

ИССЛЕДОВАНИЕ УТОНЕНИЯ СЛОЯ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В КАНАЛЕ С РЕГУЛИРУЕМЫМ СЕЧЕНИЕМ

THE INVESTIGATION OF THINNING OF A LAYER OF THE LONG-FIBRED FLAX STEMS IN A CHANNEL WITH ADJUSTABLE CROSS-SECTION

В.А. РОМАНОВ
Э.В. НОВИКОВ, к.т.н.
А.В. БЕЗБАБЧЕНКО

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства (ФГБНУ ВНИИМЛ), Тверь, Россия, romanoff_va@bk.ru

V.A. ROMANOV
EH.V. NOVIKOV, PhD in Engineering
A.V. BEZBABCHENKO

All-Russian Research Institute of Flax Growing Mechanization (VNIIML), Tver, Russian Federation, romanoff_va@bk.ru

Увеличение доли длинного волокна в товарной продукции предприятий первичной переработки тресты льна-долгунца – важная задача, решение которой необходимо для повышения эффективности льноводства. Более половины потерь длинного волокна обуславливает низкое качество подготовки слоя льнотресты к переработке. Технологические процессы существующей технологии подготовки слоя не могут быть адаптированы к изменившимся параметрам сырья при рулонной уборке льна. В связи с этим возросла актуальность разработки отдельных процессов и в целом новой технологии подготовки слоя, подаваемого в мяльную машину поточной линии. Основным технологическим процессом подготовки слоя является его утонение. Линейная плотность исходного слоя варьируется в широких пределах. Для ее приведения к технологически рациональному значению оборудование должно обеспечивать регулирование коэффициента утонения. Это возможно обеспечить на основе применения канала утонения с регулируемым сечением. Для его обоснования в исследованиях была поставлена цель по определению влияния конструктивно-технологических факторов на коэффициент утонения слоя льнотресты. Исследования проводились с использованием активных экспериментов на созданном во ВНИИМЛ макетном образце канала утонения данного типа. Независимыми факторами были: линейная плотность исходного слоя; линейная скорость слоя на выходе из канала утонения; высота канала на входе и выходе из него. Использованы два варианта исполнения канала: из одного типа зубчатых дисков с числом зубьев 40 шт.; комбинированный – из двух типов дисков в равной пропорции с числом зубьев 40 и 48 шт. Определено значимое влияние на коэффициент утонения слоя высот канала на входе и выходе, а также линейной плотности исходного слоя. Показана возможность регулирования коэффициента утонения слоя изменением сечения канала утонения. Установлено, что число зубьев на утоняющих дисках и структура канала утонения оказывают существенное влияние не процесс утонения слоя в каналах со свободной фиксацией стеблей. Представлены математические модели, адекватно описывающие влияние на коэффициент утонения исследованных факторов. Сформулированы выводы о рациональных параметрах канала утонения с регулируемым сечением и целесообразности его применения для утонения слоя льнотресты.

Ключевые слова: лен-долгунец, первичная переработка, утонение слоя, линейная плотность, канал утонения, регулируемое сечение канала, коэффициент утонения.

The rise in the proportion of long fiber in the commodity output of the primary processing enterprises of the fiber flax is an important task, the solution of which is necessary to increase the efficiency of the flax growing. More than half of the losses of long fiber cause a poor quality of preparation of a layer of flax retting to the processing. The technological processes of the existing layer preparation technology can not be adapted to the changed raw material parameters for the roll-up harvesting of the flax. In this regard, the urgency of the development of individual processes and a new technology in general for the preparation of a layer fed to the milling machine of the production line. The main technological process of layer preparation is its thinning. The linear density of the initial layer varies widely. To bring it to a technologically rational value, the equipment must provide a regulation of the coefficient of thinning. It is possible to provide this by using a thinning channel with adjustable cross-section. For its justification in the investigations the aim has been set to determine the influence of the structural and technological factors on the coefficient of thinning of the layer of flax. The investigations were carried out using active experiments on the prototype of this type of thinning channel created in VNIIML. The independent factors were: the linear density of the initial layer; linear velocity of the layer at the output from the thinning channel; height of the channel at the input and output from it. Two versions of the channel implementation are used: from one type of toothed discs with a number of teeth of 40 pieces.; combined – from two types of discs in equal proportion to the number of teeth 40 and 48 pcs. A significant influence on the thinning coefficient of the channel height layer at the input and output, as well as the linear density of the initial layer is determined. The possibility of adjusting the coefficient of thinning the layer by changing the cross-section of the thinning channel. It is established that the number of teeth on the thinning disks and the structure of the thinning channel exert a significant influence on the process of thinning the layer in the channels with free fixation of the stems. Mathematical models that adequately describe the influence on the coefficient of thinning of the investigated factors are presented. Conclusions are formulated about rational parameters of the thinning channel with a controlled cross-section and the expediency of its application for the thinning of the layer of flax.

