

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

¹И.Б. Сорокин, доктор сельскохозяйственных наук

¹А.В. Гааг, кандидат экономических наук, доцент

¹Ю.В. Чудинова, доктор биологических наук, доцент

²Е.А. Сиротина, ведущий агрохимик

¹Томский сельскохозяйственный институт, Томск,
Россия

² ФГБУ Станция агрохимической службы Томская, Томск, Россия

E-mail sastom@mail.ru

Ключевые слова: кислотность почв, известкование, известняковая мука, кальций, магний, агрохимическое обследование

Реферат. *Представлены результаты анализа многолетних данных агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, проводимого Томской государственной агрохимической службой, и научных опытов для разработки мер, повышающих эффективность использования кислых пахотных земель. В Томской области 83 % пахотных земель являются кислыми и степень их кислотности ежегодно увеличивается – каждые 10 лет средневзвешенная рН снижается на 0,1–0,2 единицы, а также увеличивается площадь кислых почв. Имеется острая необходимость известкования данных почв для повышения эффективности сельскохозяйственного производства в Томской области. По расчетам, известняковой муки требуется 3,248 млн т. В области имеются свои большие месторождения известняка, например Каменское (61 млн т), расположенное в 50 км от г. Томска, где возможна добыча ценного мелиоранта, существенно поднимающего эффективность сельскохозяйственного производства. Для успешного развития сельскохозяйственного производства Томской области необходимы разработка и принятие долгосрочной целевой программы «Известкование кислых почв на территории Томской области», предусматривающей компенсацию сельхозтоваропроизводителям части затрат на известкование; проектно-сметное и техническое обеспечение работ; местное производство известняковых мелиорантов. Выполнение программы известкования кислых почв позволит увеличить ежегодное производство продукции растениеводства в Томской области на 54,9–129,2 тыс. т зерновых единиц, что приведет к увеличению ежегодного дохода на 494,1–1162,8 млн руб. (в ценах 2017 г.), а также обеспечит дальнейшее увеличение продуктивности земель сельскохозяйственного назначения с повышением эффективности удобрений, качества продукции и рентабельности производства.*

PROBLEMS OF SOUR SOIL FERTILITY INCREASING IN TOMSK REGION

¹ Sorokin I.B., Dr. of Agricultural Sc.

¹ Gaag A.V., Candidate of Economics, Associate Professor

¹ Chudinova Iu.V., Dr. of Biological Sc., Associate Professor

² Sirotina E.A., Leading Agricultural Chemist

¹ Tomsk Agricultural Institute, Tomsk, Russia

² Station of Agrochemical Service Tomskaya, Tomsk, Russia

Key words: soil acidity, chalking, chalky flour, calcium, magnesium, agrochemical inspection.

Abstract. The paper reveals the experimental results of long-term agroecological monitoring of agricultural land, conducted by Tomsk state agrochemical service, and experiments on designing the measures to improve efficiency of acidic arable land. In Tomsk region, 83% of arable land is acidic and the degree of acidity increases annually. Every 10 years weighted average pH is reduced on 0.1-0.2 units; the area of acidic soils increases. There is an urgent need for liming these soils in order to improve efficiency of agricultural production in Tomsk region. According to the calculations, the region requires 3,248 million tons of chalky flour. The region has its own large deposits of limestone, for example Kamenskoe (61 million tons), located 50 km from Tomsk, where it is possible to produce valuable meliorant, increasing efficiency of agricultural production. The authors make case, that for successful development of agricultural production in Tomsk region, it is necessary to design and implement long-term target program "Chalking of acid soils in Tomsk region", which assumes compensation for agricultural producers for the part of the cost of liming; design and technical support of works; local production of limestone meliorants. Implementation of the acidic soil liming program will increase annual crop production in Tomsk region on 54.9 - 129.2 thousand tons of grain units, therefore it will increase annual income on 494.1 - 1162.8 million rubles (in 2017 prices), as well as ensure further increase in agricultural land fertility with high fertilizer efficiency, product quality and profitability.

