

**К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ  
В ПРОФИЛЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РЕПЧАТОГО ЛУКА****FEATURES OF THERMAL STATE IN LEACHED CHERNOZEM PROFILE  
DURING BULB ONION CULTIVATION**

**Ключевые слова:** чернозем, лук репчатый, температура, сумма температур, влажность, теплоемкость, теплопроводность, теплоток, теплопроводность.

Урожайность овощных культур зависит от погодных условий региона и почвенного плодородия. Для выявления особенностей теплофизического состояния, формирующегося в профиле чернозема выщелоченного, нами в 2006-2007 гг. были проведены наблюдения за его составляющими под насаждениями лука репчатого. В течение вегетации суммарная температура во всем 20-сантиметровом слое в 2006 г. снижалась. Погодные факторы, такие как температура воздуха и почвы, ее влагосодержание определили величины теплофизических коэффициентов. При этом диапазон изменений тепло- и теплопроводности находился в пределах от 10 до 15%, а теплоемкости – 25%. Максимальное количество тепла в 2006 г. поступало в почву с 10:00 до 13:00 ч. Его среднесуточный максимум составил 63,9 Вт/м<sup>2</sup>. В ночное время поток тепла менял направление на противоположное и выходил из почвы в атмосферу. В 2007 г. процессы прогревания профиля чернозема оказались аналогичными и зависели от погоды. Среднесуточная сумма температур в пахотном горизонте в июне оказалась равной 616°C, а в июле – 852°C за счет высокой температуры воздуха. Уровень увлажнения в 2007 г. был гораздо выше, чем в 2006 г., поэтому теплоемкость возрастала до 2,2 Вт/(м К). В результате среднесуточный поток тепла в июне составил 77,3 Вт/м, а в июле при меньшей теплоемкости – 53,9 Вт/м<sup>2</sup>. Информационно-логический анализ показал, что максимальное влияние на урожайность оказывал гидротермический коэффициент (ГТК) в первой половине вегетации. На втором месте по значимости оказалась сумма температур почвы в слое до 20 см.

Слабее связь урожайности лука с содержанием почвенной влаги и объемной теплоемкостью.

**Keywords:** chernozem, bulb onion, temperature, accumulated temperature, moisture content, thermal capacity, thermal conductivity, heat flow, thermal diffusivity.

The yield of vegetable crops depends on the weather conditions of the region and soil fertility. To reveal the features of the thermophysical state that is formed in the profile of leached chernozem, in 2006 and 2007 we made observations of its components under bulb onion plantations. In 2006, during the growing season, the total temperature in the entire 20 cm soil layer decreased. The weather factors as air and soil temperature, and soil moisture content determined the values of thermophysical coefficients. In this case, the range of changes in thermal conductivity and thermal diffusivity was within 10-15%, and the thermal capacity - 25%. The maximum amount of heat in 2006 entered the soil from 10 am to 1 pm. Its average daily maximum was 63.9 W m<sup>2</sup>. At night, the heat flux reversed direction and escaped from the soil into the atmosphere. In 2007, the processes of warming up the chernozem profile turned out to be similar and depended on the weather. The average daily accumulated temperature in the arable layer in June turned out to be 616°C, and in July - 852°C due to high air temperature. The moisture level in 2007 was much higher than in 2006, so the thermal capacity increased to 2.2 W (m K). As a result, the average daily heat flux in June was 77.3 W m<sup>2</sup>, and in July, with a lower thermal capacity, 53.9 W m<sup>2</sup>. Information-logical analysis showed that the hydrothermal coefficient (HTC) had the maximum impact on the yield in the first half of the growing season. The accumulated soil temperature in the layer up to 20 cm was in second place in terms of significance. The relationship between bulb onion yield and soil moisture content and volumetric thermal capacity is weaker.

**Макарычев Сергей Владимирович**, д.б.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Makarychev1949@mail.ru.

**Makarychev Sergey Vladimirovich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Makarychev1949@mail.ru.

**Введение**

Репчатый лук занимает значительное место в питании человека как в свежем виде, так и в переработанном. В луке много витаминов и минеральных солей, а также эфирное масло. Он обладает бактерицидным действием. Относится

к семейству лилейных (*Allium cepa* L.). Корни лука тонкие и вытянутые, покрыты волосками, быстро сохнущими на воздухе. Практически вся корневая система развивается в пахотном слое до глубины 20 см. В настоящее время в России и на Алтае задача стабильного обеспечения

населения этими овощами решена, особенно за счет частного огородничества. В крае выращивание лука ведется чаще всего посредством севка. Но некоторые сорта, такие как Сибирский, Ермак дают возможность выращивать лук через посев семян в грунт [1].

