

УДК 664.1+ 628.5

DOI: 10.17022/xref-4j56

**СИСТЕМА  $C_{12}H_{22}O_{11} - NaCl - H_2O$  КАК ОСНОВА ПРОИЗВОДСТВА САХАРА****О.А. Пешкумов<sup>1)</sup>, Л.Ш. Пестряева<sup>1)</sup>, Ш.В. Садетдинов<sup>2)</sup>**<sup>1)</sup>Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация<sup>2)</sup>Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова  
428003, Чебоксары, Российская Федерация

**Аннотация.** Увеличение количества выпускаемой продукции и улучшение ее качества при производстве сахара является одной из актуальных задач пищевой отрасли, занимающейся переработкой сельскохозяйственной продукции. При производстве сахара образуются водно-солевые системы сахарозы, имеющие в своем составе хлориды, сульфаты и оксалаты щелочных металлов. Минеральные соли влияют на процесс кристаллизации сахара, мелассообразования, что в итоге сказывается на количестве выпускаемой товарной продукции. С целью получения экспериментальных данных, доказывающих влияние хлорида натрия на сахарозу, была построена диаграмма степени растворимости веществ, входящих в состав системы  $C_{12}H_{22}O_{11} - NaCl - H_2O$  при 25 и 50 °С. Было установлено, что она имеет три ветви кристаллизации, на что указывают лучи Скрейнемаккера, идущие от точек равновесного раствора через соответствующие точки твердого остатка. Первая ветвь, идущая со стороны бинарной системы  $C_{12}H_{22}O_{11} - H_2O$ , указывает на одновременную растворимость сахарозы и хлорида натрия с выделением сахарозы в твердой фазе. Вторая ветвь берет начало с эвтонической точки и соответствует кристаллизации нового конгруэнтно растворимого соединения, имеющего следующий состав:  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$ . Третья ветвь характеризует процесс одновременного растворения сахарозы и хлорида натрия с выделением  $NaCl$  в твердой фазе.

Была дана количественная оценка изменениям, свидетельствующим о растворимости сахарозы в присутствии хлорида натрия, которая вычислялась по формуле:  $\Delta P = P_1 - P_0 / P_2$ , где  $P_1$  и  $P_2$  – растворимость сахарозы и хлорида натрия в эвтонических точках,  $P_0$  – растворимость сахарозы в воде, выраженная числом молей в 100 г раствора. Величина  $\Delta P$  при температуре 25 и 50 °С равна, соответственно, - 0,0213 и - 0,1094, что свидетельствует об увеличении высаливания сахарозы под влиянием хлорида натрия при повышении температуры. Полученные данные представляют научный и практический интерес, так как результаты исследований могут быть использованы при производстве сахара в целях повышения эффективности технологических операций.

**Ключевые слова:** сахароза, хлорид натрия, водно-солевая система, растворимость, меласса, кристаллизация.

**Введение.** Процесс кристаллизации насыщенных водных растворов является одной из основных технологических операций при производстве сахара. От него зависит количество и качество произведенной продукции. Присутствие минеральных и органических нес сахаров, так называемых мелассообразователей, влияет на количество выпускаемой товарной продукции, так как замедляет процесс кристаллизации сахара и увеличивает количество мелассы. При производстве сахара обычно используют водно-солевые растворы, в состав которых входят минеральные примеси: хлориды, сульфаты, карбонаты, оксалаты щелочных металлов [1], [2].

В работах многих ученых [3], [4] было доказано, что в состав мелассы входит большое количество хлоридов натрия, поэтому анализ изменений тройной системы (сахароза – хлорид натрия – вода) при использовании различных температур (25 и 50 °С) представляет как научный, так и практический интерес.

