

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРМСКОГО КРАЯ

Н.А. Сиротина, А.В. Копотева, А.В. Затонский

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

Статья посвящена проблеме математического моделирования природно-ресурсного потенциала Пермского края на основе конечно-разностных моделей 1-го и 2-го порядков. Ранее нами было установлено, что при исследовании сложных социально-экономических процессов такие модели позволяют получать более качественные прогнозы по сравнению с традиционно применяемыми моделями линейной множественной регрессии. Высокое качество модели природно-ресурсного потенциала и соответствующих прогнозов является одним из необходимых условий эффективного управления природными богатствами региона с целью обеспечения его устойчивого экономического развития. **Цель работы.** Целью данного исследования являлось построение на основании статистических данных за период с 2001 по 2018 г. конечно-разностных моделей комплексного показателя природно-ресурсного потенциала и оценка их прогностических свойств на примере Пермского края. **Материалы и методы.** В качестве базы сравнения использовалась модель множественной линейной регрессии. Комплексный показатель природно-ресурсного потенциала региона рассчитывался как взвешенная сумма частных критериев, характеризующих природные богатства региона. Конечно, разностные модели первого и второго порядка получены путем добавления в модель множественной линейной регрессии авторегрессионных слагаемых первого и второго порядков соответственно. Оценка неизвестных параметров уравнений выполнена на основании модифицированного метода наименьших квадратов, сохраняющего знаки коэффициентов при факторах такими же, как в исходной линейной модели. При этом отбор объясняющих факторов и оценка качества моделей осуществлялись исходя из точности полученных по ним прогнозных значений изучаемого показателя. **Результаты исследования.** В связи с изменениями в методике формирования статистических данных, определяющих составляющие и факторы природно-ресурсного потенциала, процедура построения конечно-разностных моделей была выполнена для трех различных временных интервалов: 2001–2018, 2001–2008 и 2008–2018. Число расчетных прогнозных значений составило 18, причем лишь в 4 из 18 случаев (22,2 %) их качество оказалось хуже, чем у прогнозов с использованием линейной множественной модели. **Обсуждение и заключение.** Полученные результаты позволяют утверждать, что предложенная модификация множественной линейной модели регрессии с добавлением авторегрессионных слагаемых позволяет повысить качество прогнозирования комплексного показателя природно-ресурсного потенциала региона и, следовательно, принимать более эффективные решения при управлении его уровнем.

Ключевые слова: математическое моделирование, прогнозирование, конечно-разностная модель, природно-ресурсный потенциал региона, Пермский край.

Введение

Устойчивое экономическое развитие региона напрямую зависит от имеющихся в нем природных ресурсов, от их качества и продуктивности использования. Для повышения эффективности принятия управленческих решений по использованию региональных природных ресурсов, комплексно характеризующихся показателем природно-ресурсного потенциала (ПРП), широко применимы различные методы прогнозирования, основанные на данных открытой статистики. При этом наиболее распространенные методы корреляционного и регрессионного анализа не всегда дают удовлетворительные результаты в экономических исследованиях по причине сложности соответствующих объектов и наличия неявных нелинейных зависимостей между количественными показателями, их характеризующими. В результате коэффициенты полученных таким методом моделей могут оказаться не интерпретируемыми, а сами модели не обеспечивают должно-

го качества прогнозирования. В связи с этим возникает необходимость модификации классических методов для получения более приемлемых с прикладной точки зрения результатов при исследовании социально-экономических систем.

1. Обзор литературы

Обзор актуальных исследований по данной тематике показал их преимущественно экономический характер, кроме того, большинство отечественных работ по данной тематике достаточно старые. Работ, значимых с точки зрения математического моделирования ПРП, в открытом доступе найти не удалось. В частности, ряд авторов разрабатывают вопрос моделирования потоков инвестиций с целью эффективного использования и освоения ПРП на примере различных стран и регионов: Таджикистана [1], Африки [2], Китая [3]. Для характеристики ПРП и его элементов широко распространено использование геоинформационно-аналитических систем. В частности, авторы [4] произвели комплексную оценку природного богатства Пермского края, а в [5] рассматривается возможность применения ГИС для управления природными ресурсами различных типов на территории Индии.

ГИС используются и для моделирования отдельных составляющих ПРП. В [6] авторы используют ГИС в комплексе с рядом иных методов для обнаружения и исследования запасов подземных вод в Египте, в [7] ГИС-системы применяются для моделирования и прогнозирования наводнений в Китае.

Достаточно распространено как в отечественных, так и в зарубежных источниках математическое моделирование отдельных элементов природно-ресурсного потенциала. Одним из возможных подходов к оценке эффективности использования ресурсов является построение оптимизационных математических моделей, например в [8] приводятся результаты моделирования добычи природного газа на региональном и мировом уровне. Такой подход предполагает наличие адекватного математического критерия, подлежащего оптимизации, а также системы ограничений, а при их отсутствии данный метод практически неприменим. Исследование [9] посвящено краткому обзору существующих оптимизационных динамических моделей невозобновляемых природных ресурсов. При этом рассматриваются детерминированные модели отдельных ресурсов, что не позволяет напрямую использовать их для случая двух и более их видов, что характерно для большинства регионов. Кроме того, используемый аппарат классической теории оптимального управления требует от исследователя достаточно высокого уровня математической подготовки и может приводить к некорректным результатам применительно к стохастическим экономическим объектам. В работе [10] разработана многокритериальная многофакторная нечеткая модель частично целочисленного программирования для оптимизации распределения сельскохозяйственных водных и земельных ресурсов в условиях неопределенности. Подобное сочетание методов весьма эффективно для решения слабо формализуемых задач, однако требует разработки как специфического математического инструментария, так и программного обеспечения. Это существенно усложняет процесс нахождения решения, растягивает его во времени и требует достаточно высокой квалификации разработчиков соответствующей системы поддержки принятия решения. В целом оптимизационные модели предполагают наличие оптимизируемой функции, т. е. качественного описания объекта в математической форме, в отсутствие такого описания являются неприменимыми.

