

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

С. Ю. ТУРКО, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,
М. В. ВЛАСЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,
К. Ю. ТРУБАКОВА, инженер-исследователь, аспирант,
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук
(400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97)

Ключевые слова: прогноз урожайности, зерновые культуры, сельхозпроизводство, глобальное изменение климата, лесомелиорация.

Рассматривается прогноз урожайности зерновых сельскохозяйственных культур, в связи с изменением хозяйственной деятельности и глобальным изменением климата (по сценариям GFDL и UKMO – потепление на 2 и 3–4 °С). Рассчитаны риски, связанные с изменением урожайности зерновых сельскохозяйственных культур с учетом пессимистического и оптимистического прогнозов, выявлены положительные стороны влияния лесомелиорации. Полученные результаты из-за их неоднозначности затрудняют составление точного прогноза, но убедительно говорят о том, что изменение климата более благоприятно скажется на озимых культурах. Несомненно, что глобальное изменение климата определенным образом затронет сельхозпроизводство, его эффективность. Вместе с тем, учитывалось, что урожайность зерновых сельскохозяйственных культур существенно зависит от сорта и вида сельскохозяйственных культур, используемых на данном временном этапе, применяемой технологии их выращивания и количества вносимых удобрений. Роль лесных полос для пессимистического прогноза составляет 55 %, а для оптимистического – 83 %. Риски, связанные с изменением климата, зависят от прогнозируемого сценария развития этого изменения. В пессимистическом прогнозе, в варианте без лесных полос произойдет возрастание рисков в связи с изменением климата в 4,27 раз по сравнению с рисками периода 1960–2005 гг. На лесомелиорированной пашне риск в этом случае также возрастет, но повышение его будет только в 2,78 раза. В оптимистическом прогнозе в варианте без лесных полос произойдет снижение риска в 8,3 раз, он составит 0,12, а в варианте с лесными полосами произойдет снижение риска в 34,5 раз, он не превысит значения 0,029, т. е. практически его не будет.

ESTIMATION AND FORECAST OF YIELD OF GRAIN CROPS IN THE TERRITORY OF VOLGOGRAD REGION DUE TO CHANGES IN ECONOMIC ACTIVITY AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

S. YU. TURKO, candidate of agricultural sciences, researcher,
M. V. VLASENKO, candidate of agricultural sciences, senior researcher,
K. YU. TRUBAKOVA, research engineer, postgraduate student,
Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation,
Russian Academy of Sciences
(97 Universitetskij prosp., 400062, Volgograd)

Keywords: forecast crop production, crops agricultural production, global climate change, forest melioration.

The article considers the forecast of grain crops yield in connection with the change of economic activity and global climate change (according to the GFDL and UKMO scenarios – warming by 2 and 3–4 °C). The risks associated with the change of crop yields of grain crops were calculated considering pessimistic and optimistic forecasts, the positive aspects of the impact of forest reclamation were identified. The results obtained, because of their ambiguity, make it difficult to make an accurate forecast, but they convincingly suggest that climate change will affect winter crops more favorably. Undoubtedly, global climate change will definitely affect agricultural production, its effectiveness. At the same time, it was considered that the yield of grain crops substantially depends on the variety and type of crops used at this time stage, the technology used for their cultivation and the amount of fertilizers applied. The role of forest strips for the pessimistic forecast is 55 %, and for the optimistic – 83 %. The risks associated with climate change depend on the predicted scenario of this change. In the pessimistic forecast, in the version without forest strips, the risks due to climate change will increase by 4.27 times compared to the risks of the period 1960–2005. At forest-reclaimed arable land, the risk in this case will also increase, but its increase will be only 2.78 times. In the optimistic forecast, in the version without forest strips, the risk will be reduced by 8.3 times, it will be 0.12, and in the version with forest strips, the risk will be reduced by 34.5 times, it will not exceed 0.029 and it will not be presented practically.