Кислотность почв, обусловленная присутствием в ней катионов алюминия, марганца, железа и водорода, оказывает влияние на подвижность и доступность большинства элементов питания растений, почвенные биохимические и микробиологические процессы.

Многолетними исследованиями и практическим опытом возделывания растений установлены следующие отрицательные для растениеводства свойства кислых почв:

- снижение эффективности минеральных удобрений в 1,5–2 раза;
- разрушение структуры почвы;
- переход Al^{+3} , Fe^{+3} в токсичную для растений форму;
- ухудшение питания фосфором, кальцием и магнием;
- увеличение поступления в растения тяжелых металлов и радионуклидов;
- потери азота и других элементов питания из пахотного горизонта;
- подавление почвенных микро- и макроорганизмов;
- снижение устойчивости сельскохозяйственных культур к заболеваниям и другим неблагоприятным условиям среды, гибель посевов озимых культур и многолетних трав при перезимовке. Все вышеперечисленное вызывает снижение урожая и его качества [1–7].

Известкование кислых почв нормализует реакцию почв, а также оказывает комплексное воздействие на свойства почв. Кальций и магний принадлежат к числу элементов, необходимых для жизни растений [8, 9]. Но содержащиеся известковые удобрения часто воспринимают не как источник питания растений, а как средство снижения кислотности почв. Тем не менее наблюдается вынос кальция и магния с урожаем, а также их вымывание из корнеобитаемого слоя почвы в результате обильных дождей при промывном типе водного режима, характерном для территории Томской области. Известно, что с урожаями злаковых культур ежегодно отчуждается 20–40 кг СаО, гороха, льна – 40–60, кукурузы и картофеля – 60–120, клевера, люцерны – 120–250, а капусты – 300–500 кг.

Продолжительность действия известковых удобрений зависит от дозы их внесения, химического и гранулометрического состава применяемых мелиорантов, количества осадков, гранулометрического состава почв, а также продолжительности покрытия почв растительностью. Часто непродуктивные потери кальция и магния в почве превышают полезный вынос, поэтому для устойчивого и экологически безопасного развития сельского хозяйства необходимо управлять динамикой

почвенной кислотности [10,11]. Известкование увеличивает емкость почвенного поглощающего комплекса.

Скорость взаимодействия известковых удобрений с почвой и продолжительность их действия в сильной степени зависят от химических свойств извести и ее гранулометрического состава. С увеличением диаметра известковых частиц взаимодействие их с почвой замедляется. Поэтому для того чтобы уровень реакции почвы поддерживался относительно постоянным в течение продолжительного времени, известковые материалы должны содержать широкий спектр частиц различного размера. Изменение почвенной реакции в большей мере зависит от дозы внесения извести и буферных свойств почвы, которые определяются содержанием органических и минеральных коллоидов. На песчаных почвах, чтобы снизить кислую реакцию среды, требуется значительно меньше извести, чем на глинистых. На темпы подкисления произвесткованных почв оказывает влияние и химический состав известковых удобрений. Также на сохранение плодородия влияет положительный баланс почвенного органического вещества, достигаемый путем биологизации земледелия [12–14].

Известкование кислых почв, наряду с общей биологизацией земледелия, – неизбежный шаг на пути дальнейшего повышения урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства в Томской области, как в интенсивном, так и в органическом земледелии. По опыту других регионов [10, 15, 16] уже с первого года после известкования урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается на 17–40%. Эффект от известкования длится в течение 8–10 лет. Также повышаются эффективность удобрений, качество сельскохозяйственной продукции и экологическое состояние агроландшафтов.

Цель исследований: анализ данных агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, проводимого Томской государственной агрохимической

службой, и научных опытов для разработки мер, повышающих эффективность использования кислых пахотных земель в Томской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – почвенный покров пахотных земель Томской области, известняковая мука, овес, данные многолетних агрохимических обследований.