### Объекты и методы

**Целью** работы явилось исследование особенностей формирования теплофизического состояния чернозема при возделывании лука. **Объекты** изучения – чернозем выщелоченный и лук репчатый сорта Сибирский. Для этого проводилось наблюдение за температурой почвы электротермометром на глубинах от 0 до 20 см в соответствии с Руководством по градиентным наблюдениям в 7:00, 10:00, 13:00, 16:00, 19:00, 1:00 и 7:00 ч [2-4], измерялись теплофизические показатели и рассчитывались тепловые потоки [5].

### Результаты исследований

Культурные сорта лука, как правило, холодостойкие. При температуре воздуха 14-16°C всходы появляются через 2 недели, а при 20°C – через 6-7 дней. Всходы лука при температуре -5°C погибают. Сорта лука влаголюбивы, особенно в первую половину вегетации. Строение его листьев указывает на приспособленность растения к засухе, но слабое развитие корневой системы определяет высокую требовательность к воде. До начала созревания влажность в деятельном слое почвы должна соответствовать 0,75 НВ [6, 7]. Оптимальными для луковой культуры являются суглинистые и супесчаные почвы. Особенности корневой системы не требуют наличия в почве значительного запаса питательных элементов [8].

Главным образом урожайность овощных культур зависит от погодных условий региона и почвенного плодородия. Для выявления особенностей теплофизического состояния, формирующегося в профиле чернозема выщелоченного, нами в 2006-2008 гг. были проведены наблюдения под насаждениями лука. С учетом морфологических признаков почву можно классифицировать как выщелоченный чернозем средней мощности слабо гумусированный среднесуглинистый. Гумусово-аккумулятивные гори-

зонты **Ап** (0-33 см) и **АВ** (33-44 см) темно-серого цвета, рыхлые среднесуглинистые. Иллювиальный гор. **В** (44-54 см) светло-коричневый, плотный, среднесуглинистый. Глубже расположены подстилающие горизонты **ВС** и **Ск** желто-бурого оттенка, уплотненные, близкие к тяжелому суглинку. Гранулометрический состав чернозема представлен в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что чернозем в гумусовых горизонтах характеризуется как среднесуглинистый. В иллювиальном слое и почвообразующей породе его состав граничит с тяжелым суглинком. Для почвенного покрова, сформированного на лессовидных породах, характерно значительное количество крупнопылеватой фракции (до 60-66%). В профиле выражено утяжеление грансостава с глубиной от 38 до 43%. Много илистых частиц, содержание которых увеличивается вниз по профилю с 17% в пахотном слое до 29% в гор. Ск. Чернозем хорошо структурирован, поскольку макроагрегаты в 20-сантиметровом слое составляют до 89%. В такой почве поверхностный сток незначителен, а наличие замкнутых пор снижает десукцию. В результате создается благоприятный водно-воздушный режим.

Из нее следует, что плотность сложения генетических горизонтов при переходе от пахотного слоя к почвообразующей породе увеличивается с 1,12 до 1,55 г/см<sup>3</sup>. Общая порозность значительна. В целом чернозем малогумусный.

В таблице 2 представлены водно-физические показатели чернозема. Их значения довольно высоки. Так, влажность завядания гумусового горизонта **А** составляет 11,1%, или 41 мм, а наименьшая влагоемкость – соответственно, 30% и 110,9 мм. В нижележащих слоях из-за их малой мощности эти величины гораздо ниже. Порозность аэрации при НВ обеспечивает хорошее поступление и распространение почвенного воздуха.

Наблюдения за формированием термического режима чернозема проводились с 2006 по 2007 гг. включительно. В таблице 3 представлены температуры пахотного слоя чернозема, в котором формируется корневая система лука [9].