Keywords: flax-fiber, primary processing, layer thinning, linear density, thinning channel, adjustable channel cross-section, coefficient of thinning.

Введение

Низкая доля длинного волокна в товарной продукции предприятий первичной переработки тресты льна-долгунца, несмотря на повышенный спрос в данном виде сырья, существенно снижает экономические показатели льняной подотрасли агропромышленного комплекса [1–4]. Из-за чего льноводство до настоящего времени, несмотря на государственные дотации, имеет низкую инвестиционную привлекательность.

Как известно, более половины потерь длинного волокна при переработке льнотресты обусловлено низким качеством подготовки слоя по существующей технологии [5], технологические процессы которой не могут быть адаптированы к изменившимся параметрам сырья при рулонной уборке льна. В связи с этим возросла актуальность разработки отдельных процессов и в целом новой технологии подготовки слоя, подаваемого в мяльную машину поточной линии.

Один из основных технологических процессов подготовки слоя льнотресты – его утонение. Он служит для приведения линейной плотности исходного слоя q_1 к технологически рациональному значению q_2 , которое определяется параметрами сырья и используемого оборудования.

Трансформацию $q_1 \rightarrow q_2$, которая функционально выражается в виде $q_2 = q_1 / k_y$, целесообразно проводить с применением утоняющих машин, основанных на канале утонения со свободной «фиксацией» стеблей в межзубных впадинах утоняющих дисков [6]. На практике значение q_1 изменяется в широком диапазоне, поэтому для обеспечения необходимого значения q_2 , машины должны быть выполнены по схеме, обеспечивающей плавное регулирование коэффициента утонения k_y . Известны два варианта исполнения утоняющей машины, отвечающей данному критерию [7, 8].

Исходя из эксплуатационно-технологической целесообразности можно утверждать, что наиболее рациональным вариантом исполнения канала утонения с плавным регулированием k_y является его исполнение с изменяемым сечением. Изменение сечения обеспечивается за счет перемещения в вертикальной плоскости верхнего ряда зубчатых дисков. За счет регулирования расстояния между верхними и нижними рядами зубчатых дисков – высоты канала утонения на входе h_1 и выходе h_2 из него

происходит изменение уплотнения (плотности q) материала в зоне его взаимодействия с утоняющими дисками – зонах утонения и соответствующее изменение значения коэффициента утонения k_y , который связан с q стохастической связью.

На текущий период для канала утонения с регулируемым сечением отсутствуют данные о влиянии на k_y его основных конструктивно-технологических факторов, что не позволяет обоснованно подойти к разработке утоняющей машины, основанной на данном канале утонения.

Цель исследований

Определить влияние конструктивно-технологических факторов на коэффициент утонения слоя льнотресты в канале утонения с регулируемым сечением.

Материалы и методы исследований.

Исследования выполнялись на макетном образце утоняющего адаптера (рис. 1), который был разработан и изготовлен в ФГБНУ ВНИИМЛ.

