

DOI: 10.17516/1999–494X-0443

УДК 633.1:631.51

Use of an Energy-Efficient Vertical Tine Ripper to Improve Soil Condition Characteristics

Vasiliy N. Romanov^a, Vladimir K. Ivchenko^b,
Nikolai V. Tsuglenok^{*c} and Alexander V. Efimov^d

^a*KrasNIISH FRC KSC SB RAS
Krasnoyarsk, Russian Federation*

^b*Krasnoyarsk State Agrarian University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

^c*VSA BTK
Krasnoyarsk, Russian Federation*

^d*NPO TECHNOROS LLC
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 05.10.2022, received in revised form 19.10.2022, accepted 15.11.2022

Abstract. In order to improve the technology of cultivating grain crops, an assessment was made of the impact of traditional, minimal tillage and direct sowing on the agrophysical state of the soil and the productivity of crops in crop rotation. It is noted that the minimization of tillage and direct sowing of crops in the crop rotation pure fallow – spring wheat – winter rye + oats – spring wheat on chernozem in the Krasnoyarsk forest-steppe, contribute to the preservation of available moisture in spring and increase the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium in the soil by the middle of the plant growing season. At the same time, the soil in the 0–10 cm layer becomes dense, and in the 20–40 cm layer it remains loose – dense. With the traditional technology of tillage, the yield of spring wheat Krasnoyarskaya 12 for a fallow was 3.2–3.4 t/ha; 2.9 t/ha. In autumn, in the year of sowing, a green mass of a mixture of oats and winter rye was harvested. The stubble left after mowing the green mass contributes to the accumulation of snow and improves the overwintering of winter rye, which forms a grain yield of 1.5–2.1 t/ha the next year. The use of resource-saving tillage technologies significantly reduces production costs. With the minimum technology, labor costs are reduced by 35.5 %, fuel and lubricants by 40.3 %, when using direct sowing technology, labor costs are reduced by 49.1 %, fuel and lubricants by 64.2 % compared to traditional technology based on autumn plowing. An increase in the efficiency of mineral and organic fertilizers when sowing crops in fallow and stubble will be facilitated by surface treatment with a rotary vertically pinned subsoiler after their application.

Keywords: soil, cultivation, minimization, humus, hardness, culture, productivity, efficiency.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: ntsuglenok@mail.ru

Acknowledgements. This work was carried out with the support of the Krasnoyarsk Regional Science Foundation.

Citation: Romanov, V.N., Ivchenko, V.K., Tsuglenok, N.V., Efimov, A.V. Use of an energy-efficient vertical tine ripper to improve soil condition characteristics. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2022, 15(7), 886–894. DOI: 10.17516/1999-494X-0443

Использование энергоэффективного вертикально-штыревого рыхлителя для улучшения характеристик состояния почвы

В. Н. Романов^а, В. К. Ивченко^б,

Н. В. Цугленок^в А. В. Ефимов^г

^аКрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН

Российская Федерация, Красноярск

^бКрасноярский государственный аграрный университет

Российская Федерация, Красноярск

^вВСА БТК

Российская Федерация, Красноярск

^гООО «НПО ТЕХНОРОС»

Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. В целях совершенствования технологии возделывания зерновых культур проведена оценка влияния традиционной минимальной обработки почвы и прямого посева на агрофизическое состояние почвы и продуктивность культур в севообороте. Отмечено, что минимализация обработки почвы и прямой посев культур в севообороте чистый пар – яровая пшеница – озимая рожь + овес – яровая пшеница на черноземе в Красноярской лесостепи способствуют сохранению доступной влаги весной и повышению содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия к середине вегетации растений. При этом почва в слое 0–10 см становится плотной, а в горизонте 20–40 см остается рыхловато-плотноватой. При традиционной технологии обработки почвы урожайность яровой пшеницы Красноярская 12 по пару составила 3,2–3,4 т/га, при обработке дисковым орудием БДН – 2,9–3,2 т/га, при прямом посеве стерневой сеялкой – 2,6–2,9 т/га. Осенью в год посева получен урожай зеленой массы смеси овса и озимой ржи. Стерня, оставшаяся после скашивания зеленой массы, способствует накоплению снега и улучшает перезимовку озимой ржи, на следующий год формирующей урожай зерна в 1,5–2,1 т/га. Применение ресурсосберегающих технологий обработки почвы существенно снижает производственные затраты. При минимальной технологии трудозатраты сокращаются на 35,5 %, ГСМ – на 40,3 %, при использовании технологии прямого посева трудозатраты сократились на 49,1 %, ГСМ – на 64,2 % по сравнению с традиционной технологией, основанной на зяблевой вспашке. Повышению эффективности минеральных и органических удобрений при посеве культур по пару и по стерне будет способствовать обработка поверхности роторным вертикально-штыревым глубокорыхлителем после их внесения.