Таблица 1

**Фракции гранулометрического состава чернозема**

Горизонт	Глубина, см	%			
		песчаная	пылеватая	<0,001 мм	<0,01 мм
A	0-33	15,3	66,2	16,5	38,3
AB	33-44	11,0	67,0	20,3	36,5
B	44-54	10,7	64,9	22,9	42,7
BC	54-93	10,8	61,9	23,7	42,4
C <sub>к</sub>	>93	8,1	60,5	28,5	42,2

Таблица 2

**Влажность завядания (ВЗ), влажность разрыва капиллярных связей (ВРК) и наименьшая влагоемкость (НВ) чернозема (числитель – % от массы, знаменатель – мм)**

Горизонт	Глубина, см	ВЗ	ВРК	НВ	П <sub>аэп</sub> , %
A	0-33	$\frac{11,1}{41,0}$	$\frac{21,0}{77,6}$	$\frac{30,0}{110,9}$	23,4
AB	33-44	$\frac{10,8}{14,9}$	$\frac{18,4}{25,3}$	$\frac{26,3}{36,2}$	25,6
B	44-54	$\frac{8,9}{12,1}$	$\frac{17,5}{23,4}$	$\frac{25,0}{34,0}$	23,1

Как было отмечено выше, суточная сумма температур на данной глубине под луком складывалась из восьмикратных измерений. Из таблицы 4 следует, что в течение вегетации суммарная температура во всем 20-сантиметровом слое в 2006 г. постепенно снижалась. Так, на уровне 5 см в зоне расположения луковиц в конце июня она равнялась 167°С, в июле – 131°С, а в августе – только 115°С. Аналогичное падение прогревания отмечалось во всем пахотном слое, начиная с 818 и до 562°С, т. е. за лето оно снижалось на 46%. При этом по чистому пару почва имела более высокие температуры за счет сол-

нечной инсоляции (рис.). В июне эта разница составила 45°С, а в июле и августе – 19 и 15°С.

Таблица 3

**Сумма суточных температур в пахотном слое чернозема в 2006 г.**

Глубина, см	27/28.06	25/26.07	08/09.08
0	177	138	123
5	167	131	115
10	160	128	109
15	155	126	107
20	156	126	106
<b>ΣТ</b>	818	649	562

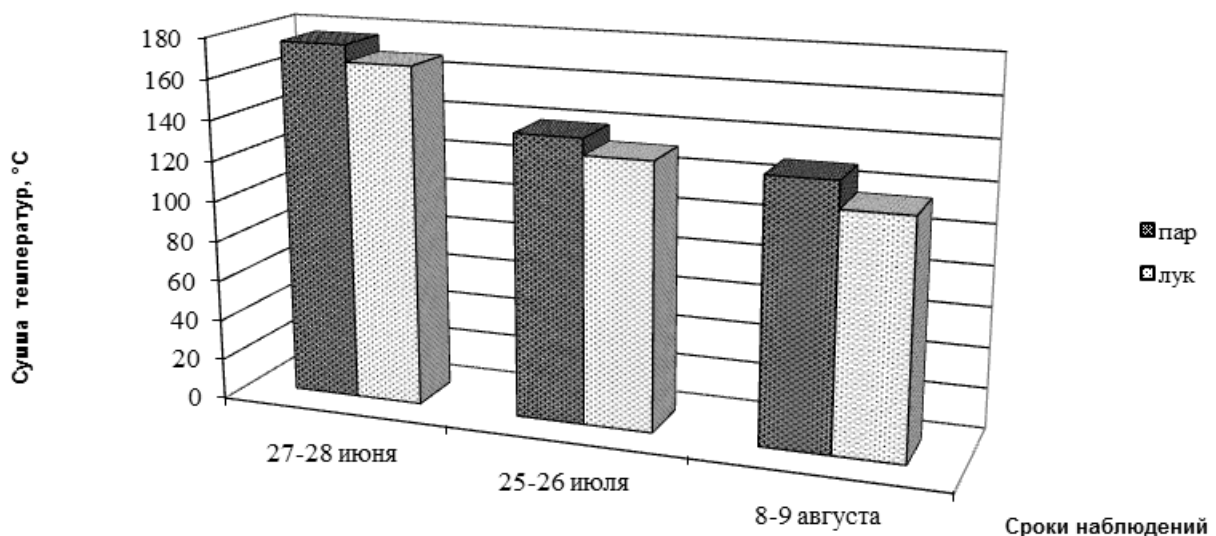


Рис. Суммарная температура под луком и в паровом поле на глубине 5 см (2006 г.)