**Материалы и методы.** Объектом исследований являлись хлорид натрия и сахароза марки «ч.д.а.». Изотермическая среда создавалась в водном термостате 1ТЖ-0-03 с точностью до  $\pm 0,1$  °С. Термодинамическое равновесие в системах при постоянном энергичном перемешивании устанавливалась через 18 ч. В пробах жидких и твердых фаз содержание сахарозы определяли йодометрическим методом Шорля, хлорид-ионы – в соответствии с методикой Мора [5]. Состав истинных твердых фаз – по методу Скрейнемаккера [6].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты экспериментальных данных представлены в таблицах 1, 2 и на рисунке 1. Согласно диаграмме изотерма растворимости тройной системы (сахароза – хлорид натрия – вода) при температуре 25 °С характеризуется тремя ветвями кристаллизации. Первая ветвь, идущая со стороны бинарной системы  $C_{12}H_{22}O_{11} - H_2O$ , характеризует процесс одновременной растворимости сахарозы и хлорида натрия с выделением в твердой фазе сахарозы. Растворимость чистой сахарозы при температуре 25 °С составляет 67,78 %. Раствор эвтонической точки имеет следующий состав:  $C_{12}H_{22}O_{11} - 66,97\%$ ,  $NaCl - 5,52\%$ ,  $H_2O - 26,71\%$ . Раствор вязкий, склонный к образованию метастабильных состояний.

Таблица 1 – Растворимость в системе сахароза – хлорид натрия – вода при температуре 25° С

Жидкая фаза, мас. %		Твердый остаток, мас. %		Твердая фаза
$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	
67,78	-	100	-	$C_{12}H_{22}O_{11}$
67,32	2,14	99,46	0,24	То же
66,97	5,52	99,04	0,36	- « -
66,92	5,56	86,19	13,75	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$
64,62	6,02	85,72	13,68	То же
53,48	6,94	85,20	13,56	- « -
50,42	9,65	85,18	13,47	- « -
41,34	14,86	78,25	13,26	- « -
41,37	14,87	62,14	24,02	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl + NaCl$
41,36	14,85	39,86	48,85	То же
41,37	14,87	0,82	97,75	NaCl
30,05	16,24	0,76	98,06	То же
18,59	18,06	0,52	98,75	- « -
12,38	20,14	0,38	99,06	- « -
-	26,80	-	100	- « -

Таблица – 2. Растворимость в системе сахароза – хлорид натрия – вода при температуре 50° С

Жидкая фаза, мас. %		Твердый остаток, мас. %		Твердая фаза
$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	
72,46	-	100	-	$C_{12}H_{22}O_{11}$
71,39	2,86	99,04	0,26	То же
69,18	6,12	98,87	0,51	- « -
66,45	9,63	98,42	0,64	- « -
66,38	9,67	86,24	13,56	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$
55,46	10,24	86,20	13,54	То же
46,52	12,06	86,22	13,55	- « -
37,15	19,36	86,19	13,46	- « -
37,18	19,35	47,60	41,84	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl + NaCl$
37,16	19,37	98,60	0,82	NaCl
30,08	15,12	98,78	0,64	То же
24,06	16,87	99,02	0,56	- « -
15,12	19,90	99,42	0,34	- « -
-	27,14	100	-	- « -

С данной эвтонической точки берет начало вторая ветвь – ветвь кристаллизации нового конгруэнтно растворимого соединения, имеющего в своем составе  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$ . Двойное соединение было выделено изотермическим испарением раствора, полученного растворением 34,20 г (0,1 моль) сахарозы и 5,85 г (0,1 моль) хлорида натрия в 100 мл воды. Химический анализ показал, что оно содержит 86,22 % сахарозы и 13,78 % хлорида натрия. Данное процентное соотношение практически совпадает с полученными теоретическими расчетами.