Ключевые слова: почва, обработка, минимализация, гумус, твердость, культура, урожайность, эффективность.

Благодарности. Данная работа выполнялась при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Цитирование: Романов, В. Н. Использование энергоэффективного вертикально-штыревого рыхлителя для улучшения характеристик состояния почвы / В. Н. Романов, В. К. Ивченко, Н. В. Цугленок, А. В. Ефимов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(7). С. 886–894. DOI: 10.17516/1999–494X-0443

Введение. Повышение продуктивности пашни [1–3] обеспечит совместный позднелетний посев семян овса и озимой ржи после яровой пшеницы по чистому пару. Уплотнение посева позволит получить два урожая продукции растениеводства в течение одного года [4–5].

Осенью, в год посева смеси, получаем зеленую массу, оставшаяся стерня улучшает перезимовку озимой ржи, повышая гарантию получения зерна в августе. Такая схема севооборота нуждается в совершенствовании технологии обработки почвы, сдерживающей образование плотного слоя.

По классическому определению [6] твердость – свойство почвы в естественном залегании сопротивляться сжатию и расклиниванию. Твердость увеличивает тяговое сопротивление движению почвообрабатывающих машин и орудий. Она определяет водный, воздушный и тепловой режимы почвы, обуславливает снижение всхожести семян, оказывает сопротивление развитию корневой системы растений. Твердость выражается в $\text{кг}/\text{см}^2$.

Показатели твердости менее $10 \text{ кг}/\text{см}^2$ характеризуют рыхлое состояние почвы, от 10 до $20 \text{ кг}/\text{см}^2$ – рыхловатое, от 20 до $30 \text{ кг}/\text{см}^2$ – почва плотноватая, в пределах от 30 до $50 \text{ кг}/\text{см}^2$ – плотная, от 50 до $100 \text{ кг}/\text{см}^2$ – весьма плотная и свыше $100 \text{ кг}/\text{см}^2$ почва считается слитной.

Цель исследований – повышение продуктивности пашни за счет совершенствования обработки почвы и уплотнения посевов культур в севообороте, не допуская переуплотнения пахотного слоя почвы.

Условия и методы проведения исследований. Объект исследований – чернозем мало-мощный, среднесуглинистый. Исходное содержание гумуса в пахотном горизонте составляет $10,55 \%$. Реакция среды слабощелочная ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 7,1\text{--}7,8$), сумма обменных оснований $42,7 \text{ м-экв.}/100 \text{ г}$. В пахотном слое содержится $58,9 \text{ мг}/\text{кг} \text{ P}_2\text{O}_5$, $241 \text{ мг}/\text{кг} \text{ K}_2\text{O}$ (по Мачигину). Влагоемкость метрового слоя составляет 323 мм . Увядание растений наступает при влажности метрового слоя почвы, равной $11,7 \%$ [7].

Красноярская лесостепь. Географические координаты: $56^\circ 03' \text{ СШ}$, и $92^\circ 42' \text{ ВД}$. По данным метеостанции «Минино», в годы исследований за май-август выпадало от 127 до 230 мм осадков, при средней температуре воздуха – от $15,8$ до $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [8].

При проведении полевого опыта использованы классические методики: Доспехова, Мачигина, Качинского, «Snedecor» [9–12]. Современные технические средства (трактор МТЗ – 82, плуг ПН 3–35, борона дисковая БДН – 3, сеялка СЗС – 2,1). Экспериментальный агрегат для вертикально-штыревой обработки почвы [13–16].