Особенности погоды, такие как температура воздуха и почвы, ее влагосодержание определили величины теплофизических коэффициентов чернозема (табл. 4). В то же время изменения тепло- и температуропроводности составляли от 10 до 15%, тогда как показатель теплоаккумуляции колебался в диапазоне 25%.

Таблица 4

**Относительная влажность (U), теплоемкость (C<sub>p</sub>), температуро- и теплопроводность (α и λ) верхнего горизонта чернозема под луковыми насаждениями, 2006 г.**

Срок	31.05	27.06	25.07
U, %	18,8	13,5	23,5
C <sub>p</sub> , 10 <sup>6</sup> Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	1,9	1,7	2,1
α, 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с	0,6	0,6	0,5
λ, Вт/(м·К)	1,1	1,0	1,1
HCP <sub>05(U)</sub> =3,8%; HCP <sub>05(C<sub>p</sub>)</sub> =0,7%; HCP <sub>05(α)</sub> =0,4%; HCP <sub>05(λ)</sub> =0,5%			

Знание вертикальных градиентов температуры и теплофизических свойств чернозема дали возможность рассчитать величины теплоточков в его верхнем слое (табл. 5).

Таблица 5

**Теплоточки (P, Вт/м<sup>2</sup>) в профиле чернозема в течение суток и суммарные за сутки, 2006 г.**

Время, ч	27/28.06	25/26.07	8/9.08
13:00	54,5	36,9	44,3
16:00	18,2	0,5	45,6
19:00	-29,4	-22,5	-23,9
1:00	-33,7	-33,7	-45,4
7:00	6,7	-9,0	6,8
10:00	47,4	18,5	26,9
Σ	63,9	10,6	54,4

Максимальное количество тепла в 2006 г. поступало в почву с 10:00 до 13:00 ч. Так, в июне значения теплоточка в эти моменты времени составили 47,4 и 54,5 Вт/м<sup>2</sup>. В июле за счет прошедшего ночью дождя температура резко снизилась до 16°С, поэтому количество тепла упало до 10,6 Вт/м<sup>2</sup>. Его среднесуточный максимум в 2006 г. соответствовал 63,9 Вт/м<sup>2</sup>. В ночное время поток тепла менял направление на противоположное и выходил из почвы в атмосферу.

В 2007 г. процессы прогревания профиля чернозема оказались аналогичными предыдущему году и зависели от погоды. Среднесуточная сумма температур в пахотном горизонте 16-17 июня оказалась равной 616°С, а 21-22 июля – 852°С, поскольку воздух был прогрет до 30°С. В таблице 6 показаны результаты определения влажности и теплофизических свойств чернозема в 2007 г.

Уровень увлажнения летом был гораздо выше, чем в 2006 г., поэтому теплоемкость возрастала до 2,2 Вт/(м·К), а температуропроводность соответствовала 0,5·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с и не менялась в течение лета. В результате среднесуточный поток тепла в июне составил 77,3 Вт/м, а в июле при меньшей теплоемкости – 53,9 Вт/м<sup>2</sup> (табл. 7). Максимальное количество тепла отмечено в 10:00 ч.

В заключение нужно отметить, что тепловое состояние чернозема за годы исследований определялось погодными условиями. В то же время необходимо учитывать и антропогенное влияние, которое не было представлено в данной работе. При анализе урожайности мы отметили наиболее важные природные факторы, оказавшие первостепенное воздействие на урожайность лука репчатого. Нами проведен анализ, определяющий значимость изученных условий, а именно атмосферных осадков, влажности и температуры почвы, а также ее теплоемкости. Так, максимальное влияние на урожайность оказывал гидротермический коэффициент (ГТК) в первой половине вегетации. Распределение уровней урожайности в мае-июле имело параболическую зависимость с выраженным максимумом от 1,5 до 2,0. Отклонение от него снижало урожайность на 1-2 ранга. Информационно-логический анализ [10] показал высокую информативность суммы температур почвы в слое до 0-20 см. Она составила 0,48, что обеспечило значительный коэффициент эффективности канала связи. Слабее связь с урожайностью лука и содержанием влаги, которая не превышала 0,23. При этом оптимальную роль играла влажность почвы в пределах (20-30)%, а дальнейшее увеличение увлажнения снижало продуктивность культуры. Объемная теплоемкость также имела свою долю.

