

kuljtura XXI veka». – Smolensk: FGOU VPO «Smolenskaya GSHA», 2016. – S. 247-254.

8. **Glushakov S.N., Romanova I.N.** Agrobiologicheskie osnovy proizvodstva i pererabotki l'jna-dolguntsa. – Smolensk: FGOU VPO «Smolensky SHI», 2006. – 278 s.

The material was received at the editorial office
22.02.2018

Information about the authors

Romanova Iraida Nikolaevna, doctor of agricultural Sciences, Professor FSBEI state agricultural Academy Smolensk, 214000, Smolensk, Bolshaya Sovetskaya St., tel 8(910)7830014; e-mail: iraidarom@yandex.ru

Prudnikov Anatoly Dmitrievich, doctor of agricultural Sciences, Professor FSBEI

state agricultural Academy Smolensk, 214000, Smolensk, Bolshaya Sovetskaya St., tel. 8(920)6688573.

Glushakov Sergey Nikolaevich, candidate of agricultural Sciences, associate Professor of the Smolensk state agricultural Academy, 214000, Smolensk, Bolshaya Sovetskaya St., tel 8(915)6330444; e-mail: sng12@list.ru

Terentiev Sergey Evgenievich, candidate of agricultural Sciences, associate Professor of the Smolensk state agricultural Academy, 214000, Smolensk, Bolshaya Sovetskaya St., tel 8(920)3030108; e-mail: serg_pivo@mail

Lyakina Olga Alexandrovna, candidate of agricultural Sciences FSBEI state agricultural Academy Smolensk, 214000, Smolensk, Bolshaya Sovetskaya St., tel 8(910)7654703; e-mail: lyakinaolga@yandex.ru

УДК 502/504: 631.432.22

DOI 10.26897/1997-6011/2018-2-80-86

В.В. ШАБАНОВ, А.Д. СОЛОШЕНКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛАНДШАФТА (КАТЕНЕ)

Оценка среднемноголетней продуктивности культуры является важной предпосылкой при планировании ее размещения как внутри ландшафта, так и в севообороте. В статье предлагается подход к оценке среднемноголетней продуктивности культуры на основе данных по содержанию среднемноголетних продуктивных запасов влаги в почве на взаимосвязанных элементах ландшафта. Произведен расчет продуктивности яровой пшеницы по фазам вегетации для основных агрогидрологических районов Московской области. Определена величина относительной урожайности яровой пшеницы по основным агрогидрологическим районам Московской области. Проведено сравнение диапазонов оптимальной влажности и продуктивности для яровой пшеницы. Показано, что величина относительной урожайности имеет тенденцию к росту от нижних элементов рельефа к верхним, что показывает адекватность модели и кондиционность исходных данных. Картирование текущей продуктивности позволяет выбрать место на катене, где наиболее выгодно размещать данную культуру. В случае оценки земли, этот участок может иметь большую стоимость, которую можно учесть в случае страхования урожая. Для достижения наивысших урожаев необходимо в разной степени проведение мелиоративных мероприятий для всех агрогидрологических районов. Наиболее благоприятными условиями для возделывания яровой пшеницы, по содержанию запасов продуктивной влаги в почве, обладает агрогидрологический район Полного весеннего промачивания (ПВП). Расположение посева на трансэлювиальном элементе ландшафтной катены (агрогидрологический район КППВ) приводит к снижению урожая.

Оценка продуктивности сельскохозяйственных культур, оценка необходимости мелиорации, агрогидрологические районы и их характеристики, продуктивные влагозапасы, ландшафтная катена, изменение продуктивности по катене, оптимальное распределение культур в ландшафте, Московская область

Введение. Прогнозирование урожайности той или иной культуры на различных ландшафтных элементах является важной задачей при планировании севооборота, агротехнических и мелиоративных мероприятий, а также при прогнозе экономической эффективности. Методика оценки продуктивности культуры является важным инструментом при планировании размещения ее в севообороте.