Измерительные приборы и лабораторное оборудование: мельница для размола почвенных образцов, термометры почвенные, пенетромтр ручной Eikelkamp 06.01.SA, влагомер.

Результаты исследований и их обсуждение. Предлагаемая схема севооборота с включением смеси яровой и озимой культур позволит более тщательно провести работы по снижению засоренности посевов прежде всего в паровом поле и после яровой пшеницы весной перед летним посевом смеси овса и озимой ржи. Посев проводится в третьей декаде июня, чтобы исключить перерастание озимой ржи осенью.

Уборка зеленой массы проводится в середине октября, в фазу налива зерна овса и до появления снежного покрова. Такая технология позволяет дополнительно получить продукцию в виде зеленого корма высокой питательности и более полно обеспечить окупаемость затрат на подготовку парового поля. При этом в паровом поле и под посев смеси будет целесообразно использовать агрегат для вертикально-штыревой обработки. С помощью рабочего органа агрегата удобрения, как минеральные, так и органические, тщательно перемешиваются с почвой в поверхностном слое и становятся более доступными для корневой системы культурных растений.

Первоочередной задачей, которая решается системой основной обработки почвы, является создание благоприятного строения пахотного слоя. Прежде всего, для проведения качественного посева, а также для оптимизации роста и развития культурных растений. При этом структура пахотного слоя в полевом опыте после нескольких лет воздействия различными орудиями сохранила удовлетворительное состояние.

Плотность почвы в горизонтах от 0–10 и до 70–80 см находится в удовлетворительном для растений или допустимом уровне. Перед посевом объемная масса слоя 0–10 см после вспашки составляла 0,87 г/см³, на вариантах дискования и прямого посева – в пределах 0,99 г/см³, что соответствует рыхлому состоянию горизонта.

Многолетнее интенсивное использование чернозема, включая обработку и прямой посев стерневой сеялкой, послужило причиной постепенного уменьшения содержания гумуса в пахотном горизонте по сравнению с целинным аналогом и залежным участком (табл. 1).

Влажность почвы по горизонтам колебалась незначительно, прежде всего, способ обработки повлиял на содержание влаги к моменту посева (табл. 2). На вариантах вспашки и после дискования влажность в слое 0–10 см ниже, чем при прямом посеве.

К моменту уборки культур, наоборот, влажность верхнего слоя варианта с прямым посевом была ниже, чем на вариантах вспашки и дискования. Это явилось следствием высокой засоренности варианта с прямым посевом.

Определение твердости почвы в горизонте 0–40 см (n=10) показало наличие плотноватого слоя на глубине 10–20 см варианта вспашки под вторую культуру после пара. Плотный горизонт залегает с глубины 20 см. Это обстоятельство обуславливает увеличение нагрузки на почвообрабатывающие агрегаты.

Таблица 1. Содержание гумуса, горизонт 0–20 см

Table 1. Humus content, horizon 0–20 cm

Вариант обработки почвы	Гумус, %
Вспашка (6 лет)	8,72
Дискование (6 лет)	9,03
Без обработки (6 лет)	8,64
Залежь (6 лет)	10,55
Целинный аналог	10,47

Таблица 2. Влажность почвы в разные периоды вегетации, %

Table 2. Soil moisture in different periods of vegetation, %

Горизонт, см	Сроки					
	посев – всходы			уборка		
	прямой посев	вспашка 20–22 см	дискование 10–12 см	прямой посев	вспашка 22 см	дискование 10–12
0–10	27,0	26,0	26,2	30,1	32,4	31,4
10–20	26,2	26,4	27,3	26,3	29,8	27,3
0–20	26,1	26,2	26,7	28,2	31,1	29,3
20–30	27,4	28,2	26,9	25,9	27,3	26,9
30–40	28,3	27,0	26,3	24,3	24,9	27,1
40–50	29,2	29,5	28,2	26,1	25,7	28,2
0–50	27,6	27,4	27,0	26,5	28,5	28,2

Таблица 3. Характеристика почвенных горизонтов под пшеницей

Table 3. Characteristics of soil horizons under wheat

Горизонт, см	Температура, °С		Влажность, %		Твердость, кг/см ²	
	1-я культивация	2-я культивация	1-я культивация	2-я культивация	1-я культивация	2-я культивация
0–10	21	18	27,1	26,9	19,9	24,4
10–20	20	19	27,4	23,3	30,6	35,6
20–30	19	18	21,3	24,8	35,7	37,7
30–40	19	17	21,1	30,1	36,7	47,4

Температура почвы в середине вегетации пшеницы по пару с глубиной понижается с 21 °С – в слое 0–10 см, до 16 °С – в слое 70–80 см, под второй культурой после пара температура почвы ниже на 1–3 °С (табл. 3).