Лабораторные испытания проведены по следующим стандартам: ГОСТ 26483–85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО; ГОСТ 28268–89 Почвы. Методы определения влажности; ГОСТ Р 54650–2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова; ГОСТ 26951–86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом; ГОСТ 26489–85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО; ГОСТ 26213–91 Почвы. Определение органического вещества.

Расчеты доз известковых удобрений проводились согласно Методическим указаниям по определению потребности сельского хозяйства в известковых материалах и распределению их фондов с учетом баланса кальция в почвах (М., 1987).

Многолетний полевой опыт с внесением извести в разных дозах заложен в 2016 г. на серой оподзоленной почве, которая характеризуется сильнокислой реакцией среды ($pH_{\text{сол.}} 4,4\text{--}4,5$), слабой гумусированностью (2,6%), содержание нитратного азота высокое (28,3 мг/кг почвы), подвижного фосфора – высокое (171 мг/кг), обменного калия – низкое (52 мг/кг).

Статистическая обработка результатов проведена с помощью программы Snedecor.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным агроэкологических обследований, проведенных Томской агрохимической службой, площадь кислых почв и сте-

пень кислотности пахотных почв ежегодно увеличивается (каждые 10 лет рН снижается на 0,1–0,2 единицы). В табл. 1 представле-

ны результаты обследований, проведенных в последние годы, в сравнении с предыдущим туром.

Таблица 1

Динамика средневзвешенного показателя рН_{сол} по турам агроэкологического обследования в районах Томской области

Dynamics of weighted average pH on the routes of agroecological experiment in districts of Tomsk region

Район	1995–2005 гг.	2010–2016 гг.
Асиновский	5,1	5,0
Томский	5,1	4,9
Чаинский	4,5	4,4

На 2017 г. в пахотных землях Томской области более 83 % кислых почв и потребность в известковых удобрениях для единовременной нормализации реакции почвенной среды составляет 3248074,9 т (табл. 2). По предварительным расчетам, требуются затраты от 145–193 млн руб. ежегодно для известкования до 5–10% от площади кислых почв (23–47 тыс. га ежегодно).

В первую очередь в программу известкования должны быть включены пахотные почвы более кислые и обладающие более высоким потенциальным плодородием по другим агрохимическим показателям. Это позволит на первых этапах выполнения программы известкования получить наибольшую отдачу

в виде повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

В полевом опыте внесение извести в полной дозе 7,2 т/га способствовало существенному снижению степени кислотности – на 0,4 (НСР₀₅ = 0,1) и гидролитической кислотности – на 0,67 мг-экв/100 г почвы (НСР₀₅ = 0,12).

При полной дозе извести выявлено существенное увеличение суммы обменных оснований – на 2,4 мг-экв/100 г почвы (НСР₀₅ = 1,4) и степени насыщенности почвы основаниями – на 5,6 % (НСР₀₅ = 1,7). Дозы внесения 3,6 и 1,8 т/га существенно не повлияли на снижение гидролитической кислотности и увеличение суммы обменных оснований.

Таблица 2

Анализ кислотности пахотных почв по районам Томской области (данные агрохимической службы на 2017 г.)
Analysis of arable soils acidity in the districts of Tomsk region (agrochemical service data in 2017)