Положительная рецензия представлена В. В. Бородычевым, доктором сельскохозяйственных наук, профессором, директором Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова.

Наиболее важным в оценке продовольственной безопасности рассматриваемого региона является изменение урожайности сельскохозяйственных культур, особенно зернового плана [1-3]. На основе расчетов, сделанных государственным гидрологическим институтом (ЕГИ), с использованием сценариев циркуляции атмосферы GFDL и UKMO, нами были составлены картограммы (рис. 1 и 2). Исходной гипотезой ученых ЕГИ являлось представление о формировании урожая, как сложного процесса, имеющего вместе с тем две главные детерминистические составляющие, обусловленные, с одной стороны, изменениями агротехники и технологии возделывания сельскохозяйственных культур, а с другой – долговременными климатическими трендами и характером межгодовых погодных колебаний [4, 5].

В качестве сценариев будущего климата были взяты палеоклиматические аналоги глобального потепления на 2 и 3–4 °С (к 2025 и 2050 гг.).

С использованием методологии В. П. Якушева и Е. Е. Жуковского [6] также были оценены риски сельхозпроизводителей при разных климатических обстоятельствах и изменениях урожайности зерновых сельхозкультур.

Результаты исследований

Анализируя картограммы, приведенные на рис. 1 и 2, следует отметить, что изменение урожайности пшеницы, с одной стороны, существенно трансформируется при переходе от одного региона к другому, а с другой – имеет строгую разделительную границу,

где это изменение нулевое. Зависит это изменение и от типа сельскохозяйственной культуры – яровая это культура или озимая.

Глобальное потепление по сценарию циркуляции Атмосферы GFDL в целом благоприятно скажется на урожайности зерновых культур в Волгоградской области. Особенно это прогнозируется у озимой пшеницы (урожайность может увеличиться на 31–37 %). У яровой пшеницы этот показатель от +6 до +20 %. Таким образом, в Волгоградской области по этому сценарию можно предполагать повышение средней урожайности пшеницы на 23,0 % (при условии, что клин яровой и озимой пшеницы одинаков).

Что касается сценария глобального изменения климата UKMO, то он в целом для Волгоградской области неблагоприятен. В этом случае прогнозируется снижение урожайности яровой пшеницы на 30–36 %, озимой – на 10 %. Таким образом, при условии равенства ярового и озимого, клина, среднее снижение урожайности составит 22 %.

Полученные по отмеченным сценариям результаты из-за их неоднозначности затрудняют составление точного прогноза, но убедительно говорят о том, что изменение климата более благоприятно скажется на озимых культурах. Несомненно, что глобальное изменение климата определенным образом затронет сельхозпроизводство, его эффективность.

Учитывая отмеченное обстоятельство, с использованием методологии В. П. Якушева и Е. Е. Жуковского [6], нами сделана попытка оценить риски