При вертикально-штыревой обработке рыхление почвы начинается с нижних слоёв к верхним и этим резко отличается от плужной вспашки с оборотом пласта, когда сухой верхний слой почвы перемещается в нижние слои пахотного горизонта. Аналогично работают дискаторы при обработке паров, подрезая почву и поднимая её к поверхности со смещением. Кроме того, предлагаемый способ снижает тяговое сопротивление трактору и, соответственно, затраты ГСМ в сравнении с другими почвообрабатывающими орудиями.

Теория вертикально-штыревой обработки почвы заключается в том, что заострённый штырь, закрепленный на рычаг, длина которого в несколько раз больше длины штыря, погружается в почву. К верхнему концу рычага прикладывается усилие, направленное параллельно поверхности земли. Совместно штырь и рычаг совершают поворотное движение относительно мнимой оси, рычаг движется в воздухе, а штырь в почве, разрыхляя её на своём пути (сравнимо с работой вилами).

Множество таких рычагов со штырями установлены на колесо так, что концы рычагов сходятся в центре колеса, как его спицы, а штыри выступают за пределы обечайки колеса. При перекачивании колеса по поверхности штыри внедряются в почву и, двигаясь в ней по поворотной-поступательной траектории, разрыхляют ее. При этом отмечается существенный выигрыш по энергозатратам, пропорциональный отношению длины рычага к длине штыря.

Оценка заселенности почвы возбудителями корневых гнилей при различных способах обработки почвы показала рост числа конидий с уменьшением интенсивности обработки с 225 шт./г – на вспашке, до 260 шт. – при дисковании, и 320 шт. – при прямом посеве. На всех вариантах преимущественно распространен *Helminthosporium*.

Определение предпосевной зараженности семян болезнями показало, что используемые в опыте партии зерна были в сильной степени заражены фузариозом и гельминтоспориозом на 9 %, альтернариозом – на 49 %. Наличие пораженных фузариозом семян в продовольственных и фуражных партиях допускается не более 1–2 %. Поражение зерна грибами *p. Fusarium* также высокое – на 1 % выше допустимого уровня.

Зараженность семян обусловила понижение всхожести и послужила основанием для применения протравителей. На варианте прямого посева всхожесть составила 180 шт., на минимальной обработке – 218 шт., на вспашке – 270 шт. из 350 шт., высеянных на 1 м².

Внесение перед посевом аммиачной селитры повысило полевую всхожесть семян до 180, 270 и 310 шт./м², а посев по удобренному фону протравленными семенами обеспечил повышение до 182–324–342 шт./м².

Оценка урожайности показала, что тенденция реакции культуры на изменение технологии возделывания сохраняется во всех полях севооборота. Максимальную урожайность – 3,4 т/га сформировала яровая пшеница на варианте вспашки с применением аммиачной селитры и протравливанием семян перед посевом. На контроле ее урожайность составила 3,2 т/га, повышаясь на варианте дискования почвы на 0,3 т/га. Урожайность на вспашке с удобрениями и протравливанием семян перед посевом на 30,8 % выше, чем при прямом посеве (табл. 4).

Таблица 4. Продуктивность зерновых культур, Минино, 2015–2017 гг.

Table 4. Productivity of grain crops, Minino, 2015–2017

Вариант	Фон удобрений	Урожайность, т/га			Среднее
		пшеница по пару	рожь озимая	пшеница	
вспашка	без удобр.	3,2	1,9	2,6	2,6
	аммиач. сел.	3,4	2,1	3,0	2,8
дискование	без удобр.	2,9	1,7	2,5	2,4
	аммиач. сел.	3,2	1,9	2,9	2,7
прямой посев	без удобр.	2,6	1,5	2,0	2,0
	аммиач. сел.	2,9	1,6	2,4	2,3
НСР ₀₅ , т/га	обработка				0,15
	удобрение				0,16
	взаимодействие				0,13

Уровень урожайности пшеницы в опыте обусловлен активным распространением листовых болезней (септориоз, ржавчина). Поражение составило 60–70 %.