В итоге доля влияния гидротермического коэффициента оказалась равной 27%, суммы температур – 26, влагосодержания – 22 и объемной теплоемкости – 16%.

Таблица 6

Относительная влажность ( $U$ ), теплоемкость ( $C_p$ ), температуро- и теплопроводность ( $a$  и  $\lambda$ ) верхнего горизонта чернозема под луковыми насаждениями, 2007 г.

Срок	28.05	16.06	23.06	21.07	8.08
$U$ , %	20,9	23,1	26,4	16,4	14,8
$C_p$ , $10^6$ Дж/( $m^3 \cdot K$ )	2,0	2,1	2,2	1,8	1,7
$a$ , $10^{-6}$ $m^2/c$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$\lambda$ , Вт/( $m \cdot K$ )	1,1	1,1	1,1	1,03	1,0
НСР <sub>05(U)</sub> =3,0%; НСР <sub>05(Cp)</sub> =1,5%; НСР <sub>05(a)</sub> =0,3%; НСР <sub>05(λ)</sub> =0,8%					

Таблица 7

Теплопоток ( $P$ , Вт/ $m^2$ ) в профиле чернозема в течение суток и суммарные за сутки, 2007 г.

Время, ч	16-17.06	21-22.07
13:00	38,0	39,2
16:00	20,0	6,7
19:00	-15,3	-19,9
1:00	-28,5	-33,6
7:00	15,9	7,6
10:00	47,1	43,8
$\Sigma$	77,3	53,9

### Выводы

1. В течение вегетации суммарная температура во всем 20-сантиметровом слое в 2006 г. снижалась. Так, на уровне 5 см в зоне расположения луковиц в конце июня она равнялась 167°C, в июле – 131°C, а в августе – только 115°C. Погодные факторы, такие как температура воздуха и почвы, ее влагосодержание определили величины теплофизических коэффициентов. При этом диапазон изменений тепло- и температуропроводности находился в пределах от 10-15, а теплоемкости – 25%.

2. Максимальное количество тепла в 2006 г. поступало в почву с 10:00 до 13:00 ч. В июле за счет дождливой погоды температура резко снизилась до 16°C, поэтому количество тепла упало до 10,6 Вт/ $m^2$ . Его среднесуточный максимум за вегетацию составил 63,9 Вт/ $m^2$ . В ночное время поток тепла менял направление на противоположное и выходил из почвы в атмосферу.

3. В 2007 г. процессы прогревания профиля чернозема оказались аналогичными предыду-

щему году и зависели от погоды. Среднесуточная сумма температур в пахотном горизонте в июне оказалась равной 616°C, а в июле – 852°C за счет высокой температуры воздуха.

4. Уровень увлажнения в 2007 г. был гораздо выше, чем в 2006 г., поэтому теплоемкость возрастала до 2,2 Вт/( $m \cdot K$ ), а температуропроводность соответствовала  $0,5 \times 10^{-6}$   $m^2/c$  и не менялась в течение лета. В результате среднесуточный поток тепла в июне составил 77,3 Вт/ $m^2$ , а в июле при меньшей теплоемкости – 53,9 Вт/ $m^2$ .

5. Информационно-логический анализ показал, что максимальное влияние на урожайность оказывал гидротермический коэффициент (ГТК) в первой половине вегетации. На втором месте по значимости оказалась сумма температур почвы в слое до 0-20 см. Слабее связь урожайности лука с содержанием почвенной влаги и объемной теплоемкостью. В итоге доля влияния ГТК оказалась равной 27%, суммы температур – 26, влагосодержания – 22 и объемной теплоемкости – 16%.

### Библиографический список

1. Беляков, М. А. Однолетняя культура лука репчатого в Алтайском крае / М. А. Беляков, С. В. Жаркова. – Текст: непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию создания ГНУ ЗСОС ВНИИО. – Барнаул: Изд-во ВНИИО, 2007. – С. 306-310.