Продуктивность культур однозначно зависит от содержания влаги в почве, в отличие от водопотребления [2]. Объективно описать значение доступной для растения влаги можно содержанием продуктивных запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы. Для данного случая были использованы многолетние влагозапасы в слое 0-100 см для яровой пшеницы в Московской области (табл. 1) [1].

Таблица 1

Многолетние запасы продуктивной влаги (мм) в почве на конец декады под ранними яровыми зерновыми культурами средние по агрогидрологическим районам

№ Мес.	№ Дек.	Агрогидрологический район ² (ландшафтные элементы)					
		ОБВ	МКУ	ПКУ	ВИУ	КППВ	ПВП
		Пойменные / супераквальные	Пойменные / супераквальные	Супераквальные	Трансаккумулятивные	Трансаккумулятивные / транслювиальные	Трансаккумулятивные / транслювиальные
III	3	236	218	207	183	202	160
	1	226	210	199	177	195	156
IV	2	221	205	194	174	190	155
	3	216	200	190	170	186	152
V	1	208	193	183	161	180	145
	2	198	183	173	152	159	136
	3	194	173	170	140	149	134
VI	1	181	169	156	130	137	125
	2	175	158	150	119	120	118
	3	170	149	143	110	109	110
VII	1	168	145	138	105	103	105
	2	164	137	133	102	100	90
	3	150	135	128	98	97	86

Материалы и методы. В рамках данного исследования рассчитаны изменения продуктивности яровой пшеницы в период вегетации по агрогидрологическим районам Московской области.

Расчет продуктивности яровой пшеницы проводится по формуле [2]:

$$S = \left(\frac{W_i}{W_{opt}} \right)^{\gamma W_{opt}} \cdot \left(\frac{1 - W_i}{1 - W_{opt}} \right)^{\gamma(1 - W_{opt})}, \quad (1)$$

где: W_i – значение продуктивной влаги в почве (в долях от $W_{ПВ}^*$); W_{opt} – оптимальное значение продуктивной влаги для данной культуры (в % от ПВ); γ – коэффициент саморегулирования растения (уровень адаптации к внешним условиям) постоянный для каждой фазы развития и характеризующий форму кривой на графике зависимости $S = f(W)$ [2].

¹ $W_{ПВ}^*$ – полная продуктивная влагоемкость. Определяется как разность значений полной влагоемкости и влажности завядания ($W_{ПВ}^* = W_{ПВ} - W_{ВЗ}$). В работе принято, что $W_{ПВ}^* = 250$ мм. Слой 0–100 см.

Рассчитанные значения продуктивностей S по агрогидрологическим районам и декадам, а также значения коэффициентов γ и оптимальные значения продуктивной влаги W_{opt} [3] представлены в таблице 2.

Для повышения наглядности результаты анализа картированы на рисунке 1.

Проведен расчет и анализ среднегодовой продуктивности по агрогидрологическим районам (относительная урожайность). Расчет произведен по формуле:

$$\bar{S}_{АГР} = \sum (S_i^{АГР} \cdot \alpha_j), \quad (2)$$

где: $S_i^{АГР}$ – продуктивность культуры в i -той декаде в рассматриваемом агрогидрологическом районе; α_j – коэффициент «веса фазы» в общей продуктивности культуры для j -той фазы (табл. 3).

Полученные значения представлены в таблице 3 и проиллюстрированы (рис. 2.)

