

УДК 635.21:664.162.036

Оптимизация способа получения сахаросодержащего сырья из картофеля

канд. техн. наук Березина Н.А. jrdan@yandex.ru

Орлова А.М. orlovanastya2@mail.ru

Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс
302030, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

д-р техн. наук Матвеева И.В. irim@novozymes.com

Московский государственный университет пищевых производств
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.11

В статье приводятся данные по оптимизации способа получения сахаросодержащего продукта методом ферментативного гидролиза. Целью исследования являлось увеличение содержания редуцирующих сахаров в гидролизате картофеля по сравнению с существующим способом. Оптимизация произведена на основе математических моделей, полученных методом полного факторного эксперимента.

Ключевые слова: ферментативный гидролиз, картофель, сахаросодержащий продукт, оптимизация.

Optimization of a way of receiving sacchariferous raw materials from potatoes

Ph.D. Berezina N.A., Orlova A.M.

Federal State Educational Budgetary establishment of Higher Professional Education State University -
teaching, research and production complex
02030, Orel, Naugorskoe Highway, 29

D.Sc. Matveeva I.V.

Federal State Educational Budgetary establishment of Higher Professional Education Moscow state university
of food productions
125080, Moscow, Volokolamsk highway, 11

Data on optimization of a way of receiving the raw materials containing carbohydrates by a method of hydrolysis are provided in article. Research objective was the increase in the content of sugars in a hydrolytic mixture of potatoes in comparison with existing way.

Optimization is made on the basis of the mathematical models received by a method of complete factorial experiment.

Keywords: zymohydrolysis, potato, rawmaterial containing carbohydrates, optimization.

Одним из инновационных направлений развития в области переработки сельскохозяйственного сырья являются биотехнологические способы, позволяющие снижать энергоемкость получения нового сырья и обеспечивать высокое качество продукции. В соответствии со стратегией развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года: ..необходимо внедрить новые технологии в отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, ...вовлечь в хозяйственный оборот вторичные ресурсы, что позволит увеличить выход готовой продукции с единицы перерабатываемого сырья» [1]. В связи с этим, практический интерес представляет получение сахаросодержащего сырья из некондиционного картофеля методом ферментативного гидролиза.

Использование картофеля для приготовления сахаросодержащего сырья обусловлено тем, что картофель является повсеместно распространенным дешевым сырьем, имеет богатый химический состав и содержит кроме 12-26 % крахмала, 75-80 % воды, 2-3 % белка, около 0,3 % эфирных масел, 1 % клетчатки, витамины С, В₁, В₂, В₆, пантотеновую и никотиновую кислоты, соли Р, К, Са, Mg, пектиновые вещества, лимонную, щавелевую и яблочную кислоты [2]. Поэтому при гидролизе цельного растительного сырья создается возможность обогатить его конечные продукты биологически ценными веществами.

Для гидролиза картофеля использовался ферментный препарат амилолитического действия глюкоамилаза AMG выпускаемый фирмой «Novozymes». Продуцентом фермента является *Aspergillus niger*. Глюкоамилаза способна гидролизовать 1,4- и 1,6-глюкозидные связи амилозы и амилопектина с образованием глюкозы и незначительного количества декстринов. Оптимальными условиями действия препарата являются рН 3-5 и температура от 40 до 70 °С. Он рекомендуется для интенсификации технологических процессов в хлебопекарном производстве, а так же для получения высокоосахаренных ферментативных полуфабрикатов[3].

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что оптимальными условиями для получения сахаросодержащего продукта из картофеля с помощью ферментного препарата AMG являются: температура 45 °С, концентрация 20 %, рН 6,4, дозировка ферментного препарата 0,03-0,05 % от массы картофеля, продолжительность осахаривания 3-4 часа [4]. Данные были получены методом однофакторного

эксперимента, при котором не учитывается взаимодействие факторов влияющих на гидролиз – дозировки ферментного препарата, концентрации субстрата, рН среды и температуры гидролиза. В связи с этим представляет интерес исследовать взаимодействие указанных факторов в процессе гидролиза и получить математическую модель с целью оптимизации процесса.

Цель эксперимента: определить оптимальные условия гидролиза картофеля ферментным препаратом AMG для получения сахаросодержащего продукта.

