

# Управление в социально-экономических системах Control in social and economic systems

Научная статья  
УДК 553.04 + 004.942  
DOI: 10.14529/ctcr220209

## УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПЕРМСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

**А.В. Затонский**, [z Xenon@narod.ru](mailto:z Xenon@narod.ru)  
**Н.А. Сиротина**, [nsiroтина117@mail.ru](mailto:nsiroтина117@mail.ru)

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Березниковский филиал, Березники, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме управления природно-ресурсным потенциалом на основе конечно-разностной модели 2-го порядка. В проведенных ранее исследованиях было установлено, что управление природно-ресурсным потенциалом с использованием конечно-разностных моделей позволяет получить качественные прогнозы в сравнении с традиционно используемыми линейными множественными моделями. **Цель работы.** Целью данной работы является построение конечно-разностной модели комплексного показателя природно-ресурсного потенциала второго порядка на основании статистических данных и оценка ее прогностических свойств на примере Пермского края. **Материалы и методы.** Конечно-разностная модель второго порядка была получена путем добавления в модель множественной линейной регрессии авторегрессионных слагаемых первого и второго порядков. На основании трендов был выполнен прогноз факторов и рассчитаны соответствующие модельные значения. Возможность управления факторами, определяющими ПРП, была установлена на основании их качественного анализа. Оценки влияния изменения факторов на уровень ПРП была произведена путем увеличения и уменьшения прогнозных значений выбранных управляемых и неуправляемых факторов на 5 %. Выработана система рекомендаций для регионального правительства по управлению природно-ресурсным потенциалом Пермского края на 2019 и 2020 гг. **Результаты исследования.** Выявлено, что в течение обоих прогнозных периодов отрицательная динамика ПРП в результате снижения неконтролируемых факторов – уменьшение на 0,01 в 2019 г. и на 0,02 в 2020 г. – компенсируется его положительной динамикой в результате роста контролируемых факторов – ростом на 0,15 в 2019 г. и на 0,16 в 2020 г. Поскольку увеличение управляемых факторов на 5 % позволяет существенно увеличить ПРП, то для компенсации отрицательного влияния неуправляемых факторов достаточно роста управляемых факторов менее чем на 5 %. **Обсуждение и заключение.** Полученные результаты позволяют утверждать, что использование конечно-разностной модели второго порядка позволяет осуществлять эффективное управление уровнем природно-ресурсного потенциала региона.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, природно-ресурсный потенциал, конечно-разностная модель, прогнозирование, система рекомендаций

**Для цитирования:** Затонский А.В., Сиротина Н.А. Управление природно-ресурсным потенциалом Пермского края на основе конечно-разностной модели второго порядка // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 2. С. 96–106. DOI: 10.14529/ctcr220209

## MANAGEMENT OF THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF THE PERM REGION ON THE BASIS OF A SECOND-ORDER FINITE-DIFFERENCE MODEL

A.V. Zatonkiy, [zxeon@narod.ru](mailto:zxeon@narod.ru)

N.A. Sirotina, [nsirotina117@mail.ru](mailto:nsirotina117@mail.ru)

Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the problem of natural resource potential management based on a finite-difference model of the 2nd order. In previous studies, it was found that the management of natural resource potential using finite-difference models allows us to obtain qualitative forecasts in comparison with the traditionally used linear multiple models. **Purpose of work.** The purpose of this work is to build a finite-difference model of a complex indicator of the second-order natural resource potential based on statistical data and to evaluate its predictive properties on the example of the Perm Region. **Materials and methods.** The second-order finite-difference model was obtained by adding autoregressive terms of the first and second orders to the multiple linear regression model. Based on trends, a forecast of factors was made and the corresponding model values were calculated. The ability to control the factors determining the PRP was established on the basis of their qualitative analysis. Estimates of the impact of changes in factors on the level of PRP were made by increasing and decreasing the forecast values of the selected controlled and uncontrolled factors by 5%. A system of recommendations for the regional government on the management of the natural resource potential of the Perm Region for 2019 and 2020 has been developed. **The results of the study.** It was revealed that during both forecast periods, the negative dynamics of the PRP as a result of a decrease in uncontrolled factors – a decrease of 0.01 in 2019. and by 0.02 in 2020. it is compensated by its positive dynamics as a result of the growth of controlled factors – an increase of 0.15 in 2019 and 0.16 in 2020. Since an increase in controlled factors by 5% allows for a significant increase in PRP, an increase in controlled factors by less than 5% is sufficient to compensate for the negative impact of unmanaged factors. **Discussion and conclusion.** The results obtained allow us to assert that the use of a second-order finite-difference model makes it possible to effectively manage the level of the natural resource potential of the region.