Район	Площадь, га	Сильнокислые рН _{сол} ≤ 4,5		Среднекислые рН _{сол} 4,6–5,0		Слабокислые рН _{сол} 5,1–5,5		Ближкие к нейтральным рН _{сол} 5,6–7,0		Средне взвешенное, рН _{сол}	Потребность в известняковой муке, т
		га	%	га	%	га	%	га	%		
Александровский	620	-	-	-	-	620	100	-	-	5,3	3720,0
Асиновский	46989	3822	8,1	19033	40,5	20292	43,2	3842	8,2	5,0	298925,0
Бакчарский	54536	16004	29	27047	50	9214	17	2271	4	4,8	402172,5
Верхнекетский	1200	1164	97	36	3	-	-	-	-	4,1	10746,0
Зырянский	58135	120	0,2	8975	15,4	42176	72,6	6864	11,9	5,2	321449,0
Каргасокский	2500	2435	96,8	65	3,2	-	-	-	-	4,0	22402,5
Кожевниковский	71268	-	-	1934	2,7	24198	34	45136	63,3	5,7	145660,0
Колпашевский	13551	7599	56	5062	37,4	794	5,9	96	0,7	4,0	111120,0
Кривошеинский	36790	4220	11,5	13672	37,2	13185	35,8	5713	15,5	5,0	219630,0
Молчановский	21131	7660	37	7632	36	3478	16	2361	11	4,7	147048,0
Первомайский	38070	2249	6	15623	41	15311	40	4887	13	5,0	202627,5
Парабельский	8397	6596	78,4	1633	19,6	84	1	84	1	4,2	72115,5
Тегульдетский	4591	3948	86	416	9	148	3	79	2	4,4	39540,0
Чаинский	35303	27677	78	6178	18	1089	3	359	1	4,4	301962,0
Шегарский	59077	3015	5	19396	33	26393	45	10273	17	5,2	180381,4
Томский	117363	25230	22	47332	40	31086	26	13715	12	4,9	768576,0
По Томской области	568901	111739	19,6	174034	30,6	187448	32,9	70606	16,9	5,0	3248074,9

Внесение извести оказало положительное влияние на элементы структуры урожая овса и количество растений на 1 м². Существенные превышения по всем показателям структуры урожая (высоте растений, длине метелки, количеству колосков и зерен, массы 1000 семян) получены при дозах внесения извести 7,2 и 3,6 т/га.

При крайнем недостатке извести оправданно применение половинных доз. Дозы

внесения известняковой муки 3,63 и 1,8 т/га обеспечили прибавку урожая 4,7 ц/га (15,4%) и 2,3 ц/га (7,5%) (табл. 3). Существенная прибавка урожайности овса – 9,3 ц/га (НСР₀₅=4,8) получена при полной дозе внесения извести – 7,2 т/га.

Повышение урожайности овса от 7,5 до 30,5% дало возможность получить дополнительно доход с 1 га на сумму 2300–9300 руб.

Таблица 3

Урожайность овса в полевом опыте 2017 г.
Oat yield in the field experiment in 2017

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю		Сбор солом, т/га	Прибавка к контролю	
		ц/га	%		т/га	%
Контроль	30,5	-	-	2,63	-	-
Известняковая мука 7,2 т/га	39,8	9,3	30,5	3,35	0,72	27,4
Известняковая мука 3,6 т/га	35,2	4,7	15,4	2,95	0,32	12,2
Известняковая мука 1,8 т/га	32,8	2,3	7,5	3,18	0,55	20,9
НСР ₀₅		4,8			0,29	

По сбору соломы выявлено существенное повышение относительно контроля по всем вариантам с внесением извести – на 0,72; 0,32 и 0,55 т/га соответственно по дозам извести 7,2; 3,6 и 1,8 т/га.

Основная проблема известкования в Томской области – отсутствие местного производства молотого известняка. Использование привозного известняка ведет к его удорожанию в 3 раза [17]. В то же время в Томской области имеются свои большие месторождения известняка, например Каменское (61 млн т), расположенное в 50 км от г. Томска, где возможно производство не только щебня, но и ценного мелиоранта, существенно поднимающего эффективность сельскохозяйственного производства.

На кислых почвах невозможно получить высокий урожай хорошего качества большинства сельскохозяйственных культур. Даже на среднекислых почвах эффективность удобрений снижается в 2–3 раза, а на сильнокислых почвах растениеводство, как правило, нерентабельно. Окупаемость затрат на известкование – 2–4 года, поэтому здесь необходима государственная поддержка. Назрела острая необходимость в государственной программе известкования кислых почв в Российской

Федерации [18]. Для успешного развития сельскохозяйственного производства в Томской области также необходима разработка и принятие долгосрочной целевой программы «Известкование кислых почв на территории Томской области», предусматривающей компенсацию сельхозтоваропроизводителям части затрат на известкование; проектно-сметное и техническое обеспечение работ; местное производство известняковых мелиорантов.