Предварительную подготовку картофеля к гидролизу осуществляли по следующей схеме: мойка картофеля→сортировка и инспекция→очистка от кожицы→термическая обработка очищенного картофеля→измельчение до размера частиц 340-500 мкм. Далее измельченную картофельную массу подвергали гидролизу.

Для получения математической модели процесса воспользовались методом ротатабельного планирования эксперимента.

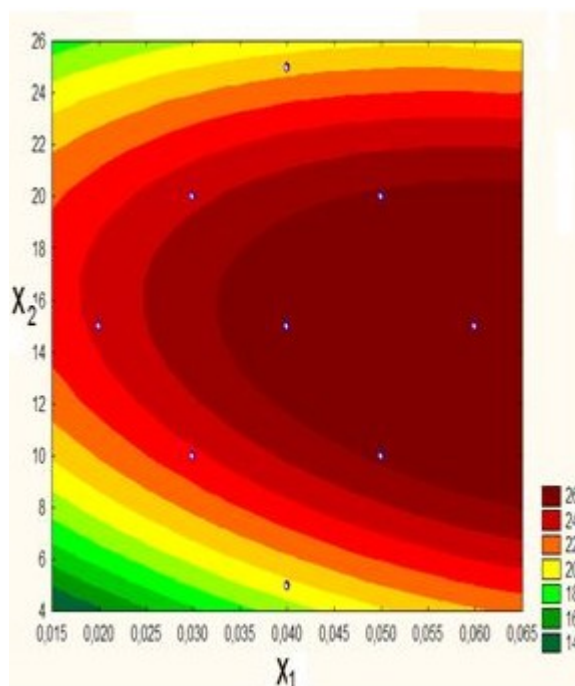
В качестве факторов были приняты: дозировка ферментного препарата X_1 , содержание сухих веществ субстрата X_2 , рН среды X_3 и температура X_4 . В качестве параметра оптимизации (выхода) Y было принято содержание редуцирующих веществ, накопившееся в гидролизате. Гидролиз проводили в течение 3 часов.

Содержание сухих веществ, рН среды и температуру гидролизуемого картофеля регулировали путем разбавления измельченной картофельной массы раствором уксусной кислоты с соответствующей рН и температурой. Температурные режимы гидролиза поддерживали с помощью водяной бани. Эксперименты проводили в трехкратной повторности. План и выходные параметры эксперимента представлены в таблице 1.

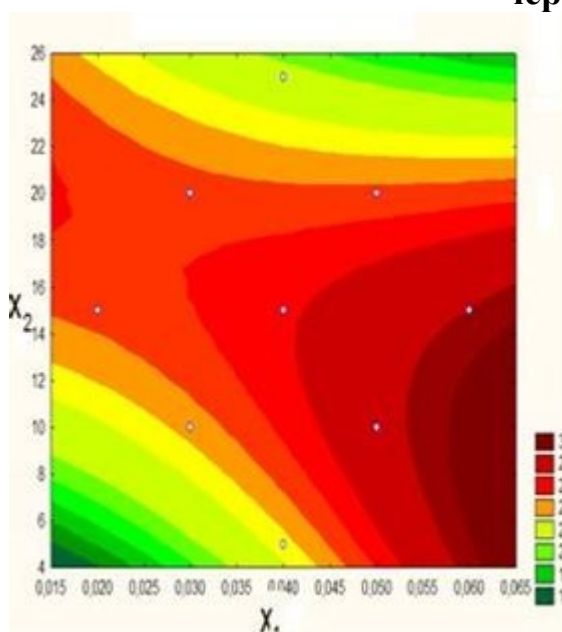
Табл. 1 – План и выходные параметры эксперимента