В работе [11] разработана нелинейная математическая модель управления морскими природными ресурсами в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений и выполнено ее исследование в рамках теории устойчивости динамических систем. Применение данного подхода возможно в случае, когда исследуемая система может быть адекватно описана системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В [12] авторы применяют детерминированную и стохастическую модели влияния осадков на лесные ресурсы для определения наличия и устойчивости равновесного состояния системы в зависимости от ее параметров и характеристик случайной составляющей. В [13] автором изложена динамическая математическая модель и способ оценки состояния экономики региона с заданным перечнем производств, ресурсов и т. д. в форме системы дифференциальных уравнений. В целом детерминированные факторные модели в большей степени подходят для технических и физических систем, а поведение сложных социально-экономических систем не всегда адекватно описывают.

Авторы в [14] рассматривают возможность применения балансовых моделей для анализа потребления водных ресурсов. Данный подход не позволяет адекватно характеризовать сложные динамические стохастические объекты, поскольку балансовые модели как правило являются статическими детерминированными.

Еще один распространенный подход к управлению природными ресурсами – моделирование с целью минимизации воздействия на окружающую среду. В [15] предпринята попытка оценки эффективности мероприятий по восстановлению окружающей природной среды в рамках постановки и решения задачи линейного программирования. Авторы в [16] исследуют вопросы моделирования в сфере истощения запасов природных ресурсов и вовлечения ресурсов техногенных месторождений в хозяйственный оборот. В работе [17] авторы изложили способ математического моделирования управления ресурсами и отходами с использованием комплексного подхода.

Достаточно активно в публикациях различных авторов рассматриваются задачи управления процессами отдельных производств, которые эксплуатируют природные ресурсы. Так, в [18] предложены варианты оптимизации управления аграрным сектором, в частности, земельными ресурсами, производством растениеводческой и животноводческой продукции на основании моделей математического программирования со случайными параметрами. В [19] авторами предпринята попытка определения наиболее рационального способа использования энергетических природных и техногенных ресурсов в агротехнологиях на базе энергетической модели преобразования энергии организмами. В [20] приводится экономико-математическая модель управления производственно-экономической деятельностью сельскохозяйственного предприятия, имеющего специализацию животноводство, являющаяся моделью условной минимизации целевой функции затрат в условиях ограниченных ресурсов. Авторы в [21] анализируют использование водных ресурсов на основе модели экологического следа. Такие исследования, как правило, посвящены конкретным производствам и соответствующим ресурсам, что не позволяет использовать их для управления совокупностью ресурсов в рамках региона.

2. Материалы и методы

Таким образом, несмотря на многообразие методов, ни один из них не является универсальным. Применимость методов зависит от имеющихся в распоряжении исследователя данных. Это означает, что метод, примененный в одном случае, может оказаться неприменимым в другом. Кроме того, вопрос математического моделирования ПРП на уровне региона вообще и Пермского края в частности разработан недостаточно, а выбор метода есть субъективный выбор исследователя. Соответственно разработка метода, подходящего для целей моделирования и прогнозирования ПРП, позволяющего управлять его уровнем с целью обеспечения устойчивого развития и эффективного использования природных богатств региона, является интересной задачей с теоретической и прикладной точки зрения. Его реализация предполагает:

- 1) выбор предпочтительного математического метода моделирования; в данной работе рассматривается модификация ЛММ в силу ее простоты, распространенности и использования открытых статистических данных в качестве информационной базы;
- 2) сбор статистических данных по Пермскому краю, характеризующих составляющие и факторы, определяющие ПРП;
- 3) построение математического критерия ПРП;
- 4) моделирование и прогнозирование ПРП Пермского края на основании модифицированной модели множественной линейной регрессии;
- 5) выработку системы рекомендаций для ЛПР по повышению эффективности краткосрочного управления ПРП.

В рамках данной работы реализуется построение формальной модели природно-ресурсного потенциала (ПРП) на примере Пермского края и обосновываются ее лучшие прогнозные свойства в краткосрочном периоде. С этой целью выделяются факторы, значимые для ПРП Пермского края, производится оценка неизвестных коэффициентов предложенной модели ПРП, осуществляется прогнозирование ПРП на основе классического и разработанного методов, проверка лучших прогностических возможностей предложенного метода.

Под природно-ресурсным потенциалом следует понимать совокупность природных условий и запас природных ресурсов, которые могут быть использованы в хозяйственной деятельности

при данном уровне развития техники, технологии и экономических отношений. В частности, под природно-ресурсным потенциалом региона понимается совокупная способность всего многообразия естественных ресурсов и условий территории обеспечивать жизнедеятельность населения и удовлетворять потребности общественного производства на конкретном этапе исторического развития.