Выполнение программы известкования кислых почв позволит увеличить ежегодное производство продукции растениеводства в Томской области на 54,9–129,2 тыс. т зерновых единиц, или на 494,1–1162,8 млн руб. (в ценах 2017 г.), а также обеспечить дальнейшее увеличение продуктивности земель сельскохозяйственного назначения с повышением эффективности удобрений, качества продукции и рентабельности производства.

ВЫВОДЫ

1. Площадь кислых почв в Томской области достигает 83% от общей площади, при этом степень кислотности пахотных почв ежегодно увеличивается – каждые 10 лет

средневзвешенная рН снижается на 0,1–0,2 единицы.

2. Потребность в известняковой муке для единовременной нормализации реакции почвенной среды составляет 3248074,9 т.

3. Дозы внесения известняковой муки 3,63 и 1,8 т/га обеспечили прибавку урожайности овса 4,7 ц/га (15,4%) и 2,3 ц/га (7,5%). Существенная прибавка урожайности овса – 9,3 ц/га (НСР₀₅=4,8) получена при полной дозе внесения извести – 7,2 т/га.

4. Для успешного развития сельскохозяйственного производства в Томской области необходимы разработка и принятие долго-

срочной целевой программы «Известкование кислых почв на территории Томской области», предусматривающей: компенсацию сельхозтоваропроизводителям части затрат на известкование; проектно-сметное и техническое обеспечение работ; местное производство известняковых мелиорантов.

5. Выполнение программы известкования кислых почв позволит увеличить ежегодное производство продукции растениеводства в Томской области на 54,9–129,2 тыс. т зерновых единиц, или на 494,1–1162,8 млн руб. (в ценах 2017 г.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Экологическая роль известкования кислых почв в Республике Татарстан [в условиях искусственного загрязнения почв тяжелыми металлами]* / С.Ш. Нуриев, А.А. Лукманов, А.И. Ахмятов [и др.] // *Агрохим. вестн.* – 2010. – № 1. – С. 2–4.
2. *Прогнозирование развития рынков критических технологий в отрасли растениеводства до 2030 г.* / Е.В. Рудой, М.С. Петухова, Р.Р. Галеев [и др.] // *Достижения науки и техники АПК.* – 2018. – № 4. – С. 5–9.
3. *Состояние кислотности почв Республики Татарстан* / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев [и др.] // *Достижения науки и техники АПК.* – 2013. – № 12. – С. 8–11.
4. *Просянкин В.И., Просянкина О.И.* Агроэкологические условия плодородия пахотных почв на юго-востоке Западной Сибири // *Вестн. Рос. акад. естеств. наук. Зап.-Сиб. отд. ние.* – 2015. – № 17. – С. 91–99.
5. *Громов Н.Б., Соловьев В.М.* Состояние и динамика плодородия пахотных почв Ярославской области // *Агрохим. вестн.* – 2012. – № 6. – С. 2–4.
6. *Котченко С.Г., Абрамов Н.В.* Мониторинг состояния плодородия почв Тюменской области // *Мир инноваций.* – 2015. – № 1–4. – С. 100–106.
7. *Бутырин М.В., Штанцова В.В.* Динамика основных показателей плодородия почв Тюменской области // *Земледелие.* – 2017. – № 4. – С. 9–14.
8. *Котченко С.Г., Воронин А.Я.* Динамика плодородия почв Тюменской области // *Достижения науки и техники АПК.* – 2016. – Т. 30, № 7. – С. 41–43.
9. *Якушев В.П., Осипов А.И.* Химическая мелиорация почв – вчера, сегодня, завтра // *Изв. Санкт-Петербург. гос. аграрн. ун-та.* – 2013. – № 30. – С. 68–72.
10. *Лукманов А.А., Миннуллин Р.М.* Известкование кислых почв в Республике Татарстан местными известковыми удобрениями // *Агрохим. вестн.* – 2017. – Т. 5, № 5. – С. 37–41.
11. *Лукин С.В.* Динамика кислотности и проведение химической мелиорации пахотных почв в Белгородской области // *Агрохим. вестн.* – 2016. – Т. 6, № 6. – С. 2–6.
12. *Лукин С.В.* Биологизация земледелия в Белгородской области: итоги и перспективы // *Достижения науки и техники АПК.* – 2016. – Т. 30, № 7. – С. 20–23.
13. *Лукманов А.А., Гайров Р.Р., Каримова Л.З.* Биологизация земледелия – дешевый источник повышения плодородия почв // *Агрохим. вестн.* – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 6–9.
14. *Лукин С.В.* Экономическая эффективность биологизации земледелия Белгородской области // *АПК: экономика, управление.* – 2015. – № 7. – С. 63–68.