**Продуктивность яровой пшеницы по агрогидрологическим районам
и во времени в Московской области**

№ Мес.	№ Дек.	№ фазы (i)	γ	W_{opt}	S по агрогидрологическим районам					
					ОБВ	МКУ	ПКУ	ВИУ	КППВ	ПВП
					Пойменные / супер- аккумулятивные	Пойменные / супер- аккумулятивные	Супер- аккумулятивные	Трансакку- мулятивные	Трансакку- мулятивные / транслю- вильные	Трансакку- мулятивные / транслю- вильные
III	3	1	5,1	0,55	0,04	0,20	0,35	0,68	0,42	0,92
IV	1	1	5,1	0,55	0,12	0,31	0,46	0,75	0,52	0,94
	2	1	5,1	0,55	0,17	0,37	0,53	0,79	0,59	0,95
	3	1	5,1	0,55	0,23	0,44	0,59	0,83	0,64	0,97
V	1	1	5,1	0,55	0,33	0,54	0,68	0,91	0,72	0,99
	2	2	5,5	0,48	0,27	0,46	0,59	0,83	0,76	0,96
	3	3	5,6	0,54	0,47	0,75	0,79	1,00	0,96	1,00
VI	1	3	5,6	0,54	0,65	0,80	0,92	1,00	1,00	0,98
	2	3	5,6	0,54	0,73	0,91	0,96	0,96	0,96	0,95
	3	4	5,9	0,43	0,46	0,72	0,79	1,00	1,00	1,00
VII	1	4	5,9	0,43	0,48	0,77	0,84	1,00	1,00	1,00
	2	5	5,3	0,61	0,98	0,96	0,94	0,65	0,62	0,51
	3	5	5,3	0,61	1,00	0,95	0,90	0,60	0,59	0,46

Примечание: значения W_{opt} указаны в долях от полной продуктивной влагоемкости ($W_{\text{пв}}^*$); S – в долях от максимально возможной продуктивности.

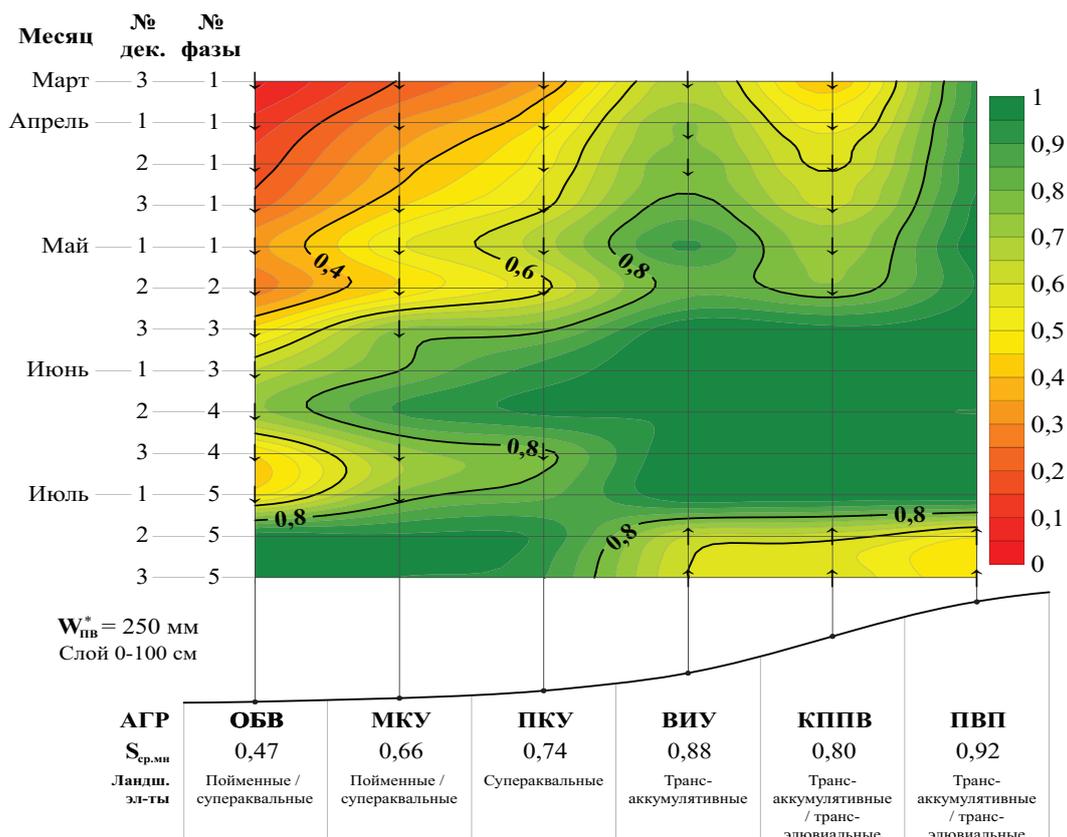


Рис. 1. Карта³ изменения продуктивности яровой пшеницы во времени по агрогидрологическим районам Московской области: по оси абсцисс – агрогидрологические районы; по оси ординат – время в декадах и фазы развития; правая шкала – продуктивность

² Определение агрогидрологического района дано по [1]. Уточнение этого понятия приводится в [4] и [5].