**Keywords:** mathematical modeling, natural resource potential, finite difference model, forecasting, recommendation system

**For citation:** Zatonkiy A.V., Sirotina N.A. Management of the natural resource potential of the Perm region on the basis of a second-order finite-difference model. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(2):96–106. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220209

### Введение

Рациональное использование природных ресурсов является необходимым условием эффективного управления устойчивым региональным развитием. Комплексным показателем совокупности региональных природных ресурсов является природно-ресурсный потенциал. Кризисные явления, характерные для социально-экономических систем в современных условиях, выражаются в негативных тенденциях и цикличности. Для их коррекции необходимо обеспечить качественное управление региональным природно-ресурсным потенциалом (ПРП). Это будет способствовать инвестиционной привлекательности субъекта, более динамичному экономическому росту, а также позволит установить целесообразность того или иного вида хозяйственной деятельности.

### 1. Обзор литературы

В работе [1] предпринята попытка оценить влияние природных ресурсов на международную торговлю и финансовое развитие территорий, однако данный анализ осуществлен на макроуровне, а указанный в статье метод статистического анализа панельных данных предполагает составную структуру объекта исследования (например, регионы Федерального округа) и не может быть использован на уровне единичного объекта. Ряд авторов разрабатывают вопрос эффективного

освоения и управления ПРП посредством моделирования инвестиционных денежных потоков на примере различных стран и регионов: Африки [2], Таджикистана [3], Китая [4]. Для комплексного изучения ПРП и управления его отдельными элементами достаточно широко распространено использование геоинформационно-аналитических систем (ГИС). Так, в [5] для целей эффективного управления природными ресурсами рассматривается применение ГИС на территории Индии, в [6] показана роль дисциплины GIScience в информационной и методологической поддержке исследований в области природных ресурсов и окружающей среды, а в [7] автором предпринята попытка комплексной оценки природного богатства Пермского края.

Методы математического моделирования широко применимы для моделирования и прогнозирования, а, следовательно, и управления природными ресурсами территории. Так, в работе [8] осуществлен обзор имеющихся математических моделей поддержки принятия решений с целью повышения устойчивого развития сельского хозяйства в развивающихся странах. Авторы заключили, что принятие решений по землепользованию с целью повышения устойчивости сельского хозяйства и эффективности использования ресурсов на основе математических моделей обладает большим потенциалом по сравнению с использованием традиционных моделей. В исследовании [9] разработана модель рыночного равновесия на основе смешанного комплементарного программирования (МСП) для оценки безопасности поставок газа в Китае. Работа [10] посвящена оптимизационным динамическим моделям невозобновимых природных ресурсов. В [11] автор предпринял попытку разработки обобщенной модели оценки общей технико-экономической и экологической эффективности переработки металлосодержащих техногенных ресурсов Грузии, основанной на специально усовершенствованной для этой цели математической модели анализа точки безубыточности. Однако при этом рассматриваются только отдельные виды ресурсов, что является неприменимым для большей части регионов ввиду наличия большого их количества.

В работе [12] исследуется роль лесной биомассы в борьбе с бронхитом у населения, вызванным урбанизацией. Для этой цели авторами сформулирована нелинейная математическая модель, учитывающая интерактивную динамику между лесной биомассой, населением и загрязнением окружающей среды. Разработанная модель качественно проанализирована для существования и устойчивости ее различных состояний равновесия с использованием теории устойчивости дифференциальных уравнений.

Авторами в [13] разработана многокритериальная многофакторная нечеткая модель для оптимизации распределения земельных и водных ресурсов в условиях риска. Подобные методы эффективны для решения слабо формализуемых задач, однако зачастую требуют разработки соответствующего программного обеспечения и специфического математического инструментария. В [14] авторы используют стохастические детерминированные модели для оценки влияния осадков на лесные ресурсы. Авторы в [15] оценивают экономическое региональное развитие территории с помощью системы дифференциальных уравнений. Важно отметить, что детерминированные факторные модели в основном используются для моделирования и прогнозирования физических и технических систем, а поведение сложных экономических и социально-экономических систем не всегда адекватно описывают.

Достаточно распространенным подходом к управлению природными ресурсами является моделирование с целью нивелирования воздействий на окружающую среду. В [16] в рамках постановки и решения задачи линейного программирования предпринята попытка оценки результативности мероприятий по восстановлению окружающей природной среды. Авторы в [17] исследуют вопросы моделирования с целью контроля в сфере истощения запасов природных ресурсов. В работе [18] авторы предложили методику математического моделирования с целью управления отходами и ресурсами с использованием комплексного подхода.

Проведенный обзор имеющихся работ позволил установить, что вопрос управления природно-ресурсным потенциалом разработан недостаточно. Значительная часть отечественных работ является неактуальной ввиду давности исследования. Серьезных работ, посвященных изучению ПРП Пермского края, выполненных в течение последних 20 лет, в ходе проведенного обзора обнаружить не удалось. При этом оперативное планирование при использовании природных богатств органами власти является интересной задачей как с теоретической, так и прикладной точек зрения, поскольку ее решение позволяет обеспечить устойчивое развитие региона. Для управления ПРП на практике необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать математическую модель природно-ресурсного потенциала региона;
- 2) осуществить сбор экономико-статистических данных на примере конкретного региона;
- 3) выполнить построение разработанной математической модели на примере конкретного региона;
- 4) проанализировать возможности лиц, принимающих решения (ЛПР) по противодействию негативным тенденциям неуправляемых факторов, определяющих уровень ПРП, путем варьирования управляемыми факторами на примере конкретного региона.