15. Корнейко Н.И., Поддубный А.С. Программа известкования кислых почв в Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 17–19.
16. Чекумарев П.А., Лукин С.В. Итоги реализации программы биологизации земледелия в Белгородской области // Земледелие. – 2014. – № 8. – С. 3–6.
17. Титова Э.В., Сорокин И.Б. Агрохимические ресурсы природного происхождения Томской области // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 226–239.
18. Чекумарев П.А., Купреев Е.М., Ермаков А.А. К проблеме кислотности почв Нечерноземной зоны Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 7. – С. 14–19.

REFERENCES

1. Nuriev S. Sh., Lukmanov A. A., Ahmijatov A. I. *Agrohimich. vestn.*, 2010, No 1, pp. 2–4. (In Russ.)
2. Rudoj E. V., Petuhova M. S., Galeev R. R. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, No 4(32), pp. 5–9. (In Russ.)
3. Chekmarev P. A., Lukmanov A. A., Nuriev S. Sh. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013, No 12, pp. 8–11. (In Russ.)
4. Prosjannikov V. I., Prosjannikova O. I. *Vestn. Ros. akad. estestv. nauk. Zap. – Sib. otd.*, 2015, No 17, pp. 91–99. (In Russ.)
5. Gromov N. B., Solov'ev V. M. *Agrohimich. vestn.*, 2012, No 6, pp. 2–4. (In Russ.)
6. Kotchenko S. G., Abramov N. V. *Mir innovacij*, 2015, No 1–4, pp. 100–106. (In Russ.)
7. Butyrin M. V., Shtancova V. V. *Zemledelie*, 2017, No 4, pp. 9–14. (In Russ.)
8. Kotchenko S. G., Voronin A. Ja. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, No 7 (30), pp. 41–43. (In Russ.)
9. Jakushev V. P., Osipov A. I. *Izv. Sankt-Peterburg. gos. agrarn. un-ta*, 2013, No. 30, pp. 68–72. (In Russ.)
10. Lukmanov A. A., Minnullin R. M. *Agrohimich. vestn.*, 2017, No 5 (5), pp. 37–41. (In Russ.)
11. Lukin S. V. *Agrohimich. vestn.*, 2016, No 6 (6), pp. 2–6. (In Russ.)
12. Lukin S. V. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, No 7 (30), pp. 20–23. (In Russ.)
13. Lukmanov A. A., Gajrov R. R., Karimova L. Z. *Agrohimich. vestn.*, 2015, No 2 (2), pp. 6–9. (In Russ.)
14. Lukin S. V. *APK: jekonomika, upravlenie*, 2015, No 7, pp. 63–68. (In Russ.)
15. Kornejko N. I., Poddubnyj A. S. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2012, No 12, pp. 17–19. (In Russ.)
16. Chekmarev P. A., Lukin S. V. *Zemledelie*, 2014, No 8, pp. 3–6. (In Russ.)
17. Titova Je. V., Sorokin I. B. *Problemy izuchenija i ispol'zovanija torfjanyh resursov Sibiri* (Problems of studying and using peat resources in Siberia), Proceeding of the III International Scientific and Practical Conference, 2015, pp. 226–239. (In Russ.)
18. Chekmarev P. A., Kupreev E. M., Ermakov A. A. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, No 7, 2017, pp. 14–19. (In Russ.)