Обобщенный критерий ПРП рассчитывается в виде взвешенной суммы отдельных составляющих ПРП [22] $Y(t_k) = \alpha_1 \cdot Y_1(t_k) + \alpha_2 \cdot Y_2(t_k) + \dots + \alpha_n \cdot Y_n(t_k)$, где t_k – момент времени в пределах изучаемого временного интервала $k=1, 2, \dots, K$. Для определения значений весовых коэффициентов $\alpha_i, i=1, 2, \dots, n$ частные критерии $Y_i(t_k), i=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, K$ упорядочиваются по степени важности для уровня ПРП (ранжируются), т. е. каждому частному критерию присваивается ранг $R_i \in \{1, 2, \dots, n\}, i=1, 2, \dots, n$; тогда $\alpha_i = 1/R_i$. Поскольку сложные социально-экономические системы достаточно инертны и, следовательно, меняются медленно, то ранги R_i подбираются таким образом, чтобы обеспечить наиболее плавную динамику сводного показателя ПРП, т. е. минимизируют сумму квадратов разностей его текущего и предшествующего значений:

$$\alpha_i, i=1, 2, \dots, n: S = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot (Y(t_{k+1}) - Y(t_k))^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Дополнительным преимуществом такого метода ранжирования частных критериев является исключение субъективности при упорядочении их человеком. Расчет весовых коэффициентов $\alpha_i, i=1, 2, \dots, n$ целесообразно производить по нормированным данным для исключения влияния размерностей частных критериев.

Наличие обобщенного критерия ПРП позволяет сконструировать его линейную множественную регрессионную модель вида

$$Y_{\text{расч}}(t_k) = a + c_1 \cdot X_1(t_k) + c_2 \cdot X_2(t_k) + \dots + c_p \cdot X_p(t_k) = a + \sum_{j=1}^m c_j \cdot X_j(t_k), \quad (2)$$

где $Y_{\text{расч}}(t_k)$ – расчетное значение моделируемой величины в момент времени t_k ;

a – постоянная линейной многофакторной модели, определяющая уровень моделируемой величины при нулевых значениях факторов;

$X_j(t_k)$ – значения факторов, определяющих значение моделируемой величины, в момент времени $t_k, j=1, 2, \dots, m$;

c_i – коэффициенты линейной множественной модели, показывающие, на сколько изменится моделируемая величина при увеличении соответствующего фактора X_i на 1.

Управление ПРП осуществляется посредством варьирования определяющих его уровень факторов $X_j(t_k), j=1, 2, \dots, m$. При этом каждый регион обладает собственными составляющими ПРП $Y_i(t_k)$ и набором определяющих их значения (а значит, и уровень собственно ПРП) показателей $X_j(t_k)$. Формальный отбор существенных факторов в уравнение (2) осуществляется на основании анализа матрицы парных коэффициентов корреляции. При этом в модель отбирают такие объясняющие переменные, которые тесно связаны с объясняемой величиной, и слабо – друг с другом [23]. Кроме того, возможно построение модели (2) с помощью пошаговых процедур регрессии, когда факторы добавляются в уравнение или исключаются из него до тех пор, пока происходит увеличение исправленного коэффициента детерминации соответствующих уравнений. Однако, как утверждают многие авторы [24, 25] и показывает практика, формальные процедуры отбора объясняющих переменных не всегда эффективны при моделировании социально-экономических процессов. Это проявляется в неудовлетворительном качестве получаемых уравнений и прогнозов на их основании. В таких случаях приходится выполнять и корреляционный, и качественный анализы и отбирать наиболее значимые факторы с точки зрения природы моделируемого объекта с учетом результатов анализа матрицы парных коэффициентов корреляции.

При изучении динамики показателя естественным является предположение о зависимости его значения в текущий момент времени от значений в предыдущие моменты времени. Для учета такого влияния используются авторегрессионные модели различных порядков, причем порядок модели соответствует максимальному временному лагу. Тогда модификации классической модели множественной линейной регрессии, содержащие авторегрессионные слагаемые первого и второго порядков, примут вид:

$$Y_{\text{расч}}(t_k) = a + b \cdot Y(t_{k-1}) + \sum_{j=1}^m c_j \cdot X_j(t_k); \quad (3)$$

$$Y_{\text{расч}}(t_k) = a + b \cdot Y(t_{k-1}) + d \cdot Y(t_{k-2}) + \sum_{j=1}^m c_j \cdot X_j(t_k), \quad (4)$$

где b – параметр, показывающий, на сколько изменится моделируемая величина $Y(t_k)$ при увеличении значения изучаемой величины в момент времени, предшествующий данному $Y(t_{k-1})$, на единицу;

d – параметр, показывающий, на сколько изменится моделируемая величина $Y(t_k)$ при увеличении значения изучаемой величины в момент времени t_{k-2} $Y(t_{k-2})$ на единицу.

Заметим, что уравнения (3) и (4) могут быть получены путем замены в регрессионно-дифференциальных моделях первой и второй производных изучаемого показателя их конечно-разностными аналогами [26]. Это дает основание называть уравнения (3) и (4) конечно-разностными моделями первого и второго порядков соответственно.

Проверка качества регрессионных моделей традиционно ограничивается их статистическими характеристиками – значимостью уравнения и его параметров, а также уровнем коэффициента детерминации, характеризующего аппроксимационные свойства соответствующих уравнений. Однако, поскольку добавление в регрессионную модель дополнительных факторов автоматически увеличивает качество аппроксимации, а авторегрессионные слагаемые являются, по сути, добавочными факторами, в нашем исследовании качество регрессионных уравнений оценивается на основании их прогностических свойств. Их оценка для КРМ ПРП выполняется на основании следующего алгоритма:

– рассчитывается относительная погрешность прогноза с использованием ЛММ как отношение разности фактического и модельного значений изучаемого показателя к его фактическому уровню, выраженное в процентах;

– рассчитывается относительная погрешность прогноза с использованием КРМ как отношение разности фактического и модельного значений изучаемого показателя к его фактическому уровню, выраженное в процентах;

– показатель качества прогнозирования с использованием КРМ рассчитывается как частное от деления относительной погрешности прогнозирования КРМ на относительную погрешность прогнозирования ЛММ, умноженное на 100 %.