## 2. Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбран ПРП Пермского края. Целесообразно оценить влияние изменения управляемых и неуправляемых факторов на его величину и выработать систему рекомендаций по краткосрочному управлению им с целью компенсации негативных тенденций определяющих его факторов. Для этого необходимо:

- выполнить краткосрочный прогноз факторов, определяющих ПРП Пермского края (на 1 год);
- вычислить соответствующее прогнозное значение ПРП Пермского края (центральную точку прогноза);
- проанализировать факторы, определяющие ПРП Пермского края, и оценить их с точки зрения управляемости;
- выбрать по два наиболее значимых для региона управляемых и неуправляемых фактора;
- вычислить абсолютные значения выбранных факторов при их увеличении и уменьшении на 5 %;
- рассчитать значения ПРП при различных комбинациях значений управляемых и неуправляемых факторов, оценить, компенсируют ли положительные изменения управляемых факторов негативные изменения неуправляемых;
- в случае если рассмотренные изменения управляемых факторов не позволяют компенсировать изменения неуправляемых, соответствующие значения следует подобрать «вручную»;
- на основании полученных расчетов разработать рекомендации по управлению ПРП Пермского края для лиц, принимающих решения.

Изучение имеющейся статистической информации в открытых источниках позволило установить набор показателей, определяющих уровень ПРП Пермского края на временном интервале с 2008 по 2018 г. (табл. 1).

**Факторы ПРП Пермского края**  
**Natural resource potential factors for the Perm region**

Таблица 1  
Table 1

№	Обозначение	Наименование
1	$X_1$	Посевные площади сельскохозяйственных культур, тыс. га
2	$X_2$	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.
3	$X_3$	Инвестиции в основной капитал предприятий, млн руб.
4	$X_4$	Внесение удобрений: минеральные удобрения, тыс. т
5	$X_5$	Внесение удобрений: органические удобрения, тыс. т
6	$X_6$	Стоимость основных фондов на конец года, млн руб.
7	$X_7$	Лесовосстановление, тыс. га
8	$X_8$	Число предприятий и организаций на конец года
9	$X_9$	Цена нефти Brent (среднегодовое значение), USD за баррель
10	$X_{10}$	Экспорт продукции ТЭК, млн USD

Ранее было установлено [19], что для прогнозирования социально-экономических процессов модели с авторегрессионными слагаемыми различных порядков (в частности конечно-разностные модели первого и второго порядков, КРМ-1 и КРМ-2) позволяют получить более ка-

чественные прогнозы по сравнению с традиционно используемыми линейными множественными моделями (ЛММ).

На основании статистических данных по Пермскому краю за 2008–2018 гг. в [20] нами установлено, что наилучшее качество прогнозирования обеспечивает набор факторов  $X_1, X_2, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$ , а уравнения КРМ-1 и КРМ-2 имеют вид соответственно:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{КРМ-1}}(t_k) &= -1,683 + (-0,894 + 1) \cdot Y_{\text{КРМ-1}}(t_{k-1}) + 1,950 \cdot X_1(t_k) - 0,844 \cdot X_2(t_k) + 0,192 \cdot X_4(t_k) + \\
 &+ 1,819 \cdot X_6(t_k) - 0,807 \cdot X_7(t_k) + 1,483 \cdot X_8(t_k) + 1,112 \cdot X_9(t_k) + 0,338 \cdot X_{10}(t_k) = \\
 &= -1,683 + 0,106 \cdot Y_{\text{КРМ-1}}(t_{k-1}) + 1,950 \cdot X_1(t_k) - 0,844 \cdot X_2(t_k) + 0,192 \cdot X_4(t_k) + \\
 &+ 1,819 \cdot X_6(t_k) - 0,807 \cdot X_7(t_k) + 1,483 \cdot X_8(t_k) + 1,112 \cdot X_9(t_k) + 0,338 \cdot X_{10}(t_k)
 \end{aligned} \quad (1)$$

и

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{КРМ-2}}(t_k) &= -1,270 + (-1,781 - 0,349 + 2) \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-1}) - (1 - 0,349) \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-2}) + \\
 &+ 0,108 \cdot X_1(t_k) + 1,216 \cdot X_2(t_k) - 0,176 \cdot X_4(t_k) + 2,567 \cdot X_6(t_k) + 0,389 \cdot X_7(t_k) + \\
 &+ 0,361 \cdot X_8(t_k) + 0,009 \cdot X_9(t_k) + 0,166 \cdot X_{10}(t_k) = -1,270 - 0,130 \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-1}) + \\
 &+ 0,651 \cdot Y_{\text{КРМ-2}}(t_{k-2}) + 0,108 \cdot X_1(t_k) + 1,216 \cdot X_2(t_k) - 0,176 \cdot X_4(t_k) + 2,567 \cdot X_6(t_k) + \\
 &+ 0,389 \cdot X_7(t_k) + 0,361 \cdot X_8(t_k) + 0,009 \cdot X_9(t_k) + 0,166 \cdot X_{10}(t_k).
 \end{aligned} \quad (2)$$

Погрешности прогнозирования с использованием КРМ, как правило, существенно ниже, чем с использованием ЛММ (табл. 2).