³ Карта построена на ЭВМ с применением ПО Golden Software Surfer 13. Сеточный метод – Radial basis function.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 просматривается перемещение зоны наивысшей продуктивности от начала вегетации (третья декада марта⁴) в агрогидрологическом районе ПВП к концу вегетации в район ОБВ. Это обусловлено различными требованиями культуры к влажности почвы в процессе развития. Пшеница – растение сухих степей и высокая влажность необходима в фазах кущения и налива. Вызывает

интерес область понижения продуктивности в агрогидрологическом районе КППВ в начале вегетации. Понижение продуктивности в районе КППВ обусловлено положением агрогидрологического района на катене (рис. 2). Ввиду его высокой вариативности и расположения в точке перегиба катены. В различных областях ЕЧС, продуктивность может изменяться от низких до довольно высоких значений [4].

Таблица 3

Расчет среднемноголетней продуктивности ($S_{\text{ср.мн}}$) по агрогидрологическим районам

№ Мес.	№ Дек.	№ фазы i	α_j	ОБВ	МКУ	ПКУ	ВИУ	КППВ	ПВП
				Пойменные / супераккумулятивные	Пойменные / супераккумулятивные	Супераккумулятивные	Трансаккумулятивные	Трансаккумулятивные / трансэлювиальные	Трансаккумулятивные / трансэлювиальные
III	3	1	0,06	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,05
IV	1	1	0,06	0,01	0,02	0,03	0,05	0,03	0,06
	2	1	0,06	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,06
	3	1	0,06	0,01	0,03	0,04	0,05	0,04	0,06
V	1	1	0,06	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,06
	2	2	0,06	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
	3	3	0,08	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08
VI	1	3	0,08	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08
	2	3	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
	3	4	0,14	0,06	0,10	0,11	0,14	0,14	0,14
VII	1	4	0,14	0,07	0,11	0,12	0,14	0,14	0,14
	2	5	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03
	3	5	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
$S_{\text{ср.мн}}$				0,47	0,66	0,74	0,88	0,80	0,92

Примечание: фазы в таблице пронумерованы следующим образом: 1 – посев – всходы – кущение; 2 – кущение-выход в трубку; 3 – выход в трубку-колошение; 4 – колошение – налив зерна; 5 – налив зерна – восковая спелость.

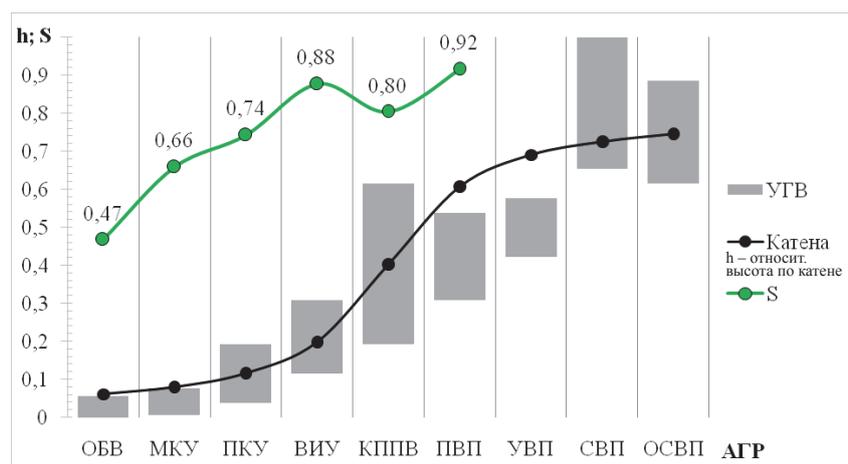


Рис. 2. Значения средней относительной урожайности яровой пшеницы (S) по агрогидрологическим районам (на примере Московской области)