Таким образом, процедура построения КРМ ПРП Пермского края является итеративной и осуществляется следующим образом:

1) производится анализ матрицы парных коэффициентов корреляции с целью формального исключения тесно взаимосвязанных факторов (устранение мультиколлинеарности);

2) производится качественный анализ оставшихся факторов и проверяется, не исключены ли наиболее значимые с экономической точки зрения факторы из модели и достаточно ли оставшихся факторов для адекватного описания ПРП;

3) оцениваются неизвестные параметры моделей ЛММ (2) и КРМ (3), (4) по укороченным на 1 и 2 значения временным рядам $Y(t_k)$ и $X_j(t_k)$, $j=1, 2, \dots, m$, $k=1, 2, \dots, K-1$ ($K-2$); при этом знаки коэффициентов при факторах c_j , $j=1, 2, \dots, m$ в (3) и (4) совпадают с их знаками в (2) для обеспечения экономической интерпретируемости их значений;

4) рассчитываются прогнозные значения ПРП на основании уравнений (2)–(4) для временных периодов $K-1$ и K и сравниваются соответствующие относительные погрешности моделирования ЛММ и КРМ на основании предложенного выше алгоритма;

5) делается вывод о качестве прогнозирования КРМ, если оно неудовлетворительно, возвращаемся к шагу 1, т. е. пересматриваются корреляционный и качественный анализы факторов и модели перестраиваются с новым их набором.

3. Результаты исследования

Для каждого региона составляющие ПРП и факторы, его характеризующие, определяются исходя из его географических особенностей и доступности статистических данных. В случае Пермского края соответствующие показатели представлены в табл. 1.

Критерии и факторы ПРП Пермского края

Таблица 1

Table 1

Natural resource potential criteria and factors for the Perm region

№	Обозначение	Наименование
1	Y_1	Добыча нефти, включая газовый конденсат, тыс. т
2	Y_2	Добыча природного и попутного газов, млн м ³
3	Y_3	Производство удобрений минеральных или химических (в пересчете на 100 % питательных веществ), тыс. т
4	Y_4	Производство продукции сельского хозяйства, млн руб.
5	Y_5	Производство деловой древесины, тыс. плотных м ³
6	X_1	Посевные площади сельскохозяйственных культур, тыс. га
7	X_2	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.
8	X_3	Инвестиции в основной капитал предприятий, млн руб.
9	X_4	Внесение удобрений минеральные удобрения, тыс. т
10	X_5	Внесение удобрений органические удобрения, тыс. т
11	X_6	Стоимость основных фондов на конец года, млн руб.
12	X_7	Лесовосстановление, тыс. га
13	X_8	Число предприятий и организаций на конец года
14	X_9	Цена нефти Brent (среднегодовое значение), USD за баррель
15	X_{10}	Экспорт продукции ТЭК, млн USD

Необходимые статистические данные по Пермскому краю содержатся в различных источниках федерального и регионального уровней: Федеральная служба государственной статистики, территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю, Лесной план Пермского края на 2018–2027 гг., Стратегия социально-экономического развития Пермского края до 2026 г., государственная программа Пермского края «Воспроизводство и использование природных ресурсов». Для исследования были собраны статистические данные о соответствующих показателях (см. табл. 1) за период с 2001 по 2018 г. На их основании был сформирован комплексный критерий ПРП Пермского края как взвешенная сумма частных критериев в виде $Y = Y_1 / 5 + Y_2 / 4 + Y_3 / 2 + Y_4 / 3 + Y_5 / 1$.

Отметим, что в связи с внедрением стандарта СНС 2008 (системы национальных счетов 2008) данные в рамках временных рядов оказываются несопоставимым, в связи с чем моделирование производилось на временных интервалах 2001–2008 и 2008–2018. Оценка параметров уравнений (2)–(4) для различных наборов объясняющих факторов и расчет относительных погрешностей прогнозирования выполнены средствами Visual Basic for Applications MS Excel. На основании произведенных расчетов исходя из минимума относительных погрешностей прогнозирования выбирались наиболее качественные модели.

При моделировании ПРП Пермского края не удалось подобрать универсальный набор факторов, адекватно описывающий его динамику на протяжении рассмотренных временных интервалов (табл. 2). Так, при моделировании в период с 2001 по 2018 г. (рис. 1) удалось построить уравнения с приемлемым качеством прогнозирования, включающие факторы $X_1, X_3, X_4, X_7, X_{10}$. Для периода моделирования 2001–2008 (рис. 2) значимыми оказались факторы $X_4, X_5, X_6, X_7, X_9, X_{10}$, а для периода моделирования 2008–2018 (рис. 3) – факторы $X_1, X_2, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$. При этом

Краткие сообщения

погрешности прогнозирования с использованием КРМ, как правило, существенно ниже, чем с использованием ЛММ (табл. 3).