Основными узлами адаптера являются два блока редукторов: верхний подвижный блок 1 и нижний неподвижный 2, которые установлены на общей раме 3. Каждый блок состоит из двух однотипных многоступенчатых редукторов и имеет независимый электропривод. Электрооборудование 4 обеспечивает в ручном режиме регулирование частоты вращения электродвигателей и, соответственно, зубчатых дисков 5, которые образуют канал утонения слоя. Для изменения сечения канала утонения на входе и выходе из него установлен винтовой механизм 6. Контроль положения верхнего блока редукторов при опускании и подъеме обеспечивается нониусом с ценой деления 1 мм, установленном на винтовом механизме. За высоту канала утонения h_1 , h_2 принято расстояние между траекториями движения вершин зубьев утоняющих дисков верхнего и нижнего рядов. Если эти траектории пересекались в вертикальной плоскости, то высоту канала принимали со знаком минус, если нет, то со знаком плюс.

Опыты проводили в пяти повторностях на обезличенном льносырье со следующими показателями качества по ГОСТ 24383-89 и ГОСТ Р 53143-2008 «Треста льняная. Требования при заготовках»: средний диаметр стеблей 1,5 мм; горстевая длина 79 см; отделяемость 5,6 ед.

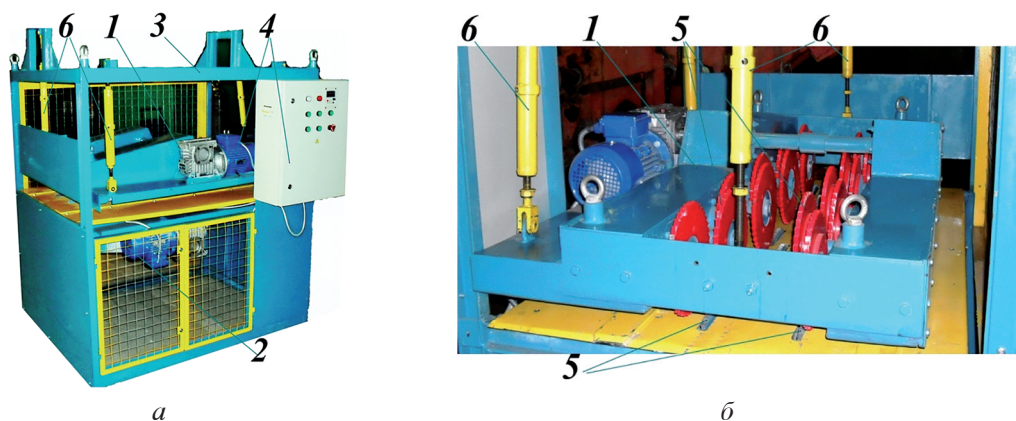


Рис. 1. Макетный образец адаптера для утонения слоя сырья льна-долгунца с регулируемым сечением канала утонения:
а) общий вид; б) вид на канал утонения

Единичные пробы при подаче в канал утонения расстилали перпендикулярно зубчатым дискам (параллельно валам зубчатых дисков) на длину 250 мм, обеспечивая заданное значение линейной плотности соответствующим изменением массы. Данная длина пробы объясняется, в основном, сложностью обеспечения однородности структуры исходного слоя, которая оказывает существенное влияние на процесс утонения. Линейную плотность определяли прямым методом.

Исследования выполнялись путем последовательного проведения активных экспериментов. Выбор независимых факторов и диапазона их изменения проведен на основе анализа и предварительных опытов. В качестве независимых факторов приняты: высота канала на входе h_1 и выходе h_2 ; скорость движения слоя на выходе из канала утонения v_2 ; исходная линейная плотность слоя q_1 . Кроме того, часть экспериментов различалась структурой канала утонения.

В данном случае под структурой канала утонения понимается его формирование по длине из различного набора утоняющих дисков – одного типа и двух типов. Известно, что в каналах с постоянным сечением, для повышения эффективности утонения канал формируют

мируют из двух типоразмеров дисков [9], которые, как правило, отличаются числом зубьев. Диски с большим числом зубьев размещают на 1/2 длины канала со стороны выхода материала. Предполагается, что за счет большего числа воздействий и меньшей площади межзубных впадин удастся обеспечить не только повышение степени утонения слоя, но и снизить его вариацию по линейной плотности.

Сначала с использованием 2-уровневого факторного эксперимента исследовано влияние на k_y высоты канала h_1 и h_2 , линейной плотности исходного слоя q_1 , и линейной скорости слоя на выходе из канала утонения v_2 . Исходные данные для планирования данного эксперимента представлены в таблице 1.