Погрешности прогнозирования ПРП Пермского края

Таблица 2

Table 2

Perm region natural resource potential forecasting errors

Временной интервал	Модель	Постпрогноз 1 год	Постпрогноз 2 года	
			1-й год	2-й год
2008–2018 гг.	ЛММ	100	100	100
	КРМ-1	65,55	-29,77	83,21
	КРМ-2	68,73	-16,29	45,52

При прогнозировании на 2 года вперед целесообразно рассмотреть качество прогнозов на 1 и 2 года. Прогнозы КРМ на 1 год обладают лучшим качеством по сравнению с ЛММ лишь в половине случаев:

– при прогнозировании на один год вперед на временном интервале 2008–2018 (на 2018 г. по данным 2008–2017 гг.) прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 2018 г. лучше ЛММ-прогноза на 34,45 и 31,27 % соответственно;

– при прогнозировании на 2 года вперед на временном интервале 2008–2018 гг. прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 1 год (на 2017 г. по данным 2008–2016 гг.) существенно лучше ЛММ-прогноза (на 70,23 и 83,71 % по абсолютной величине соответственно); прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 2 года вперед (на 2018 г. по данным 2008–2016 гг.) существенно лучше ЛММ-прогноза (на 16,79 и 54,48 % по абсолютной величине соответственно).

Таким образом, прогнозирование с использованием КРМ-2 на 2 года позволяет сократить погрешность прогнозирования более чем вдвое по сравнению с погрешностью прогнозирования ЛММ. Поскольку точность прогноза КРМ-2 выше, чем КРМ-1, расчеты для целей дальнейшего исследования будем выполнять на основании КРМ-2.

### 3. Результаты исследования

Для построения краткосрочного прогноза ПРП на 2019 и 2020 гг. в соответствии с полученными уравнениями (1) и (2) необходимы соответствующие прогнозные значения факторов. Выполним их прогноз на основании 4–5-летних трендов (табл. 3).

Таблица 3

Прогнозные значения факторов на 2019–2020 гг.

Table 3

Forecast values of factors for 2019–2022

№	Фактор	Метод прогноза	Прогноз на 2019 г. ( $t_k = 6$ )	Прогноз на 2020 г. ( $t_k = 7$ )
1	$X_1$	$X_1(t_k) = 0,0459 \cdot t_k - 0,0234$	0,2520	0,2979
2	$X_2$	$X_2(t_k) = -0,1574 \cdot t_k + 0,8362$	-0,1082	-0,2656
3	$X_4$	$X_4(t_k) = 0,1341 \cdot t_k + 0,0523$	0,8569	0,991
4	$X_6$	$X_6(t_k) = 0,1131 \cdot t_k + 0,4533$	1,1319	1,2450
5	$X_7$	$X_7(t_k) = 0,1670 \cdot t_k + 0,1485$	0,9203	1,0026
6	$X_8$	$X_8(t_k) = -0,1134 \cdot t_k + 1,0023$	0,3219	0,2085
7	$X_9$	$X_9(t_k) = 0,1985 \cdot t_k - 0,2164$ , $t_4 = 2019, t_5 = 2020$	0,5776	0,7761
8	$X_{10}$	$X_{10}(t_k) = 0,0744 \cdot t_k + 0,2233$ , $t_4 = 2019, t_5 = 2020$	0,5209	0,5953
9	$Y_{КРМ-2}(t_k = 12)$	В соответствии с уравнением (2)	1,2513	1,2316

Возможность управления факторами, определяющими ПРП, может быть установлена на основании их качественного анализа. Так, к управляемым факторам в (1) и (2) можно отнести:

$X_1$  – посевные площади сельскохозяйственных культур, тыс. га;

$X_3$  – инвестиции в основной капитал предприятий, млн руб.;

$X_4$  – внесение минеральных удобрений, тыс. т;

$X_5$  – внесение органических удобрений, тыс. т;

$X_6$  – стоимость основных фондов на конец года, млн руб.;

$X_7$  – лесовосстановление, тыс. га.

К неуправляемым факторам относятся:

$X_2$  – среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.;

$X_8$  – число предприятий и организаций на конец года;

$X_9$  – цена нефти Brent (среднегодовое значение), USD за баррель;

$X_{10}$  – экспорт продукции ТЭК, млн USD.