№	X ₁ , дозировка ферментного препарата	X ₂ , содержание сухих веществ гидролизуемого картофеля	X ₃ , рН	X ₄ , температура	Содержание редуцирующих веществ, % на с.в.		
					через 1 час, Y ₁	через 2 часа, Y ₂	через 3 часа, Y ₃
1	0,03	10	3	40	18,4	19,2	21,2
2	0,03	10	3	70	21,6	23,2	23,2
3	0,03	10	5	40	20	22,8	22,4
4	0,03	10	5	70	22	22,8	24
5	0,03	20	3	40	21,6	22,2	21,6
6	0,03	20	3	70	20	21,6	20
7	0,03	20	5	40	18	18	18
8	0,03	20	5	70	24,8	25,6	24,4
9	0,05	10	3	40	26	33,6	30
10	0,05	10	3	70	22,4	24,4	24,4
11	0,05	10	5	40	24	25,6	26,4
12	0,05	10	5	70	23,6	23,6	27,2
13	0,05	20	3	40	22,8	20,8	20
14	0,05	20	3	70	18,4	20,8	20,8
15	0,05	20	5	40	28	23,6	23,2
16	0,05	20	5	70	25,2	25,2	32
17	0,02	15	4	55	27,2	27,2	29,6
18	0,06	15	4	55	26,8	27,2	29,6
19	0,04	5	4	55	20,8	21,2	20,4
20	0,04	25	4	55	23,2	24	26
21	0,04	15	2	55	20,8	20,8	21,2
22	0,04	15	6	55	26	26	29,2
23	0,04	15	4	25	26	26	27,2
24	0,04	15	4	85	29,6	26	26
25	0,04	15	4	55	25,2	28	32
26	0,04	15	4	55	26,4	23,6	23,6

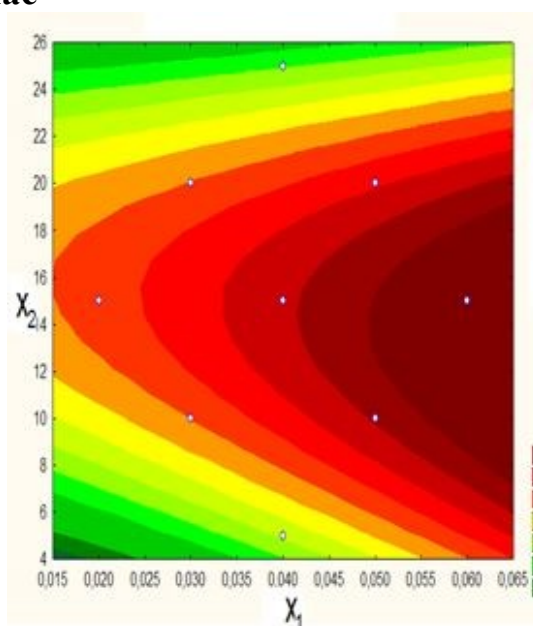
Данные эксперимента были обработаны с помощью программы Statistica 6.0. Графическая интерпретация в виде сечений представлена на рисунках 1-3.