Затем с использованием двухфакторного центрального композиционного плана в двух вариантах проводились исследования по определению влияния на k_y регулируемых факторов h_1 и h_2 . Варианты отличались структурой канала утонения. В 1-м варианте канал был сформирован из утоняющих дисков с числом зубьев $z = 40$ шт., а во 2-м варианте в первой половине канала были применены диски с $z = 40$ шт., а во второй с $z = 48$ шт. Исходные данные для планирования эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные данные для 2-х уровневого эксперимента

Характеристика плана	Переменные факторы			
	линейная плотность q_1 , кг/м	линейная скорость слоя v_2 , м/мин	высота канала* на входе h_1 , мм	высота канала на выходе h_2 , мм
Верхний уровень	2,0	90,0	+2,0	-2,0
Нижний уровень	1,0	50,0	-4,0	-8,0

* канал выполнен из одного типоразмера утоняющих дисков с числом зубьев $z = 40$ шт.

Исходные данные для центрального композиционного плана

Характеристика плана	Переменные факторы		Примечание
	h_1 , мм	h_2 , мм	
Верхний уровень	+2,0	-2,0	*Линейная плотность $q_1 = 1,5$ кг/м; **Линейная скорость $v_2 = 60$ м/мин.
Нижний уровень	-4,0	-8,0	

* Значение q_1 соответствует максимальной рекомендованной плотности слоя в рулоне
** Значение v_2 соответствует средней скорости слоя на практике

Результаты и обсуждение

Анализ данных 2-уровневого эксперимента показал, что статистически значимое влияние на k_y оказывают: высота канала на входе h_1 ; высота канала на выходе h_2 и линейная плотность исходного слоя q_1 . Это подтверждает возможность регулирования коэффициента утонения слоя изменением сечения канала утонения. Зависимость k_y от h_1 и h_2 , в отличие от зависимости k_y от q_1 , носит обратно пропорциональный характер. Линейная скорость слоя на выходе из канала утонения v_2 , как и взаимодействия факторов, оказались статистически незначимыми. Отсутствие значимого влияния на выходной параметр линейной скорости слоя v_2 подтверждает рациональность параметров утоняющих дисков с $z = 40$ шт. и упрощает алгоритм управления k_y , который в данном случае отражает следующая зависимость

$$k_y = 0,607 + 0,611 q_1 - 0,136 h_1 - 0,129 h_2. \quad (1)$$

Существенное прямо пропорциональное влияние на степень утонения слоя его исходной линейной плотности, показанное для $h_1 = -1$ мм и $h_2 = -5$ мм на рисунке 2, оказывает положительное влияние на процесс утонения.

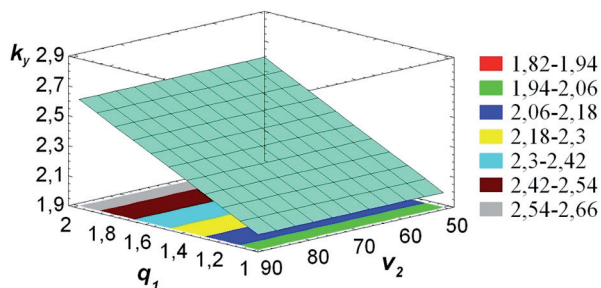


Рис. 2. Поверхность отклика – $k_y = f(q_1, v_2)$

Положительный эффект $k_y = f(q_1)$ проявляется в снижении вариации линейной плотности утоненного слоя, которая является одной из важнейших характеристик качества подготовки слоя к обработке. В случае отклонения

q_1 по длине слоя участки слоя с различной плотностью будут иметь различную степень утонения. При увеличении исходной линейной плотности коэффициент утонения данного участка будет возрастать, а при уменьшении плотности – снижаться. В конечном итоге это приводит к снижению вариации линейной плотности утоненного слоя и к повышению эффективности первичной переработки – повышению выхода длинного волокна.