Урожайность пшеницы после озимой ржи, естественно, снижается по сравнению с посевами по паровому полю. Преимущество в продуктивности культуры без применения удобрений и с применением аммиачной селитры сохраняется за вариантом вспашки.

Озимая рожь сформировала невысокую урожайность, прежде всего это связано с тем, что норма высева семян была занижена до уровня нормы высева овса (50 x 50 %), следует комбинировать смесь в соотношении: 30 % семян овса и 70 % озимой ржи.

Экономическая оценка различных технологий обработки почвы показала, что вспашка почвы в севообороте по урожайности культур на 30 % выше, чем прямой посев. На фоне применения аммиачной селитры с нормой 1 ц/га в физическом весе урожайность культур на вспашке на 21 % выше, чем при прямом посеве.

Исследования различных способов обработки почвы, проведённые в ОПХ «Минино», и полученные данные по урожайности в производственных условиях различных районов Красноярского края позволяют оценить их эффективность. Применение осенней вспашки при урожае в 35 ц/га коэффициент энергетического совершенства меньше единицы. Это означает, что данный агроприём энергетически несовершенен и его целесообразно заменить более экономичным способом обработки почвы. Такой способ представляет вертикально-штыревую обработку новым орудием (рис. 1).

На основании представленных и предварительных испытаний производится усовершенствование проекта и изготовление опытного образца роторного глубокорыхлителя почвы в ООО «НПО ТЕХНОРОС» г. Красноярска.

При испытании опытный образец без установленной гребёнки, предназначенной для очистки штырей рыхлителя, себя полностью оправдал. За счёт центробежных сил рыхлительный орган самоочищается от почвенных остатков. При испытании были подтверждены



Рис. 1. Испытания вертикально-штыревого рыхлителя на посевах озимой ржи

Fig.1. Tests of a vertical-pin ripper for sowing winter rye

заявленные проектные характеристики рыхления почвы. Измерено удельное тяговое сопротивление на различных почвах. Так, при обработке посевов озимой ржи удельное тяговое сопротивление составило 3,5 кН/м при глубине рыхления 155 мм. При проведении испытаний рыхления по стерне тяговое усилие возросло до 4,2 кН/м при глубине обработки до 130 мм.

Заключение. Интенсивное использование почвы в зернопаровом севообороте обусловило уровень содержания гумуса от 8,72 % на участках отвальной обработки, до 8,64–9,03 % – на участках минимальной обработки дисковым орудием в сравнении с вариантом прямого посева (9,03 %).

Оценка технологий возделывания зерновых культур в условиях открытой лесостепи показала эффективность вспашки, урожайность которой составила 2,6–2,8 т/га. На варианте с минимальной обработкой почвы (дискование) урожайность составила 2,4–2,7 т/га, при прямом посева – 2,0–2,3 т/га.

Абсолютный минимум в опыте, представленный прямым посевом зерновых семенами без протравителя и без удобрений, обеспечил урожайность зерна на уровне 2,0 т/га. Внесение минеральных удобрений при прямом посева повысило урожайность на 0,3 т/га.

Повышению эффективности удобрений будет способствовать поверхностная вертикально-штыревая обработка почвы новым агрегатом, прошедшим испытания в условиях Красноярской лесостепи. Полевые испытания опытного образца штыревой технологии рыхления подтвердили энергоэффективность данного оборудования при глубине рыхления 150–155 мм по «озимым», удельное тяговое усилие составляет 3,5 кН/м.

Список литературы / References

[1] *Агропромышленный комплекс Красноярского края в 2011*, Красноярск, 2016, 217. [*Agro-industrial complex of the Krasnoyarsk Territory in 2011*, Krasnoyarsk, 2016, 217 (in Rus.)]