Третья ветвь характеризует одновременную растворимость сахарозы и хлорида натрия с выделением NaCl в твердой фазе. На это указывают лучи Скрейнемакерса, идущие от точек равновесного раствора через соответствующие точки твердого остатка. Они сходятся в полюсе хлорида натрия. Раствор, состоящий из 41,40 % сахарозы и 14,88 % хлорида натрия, является эвтоническим. Прямые лучи, соединяющие в данной точке основные показатели, характеризующие состав раствора, с химическим составом твердых остатков, расходятся веерообразно от полюса хлорида натрия до нового двойного соединения, указывая на изменения, происходящие в составе веществ (смесь хлорида натрия и двойного соединения).

Данные, характеризующие растворимость веществ в системе сахароза – хлорид натрия – вода при температуре 50° С, представлены в таблице 2. На основании этих данных была составлена диаграмма растворимости веществ при температуре 50° С (рисунок 1 «б»). Состояние равновесных растворов изотермы при температуре 50° С на диаграмме характеризуются кривой, состоящей из трех ветвей.

Первая ветвь от оси абсцисс характеризует равновесные растворы, в твердой фазе выделяющие сахарозу. Ветвь, указывающая на кристаллизацию указанной соли, пересекается с ветвью, обозначающую кристаллизацию двойной соли в эвтонической точке, характеризующей систему, имеющую следующий состав:  $C_{12}H_{22}O_{11} - 66,45 \%$ , NaCl – 9,63 %.

Вторая ветвь, идущая от этой точки до пересечения с ветвью, характеризующей процесс кристаллизации хлорида натрия, отвечает за выделение двойного химического соединения в составе  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$  в твердой фазе. Состав данного соединения определяется пересечением лучей Скрейнемакенса в точке, которая показывает молярное отношение сахарозы и хлорида натрия как 1:1. Пересечение лучей происходит на гипотенузе диаграммы: это означает, что твердая фаза имеет безводную форму. В ИКС препарата, выделенного выпариванием воды из раствора эквимолекулярной смеси сахарозы и хлорида натрия, поглощение молекул воды не наблюдается. Это вполне ожидаемо, поскольку образование устойчивых кристаллогидратов сахарозы науке неизвестно.

Третья ветвь, идущая со стороны ординат, характеризует равновесные растворы, выделяющие в твердой фазе хлорид натрия. Точка, в которой пересекаются третья и вторая ветви, является эвтонической и имеет следующий состав веществ: 37,15 % сахарозы и 19,36 % хлорида натрия.

Сравнение изотерм растворимости при температурных режимах в 25 и 50 °С позволяет сделать вывод о том, что они похожи. Отличительной особенностью пятидесятиградусной изотермы является то, что с повышением температуры в ней возрастает степень растворимости, а, соответственно, происходит кристаллизация исходных компонентов.

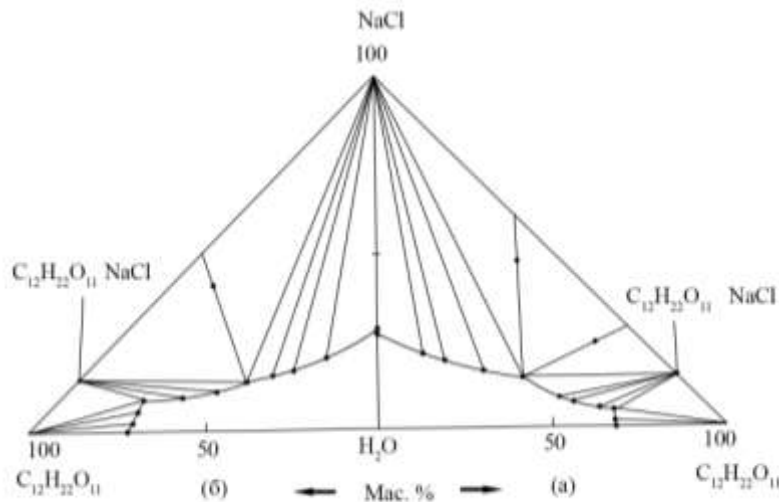


Рис. 1. Диаграмма растворимости веществ системы  $C_{12}H_{22}O_{11} - NaCl - H_2O$  при 25 (а) и 50 °С (б).