Уравнение регрессии (1) объясняет 69,7 % дисперсии ($R^2 = 69,7 \%$), что можно считать приемлемым в данном случае. В последующих опытах для повышения точности описания процесса эксперименты были проведены с использованием двухфакторного центрального композиционного плана. Их основной целью была оценка влияния на утонение слоя структуры канала в канале с регулируемым сечением. В результате обработки данных оказалось, что для обоих вариантов статистически значимое влияние на отклик оказывает высота канала на входе h_1 и выходе h_2 . Другими значимыми факторами являются: в 1-м варианте взаимодействие факторов h_1 и h_2 ; а во 2-м варианте – h_1^2 и h_2^2 . В результате расчетов получены уравнения регрессии (2) – для 1-го варианта и (3) – для второго, соответственно, с коэффициентами детерминации $R^2 = 84,97 \%$ и $R^2 = 72,84 \%$:

$$k_y = 2,117 + 0,043 h_1 - 0,0439 h_2; \quad (2)$$

$$k_y = 2,036 + 0,009 h_1 + 0,077 h_2 + 0,018 h_1^2 + 0,015 h_2^2. \quad (3)$$

Полученные уравнения регрессии показаны графически на рис. 3.

Из графиков следует, что в 1-м варианте, по сравнению со 2-м, зависимость регулируемого показателя k_y от регулирующих h_1 и h_2 имеет более линейный характер. Диапазон регулирования k_y при формировании канала

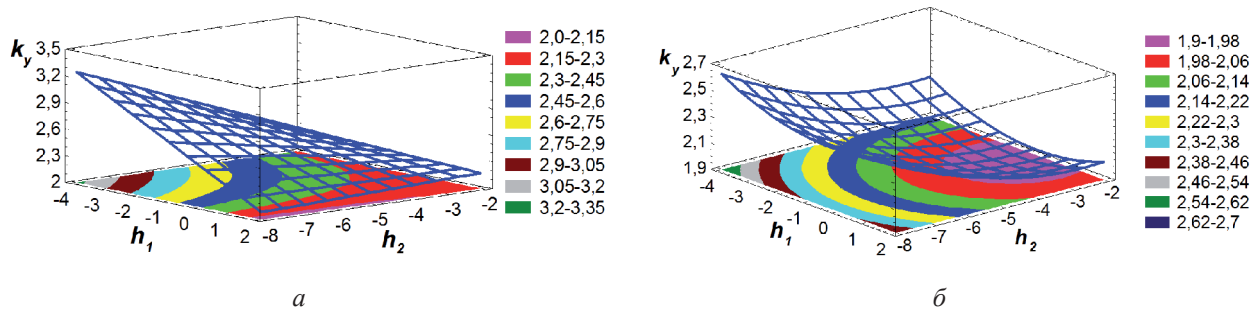


Рис. 3. Поверхности отклика при двух вариантах структуры канала:
 а) 1-й вариант ($z = 40$); б) 2-й вариант ($z = 40 + z = 48$)

утонения из однотипных утоняющих дисков с $z = 40$ шт. шире, чем во 2-м варианте почти в 1,9 раза. Это говорит о том, что число зубьев на утоняющих дисках и структура канала утонения, т.е. комбинирование из дисков с различным числом, зубьев, оказывает существенное влияние на процесс утонения слоя в каналах со свободной фиксацией стеблей.

Заключение

Получены закономерности, отражающие процесс утонения слоя тресты льна-долгунца при свободной «фиксации» стеблей в межзубных впадинах утоняющих дисков канала с регулируемым сечением.

Подтверждено, что регулирование степени утонения слоя может быть обеспечено регулированием высоты сечения канала утонения за счет перемещения верхнего ряда зубчатых утоняющих дисков в вертикальной плоскости.

Обоснована целесообразность применения одного типоразмера зубчатых утоняющих дисков для формирования канала утонения с регулируемым сечением.

Литература

- Ущапковский И.В., Басова Н.В., Новиков Э.В., Галкин А.В. Анализ состояния, проблемы и перспективы льнокомплекса России // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: материалы Международ. научно-практ. конф. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2016. С. 27–35.
- Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущапковский И.В. Анализ эффективности первичной переработки льносырья в Российской Федерации // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 2. С. 71–75.
- Безбабченко А.В., Новиков Э.В., Басова Н.В., Ущапковский И.В. Пути снижения себестоимости льноволокна на предприятиях первичной обра-

ботки лубоволокнистых материалов // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2011. № 8. С. 31–33.