Возможность оперативного управления размерами посевных площадей ( $X_1$ ) определяется активно реализуемыми программами поддержки сельхозпроизводителей на территории Пермского края в рамках реализации стратегии импортозамещения. Стоимость объектов основных средств является одним из основополагающих факторов экономики, главной составляющей процесса хозяйственной деятельности, иллюстрирующих успешность функционирования организаций (от эффективности их использования зависит качество, количество производимой продукции или оказанных услуг, а также их конкурентоспособность), кроме того, поэтому целесообразно выбрать в качестве управляющего фактора  $X_6$ . Фактором  $X_4$  (внесение минеральных удобрений) управлять невозможно в силу того, что соответствующий коэффициент имеет нулевое значение. Фактор лесовосстановления ( $X_7$ ) является одним из важнейших для целей обеспечения устойчивого развития региона, данный вид деятельности в Пермском крае активно реализуется на практике, однако эффект от него не может быть получен в краткосрочной перспективе. Таким образом, в качестве управляемых факторов выбраны  $X_1$  и  $X_6$ .

Наиболее значимыми неуправляемыми факторами являются:  $X_2$  – среднегодовая численность занятых в экономике и  $X_9$  – цена нефти Brent. Показатель численности занятых в большей степени определяется экономической конъюнктурой и социальной ответственностью бизнеса и в меньшей степени – политикой региональных властей, соответственно, управление им затруднительно. Стоимость нефти определяется взаимодействием мирового спроса и предложения, на ее уровень до определенной степени могут повлиять федеральные, но не региональные власти. При этом значимость нефтяной отрасли для бюджета региона весьма существенна, а производство нефти является одним из значимых и относительно редких краевых ресурсов.

Для оценки влияния изменения факторов на уровень ПРП рассчитаем увеличение и уменьшение прогнозных значений выбранных управляемых и неуправляемых ПРП факторов на 5 % (табл. 4).

Таблица 4

Изменение уровней определяющих факторов на 5 % в 2019 и 2020 гг.

Table 4

Change in the levels of determining factors by 5 % in 2019 and 2020

Фактор	$X - 5 \%$	$X$	$X + 5 \%$
$X_1$ (2019)	0,2394	0,2520	0,2646
$X_1$ (2020)	0,2830	0,2979	0,3128
$X_2$ (2019)	-0,1136	-0,1082	-0,1028
$X_2$ (2020)	-0,2789	-0,2656	-0,2523
$X_6$ (2019)	1,0753	1,1319	1,1885
$X_6$ (2020)	1,1828	1,2450	1,3073
$X_9$ (2019)	0,5487	0,5776	0,6065
$X_9$ (2020)	0,7373	0,7761	0,8149

Их наличие позволяет определить соответствующие уровни ПРП по каждому из уравнений (1) и (2) (табл. 5, 6).

Таблица 5

КРМ-2 прогнозы ПРП при малых изменениях неуправляемых факторов

Table 5

CRM-2 forecasts of PRP with small changes in uncontrolled factors

	КРМ-2 2019 ( $t_k = 12$ )			КРМ-2 2020 ( $t_k = 13$ )		
	$X_2 - 5 \%$	$X_2$	$X_2 + 5 \%$	$X_2 - 5 \%$	$X_2$	$X_2 + 5 \%$
$X_9 - 5 \%$	1,2445 (-0,55 %)	1,2511 (-0,02 %)	1,2577 (0,50 %)	1,2151 (-1,34 %)	1,2313 (-1,28 %)	1,2474 (1,28 %)
$X_9$	1,2448 (-0,53 %)	1,2513	1,2579 (0,53 %)	1,2155 (-1,31 %)	1,2316	1,2478 (1,31 %)
$X_9 + 5 \%$	1,2450 (-0,50 %)	1,2516 (0,02 %)	1,2582 (0,55 %)	1,2158 (-1,28 %)	1,2320 (0,03 %)	1,2481 (1,34 %)

Поскольку положительной динамикой ПРП является рост, то наихудший сценарий из рассмотренных соответствует снижению обоих неуправляемых факторов на 5 %, т. е.

$$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 12, X_2 - 5 \%, X_9 - 5 \%) = 1,2445,$$

$$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 13, X_2 - 5 \%, X_9 - 5 \%) = 1,2151.$$

Тогда снижение уровня ПРП относительно его центральных точек прогноза составит

$$\Delta Y_{\text{КРМ-2}}^{\text{неупр}}(t_k = 12) = 1,2445 - 1,2513 = -0,0068,$$

$$\Delta Y_{\text{КРМ-2}}^{\text{неупр}}(t_k = 13) = 1,2151 - 1,2316 = -0,0165.$$