При прогнозировании на 1 год вперед обе конечно-разностные модели показали лучшие результаты на всех трех рассмотренных временных отрезках. Лучший результат прогнозирования оказался у КРМ-2 на отрезке 2001–2008 – 3,34 % от уровня погрешности ЛММ. Также весьма неплох КРМ-2 прогноз на отрезке 2001–2018 – 6,46 % от уровня погрешности прогнозирования ЛММ. Несколько хуже результат на отрезке 2008–2018 – 65,55 % от уровня погрешности прогнозирования ЛММ для КРМ-1 и 68,73 % для КРМ-2; тем не менее даже здесь удается улучшить качество прогноза более чем на треть.

Значения коэффициентов ЛММ, КРМ-1 и КРМ-2 ПРП Пермского края

Таблица 2

Table 2

Multiple linear, 1-st and 2-nd type finite difference models coefficients for Perm region

Параметр	ЛММ			КРМ-1			КРМ-2		
	2001–2008	2008–2018	2001–2018	2001–2008	2008–2018	2001–2018	2001–2008	2008–2018	2001–2018
a	-1,859	-1,638	0,312	-1,027	-2,679	0,295	-1,202	-3,086	0,313
b	–	–	–	0,032	0,686	0,667	-0,133	0,871	0,580
c_1	–	1,742	-0,429	–	4,594	-0,361	–	5,561	-0,386
c_2	–	-0,576	–	–	-2,894	–	–	-3,678	–
c_3	–	–	0,424	–	–	0,000	–	–	0,000
c_4	0,938	0,173	0,068	0,795	0,000	0,000	0,937	0,000	0,000
c_5	0,311	–	–	0,000	–	–	0,072	–	–
c_6	3,905	1,901	–	1,573	2,095	–	1,634	2,098	–
c_7	0,549	-0,678	0,199	0,525	-1,876	0,064	0,593	-2,318	0,071
c_8	–	1,352	–	–	2,532	–	–	2,998	–
c_9	-1,635	0,926	–	0,000	3,009	–	0,000	3,696	–
c_{10}	1,125	0,363	0,136	0,660	0,291	0,022	0,763	0,270	0,027
d	–	–	–	–	–	–	0,279	0,129	0,063

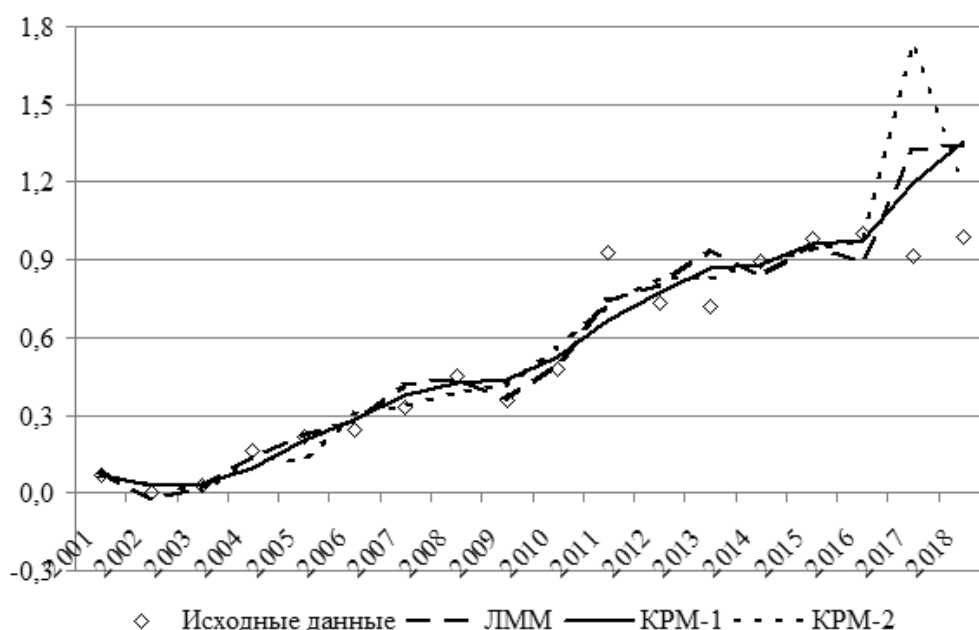


Рис. 1. Модели ЛММ, КРМ-1 и КРМ-2 ПРП Пермского края в период с 2001 по 2018 г.

Fig. 1. Multiple linear, 1-st and 2-nd type finite difference models for Perm region in 2001–2018

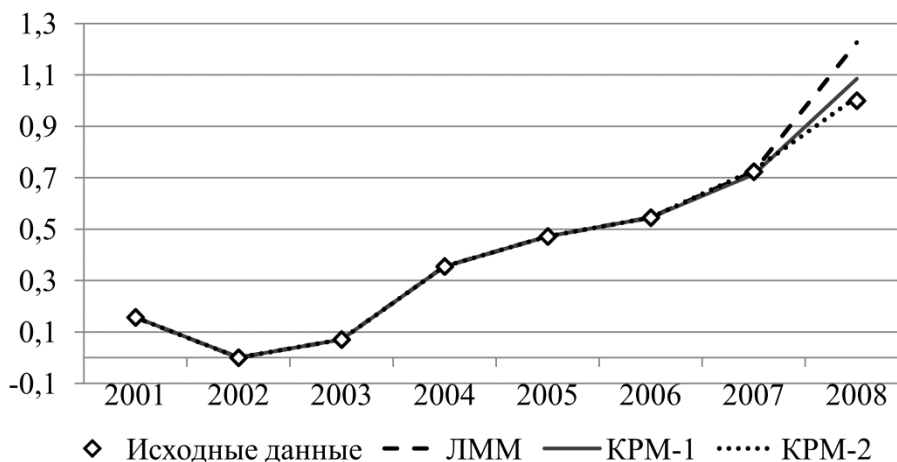


Рис. 2. Модели ЛММ, КРМ-1 и КРМ-2 НРП Пермского края в период с 2001 по 2008 г.
Fig. 2. Multiple linear, 1-st and 2-nd type finite difference models for Perm region in 2001–2008