через 1 час



через 2 часа

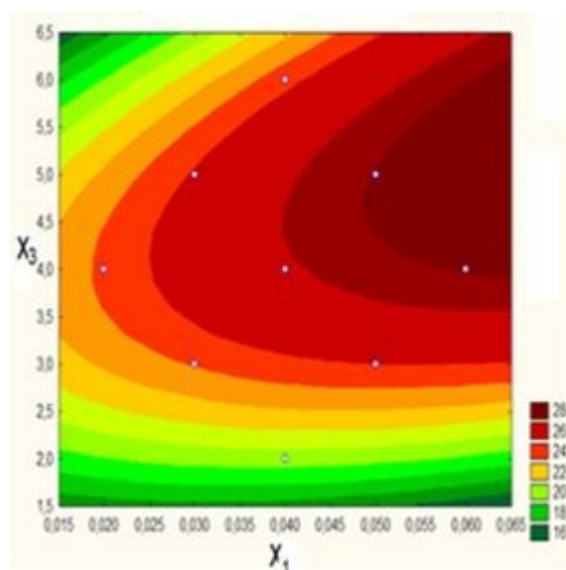


через 3 часа

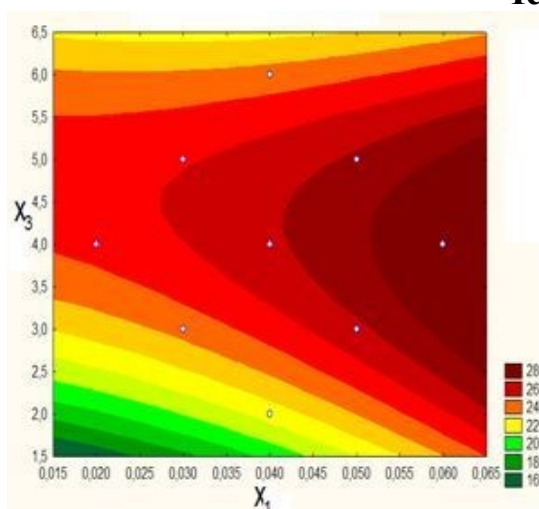
Рис. 1 Влияние дозировки ферментного препарата AMG (X_1) и содержания сухих веществ в субстрате (X_2) на накопление редуцирующих веществ в гидролизате картофеля

Как видно из данных, представленных на рисунке 1 через 1-3 часа гидролиза интенсивность накопления редуцирующих веществ увеличивается с увеличением

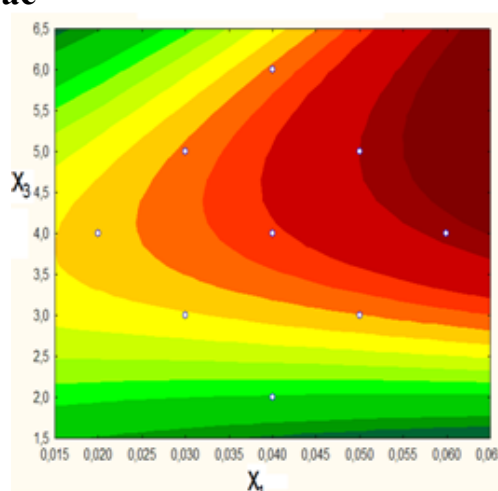
дозировки ферментного препарата до максимальных значений и снижении концентрации субстрата.



Через 1 час



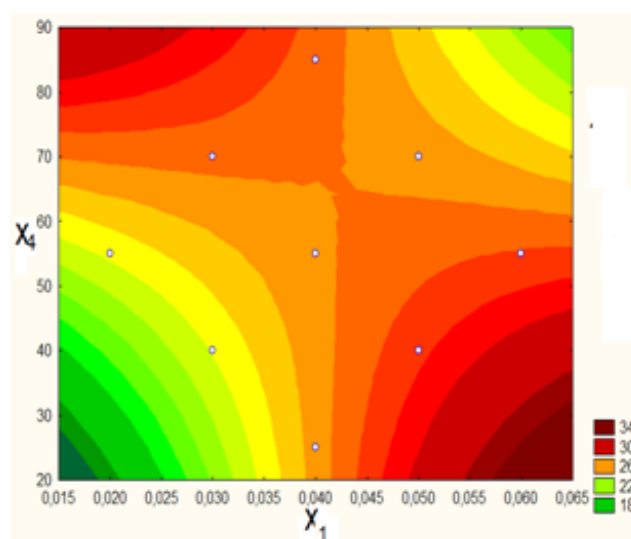
Через 2 часа



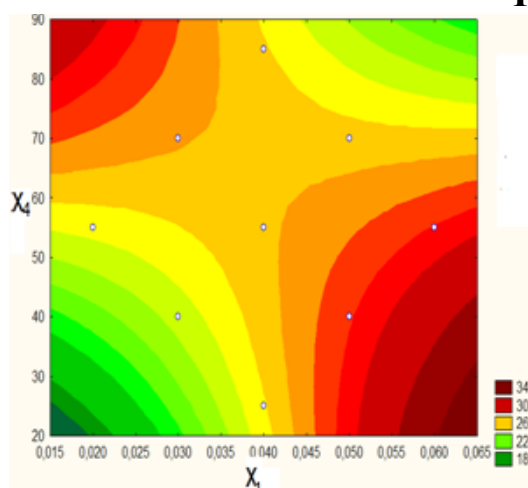
Через 3 часа

Рис. 2 Влияние дозировки ферментного препарата AMG (X_1) и pH (X_3) субстрата на накопление редуцирующих веществ в гидролизате картофеля