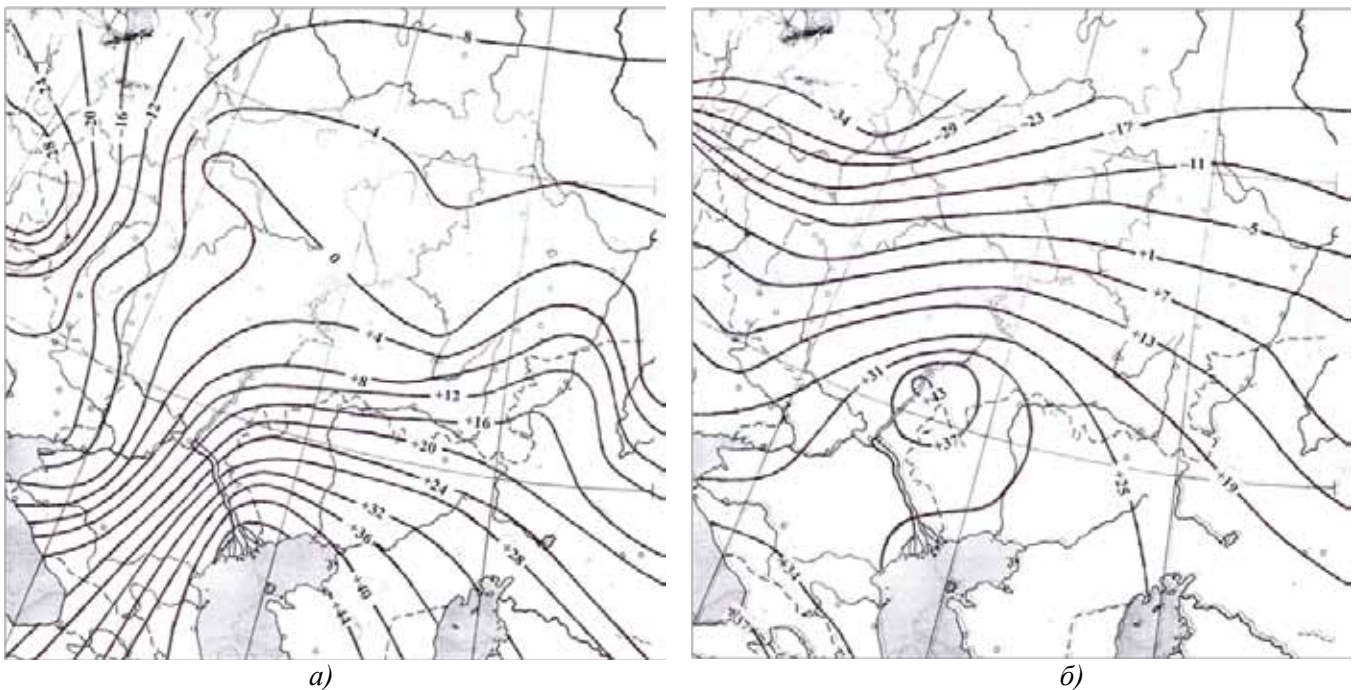


Рис. 1. Прогнозируемые изменения урожайности зерновых культур (%) по сценарию изменения климата GFDL на европейской территории России и ближнего зарубежья: а) – яровая пшеница; б) – озимая пшеница; 6, 12, 24... – % изменения урожайности сельхозкультур; (+) – прибавка урожайности (%); (-) – снижение урожайности (%)
 Fig. 1. Projected changes in cereal crop yields (%) according to the climate change scenario GFDL on the European territory of Russia and neighboring countries: а) – spring wheat; б) – winter wheat; 6, 12, 24... – % change in yield of crops; (+) – yield increase (%); (-) – decrease in yield (%)