[2] Брылев С. В. Итоги работы и перспективы развития отрасли растениеводства Красноярского края. «*Инновационные технологии производства продуктов растениеводства*. Красноярск, 2011, 3–10. [Brylev S. V. The results of the work and prospects for the development of the crop industry of the Krasnoyarsk Territory. *Innovative technologies for the production of crop products*. Krasnoyarsk, 2011, 3–10. (in Rus.)]

[3] *Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: науч.-практич. рекомендации*, под ред. С. В. Брылева. Красноярск, 2015, 224. [*The system of agriculture of the Krasnoyarsk Territory on a landscape basis: scientific. – practical recommended*, ed. S. V. Brylev. Krasnoyarsk, 2015, 224 (in Rus.)]

[4] Акименко А. С. Формирование севооборотов и структуры посевных площадей для получения заданного количества продукции с учетом природно-ресурсного потенциала. *Земледелие*. 2020. 4, 19–22. Doi: 10.24411/0044.3913. 2020. 10405 [Akimenko A. S. Formation of crop rotations and the structure of sown areas to obtain a given amount of production, taking into account the natural resource potential. *Zemledelie*. 2020. 4, 19–22. Doi: 10.24411/0044.3913. 2020. 10405 (in Rus.)]

[5] Каличкин В. К., Корякин Р. А., Максимович К. Ю., Сигитов А. А., Галимов Р. Р. Концептуальная модель агроэкологических свойств земель. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020, 50(1), 72–80. Doi: 10.26898/0370–8799. 2020 1–9. [Kalichkin V. K., Koryakin R. A.,

Maksimovich K. Yu., Sigitov A. A., Galimov R. R. Conceptual model of agroecological properties of lands. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2020, 50(1), 72–80. Doi: 10.26898/0370–8799. 2020. 1–9. (in Rus.)]

[6] Романов В. Н., Козулина Н. С., Василенко А. В., Михайлец М. А., Лубочников М. Г. Технологическая платформа возделывания яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи. *Региональные системы комплексного дистанционного зондирования агроландшафтов: материалы 3-го Всерос. научн.-практич. сем.*, Красноярск, 25 февраля 2021 г., под общ. ред. А. А. Шпедта, А. Г. Липшина, Н. С. Козулиной, А. В. Василенко, А. А. Крючкова, А. В. Бобровского. – Красноярск: Изд-во ИФ ФИЦ КИЦ СО РАН, 2021, 194. [Romanov V. N., Kozulina N. S., Vasilenko A. V., Mikhailets M. A., Lubochnikov M. G. Technological platform for the cultivation of spring wheat in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Regional systems for integrated remote sensing of agricultural landscapes: materials of the 3rd All-Russian scientific- pract. sem.*, Krasnoyarsk, February 25, 2021, ed. ed. A. A. Shpedt, A. G. Lipshina, N. S. Kozulinoi, A. V. Vasilenko, A. A. Kryuchkova, A. V. Bobrovsky. Krasnoyarsk: Publishing House of the Institute of Physics of the Federal Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021, 194. (in Rus.)]

[7] Петровский Н. В., Романов В. Н., Литая В. М., Ивченко В. К. Влияние обработки почвы на элементы плодородия и урожайность пшеницы в лесостепной зоне Красноярского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2016, 30(6), 77–79. [Petrovsky N. V., Romanov V. N., Litau V. M., Ivchenko V. K. Influence of tillage on the elements of fertility and productivity of wheat in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2016, 30(6), 77–79. (in Rus.)]

[8] Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта*. М., Агропромиздат, 1985, 352. [Dospikhov B. A. *Methods of field experience*. М., Agropromizdat, 1985, 352 (in Rus.)]

[9] *Руководство по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве*. М., 2018. 217 [Guidelines for conducting registration tests of agrochemicals in agriculture. Moscow, 2018. 217 (in Rus.)]

[10] Качинский Н. А. *Физика почв*. М., Высшая школа, 1970. 360. [Kachinsky N. A. *Soil physics*. М., Higher school, 1970. 360 (in Rus.)]

[11] Сорокин О. Д. *Прикладная статистика на компьютере*. Новосибирск, 2004. 162. [Sorokin O. D. *Applied statistics on a computer*. Novosibirsk, 2004. 162 (in Rus.)]