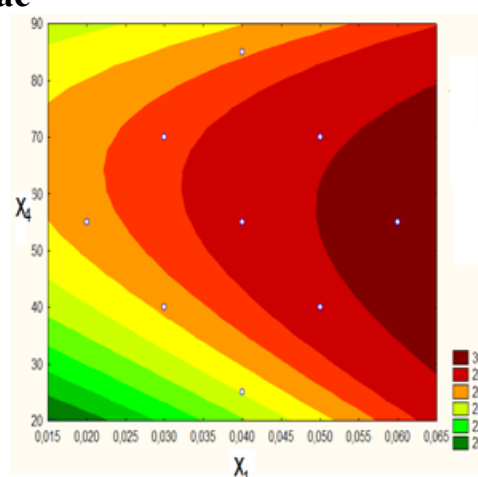
Как видно из данных, представленных на рисунке 2, через 1-3 часа гидролиза накопление содержания редуцирующих веществ наблюдается при увеличении дозировки ферментного препарата до максимальных значений. Положительное влияние pH через 1 час гидролиза наблюдается при значениях от 4 до 6, через 2 часа – при 3 до 4,5, через 3 часа – при 4,5 до 6,5.



Через 1 час



Через 2 часа



Через 3 часа

Рис. 3 Влияние дозировки ферментного препарата AMG (X_1) и температуры (X_4) на накопление редуцирующих веществ в гидролизате картофеля

Как видно из данных, представленных на рисунке 3 влияние температуры на процесс накопления редуцирующих веществ в гидролизате в течение 2 часов гидролиза сильно связано с дозировкой ферментного препарата. Наблюдается графическая зависимость типа «седло». При высоких температурах (80-90 °С) большее количество редуцирующих веществ возможно получить при минимальной дозировке ферментного препарата (0,015 %) и, однако же, высокие дозировки ферментного препарата (0,06-0,065 %) при низкой температуре (20-30 °С) так же позволяют получить большее значение выхода. Через 3 часа гидролиза максимальное значение выхода можно получить при температуре 30-70 °С и максимальной дозировке ферментного препарата.

через 1 час:

$$Y_1 = -12,46 + 593,33X_1 - 1583,33X_1^2 + 1,48X_2 - 0,06X_2^2 + 2,5X_3 - 1,06X_3^2 + 0,2X_4 - X_4^2 - 5X_1X_2 + 50X_1X_3 - 9X_1X_4 - 0,15X_2X_3 - 0X_2X_4 + 0,05X_3X_4$$

$$R^2 = 0,65, S^2 = 7,8$$

через 2 часа:

$$Y_2 = -6,04 + 901,6X_1 + 1020,83X_1^2 + 0,615X_2 - 0,042X_2^2 + 3,08X_3 - 0,85X_3^2 + 0,03X_4 - 0,001X_4^2 - 20,25X_1X_2 - 28,75X_1X_3 - 8,58X_1X_4 + 0,16X_2X_3 + 0,01X_2X_4 + 0,05X_3X_4$$

$$R^2 = 0,57, S^2 = 10$$

через 3 часа:

$$Y_3 = 21,78 + 1,67X_1 + 375X_1^2 + 0,65X_2 - 0,06X_2^2 - 0,51X_3 - 1,06X_3^2 - 0,12X_4 - 0,003X_4^2 - 6,5X_1X_2 + 67,5X_1X_3 - 1,5X_1X_4 + 0,17X_2X_3 + 0,01X_2X_4 + 0,09X_3X_4$$

$$R^2 = 0,55, S^2 = 15,6$$

Как видно из представленных математических моделей, через 1-3 часа гидролиза наибольший вклад в значение выхода вносят факторы X_1 и X_3 (дозировка ферментного препарата и pH), т.к. имеют самые высокие размеры коэффициентов. Нахождение оптимальных параметров проводили с помощью инструмента «Поиск решения» программного обеспечения Microsoft Excel, входящей в состав пакета программ Microsoft Office.

Согласно расчетов максимальное значение редуцирующих веществ при данных режимах эксперимента возможно получить при следующих значениях параметров: режим 1 – $X_1=0,02$, $X_2=17,6$, $X_3=5$, $X_4=85$, режим 2 – $X_1=0,02$, $X_2=25$, $X_3=6$, $X_4=85$, режим 3 – $X_1=0,06$, $X_2=19,4$, $X_3=6$, $X_4=85$. В качестве контрольного образца служил образец, полученный по способу, приведенному в [4]. Была произведена экспериментальная проверка расчетных параметров гидролиза картофеля. По результатам проведенных исследований были построены диаграммы содержания редуцирующих веществ в гидролизате картофеля (рис 4).