2. Болотов, А. Г. Измерение температуры почв в полевых условиях / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: материалы II

Международной конференции. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2002. – С. 148-150.

3. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, Ю. В. Беховых. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов / АГАУ. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – С. 87-91.

4. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. – 120 с. – Текст: непосредственный.

5. Макарычев, С. В. Теплофизика почв: методы и свойства / С. В. Макарычев, М. А. Мазиров. – Суздаль: Изд-во ВНИИСС, 1996. – 231 с. – Текст: непосредственный.

6. Шуин, К. А. Производство овощей в Нечерноземье / К. А. Шуин, И. Т. Дудоров, П. С. Миранцов. – Ленинград: Изд-во ЛСХИ, 1982. – С. 165-180. – Текст: непосредственный.

7. Гринберг Е. Г. Корнеплоды, лук репчатый / Е. Г. Гринберг. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 1992. – 215 с. – Текст: непосредственный.

8. Демина, Р. Ж. Режим орошения лука в дельте Волги / Р. Ж. Демина. – Текст: непосредственный // Картофель, овощные и бахчевые культуры. – 1983. – № 9. – С. 50.

9. Макарычев, С. В. Гидротермический режим чернозема выщелоченного при возделывании лука в условиях Алтайского Приобья / С. В. Макарычев, И. В. Гефке, А. И. Рeger. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1. – С. 29-32.

10. Пузаченко, Ю. Г. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / Ю. Г. Пузаченко, Л. О. Карпачевский, Н. А. Взнуздаев. – Текст: непосредственный // Закономерности пространственного варьирования свойств почвы и информационно-статистические методы их изучения. – Москва: Наука, 1970. – С. 103-121.

## References

1. Beliakov M.A. Odnoletniaia kultura luka repchatogo v Altaiskom krae / M.A. Beliakov, S.V. Zharkova // Materialy mezhd. nauch.-prakt. konf., posviashchennoi 75-letiiu sozdaniia GNU ZSOOS VNIIO. – Barnaul, Izd-vo VNIIO, 2007. – S. 306-310.

2. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochv v polevykh usloviakh // Antropogennoe vozdeistvie na lesnye ekosistemy: Materialy II mezhd. konf. – Barnaul, Izd-vo АГАУ, 2002. – S. 148-150.

3. Bolotov A.G. Elektronnyi izmeritel temperatury pochvy / A.G. Bolotov, S.V. Makarychev, Iu.V. Bekhovykh // Problemy prirodopolzovaniia na Altae: sb. nauch. tr. АГАУ. – Barnaul: Izd-vo АГАУ, 2001. – S. 87-91.

4. Rukovodstvo po gradientnym nabludeniiam i opredeleniiu sostavliaiushchikh teploвого balansa. – Leningrad: Gidrometeizdat, 1964. – 120 s.

5. Makarychev S.V. Teplofizika pochv: metody i svoistva / S.V. Makarychev, M.A. Mazirov. – Suzdal, Izd-vo VNISS, 1996. – 231 s.

6. Shuin K.A. Proizvodstvo ovoshchei v Nечernozone / K.A. Shuin, I.T. Dudorov, P.S. Mirantsov – Leningrad, Izd-vo LSKhI, 1982. – S. 165-180.

7. Grinberg E.G. Korneplody, luk repchatyi. – Novosibirsk, Izd-vo NGAU, 1992. – 215 s.

8. Demina R.Zh. Rezhim orosheniia luka v delte Volgi // Kartofel, ovoshchnye i bakhchevye kultury. – 1983. – No. 9. – S. 50.

9. Makarychev S.V. Gidrotermicheski rezhim chernozema vshchelochennogo pri vozdeilyvanii luka v usloviakh Altaiskogo Priobia / S.V. Makarychev, I.V. Gefke, A.I. Reger // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – No. 1. – S. 29-32.

10. Puzachenko Iu.G. Vozmozhnosti primeniia informatsionno-logicheskogo analiza pri izuchenii pochvy na primere ee vlazhnosti / Iu.G. Puzachenko, L.O. Karpachevskii, N.A. Vznuzdaev // Zakonomernosti prostranstvennogo varirovaniia svoistv pochvy i informatsionno-statisticheskie metody ikh izucheniia. – Moskva: Nauka, 1970. – S. 103-121.