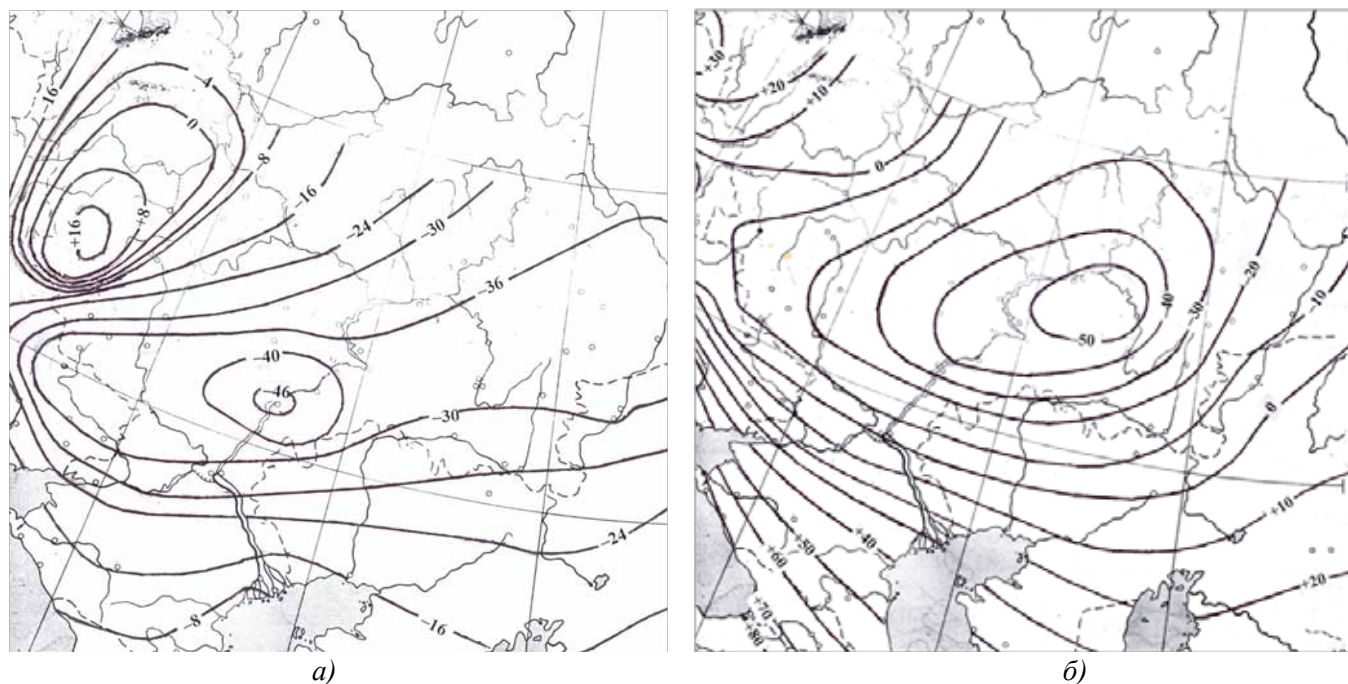


Рис. 2. Прогнозируемые изменения урожайности зерновых культур (%) по сценарию изменения климата UKMO на европейской территории России и ближнего зарубежья: а) – яровая пшеница; б) – озимая пшеница; 6, 12, 24... – % изменения урожайности сельхозкультуры; (+) – прибавка урожайности (%); (-) – снижение урожайности (%)
 Fig. 2 Projected changes in cereal crop yields (%) according to the climate change scenario UKMO on the European territory of Russia and neighboring countries: a) – spring wheat; b) – winter wheat; 6, 12, 24... – % change in crop yield; (+) – increase in yield (%); (-) – decrease in yield (%)

сельхозпроизводителей Волгоградской области при тех или иных климатических обстоятельствах и изменениях урожайности зерновых сельскохозяйственных культур. При этом предполагалось, что повторяемость различной урожайности зерновых сельскохозяйственных культур в значительном временном периоде подчиняется Гауссовскому закону. Вместе с тем, учитывалось, что урожайность зерновых сельскохозяйственных культур существенно зависит от сорта и вида сельскохозяйственных культур, используемых на данном временном этапе, применяемой технологии их выращивания и количества вносимых удобрений.

Анализ средней урожайности зерновых культур в Волгоградской области показал, что характер статистических рядов с 1913 по 1959 гг. и с 1960 по 2005 гг. существенно отличается, что, по нашему мнению связано как раз с отмеченными выше причинами – сортами сельскохозяйственных культур, технологиями возделывания их, количеством вносимых удобрений. Это дало нам основание рассматривать эти выборки раздельно. Расчеты представлены в табл. 1.