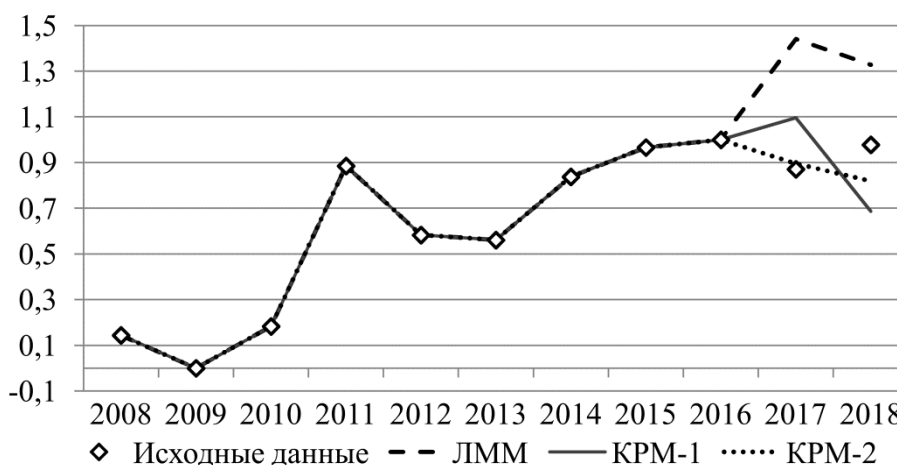


Рис. 3. Модели ЛММ, КРМ-1 и КРМ-2 НРП Пермского края в период с 2008 по 2018 г.
Fig. 3. Multiple linear, 1-st and 2-nd type finite difference models for Perm region in 2008–2018

Погрешности прогнозирования НРП Пермского края

Таблица 3

Perm region natural resource potential forecasting errors

Table 3

Временной интервал	Модель	Постпрогноз 1 год	Постпрогноз 2 года	
			1 год	2 год
2001–2008	ЛММ	100	100	100
	КРМ-1	35,58	4982,77	37,54
	КРМ-2	3,34	2474,45	6,28
2008–2018	КРМ-1	65,55	-29,77	83,21
	КРМ-2	68,73	-16,29	45,52
2001–2018	КРМ-1	30,30	68,68	103,79
	КРМ-2	6,46	199,05	56,51

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:

- на временном интервале 2008–2018 прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 1 год существенно лучше ЛММ-прогноза;
- на временном интервале 2001–2018 прогноз КРМ-1 на 1 год более чем на треть лучше ЛММ-прогноза;

Краткие сообщения

– на временном интервале 2001–2008 прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 1 год намного хуже ЛММ-прогноза;

– на временном интервале 2001–2018 прогноз КРМ-2 на 1 год вдвое хуже ЛММ-прогноза.

Это означает, что использование КРМ, построенных для прогнозирования на 2 года вперед, для прогнозирования на 1 год вперед не всегда нецелесообразно.

Прогнозы КРМ на 2 года обладают лучшим качеством по сравнению с ЛММ в 5 из 6 случаев:

– на временном интервале 2001–2008 прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 2 года существенно лучше ЛММ-прогноза; при этом прогноз КРМ-2 позволяет добиться погрешности прогнозирования на уровне 6,28 % от погрешности прогнозирования ЛММ;

– на временном интервале 2008–2018 прогнозы КРМ-1 и КРМ-2 на 2 года лучше ЛММ-прогноза; при этом прогноз КРМ-2 позволяет сократить погрешность прогнозирования более чем вдвое по сравнению с погрешностью прогнозирования ЛММ;

– на временном интервале 2001–2018 прогноз КРМ-1 на 2 года несколько хуже (на 3,79 %) ЛММ-прогноза; при этом прогноз КРМ-2 позволяет сократить погрешность прогнозирования более чем вдвое по сравнению с погрешностью прогнозирования ЛММ.

Обсуждение и заключение

Таким образом, краткосрочное прогнозирование ПРП Пермского края с использованием КРМ позволяет добиваться существенно лучшего качества по сравнению с классическими линейными моделями. С учетом логичности добавления авторегрессионных слагаемых в множественную линейную модель, естественности интерпретации коэффициентов при них, а также простоты процедуры оценки параметров КРМ существенно улучшение их прогностических свойств по сравнению с ЛММ. Можно с уверенностью заключить, что их использование для моделирования и прогнозирования ПРП имеет большой научный и прикладной потенциал.

Литература

1. Ходиев, Д.А. Моделирование и прогнозирование привлечения инвестиций для освоения природно-ресурсного потенциала региона / Д.А. Ходиев, Ф.А. Хофизов // *Вестник Таджикского национального университета*. – 2018. – № 6. – С. 30–36.

2. *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, 137981. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137981

3. *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. – P. 918–930.

4. Красильников, П.А. Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края / П.А. Красильников // *Экономика региона*. – 2009. – № 1. – С. 143–151.

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

6. *Multi-criteria decision support for geothermal resources exploration based on remote sensing, GIS and geophysical techniques along the Gulf of Suez coastal area, Egypt* / S. Abuzied, M. Kaiser, E. Shendi, M. Abdel-Fattah // *Geothermics*. – 2020. – Vol. 88, 101893.