Согласно экспериментальным данным, хлорид натрия с концентраций в 5,56 % при температуре в 25 °С и 9,67 % при температуре в 50 °С высаливает сахарозу. Для количественной оценки изменений степени растворимости сахарозы при наличии хлорида натрия было использовано следующее соотношение:  $\Delta P = P_1 - P_0 / P_2$ , где  $P_1$  и  $P_2$  – растворимость сахарозы и хлорида натрия в эвтонических точках,  $P_0$  – растворимость сахарозы в воде, выраженная числом молей в 100 г раствора [7], [8]. Величина  $\Delta P$  при температурных режимах в 25 и 50 °С равна, соответственно, - 0,0213 и - 0,1094. Следовательно, с повышением температуры хлорид натрия увеличивает скорость высаливания сахарозы. Эти данные позволяют высказать предположение, что при рассматриваемых концентрациях хлорида натрия не происходит уменьшения количества сахарозы.

Дальнейшее повышение концентрации хлорида натрия приводит к образованию малодиссоциируемого двойного соединения, удерживающего сахарозу в мелассе, что приводит к увеличению количества потерянной сахарозы.

#### Выводы.

1. С помощью метода изотермической растворимости была изучена система  $C_{12}H_{22}O_{11} - NaCl - H_2O$ , функционирующая при температурных режимах в 25 и 50 °С.

2. Было установлено, что при концентрации хлорида натрия в 5,56 % при температуре в 25 °С и 9,67 % при температуре в 50 °С растворимость сахарозы при наличии хлорида натрия уменьшается.

3. Было доказано, что при концентрациях хлорида натрия в 5,56 % и выше при температуре в 25 °С, а также 9,67 % и выше при температуре в 50 °С образуется двойное соединение веществ, имеющее в своем составе  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot NaCl$ .

4. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований позволил сделать вывод о том, что, если концентрация хлорида натрия составляет 5,56 % при температуре в 25 °С и 9,67 % при температуре в 50 °С, не происходит потери сахара при его производстве. Дальнейшее повышение концентрации  $NaCl$  приводит к образованию двойного соединения, удерживающего сахарозу в мелассе, что приводит к существенной потере сахара в процессе его производства.

## Литература

1. Бугаенко, И. Ф. Влияние комплекса несахаров на содержание сахара в мелассе / В. И. Тужилкин, А. И. Бугаенко // Сахарная промышленность. – 1999. – № 1. – С. 23-24.
2. Васильев, В. П. Аналитическая химия. Титриметрические и гравиметрические методы анализа / В. П. Васильев. – М.: Дрофа, 2003. – 368 с.
3. Илларионов, И. Е. Влияние фосфатборатных соединений на противокоррозионную устойчивость углеродистой стали в нейтральных водных средах / И. Е. Илларионов, Ш. В. Садетдинов, И. А. Стрельников // Черные металлы. – 2018. – № 5. – С. 47-53.
4. Илларионов, И. Е. Системы из боратов аммония с некоторыми солями, аминами и амидами: монография / И. Е. Илларионов, Ш. В. Садетдинов, И. В. Фадеев. – Чебоксары: изд-во Чуваш. ун-та им. И. Н. Ульянова, 2019. – 232 с.
5. Половняк, В. К. Растворимость и физико-химические свойства растворов систем  $\text{MeBO}_2 - \text{Me}_2\text{NO}_2$  ( $\text{Me} - \text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{K}^+$ ) –  $\text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$  / В. К. Половняк, Ш. В. Садетдинов, С. В. Житарь // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 6. – С. 22-25.
6. Тужилкин, В. И. Кристаллизация сахара с учётом состава примесей в исходном сырье / В. И. Тужилкин, В. А. Коваленок, А. А. Сохин // Сахар. – 2011. – № 11. – С. 35–38.
7. Тужилкин, В. И. Теоретические аспекты оптимизации кристаллизации сахарозы / В. И. Тужилкин, А. И. Бугаенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 6. – С. 8-10.
8. Тужилкин, В. И. Уваривание утфелей из сиропов двух концентраций / В. И. Тужилкин, В. А. Коваленок, В. А. Шальнева // Сахар. – 2011. – № 4. – С.1-5.