Используя значения x_{cp} и n были построены Гауссовские кривые (1) и (2) (рис. 3). На этом же рисунке показано еще четыре Гауссовских распределения со смещением влево и вправо на 3 и 2 единицы урожайности сельскохозяйственной культуры. Это связано, с одной стороны, с отмеченными выше прогнозами изменения урожайности в связи с глобальным изменением климата, а с другой – с мелиоративным

влиянием лесных полос при этом. Закладывался следующий подход при определении смещения кривых распределения. Исходя из того, что при сценарии увеличения урожайности пшеницы на 23 % (сценарий GFDL) и уменьшения ее на 22 % (сценарий UKMO), учитывая, что средняя взвешенная урожайность пшеницы в 1960–2005 гг. составляет 13 ц/га, смещение будет равно $13 \cdot (0,23 \div 0,22) = 2,99 \div 2,86$ ц/га \approx 3 ц/га. Расчеты и данные нормативов прибавок урожайности на лесомелиорированной пашне [7, 8, 9] показали, что средняя прибавка урожайности за период жизни древостоев лесополос составляет 8 %.

За счет лесомелиорации среднемноголетняя урожайность сельскохозяйственных культур может смещаться в положительную сторону (вправо) по оси абсцисс на $13 \cdot 0,08 = 1,04$ ц/га \approx 1 ц/га. С учетом этого, при пессимистичном прогнозе (сценарий UKMO) на лесомелиорируемой территории среднемноголетняя урожайность для периода 1960–2005 гг. составит $13 - 3 + 1,0 = 11$ ц/га. По оптимистичному прогнозу (сценарий GFDL) будем иметь $13 + 3 + 1,0 = 17$ ц/га. На территории, где отсутствуют лесные полосы, эти показатели будут соответственно равны $13 - 3 = 10$ ц/га и $13 + 3 = 16$ ц/га [10].

Для того, чтобы высчитать критическую область (на рис. 3 заштрихованная область) при различных распределениях, необходимо знать текущие значения повторяемостей различной урожайности сельскохозяйственных культур в этой области. Эта проблема легко решается, если кривые распределения подчи-

Таблица 1
Расчет параметров распределения урожайности зерновых культур в Волгоградской области
 Table 1
The calculation of the distribution parameters of the yield of grain crops in the Volgograd region

Интервал урожайности, ц/га <i>Interval yield, dt/ha</i>	Средняя величина урожайности, ц/га <i>Average yield value, dt/ha</i>	Повторяемость <i>Repeatability</i>	Произведение <i>Product</i>	Отклонения <i>Deviation</i>	Квадрат отклонения <i>Squared deviation</i>	Произведение квадрата отклонения на повторяемость <i>The product of the square of deviations for repeatability</i>
1913–1959 гг.						
x	x _{ср}	n	x _{ср} · n	(x - \bar{x})	(x - \bar{x}) ²	(x - \bar{x}) ² n
0,1–2,27	1,14	7	8	-3,56	12,67	88,69
2,28–4,54	3,41	17	58	-1,29	1,66	28,22
4,55–6,81	5,68	15	85,2	+0,98	0,96	14,40
6,82–9,08	7,95	6	47,7	+3,25	10,56	63,36
9,09–11,35	10,22	1	10,22	+5,52	30,47	30,47
11,36–13,60	12,48	1	12,48	+7,78	60,53	60,53
		Σ 47	Σ 221,6 \bar{x} = 4,7			Σ 285,67 Σ = 2,47
1960–2005 гг.						
2–5	3,5	2	7,0	-9,5	90,25	180,5
5,1–9,0	7,0	5	35	-6,0	36,0	180,0
9,1–12,0	10,5	8	84	-2,5	6,25	50,0
12,1–15,0	13,5	13	175,5	+0,5	0,25	3,25
15,1–18,0	16,5	8	132,0	+3,5	12,25	98,0
18,1–21,0	19,5	5	97,5	+6,5	42,25	211,25
21,1–24,0	22,5	0	0	+9,5	90,25	0
		Σ 41	Σ 531 \bar{x} = 13			Σ 722,5 Σ = 4,2

няются законам Гаусса. В этом случае значения (n) можно рассчитывать по формуле вида:

$$n_j = n_{ср,i} \exp\left[-\frac{(x_j^2)}{(2\sigma^2)}\right], \quad (1)$$

где n_{ср,i} – повторяемость средних значений различной выборки, представленной на рис. 3; x_j – отклонения текущей урожайности сельскохозяйственных культур от ее среднего значения; σ – стандартное отклонение.