Агрогидрологический район ПВП отличается более глубоким залеганием грунтовых вод и меньшим содержанием про-

дуктивной влаги в почве, нежели идущие ниже по катене. На ранних этапах развития яровой пшеницы условия данного АГР

⁴ Наиболее раннее начало вегетации

являются оптимальными (рис. 1). Далее, по мере развития культуры, потребность во влаге возрастает. Так как это видно на карте (рис. 1), к концу мая значения наивысшей продуктивности начинают распространяться из агрогидрологического района ПВП на соседние КППВ и ВИУ. С конца июня по начало июля происходит перемещение наивысших значений продуктивности в районы ПКУ, МКУ и ОБВ, где и остаются до конца вегетации. Анализ табл. 1 показывает, что влажность почв закономерно уменьшается от нижних элементов ландшафта к верхним и от начала периода вегетации к концу, а требования культуры изменяются неоднородно (см. $W_{\text{орт}}$ табл. 2). Происходит противоречие между требованиями растения и условиями внешней среды, что и приводит к эффекту отмеченному выше.

Это свидетельствует о необходимости проведения осушительных мелиораций

от начала и практически до конца вегетации для агрогидрологических районов ОБВ и МКУ. Такая же тенденция отмечается до конца апреля для всех элементов ландшафта. Период со второй декады мая по конец первой декады июля является оптимальным для всех «верхних элементов катень». В случае возделывания яровой пшеницы на территории агрогидрологического района ПВП (трансаккумулятивные или трансэлювиальные фации), необходимость орошения возникает только в конце вегетации (в фазе налива зерна).

Определенный интерес представляет проверка совпадения «оптимального диапазона» по содержанию продуктивных влагозапасов в почве и наивысших значений продуктивности, рассчитанных по формуле 1 (рис. 1).

Для этого было произведено наложение диапазона оптимальной влажности [5] на карту продуктивностей (рис. 1). Полученная карта представлена ниже (рис. 3).