7. *GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China* / D. Zhang, X. Shi, H. Xu, Q. Jing // *Environmental Impact Assessment Review*. – 2020. – Vol. 83, 106397.

8. Горячев, А.А. Моделирование добычи в мировых и региональных оптимизационных газовых моделях / А.А. Горячев // *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. – 2015. – № 6. – С. 51–58.

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

10. *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, P.V. Singh et al. // *Agricultural systems*. – 2020. – Vol. 178, 102685.

11. Biswas, M.H. *Mathematical Modeling Applied to Sustainable Management of Marine Resources* / M.H. Biswas, M.R. Hossain, M.K. Mondal // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 194. – P. 337–344.
12. Lata, K. *The influence of forestry resources on rainfall: A deterministic and stochastic model* / K. Lata, A.K. Misra // *Applied Mathematical Modelling*. – 2020. – Vol. 81. – P. 673–689.
13. Курьшев, Н. И. *Модель и способ оценки эколого-экономического состояния регионов* / Н.И. Курьшев // *Вестник кибернетики*. – 2005. – № 4. – С. 149–158.
14. Кудрявцева, О.В. *Математические модели анализа потребления природных ресурсов* / О.В. Кудрявцева // *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*. – 2007. – № 3. – С. 67–87.
15. Бурцев, С. В. *Экономико-математическая модель оценки эффективности мероприятий по восстановлению окружающей природной среды закрываемых угольных предприятий* / С.В. Бурцев // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2012. – № 1. – С. 357–359.
16. Потравный, И.М. *Модели истощения природных ресурсов и оценки прошлого ущерба от загрязнения окружающей среды* / И.М. Потравный, А.Л. Новоселова, Е.М. Алныкина // *Плехановский научный бюллетень*. – 2015. – № 2. – С. 53–78.
17. Соловьева, Н.В. *Комплексный подход к моделированию управления ресурсами и отходами в системе «природа – техносфера» с целью минимизации воздействия на окружающую среду* / Н.В. Соловьева, М.Ю. Худошина // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2012. – № 2. – С. 33–40.
18. Бузина, Т.С. *Модели управления процессами аграрного производства в условиях неполной информации* / Т.С. Бузина, М.Н. Полковская // *Вестник ИРГСХА*. – 2016. – № 74. – С. 101–109.
19. Свентицкий, А.Г. *Эксергетическая модель рационального использования энергетических природных и техногенных ресурсов в агротехнологиях* / А.Г. Свентицкий, И.И. Свентицкий // *Вестник ВИЭСХ*. – 2016. – № 3. – С. 97–99.
20. Майорова, М.А. *Экономико-математические модели в управлении производственно - экономической деятельностью сельскохозяйственных предприятий* / М.А. Майорова // *Интернет-журнал «Науковедение»*. – 2014. – № 4. – С. 109.
21. *Analysis of sustainable utilization of water resources based on the improved water resources ecological footprint model: A case study of Hubei Province, China* / H. Wang, J. Huang, H. Zhou, C. Deng // *Journal of Environmental Management*. – 2020. – Vol. 262, 110331.
22. Сиротина, Н. А. *Оценка вклада горнодобывающей отрасли в природно-ресурсный потенциал региона* / Н.А. Сиротина, А.В. Копотева, А.В. Затонский // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2020. – № 8. – С. 163–178. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-163-178
23. Кремер, Н.Ш. *Эконометрика: учеб. для вузов* / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.
24. Доугерти, К. *Введение в эконометрику: учеб.* / К. Доугерти. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 432 с.
25. Елисеева, И.И. *Эконометрика* / И.И. Елисеева, С.В. Курьшева – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
26. Волков, Е.А. *Численные методы* / Е.А. Волков – М.: Лань, 2008. – 256 с.

Сиротина Наталья Александровна, старший преподаватель кафедры общенаучных дисциплин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники; nsirotna117@mail.ru.

Копотева Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры общенаучных дисциплин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники; kopoteva_av@mail.ru.

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники; zhenon@narod.ru.

Поступила в редакцию 30 марта 2021 г.

FINITE-DIFFERENCE MODELS APPLICATION FOR SHORT-TERM FORECASTING OF THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF THE PERM REGION

N.A. Sirotnina, nsirotnina117@mail.ru,
A.V. Kopoteva, kopoteva_av@mail.ru,
A.V. Zatonkiy, z xenon@narod.ru

Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russian Federation

The article is about a problem of mathematical modeling of the natural resource potential of the Perm Territory by 1st and 2nd order finite-difference models. Such models can obtain better forecasts of complex socio-economic processes in comparison with the traditionally used linear multiple regression models. A high quality model of the natural resource potential with forecast possibilities is one of the necessary conditions for the effective management of the natural resources of the region in order to ensure its sustainable economic development. **Purpose of work.** Aim of this work is work construction of finite-difference models of a natural resource potential complex indicators and an assessment of their prognostic properties. **Materials and methods.** Our research is based on Perm region statistical data for the period from 2001 to 2018. A multiple linear regression model is used as a comparison base. The natural resource potential complex indicator is calculated as a weighted sum of particular criteria characterizing the natural resources of the region. First and second order finite difference models are obtained by adding autoregressive terms of the first and second orders, respectively, to the multiple linear regression model. An estimation of the unknown parameters of the equations is carried out by a modified least squares method, which preserves the signs of the coefficients with the factors the same as in the original linear model. At the same time, the selection of explanatory factors and the assessment of the quality of the models are carried out based on the accuracy of the predicted values of the studied indicator. **The results of the study.** Components and factors of the natural resource potential is obtained, and a procedure for constructing finite-difference models is performed for three different time intervals: 2001–2018, 2001–2008, and 2008–2018. These intervals are chosen because changes in the methodology for generating statistical data nearly 2008. **Discussion and conclusions.** The number of calculated predicted values was 18, and only in 4 out of 18 cases (22,2%) their quality is worse than forecasts obtained by the linear multiple model. So proposed modification of the multiple linear regression model with the addition of autoregressive terms makes it possible to improve the forecasting quality of the complex indicator of the natural resource potential of the region and, therefore, to make more effective decisions when managing its level.