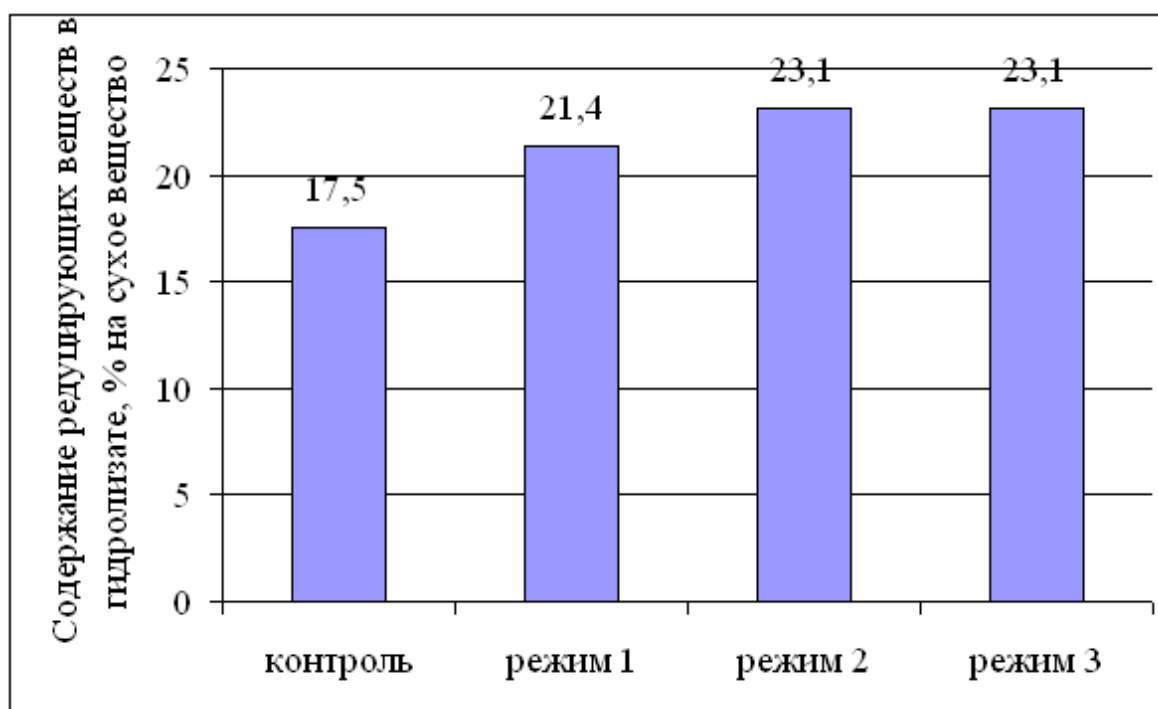


Рис. 4. Содержание редуцирующих веществ в гидролизате картофеля при разных режимах гидролиза

Как видно из данных, представленных на рисунке 4 оптимизация процесса гидролиза картофеля ферментным препаратом AMG позволила увеличить содержание редуцирующих веществ в гидролизате. При этом, оптимальными следует признать 2 и 3 режимы гидролиза, дающие максимальный выход.

Таким образом, в результате моделирования и оптимизации эксперимента получены оптимальные режимы гидролиза картофеля, позволяющие увеличить содержание редуцирующих сахаров в гидролизате.

Список литературы:

1. Распоряжение правительства РФ от 17 апреля 2012 г. N 559-р Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года) // [Электронный ресурс]: <http://base.consultant.ru>
2. Химический состав пищевых продуктов/ под. ред. Покровского А.А. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 228 с.
3. Матвеева, И. В., Биотехнологические основы приготовления хлеба. [Текст] / И.В. Матвеева, И. Г. Белявская – М.: Де Ли принт, 2001. – 155 с
4. Березина, Н.А Разработка технологии и исследование качества хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением сахаросодержащих паст из картофеля и сахарной свеклы. Автореф. на соиск. уч. ст. к.т.н. / Н.А. Березина – Орел, 2002. – 26 с