## Сведения об авторах

1. **Пешкумов Олег Аркадьевич**, кандидат биологических наук, доцент кафедры физвоспитания, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: sport.chgsxa@mail.ru, тел. 89030652396;
2. **Пестряева Людмила Шейисдановна** кандидат педагогических наук, доцент кафедры физвоспитания, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: pestrnyae@mail.ru, тел. 89968508642;
3. **Садетдинов Шейиздан Вазыхович**, доктор химических наук, профессор кафедры материаловедения и металлургических процессов, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15; e-mail: avgustaf@list.ru, тел. 89053473794.

SYSTEM  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$  AS THE BASIS FOR SUGAR PRODUCTIONO.A. Peshkumov<sup>1</sup>, L.Sh. Pestryaeva<sup>1</sup>, Sh.V. Sadetdinov<sup>2</sup><sup>1</sup>Chuvash State Agricultural Academy  
428003, Cheboksary, Russian Federation<sup>2</sup>Chuvash State University named after I.N. Ulyanov  
428003, Cheboksary, Russian Federation

**Abstract.** Increasing the number of products and improving its quality in sugar production is one of the urgent tasks of the food industry involved in the processing of agricultural products. In the production of sugar, water-salt sucrose systems are formed, containing chlorides, sulfates and alkali metal oxalates. Mineral salts affect the process of crystallization of sugar, molasses, which ultimately affects the number of manufactured products. In order to obtain experimental data proving the effect of sodium chloride on sucrose, we constructed a diagram of the degree of solubility of the substances that make up the  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$  as system at 25 and 50 °C. It was found that it has three branches of crystallization, as indicated by the Skranemakers rays coming from the points of the equilibrium solution through the corresponding points of the solid residue. The first branch, coming from the side of the binary  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - \text{H}_2\text{O}$ , system, indicates the simultaneous solubility of sucrose and sodium chloride with the release of sucrose into the solid phase. The second branch originates from the eutonic point and corresponds to the crystallization of a new congruently soluble compound having the following composition:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} - \text{NaCl}$ . The third branch characterizes the process of simultaneous dissolution of sucrose and sodium chloride with the release of NaCl in the solid phase.

A quantitative assessment was given to the changes indicating the solubility of sucrose in the presence of sodium chloride, which was calculated by the formula:  $\Delta P = P_1 - P_0 / P_2$ , where  $P_1$  and  $P_2$  are the solubility of sucrose and sodium chloride at eutonic points,  $P_0$  is the solubility of sucrose in water, expressed by the number of moles per 100 g of solution. The  $\Delta P$  value at 25 and 50°C is equal to - 0.0213 and -0.1094, respectively, which indicates an increase in sucrose salting out under the influence of sodium chloride with increasing temperature. The obtained data are of scientific and practical interest, as they can be used to improve the efficiency of technological operations in sugar production.