- Ростовцев Р.А., Черников В.Г. Приоритетные вопросы механизации современного льноводства // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЛ. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. С. 7–11.
- Дьячков В.А. Проектирование машин для первичной обработки лубяных волокон: учебник. Изд-во Костром. гос. технолог. ун-та, 2006. 232 с.
- Романов В.А., Пучков Е.М., Зубов Ф.М. Повышение эффективности переработки льнотресты // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 8. С. 24 – 25.
- Романов В.А., Ковалев М.М., Зубов Ф.В. Устройство для утонения слоя стеблей льна-долгунца: патент на полезную модель № 123414 Российская Федерация. Опубликовано 27.12.2012. Бюл. № 36.
- Романов В.А., Ростовцев Р.А., Пучков Е.М. Устройство для утонения слоя стеблей льна-долгунца: патент на полезную модель № 176038 Российская Федерация. Опубликовано 26.12.2017. Бюл. № 36.
- Романов В.А. Повышение качества работы слоеформирующего механизма при обработке льноматериала // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 6. С. 19–20.

References

- Ushchapovskij I.V., Basova N.V., Novikov E.N., Galkin A.V. Analysis of the state, problem and prospects of the Russian flax complex. Innovacionnye razrabotki proizvodstva i pererabotki lubyanyh kul'tur: Materialy Mezhdunarod. nauchno-prakt. konf. [Innovative development of the production and processing of bast culture: the materials of International scientific and practical

- conference]. Tver': Tver. gos. un-t Publ.. 2016, pp. 27–35 (in Russ.).
2. Novikov E.H.V., Koroleva E.N., Bezbabcheiko A.V., Ushchapovskij I.V. Analysis of the primary processing efficiency of the flax in the Russian Federation. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2016. No 2, pp. 71–75 (in Russ.).
 3. Bezbabchenko A.V., Novikov E.H.V., Basova N.V., Ushchapovskij I.V. The ways to reduce the cost of flax fiber at primary processing facilities of bast-fiber materials. *Ehkonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayushchih predpriyatij*. 2011. No 8, pp. 31–33 (in Russ.).
 4. Rostovcev R.A., Chernikov V.G. Priority issues of mechanization of modern flax growing. *Innovacionnye razrabotki dlya proizvodstva i pererabotki lubyanyh kul'tur: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii FGBNU VNIIML [Innovative developments for the production and processing of bast crops: the materials of the International Scientific and Practical Conference of the FGBNU VNIIML]*. Tver': Tver. gos. un-t Publ., 2016, pp. 7–11 (in Russ.).
 5. D'yachkov V.A. *Proektirovanie mashin dlya pervichnoj obrabotki lubyanyh volokon. Uchebnik [Design of the machines for the primary processing of bast fibers]*. Izd-vo Kostrom. gos. tekhnolog. un-ta Publ., 2006. 232 p.
 6. Romanov V.A., Puchkov E.M., Zubov F.M. Increase of efficiency of the flax processing. *Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva*. 2010. No 8, pp. 24–25 (in Russ.).
 7. Romanov V.A., Kovalev M.M., Zubov F.V. *Ustrojstvo dlya utoneniya sloya steblej l'nodolgunca [Device for thinning the layer of stems of the long-stalked flax]: patent na poleznuyu model' No 123414 Rossijskaya Federaciya*. Opublikovano 27.12.2012. Byul. No 36.
 8. Romanov V.A., Rostovcev R.A., Puchkov E.M. *Ustrojstvo dlya utoneniya sloya steblej l'nodolgunca [Device for thinning the layer of stems of the long-stalked flax]: patent na poleznuyu model' No 176038 Rossijskaya Federaciya*. Opublikovano 26.12.2017, Byul. No 36.
 9. Romanov V.A. Improving the quality of the layer-forming mechanism during the processing of flax-material. *Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva*. 2012. No 6, pp. 19–20 (in Russ.).