Keywords: mathematical modeling, forecasting, finite difference model, natural resource potential of the region, Perm region.

References

1. Khodiyev D.A., Khofizov F.A. [Modeling and forecasting of investment attraction for the development of the natural resource potential of the region]. *Bulletin of the Tajik National University*, 2018, no. 6, pp. 30–36. (in Russ.)
2. 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, vol. 723, 137981. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137981
3. Buur L., Pedersen R., Nystrand M., Macuane J., Jacob T. The politics of natural resource investments and rights in Africa: A theoretical. *The Extractive Industries and Society*, 2020, vol. 7, pp. 918–930.
4. Krasil'nikov P. A. [Geoinformation support for the economic assessment of the natural resource potential of the Perm Krai territories]. *Economy of the region*, 2009, no. 1, pp. 143–151. (in Russ.)

5. Kumar N., Yamas S.S., Velmurugan A. Applications of Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management. *Journal of the Andaman Science Association*, 2015, vol. 20 (1), pp. 1–6.
6. Abuzied S., Kaiser M., Shendi E., Abdel-Fattah M. Multi-criteria decision support for geothermal resources exploration based on remote sensing, GIS and geophysical techniques along the Gulf of Suez coastal area, Egypt. *Geothermics*, 2020, vol. 88, 101893.
7. Zhang D., Shi X., Xu H., Jing Q. GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, 2020, vol. 83, 106397.
8. Goryachev A.A. [Production modeling in global and regional gas optimization models]. *Problems of the economy and management of the oil and gas complex*, 2015, no. 6, pp. 51–58. (in Russ.)
9. Kuznetsov Yu.A., Semenov A.V., Vlasova M.N. [Mathematical modeling of optimal use of non-renewable natural resources]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* [Economic analysis: theory and practice], 2012, no. 32, pp. 45–57. (in Russ.)
10. Li M., Fu Q., Singh P.V., Liu D., Li T. 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, vol. 178, 102685.
11. Biswas M.H., Hossain M.R., Mondal M.K. Mathematical Modeling Applied to Sustainable Management of Marine Resources. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 194, pp. 337–344.
12. Lata K., Misra A.K. The influence of forestry resources on rainfall: A deterministic and stochastic model. *Applied Mathematical Modelling*, 2020, vol. 81, pp. 673–689.
13. Kuryshv N.I. [Model and method for assessing the ecological and economic state of regions]. *Bulletin of Cybernetics*, 2005, no. 4, pp. 149–158. (in Russ.)
14. Kudryavtseva O.V. [Mathematical models for analyzing the consumption of natural resources]. *Bulletin of the Moscow University. Series 6: Economics*, 2007, no. 3, pp. 67–87. (in Russ.)
15. 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, no. 1, pp. 357–359. (in Russ.)
16. Potravnyy I.M., Novoselova A.L., Alnykina E.M. [Models of natural resource depletion and estimates of past pollution damage]. *Plekhanovskiy nauchnyy byulleten'* [Plekhanov Scientific Bulletin], 2015, no. 2, pp. 53–78. (in Russ.)
17. 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, no. 2, pp. 33–40. (in Russ.)
18. Buzina T.S., Polkovskaya M.N. [Models of management of agricultural production processes in conditions of incomplete information]. *Bulletin of the IRGSHA*, 2016, no. 74, pp. 101–109. (in Russ.)
19. Sventitskiy A.G., Sventitskiy I.I. [Exergetic model of rational use of energy natural and man-made resources in agricultural technologies]. *Bulletin of RESEC*, 2016, no. 3, pp. 97–99. (in Russ.)
20. Mayorova M.A. [Economic and mathematical models in the management of production and economic activities of agricultural enterprises]. *Online journal of Science Studies*, 2014, no. 4, p. 109. (in Russ.)
21. Wang H., Huang J., Zhou H., Deng C. Analysis of sustainable utilization of water resources based on the improved water resources ecological footprint model: A case study of Hubei Province, China. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 262, 110331.
22. Sirotnina, N.A., Kopoteva A.V., Zatonskiy A.V. [Assessment of the contribution of the mining industry to the natural resource potential of the region]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], 2020, no. 8, pp. 163–178. (in Russ.) DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-163-178
23. Kremer N.Sh. *Ekonometrika: uchebnik dlya vuzov* [Econometrics: Textbook for universities]. Moscow, UNITY-DANA Publ., 2002. 311 p.

Краткие сообщения

24. Dougerti K. *Vvedeniye v ekonometriku: uchebnik* [Introduction to Econometrics: Textbook]. 2nd ed. Moscow, INFRA-M Publ., 2007. 432 p.
25. Eliseyeva, I.I. *Ekonometrika* [Econometrics]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2007. 576 p.
26. Volkov E.A. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Lan' Publ., 2008. 256 p.

Received 30 March 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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

FOR CITATION

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, vol. 21, no. 2, pp. 154–166. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr210215