Для автоматизации определения рисков, под которыми понимаются заштрихованные площади под Гауссовскими кривыми распределения, была создана

специальная компьютерная программа с использованием приведенного уравнения и метода подсчета площадей, предложенного Симпсоном. Сделанные с помощью этой программы расчеты для Волгоградской области, с учетом отмеченных выше сценариев глобального изменения климата, результаты которых приведены в табл. 2, показали, что в период с 1960 по 2005 гг. по сравнению с периодом 1913–1959 гг. риск снизился и составил 0,0055 (т. е. в 18,2 раз).

Это произошло, по-видимому, за счет увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, связанного с внедрением новых сортов и технологий, а также внесения больших объемов удобрений.

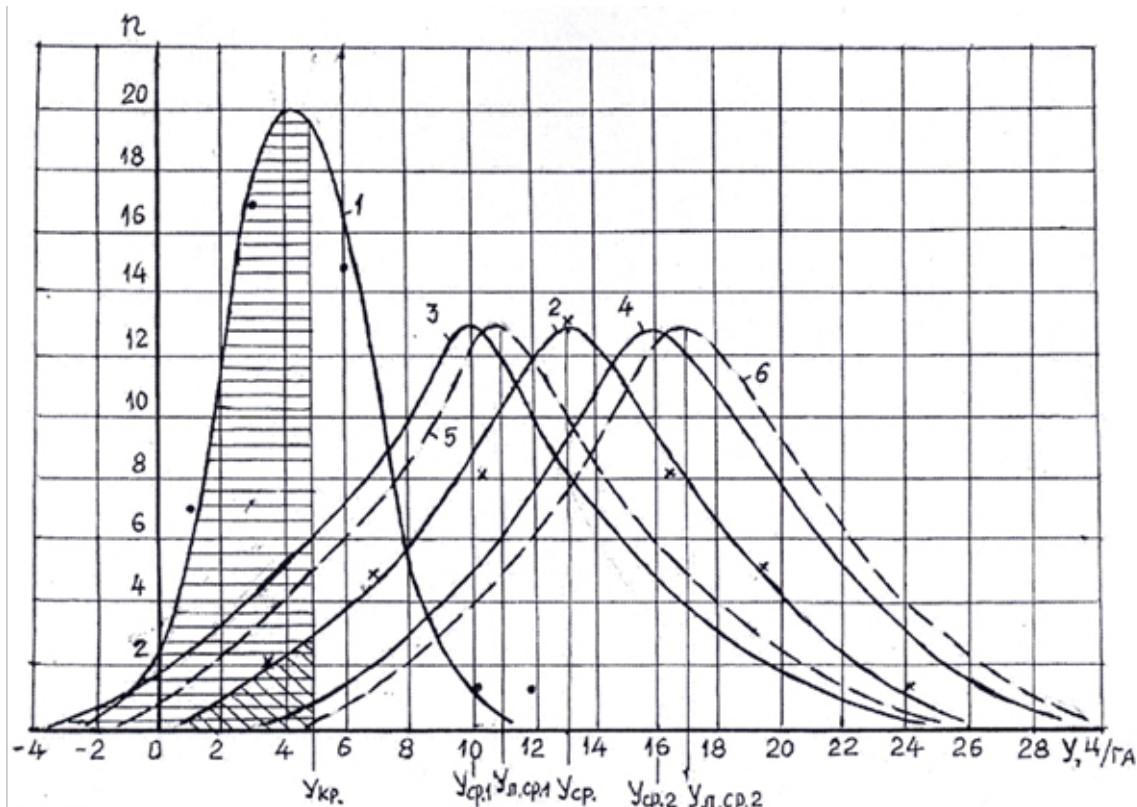


Рис. 3. Повторяемость урожайности зерновых сельхозкультур и риски сельхозпроизводства в Волгоградской области в период 1913–1959 гг. (1) и 1960–2005 гг. (2), а также сдвиги их с учетом сценариев циркуляции атмосферы GFDL (4, 6) и UKMO (3, 5) 3,4 – без лесных полос; 5, 6 – с лесными полосами