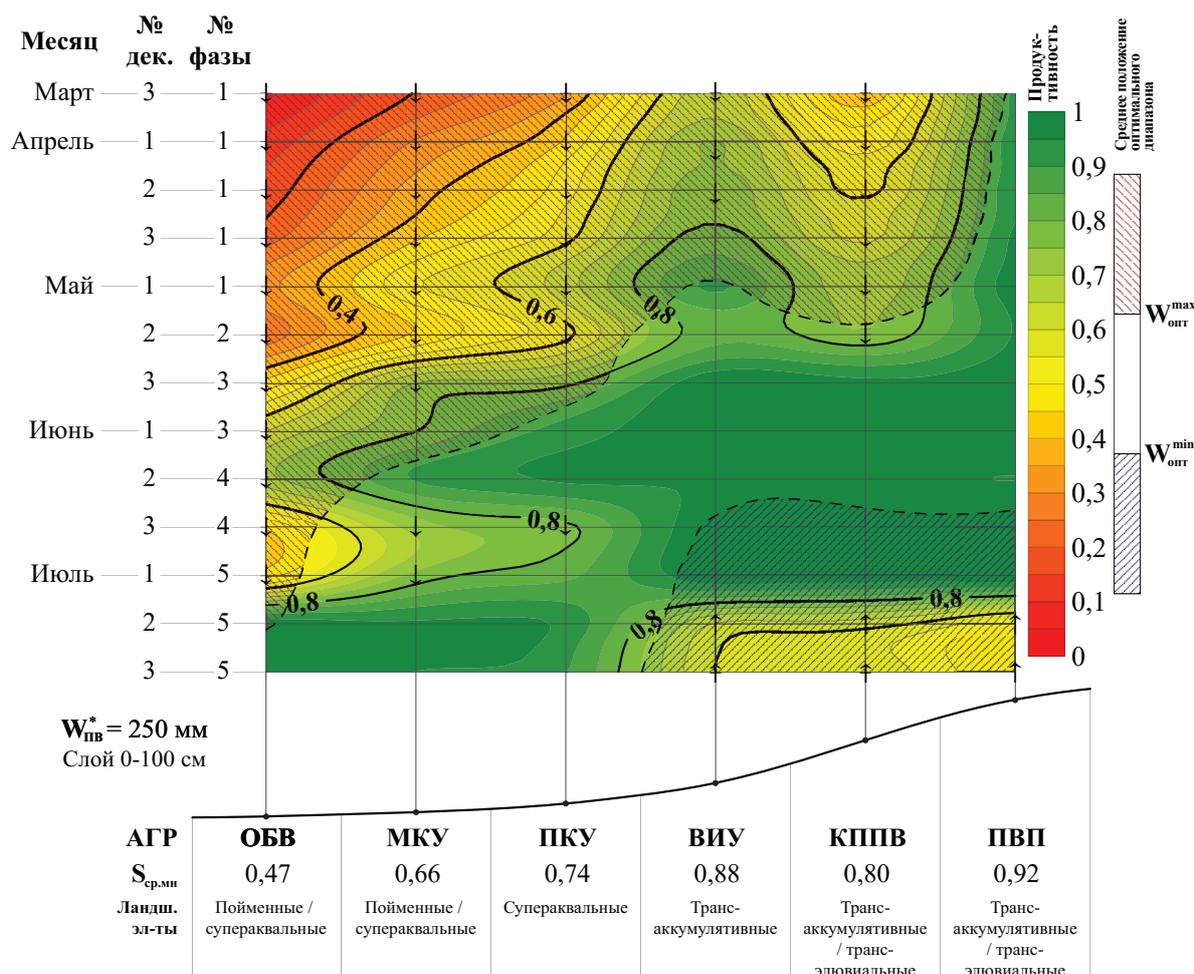


Рис. 3. Карта изменения продуктивности яровой пшеницы во времени по агрогидрологическим районам Московской области с оптимальными диапазонами по влажности: по оси ординат – время в декадах; по оси абсцисс – агрогидрологические районы (весна сверху – лето снизу)

На основе анализа этой карты можно сделать вывод о том, что диапазоны оптимума и наивысших продуктивностей в целом совпадают, т.е. рассматриваемая формула продуктивности (1) более точно описывает оптимальные условия для яровой пшеницы. Это естественно, т.к. карта продуктивности включает в себя не только влажность почвы, но и требования культуры, переменные во времени, а карта оптимального диапазона этими свойствами не обладает. Используя только данные по влагозапасам в почве нельзя достоверно выбрать «оптимальное поле».

Таким образом, планируя размещения посевов можно располагать их на тех местах катены, где период с оптимальными условиями имеет наибольшую продолжительность. К таким местам относятся верхние части катены (ПВП), хотя и здесь в конце вегетации (11-13 декады) возможна необходимость орошения. Следующими территориями с оптимальными условиями (но меньшей продолжительности), будут территории агрогидрологического района ВИУ (временно избыточное увлажнение).

В остальных местах катены нужно будет смириться с недобором урожая, либо проводить мелиоративные мероприятия.

Выводы

Значения средней многолетней относительной урожайности яровой пшеницы закономерно возрастают от нижних элементов рельефа к верхним. Что показывает адекватность модели и кондиционность исходных данных.

Картирование продуктивности позволяет выбирать места на катене, где размещение культуры будет наиболее выгодно

Для достижения наивысших урожаев необходимо в разной степени проведение мелиоративных мероприятий во всех агрогидрологических районах. Предложенная методика позволяет оценить направленность мелиораций.

Анализ карт продуктивности и оптимального диапазона влажности показал,

что в целом логика процесса сохраняется, но карта продуктивности дает более полное представление о состоянии посева в разных временных и пространственных диапазонах.

Библиографический список

1. Справочник «Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами по областям, краям, республикам и экономическим районам». Том 1. Европейская часть СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – С. 38-39, 75, 76.