Таблица 6

КРМ-2 прогнозы ПРП при малых изменениях управляемых факторов

Table 6

CRM-2 forecasts of PRP with small changes in controlled factors

	КРМ-2 2019 ( $t_k = 12$ )			КРМ-2 2020 ( $t_k = 13$ )		
	$X_6 - 5 \%$	$X_6$	$X_6 + 5 \%$	$X_6 - 5 \%$	$X_6$	$X_6 + 5 \%$
$X_1 - 5 \%$	1,1047 (-11,72 %)	1,2500 (-0,11 %)	1,3952 (11,50 %)	1,0703 (-13,10 %)	1,2300 (-0,13 %)	1,3898 (12,84 %)
$X_1$	1,1061 (-11,61 %)	1,2513	1,3966 (11,61 %)	1,0719 (-12,97 %)	1,2316	1,3914 (12,97 %)
$X_1 + 5 \%$	1,1074 (-11,50 %)	1,2527 (0,11 %)	1,3980 (11,72 %)	1,0735 (-12,84 %)	1,2332 (0,13 %)	1,3930 (13,10 %)

Поскольку положительной динамикой ПРП является рост, то наилучший сценарий из рассмотренных соответствует росту обоих управляемых факторов на 5 %, т. е.

$$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 12, X_1 + 5\%, X_6 + 5\%) = 1,3980,$$

$$Y_{\text{КРМ-2}}(t_k = 13, X_1 + 5\%, X_6 + 5\%) = 1,3930.$$

Тогда увеличение уровня ПРП относительно его центральной точки прогноза составит

$$\Delta Y_{\text{КРМ-2}}^{\text{упр}}(t_k = 12) = 1,3980 - 1,2513 = 0,1466,$$

$$\Delta Y_{\text{КРМ-2}}^{\text{упр}}(t_k = 13) = 1,3930 - 1,2316 = 0,1614.$$

Очевидно, что в течение обоих прогнозных периодов отрицательная динамика ПРП в результате снижения неконтролируемых факторов (уменьшение на 0,0068 в 2019 г. и на 0,0165 в 2020 г.) компенсируется его положительной динамикой в результате роста контролируемых факторов (ростом на 0,1466 в 2019 г. и на 0,1614 в 2020 г.). Поскольку увеличение управляемых факторов на 5 % позволяет существенно увеличить ПРП, то для компенсации отрицательного влияния неуправляемых факторов достаточно роста управляемых факторов менее чем на 5 %. Так, в 2019 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении стоимости основных фондов на конец периода необходимо увеличение посевных площадей сельскохозяйственных культур на 25,3 %. В 2020 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении стоимости основных фондов на конец периода необходимо увеличение посевных площадей сельскохозяйственных культур на 51,5 %.

В 2019 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении посевных площадей сельскохозяйственных культур необходимо увеличение стоимости основных фондов на конец года на 0,235 %. В 2020 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении посевных площадей сельскохозяйственных культур необходимо увеличение стоимости основных фондов на конец года на 0,516 %.

### Обсуждение и заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Отрицательной динамикой неуправляемых факторов  $X_2$  (среднегодовая численность занятых в экономике) и  $X_9$  (цена нефти Brent) является снижение. При уменьшении факторов на 5 % происходит уменьшение ПРП в соответствии с КРМ-2 на 3,91 % в 2019 г. и на 3,10 % в 2020 г.

2. Положительной динамикой управляемых факторов  $X_1$  (размеры посевных площадей) и  $X_6$  (стоимость основных фондов на конец года) является рост. При увеличении факторов на 5 % происходит рост ПРП в соответствии с КРМ-2 на 11,72 % в 2019 г. и на 13,10 % в 2020 г.

3. Прирост ПРП в результате положительного изменения управляемых факторов  $X_1$  и  $X_6$  на 5 % компенсирует его снижение в результате негативного изменения неуправляемых факторов  $X_2$  и  $X_9$  на 5 %, следовательно, достаточно изменения управляемых факторов менее чем на 5 %. Это позволит перенаправить потоки ресурсов на другие значимые социальные и экономические проекты.

4. В 2019 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении стоимости основных фондов на конец периода необходимо увеличение посевных площадей сельскохозяйственных культур на 25,3 %. В 2020 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении стоимости основных фондов на конец периода необходимо увеличение посевных площадей сельскохозяйственных культур на 51,5 %. Представляется, что такое существенное увеличение труднодостижимо на практике.

5. В 2019 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном значении посевных площадей сельскохозяйственных культур необходимо увеличение стоимости основных фондов на конец года на 0,235 %. В 2020 г. для компенсации 5 % ухудшения обоих неуправляемых факторов (среднегодовая численность занятых в экономике и цена нефти Brent) при неизменном зна-

чении посевных площадей сельскохозяйственных культур необходимо увеличение стоимости основных фондов на конец года на 0,516 %. В абсолютных цифрах соответствующие прогнозные показатели равны 7 264 048,2 и 7 857 542,8 млн руб. в 2019 и 2020 гг. соответственно.