Fig. 3. The recurrence of crop yields and the risks of agricultural in the Volgograd region between 1913–1959 (1) and 1960–2005 (2) as well as their shifts considering the atmospheric circulation scenarios of GFDL (4, 6) and UKMO (3, 5) 3, 4 – without forest strips; 5, 6 – with forest strips

Таблица 2

Риски и их изменение по периодам и в связи со сценариями глобального изменения климата в Волгоградской области

Table 2

The risks and changes in the periods and scenarios of global climate change in the Volgograd region

№ п/п No.	Вариант вероятностного распределения урожайности сельхозкультур <i>Variant of probability distribution of crop yields</i>	Изменение риска в период с 1960 по 2005 гг. по сравнению с периодом с 1913 по 1959 гг. <i>Risk changes in the period from 1960 to 2005, compared with the period from 1913 to 1959</i>	Изменение риска в связи с изменением климата с использованием базы по урожайности периода с 1960 по 2005 гг. <i>The change in risk associated with climate change using a database of yields between 1960 and 2005</i>
1.	С 1913 по 1959 гг. <i>From 1913 to 1959</i>	0,055 (снижение в 18,2 раз) <i>0.055 (reduction in 18.2 times)</i>	-
2.	С 1960 по 2005 гг. <i>From 1960 to 1959</i>		-
3.	Сдвиг кривой вероятности на 3 ц/га влево (пессимистический прогноз): <i>Shift of the probability curve by 3 dt/ha to the left (pessimistic forecast):</i> – без учета лесомелиорации <i>– without regard to forest reclamation</i>	-	увеличение в 4,27 раз <i>increase in 4.27 times</i>
	– с учетом лесомелиорации <i>– considering forest reclamation</i>	-	увеличение в 2,78 раза <i>increase 2.78 times</i>
4.	Сдвиг кривой вероятности на 3 ц/га вправо (оптимистический прогноз): <i>Shift of the probability curve by 3 dt/ha to the right (optimistic forecast):</i> – без учета лесомелиорации <i>– without regard to forest reclamation</i>	-	0.12 (снижение в 8,3 раз) <i>0.12 (reduction 8.3 times)</i>
	– с учетом лесомелиорации <i>– considering forest reclamation</i>	-	0,029 (снижение в 34,5 раза) <i>0.029 (decrease of 34.5 times)</i>

Выводы

Оценивая роль лесной мелиорации можно сказать следующее. В пессимистичном прогнозе роль лесных полос составляет 55 %, а в оптимистичном – 83 %. Что касается рисков, связанных с изменением климата, то они зависят от прогнозируемого сценария развития этого изменения. В пессимистичном прогнозе, в варианте без лесных полос произойдет

возрастание рисков в 4,27 раз по сравнению с рисками периода 1960–2005 гг. На лесомелиорированной пашне риск в этом случае также возрастет, но повышение его будет только в 2,78 раза. В оптимистичном прогнозе в варианте без лесных полос произойдет снижение риска, который составит 0,12 (т. е. снизится в 8,3 раз), а в варианте с лесными полосами он не превысит значения 0,029, т. е. практически его не будет (снижение составит 34,5 раза).