2. **Шабанов В.В.** Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 141 с.

3. **Никольский Ю.К. Шабанов В.В.** Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель. // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 9. – С. 26-29.

4. **Шабанов В.В. Солошенко А.Д.** Дифференциация типов увлажнения и типов водного питания почв по катене. // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 97-101.

5. **Шабанов В.В. Солошенко А.Д.** Дифференциация типов увлажнения по катене для рационального размещения сельскохозяйственных культур и планирования мелиоративных воздействий. // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 104-109.

Материал поступил в редакцию 31.12.2017 г.

Сведения об авторах

Шабанов Виталий Владимирович доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; e-mail: 515vvsh@gmail.com

Солошенко Александр Дмитриевич, аспирант ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: +7(916)4299113; e-mail: aleksandr_soloshenkov@mail.ru

V.V. SHABANOV, A.D. SOLOSHENKOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow

ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS LOCATED ON THE INTERRELATED ELEMENTS OF THE LANDSCAPE (CATENA)

Assessment of the average long-term crop productivity is an important factor for planning its placement both within the landscape and in the crop rotation. The article proposes an approach to assessing the average long-term crop productivity based on the data on the content of average long-term productive moisture reserves in the soil on the interrelated elements of the landscape. The productivity of spring wheat was calculated according to vegetation phases for the main agro hydrological regions of the Moscow area. The relative crop capacity of spring wheat was determined in the main agro hydrological regions of the Moscow area. Comparison of optimum moisture and productivity ranges for spring wheat was carried out. It is shown that the value of the relative crop capacity has a tendency to the growth from the lower relief elements to the upper ones which shows the adequacy of the model and the conditioning of the initial data. Mapping of the current productivity allows to choose a place on the catena to be the most profitable to locate this culture. In the case of land assessment this plot may have a higher cost which can be taken into account in case of crop insurance. To achieve the highest yields it is necessary, in a varying degree, to carry out land reclamation measures for all agro-hydrological regions. The most favorable conditions for cultivation of spring wheat according to the content of reserves of productive moisture in the soil are in the agro hydrological region of the Full Spring Soaking (PVP). Location of the sowing on the trans-eluvial element of the landscape catena (agro hydrological region of the KPPV) leads to a decrease of the yield.

Assessment of the productivity of agricultural crops, assessment of the need for land reclamation, agro-hydrological regions and their characteristics, productive moisture reserves, landscape catena, productivity change on the catena, optimal distribution of crops in the landscape, the Moscow region.

References

1. Spravochnik «Srednie mnogoletnie zapasy produktivnoj vlagi pod ozimymi i rannimi yarovymi zernovymi kulturami po oblastyam, krayam, respublikam i ekonomicheskim rajonom». Tom 1 Evropejskaya chast SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – S.38-39,75,76.
2. Shabanov V.V. Vlogoobespechennost yarovoj pshenitsy i ee raschet. – L.: Gidrometeoizdat, 1981. – 141 s.
3. Nikoljsky Yu.K., Shabanov V.V. Raschet projektnoj urozhainosti v zavisimosti ot vodnogo rezhima melioriruemyh zemel. // Gidrotehnika i melioratsiya. – 1986. – № 9. – S.26-29.
4. Shabanov V.V., Soloshenkov A.D. Diferentsiatsiya tipov uvlazhneniya i tipov vodnogo pitaniya pochv po katene. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 1. – S. 97-101.
5. Shabanov V.V., Soloshenkov A.D. Diferentsiatsiya tipov uvlazhneniya po katene dlya ratsionaljnogo razmeshcheniya seljsko-

hozyajstvennyh kul'tur i planirovaniya meliorativnyh vozdeystvij. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 3. – S. 104-109.

The material was received at the editorial office
31.12.2017

Information about the authors

Shabanov Vitalij Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Lands reclamation and recultivation»; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; e-mail: 515vvsh@gmail.com

Soloshenkov Aleksandr Dmitrievich, post-graduate student; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: +7(916)4299113; e-mail: aleksandr_soloshenkov@mail.ru