6. Для достижения требуемых уровней стоимости основных производственных фондов необходимы инвестиции в размере

$7\,264\,048,2 - 7\,250\,539,6 = 13\,508,62$  млн руб. в 2019 г.;

$7\,857\,542,8 - 7\,824\,917,5 = 32\,625,27$  млн руб. в 2020 г.

Таким образом, лица, принимающие административные решения могут обеспечить устойчивое развитие ПРП региона за счет обеспечения положительной динамики управляемых факторов даже в неблагоприятных внешних и внутренних условиях.

### **Список литературы**

1. Redmond T., Nasir M.A. Role of natural resource abundance, international trade and financial development in the economic development of selected countries // *Resources Policy*. 2020. Vol. 66. P. 65–78. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101591

2. The politics of natural resource investments and rights in Africa: A theoretical approach / L. Buur, R. Pedersen, M. Nystrand et al. // *The Extractive Industries and Society*. 2020. Vol. 7, iss. 3. P. 918–930.

3. Ходиев Д.А., Хофизов Ф.А., Табаров О.С. Моделирование и прогнозирование привлечения инвестиций для освоения природно-ресурсного потенциала региона // *Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук*. 2018. № 6. С. 30–36.

4. Investment risk and natural resource potential in “Belt & Road Initiative” countries: A multi-criteria decision-making approach / J. Hussain, K. Zhou, S. Guo, A. Khan // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 723. P. 137981.

5. Kumar N., Yamaç S.S., Velmurugan A. Applications of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management // *Journal of the Andaman Science Association*. 2015. Vol. 20 (1). P. 1–6.

6. GIScience and remote sensing in natural resource and environmental research: Status quo and future perspectives / T. Pei, J. Xu, Y. Liu et al. // *Geography and Sustainability*. 2021. Vol. 2, iss. 3. P. 207–215. DOI: 10.1016/j.geosus.2021.08.004

7. Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края / П.А. Красильников, А.В. Коноплев, В.В. Хронусов, М.Г. Барский // *Экономика региона*. 2009. № 1 (17). С. 143–151.

8. Mellaku T.M., Sebsibe S.S. Potential of mathematical model-based decision making to promote sustainable performance of agriculture in developing countries: A review article // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, iss. 2. P. e08968. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e08968

9. Evaluating natural gas supply security in China: An exhaustible resource market equilibrium model / X. Wang, Y. Qiu, J. Chen, X. Hu // *Resources Policy*. 2022. Vol. 76. P. 102562. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102562

10. Кузнецов Ю.А., Семенов А.В., Власова М.Н. Математическое моделирование оптимального использования невозобновимых природных ресурсов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2012. № 32. С. 45–57.

11. Jandieri G. A generalized model for assessing and intensifying the recycling of metal-bearing industrial waste: A new approach to the resource policy of manganese industry in Georgia // *Resources Policy*. 2022. Vol. 75. P. 102462. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102462

12. Tandon A., Banerjee S., Jyotsna K. Forestry biomass and its role in controlling bronchitis in urban areas: a nonlinear modelling study // *Modeling Earth Systems and Environment*. 2021. Vol. 8, iss. 1. P. 69–80. DOI: 10.1007/s40808-020-01071-7

13. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty / M. Li, Q. Fu, V.P. Singh et al. // *Agricultural systems*. 2020. Vol. 178. P. 102685. DOI: 10.1016/j.agry.2019.102685

14. Lata K., Misra A.K. The influence of forestry resources on rainfall: A deterministic and stochastic model // *Applied Mathematical Modelling*. 2020. Vol. 81. P. 673–689. DOI: 10.1016/j.apm.2020.01.009

15. Курьшев Н.И. Модель и способ оценки эколого-экономического состояния регионов // Вестник кибернетики. 2007. № 6. С. 138–149.

16. Бурцев С.В. Экономико-математическая модель оценки эффективности мероприятий по восстановлению окружающей природной среды закрываемых угольных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. №1. С. 357–359.

17. Потравный И.М., Новоселова А.Л., Алныкина Е.М. Модели истощения природных ресурсов и оценки прошлого ущерба от загрязнения окружающей среды // Плехановский научный бюллетень. 2015. № 2 (8). С. 53–78.

18. Соловьева Н.В., Худошина М.Ю. Комплексный подход к моделированию управления ресурсами и отходами в системе «природа – техносфера» с целью минимизации воздействия на окружающую среду // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2 (134). С. 33–40.

19. Сиротина Н.А., Копотева А.В., Затонский А.В. Применение конечно-разностных моделей для краткосрочного прогнозирования природно-ресурсного потенциала Пермского края // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21, № 2. С. 154–166. DOI: 10.14529/ctcr210215

20. Сиротина Н.А. Краткосрочное управление природно-ресурсным потенциалом Пермского края с использованием конечно-разностных моделей // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 11. С. 94–101. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.11.27

### References

1. Redmond T., Nasir M.A. Role of natural resource abundance, international trade and financial development in the economic development of selected countries. *Resources Policy*. 2020;66:65–78. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101591

2. Buur L., Pedersen R., Nystrand M., Macuane J., Jacob T. The politics of natural resource investments and rights in Africa: A theoretical approach. *The Extractive Industries and Society*. 2020;7(3):918–930.