**Key words:** *sucrose, sodium chloride, water-salt system, solubility, molasses, crystallization.*

### References

1. Bugaenko, I. F. Vliyanie kompleksa nesaharov na sodержanie sahara v melasse / V. I. Tuzhilkin, A. I. Bugaenko // Saharnaya promyshlennost'. – 1999. – № 1. – S. 23-24.
2. Vasil'ev, V. P. Analiticheskaya himiya. Titrimetricheskie i gravimetricheskie metody analiza / V. P. Vasil'ev. – M.: Drofa, 2003. – 368 s.
3. Illarionov, I. E. Vliyanie fosfatboratnykh soedineniy na protivokorroziionnyuyu ustojchivost' uglerodistoj stali v nejtral'nykh vodnykh sredah / I. E. Illarionov, SH. V. Sadetdinov, I. A. Strel'nikov // CHernye metally. – 2018. – № 5. – S. 47-53.
4. Illarionov, I. E. Sistemy iz boratov ammoniya s nekotorymi solyami, aminami i amidami: monografiya / I. E. Illarionov, SH. V. Sadetdinov, I. V. Fadeev. – CHEboksary: izd-vo CHuvash. un-ta im. I. N. Ul'yanova, 2019. – 232 s.
5. Polovnyak, V. K. Rastvorimost' i fiziko-himicheskie svoystva rastvorov sistem MeVO<sub>2</sub> – Me<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Me –Li+, Na+, K+) – N<sub>2</sub>O pri 25°S / V. K. Polovnyak, SH. V. Sadetdinov, S. V. ZHitar' // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ya. – 2013. – № 6. – S. 22-25.
6. Tuzhilkin, V. I. Kristallizaciya sahara s uchyotom sostava primesej v iskhodnom syr'e / V. I. Tuzhilkin, V. A. Kovalenok, A. A. Sohin // Sahar. – 2011. – № 11. – S. 35–38.
7. Tuzhilkin, V. I. Teoreticheskie aspekty optimizacii kristallizacii saharozy / V. I. Tuzhilkin, A. I. Bugaenko // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya. – 1999. – № 6. – S. 8-10.
8. Tuzhilkin, V. I. Uvarivanie utfelej iz siropov dvuh koncentracij / V. I. Tuzhilkin, V. A. Kovalenok, V. A. SHal'neva // Sahar. – 2011. – № 4. – S.1-5.

### Information about the authors

1. **Peshkumov Oleg Arkadievich**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks str., 29, e-mail: sport.chgsxa@mail.ru, tel. 89030652396;

2. **Pestryaeva Lyudmila Sheyisdanovna**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks str., 29; e-mail: pestryaev@mail.ru, tel. 89968508642;

3. **Sadetdinov Sheyizdan Vazykhovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Materials Science and Metallurgical Processes, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky prospect, 15; e-mail: avgustaf@list.ru, tel. 89053473794.

УДК 631.17, 631.3

DOI: 10.17022/abch-2r15

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЬНОГО СЕВООБОРОТА В МЕЛКОТОВАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**П.А. Смирнов, Е.В. Прокопьева, М.П. Смирнов**

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** В работе представлены результаты использования четырехпольного дифференцированного севооборота в условиях сельскохозяйственного мелкотоварного производства. В ходе исследований осуществлялось как ежегодное чередование культур в севообороте, так и их попеременное чередование на одном участке (например, пропашных культур, картофеля и кормовой свеклы). По этой причине картофель размещается на одной и той же половине участка только один раз за полный цикл севооборота, который составляет восемь лет. Предлагаемый севооборот предназначен, в первую очередь, для использования в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ), основным видом деятельности которых является молочное животноводство и выращивание картофеля. Разработанный севооборот относится к органическому земледелию. Применение ядохимикатов ограничивается борьбой против колорадского жука. При выращивании картофеля они используются один раз за весь вегетационный период. Предлагается вместо использования ядохимикатов проводить агротехнические и биологические мероприятия, направленные на защиту участка от появившихся сорняков, а уржа – от вредителей. Минеральные удобрения были заменены сидеральными (посевы горчицы или озимой ржи). Предложено использовать древесную золу, большое количество которой имеется в ЛПХ и КФХ (крестьянское фермерское хозяйство). Традиционные органические удобрения (перепревший навоз и компосты) предлагается заменить жидкими формами навоза. Так, например, их внесение в междурядья кормовой свеклы в дозе около 100...120 т/га два раза за сезон одновременно с междурядной обработкой привело к увеличению урожайности до 100,8 т/га (2018 г.). Внесение под картофель