га	U <sub>max</sub> пшеницы, ц/га
24,5	337	34
50	300	30
75,5	269	27

Сравнительная эффективность орошаемого и богарного земледелия анализируются впервые. Анализ эффективности проводится не по сопоставлению урожаев в кормовых единицах, а в относительных урожайностях. Это подтверждает тезис агрономов, что «независимо от размеров полей и общей площади пашни каждый севооборот и вся система севооборотов могут быть оценены в сопоставимых величинах и сравнены с другими» [7]. Результаты расчетов позволяют не только оценить эффективность орошения, но и найти приемлемый вариант размещения сельскохозяйственных культур в богарных условиях (табл. 2).

Относительная урожайность и оросительная норма по сезонам в разных севооборотах представлены в таблицах 3 и 4 при 50%-й годовой обеспеченности.

Таблица 2

Оценка эффективности орошения

Вариант	Культуры по сезонам	Осадки	Испаряемость	Оросительная норма	Сбросы с орошением	Сбросы без орошения	Сброс/осадки	Сброс/(осадки+орошение)
1	КПКП	858	1472	587	339	178	0,21	0,23
2	КККК	858	1472	740	514	211	0,25	0,32
3	ПППП	858	1472	506	233	155	0,18	0,17
4	КПКК	858	1472	586	349	199	0,23	0,24
5	ПККП	858	1472	624	361	168	0,20	0,24
	Среднее значение	858	1472	608,6	359,2	182,2	0,21	0,24

Примечания: К – картофель, П – пшеница.

**Относительная урожайность по сезонам в разных севооборотах при 50% -й обеспеченности**

Сезон	Культура	Расчет с орошением					
		Относительная урожайность без орошения	Осадки	Испарение	Сброс	Отток	Баланс
					1	2	
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	0,625	858	1472	-178	398	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	0,053					
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	0,361					
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	0,633					
	Среднее значение	0,42					
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	0,625	858	1472	-211	427	0
Сухой сезон (май-август)	Картофель	0,079					
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	0,366					
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Картофель	0,64					
	Среднее значение	0,43					
Полувлажный сезон (март-май)	Пшеница	0,781	858	1472	-155	362	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	0,035					
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Пшеница	0,435					
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	0,617					
	Среднее значение	0,47					
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	0,625	858	1472	-199	409	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	0,052					
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Пшеница	0,456					
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Картофель	0,633					
	Среднее значение	0,44					
Полувлажный сезон (март-май)	Пшеница	0,78	858	1472	168	379	0
Сухой сезон (май-август)	Картофель	0,06					
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	0,363					
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	0,633					
	Среднее значение	0,46					

Примечания: 1 – сброс; 2 – отток из грунтовых вод; 3 – водный баланс после расчета по программе.

Таблица 4

**Относительная норма по сезонам в разных севооборотах при 50% -й обеспеченности**

Сезон	Культура	Расчет с орошением				
		Оросительная норма	Относительная урожайность с орошением	Сброс	Отток	Баланс
				1	2	
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	117	0,845	-339	561	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	274	0,909			
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	196	0,808			
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	0	0,571			
	Среднее значение	587	0,78			
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	117	0,831	-514	695	0
Сухой сезон (май-август)	Картофель	352	0,953			
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	193	0,834			
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Картофель	78	0,565			
	Среднее значение	740	0,80			
Полувлажный сезон (март-май)	Пшеница	39	0,800	-233	409	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	275	0,899			
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Пшеница	154	0,852			
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	38	0,588			
	Среднее значение	506	0,78			
Полувлажный сезон (март-май)	Картофель	117	0,831	-349	556	0
Сухой сезон (май-август)	Пшеница	274	0,909			
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Пшеница	116	0,864			
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Картофель	79	0,596			
	Среднее значение	586	0,80			
Полувлажный сезон (март-май)	Пшеница	39	0,803	-361	561	0
Сухой сезон (май-август)	Картофель	350	0,934			
Полусухой сезон (сентябрь-ноябрь)	Картофель	235	0,834			
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	Пшеница	0	0,567			
	Среднее значение	624	0,78			

Примечания: то же (см. табл. 3)

В таблице 2 примечательна относительная стабильность отношения сброса к водоподаче (как для варианта с орошением, так и для богарного земледелия). В этом смысле можно говорить о том, что около 25 % (17...32 %) водоподачи идет на питание грунтовых вод, а впоследствии рек.

#### Выводы

Относительная средняя годовая урожайность без орошения:  $Y_{\text{отн.мах}} = 0,47$ ;  $Y_{\text{отн.мин}} = 0,42$ ; разница небольшая –  $\Delta Y = 0,05$ .

Относительная средняя годовая урожайность с орошением во всех вариантах получается в 2 раза больше, чем без орошения.

В сухой сезон относительная урожайность с орошением получается в среднем для всех вариантов в 18 раза больше, чем без орошения ( $Y_{\text{отн.мах}} = 0,91...0,95$ ).

С орошением среднегодовая относительная урожайность во всех вариантах практически постоянна и равна 0,8, что подтверждает адекватность работы программы «Влагообеспеченность и продуктивность», так как теоретически оптимальный диапазон «настраивается» на относительную продуктивность 0,8.

Максимальная оросительная норма получается при выращивании картофеля («влаголюбивой» культуры) во все сезоны и она равна 740 мм. Минимальная оросительная норма при выращивании одной пшеницы во всех сезонах – 506 мм.

При выращивании разных культур в году минимальная оросительная норма наблюдается при ротация «картофель – пшеница – картофель – пшеница». Оросительная норма составляет 587 мм.

Все это показывает, что в бассейне реки Русизи (Республика Бурунди) при орошении можно заниматься сельским хозяйством круглый год. Можно менять культуры, но наиболее выгодным вариантом для обеспечения продовольственной безопасности является ротация «картофель – пшеница – картофель – пшеница» для 1, 2, 3 и 4-го сезонов.

Используемая вычислительная система («Водный режим и продуктив-

ность») обладает широкими возможностями, адекватно реагирует на изменение начальных условий и дает возможность планировать развитие мелиорации (на основе оценки относительной продуктивности) в любых географических районах.

1. Шабанов В. В., Нийонзима Н. Глобальная продовольственная проблема и пути ее решения для стран Центральной Африки на примере Бурунди: Деп. в ВИНТИ. – № 310-B2012 от 16.07.2012. – 15 с.

2. Шабанов В. В. Нийонзима Н. Оценка изменения факторов внешней среды в бассейне реки Русизи на территории Республики Бурунди // Природообустройство. – 2012. – № 3. – С. 30–35.

3. Мелиорация земель / А. И. Голованов [и др.]. – М.: КолосС, 2011. – 834 с.

4. Шабанов В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 157 с.

5. Шабанов В. В., Нийонзима Н. Возможное изменение климата и сельское хозяйство Республики Бурунди: Деп. в ВИНТИ. – № 313-B2012 от 20.07.2012. – 64 с.

6. Шабанов В. В., Нийонзима Н. Бедность в богатой природе: Деп. в ВИНТИ. – № 309-B2012 от 16.07.2012. – 18 с.

Материал поступил в редакцию 30.05.13.

*Голованов Александр Иванович, доктор технических наук, профессор*

*Тел. 8 (499) 153-96-28*

*Шабанов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор*

*Тел. 8 (499) 976-47-73*

*E-mail: svvsh@rambler.ru*

*Нийонзима Нестор, аспирант*

*Тел. 8 (499) 153-96-28*