3. Khodiyev D.A., Khofizov F.A., Tabarov O.S. Modeling and forecasting attraction of investment for development of the natural and resource potential of the region. *Bulletin of the Tajik National University. Series of socio-economic and social sciences*. 2018;(6):30–36. (In Russ.)

4. Hussain J., Zhou K, Guo S., Khan A. Investment risk and natural resource potential in “Belt & Road Initiative” countries: A multi-criteria decision-making approach. *Science of the Total Environment*. 2020;723:137981.

5. Kumar N., Yamaç S.S., Velmurugan A. Applications of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management. *Journal of the Andaman Science Association*. 2015;20(1):1–6.

6. Pei T., Xu J., Liu Y. et al. GIScience and remote sensing in natural resource and environmental research: Status quo and future perspectives. *Geography and Sustainability*. 2020;2(3):207–215. DOI: 10.1016/j.geosus.2021.08.004

7. Krasilnikov P.A., Konoplev A.V., Hronusov V.V., Barskiy M.G. Software of the economic estimation of natural resource potential of the territory of Perm region. *Economy of Regions*. 2009;1(17):143–151. (In Russ.)

8. Mellaku T.M., Sebsibe S.S. Potential of mathematical model-based decision making to promote sustainable performance of agriculture in developing countries: A review article. *Heliyon*. 2022;8(2):e08968. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e08968

9. Wang X., Qiu Y., Chen J., Hu X. Evaluating natural gas supply security in China: An exhaustible resource market equilibrium model. *Resources Policy*. 2022;76:102562. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102562

10. Kuznetsov Yu.A., Semenov A.V., Vlasova M.N. [Mathematical modeling of optimal use of non-renewable natural resources]. *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika*. 2012;(32):45–57. (In Russ.)

11. Jandieri G. A generalized model for assessing and intensifying the recycling of metal-bearing industrial waste: A new approach to the resource policy of manganese industry in Georgia. *Resources Policy*. 2022;75:102462. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102462

12. Tandon A., Banerjee S., Jyotsna K. Forestry biomass and its role in controlling bronchitis in urban areas: a nonlinear modelling study. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2021;8(1):69–80. DOI: 10.1007/s40808-020-01071-7

13. Li M., Fu Q., Singh V.P., Liu D., Li T., Zhou Y. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. *Agricultural Systems*. 2020;178:102685. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102685
14. Lata K., Misra A.K. The influence of forestry resources on rainfall: A deterministic and stochastic model. *Applied Mathematical Modelling*. 2020;81:673–689. DOI: 10.1016/j.apm.2020.01.009
15. Kuryshv N.I. [Model and method for assessing the ecological and economic state of regions]. *Proceedings in Cybernetics*. 2007;(6):138–149. (In Russ.)
16. Burtsev S.V. [Economic and mathematical model for evaluating the effectiveness of measures to restore the natural environment of closed coal enterprises]. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012;(1):357–359. (In Russ.)
17. Potravnyy I.M., Novoselova A.L., Alnykina E.M. [Models of natural resource depletion and estimates of past pollution damage]. *Plekhanovskiy nauchnyy byulleten'*. 2015;2(8):53–78. (In Russ.)
18. Solov'yeva N.V., Khudoshina M.Yu. [Integrated approach to resource and waste management modeling in the “nature – technosphere” system in order to minimize the impact on the environment]. *Life Safety*. 2012;2(134):33–40. (In Russ.)
19. Sirotina N.A., Kopoteva A.V., Zatonkiy A.V. Finite-Difference Models Application for Short-Term Forecasting of the Natural Resource Potential of the Perm Region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2021;21(2):154–166. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr210215
20. Sirotina N.A. Natural resource potential short-term management using finite-difference models of the Perm region. *Modern Science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*. 2021;(11):94–101. (In Russ.) DOI: 10.37882/2223-2966.2021.11.27

#### ***Информация об авторах***

**Затонский Андрей Владимирович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; [z Xenon@narod.ru](mailto:z Xenon@narod.ru).

**Сиротина Наталья Александровна**, старший преподаватель кафедры общенаучных дисциплин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; [nsirotna117@mail.ru](mailto:nsirotna117@mail.ru).

#### ***Information about the authors***

**Andrey V. Zatonkiy**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; [z Xenon@narod.ru](mailto:z Xenon@narod.ru).

**Natalia A. Sirotina**, Senior Lecturer of the Department of General Scientific Disciplines, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; [nsirotna117@mail.ru](mailto:nsirotna117@mail.ru).

***Статья поступила в редакцию 20.03.2022***

***The article was submitted 20.03.2022***