Литература

1. Набойченко К. В., Куликова Н. А. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от сроков посева и почвенно-климатических условий // Актуальные направления научных исследований в АПК: от теории к практике : сб. мат. Нац. науч.-практ. конф. Волгоград, 2017. С. 66–70.
2. Набойченко К. В., Малахова А. А. Оценка урожайности перспективных сортономеров озимой пшеницы центра селекции и семеноводства ВолГАУ // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО : мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию образования ВолГАУ. Волгоград, 2014. С. 130–132.
3. Васильев Ю. И., Турко С. Ю. К вопросу о прибавке урожайности озимой пшеницы на лесомелиорированной территории и возникновении определенных рисков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 3(59). С. 68–73.
4. Сажин А. Н., Кулик К. Н., Васильев Ю. И. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. 306 с.
5. Сарычев А. Н. формирование урожая озимой пшеницы в условиях агролесоландшафта // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 1(45). С. 21–23.
6. Якушев В. П., Жуковский Е. Е. Анализ рисков – как основа оценки последствий изменения климата в земледелии // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 5. С. 54–57.
7. Васильев Ю. И., Турко С. Ю. Общие положения планирования фермерского хозяйства // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 3. С. 12–13.
8. Васильев Ю. И., Турко С. Ю., Овечко Н. Н. Математическое моделирование многолетнего варьирования урожайности озимой пшеницы на открытом и облесенном пространстве // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2016. № 1. С. 38–41.
9. Овчинников А. С., Литвинов Е. А., Васильев Ю. И. и др. Частные землепользования в России и за рубежом, перспективы их рационализации и оптимизации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса наука и высшее образование. 2016. № 2(42). С. 282–290.
10. Сажин А. Н., Васильев Ю. И., Чичагов В. П. и др. Эоловый морфогенез и современный климат Евразии (ст. 1. Динамика атмосферы, блокирующие и эоловые процессы) // Геоморфология. 2012. № 3. С. 10–20.

References

1. Naboychenko K. V., Kulikova N. A. Winter wheat yield depending on the sowing period and soil and climatic conditions // Current research areas in agriculture: from theory to practice : materials collection of National scientific-practical conference. Volgograd, 2017. P. 66–70
2. Naboychenko K. V., Malakhova A. A. The evaluation yields promising sort numeric winter wheat of the center for plant breeding and seed production of Volgograd State Agrarian University // Scientific basis of the strategy for the development of agriculture and rural areas in the world trade organization : materials of International scientific-practical conference, dedicated to the 70th Anniversary of the Volgograd state agrarian University. Volgograd, 2014. P. 130–132.
3. Vasilyev Yu. I., Turko S. Yu. To the question about the increase of productivity of winter wheat on forest reclaimed site and appearance some potential risks // Ways to Improve the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2015. No. 3(59). P. 68–73.
4. Sazhin A. N., Kulik K. N., Vasilyev Yu. I. Weather and climate of Volgograd region. Volgograd : All-Russian Institute of Melioration, 2010. 306 p.
5. Sarychev A. N. The yield formation of winter wheat in the conditions of agroecologica // Proceedings of the Orenburg State Agricultural University. 2014. No. 1(45). P. 22–23
6. Yakushev V. P., Zhukovsky E. E. Risk analysis as a basis for assessing the impacts of climate change in agriculture // Russian Agricultural Sciences. 2009. No. 5. P. 54–57.

7. Vasilyev Yu. I., Turko S. Yu. General provisions of farm planning // Bulletin of the Russian agricultural science. 2015. No 3. P. 12–13.
8. Vasilyev Yu. I., Turko S. Yu., Ovechko N. N. Mathematical modelling of long-term variation of winter wheat yield in open and forest space // Russian Agricultural Sciences. 2016. No 1. P. 38–41.
9. Ovchinnikov A. S., Litvinov E. A., Vasilyev Yu. I. et al. Private land use in Russia and abroad, prospects for their rationalization and optimization // Proceedings of the Lower Volga Agrodiversity Complex Science and Higher Professional Education. 2016. No. 2(42). P. 282–290.
10. Sazhin A. N., Vasilyev Yu. I., Chichaganov V. P. et al. Aeolian morphogenesis and recent climate of Eurasia // Geomorphology. 2012. No. 3. P. 10–20.