

## ОЦЕНКА ВКЛАДА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНА

Н.А. Сиротина<sup>1</sup>, А.В. Копотева<sup>1</sup>, А.В. Затонский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Березниковский филиал, Березники, Россия, e-mail: nsiroтина117@mail.ru

**Аннотация:** Экономическое процветание всякого региона в первую очередь определяется наличием природных ресурсов и их эффективным использованием. Количественно такая эффективность, как правило, измеряется в денежном выражении, имеющем различную форму и ценность для различных регионов, что затрудняет процедуру их сравнения. В данной статье мы конструируем показатель природно-ресурсного потенциала региона в виде взвешенной суммы освоенных региональных природных ресурсов в натуральном выражении. Предложенный метод реализуется на примере трех регионов Российской Федерации: Пермского, Ставропольского и Алтайского краев, каждый из которых обладает индивидуальным набором природных ресурсов. В качестве источников информации использованы официальные федеральные и региональные статистические базы данных. Для исключения влияния единиц измерения при проведении расчетов данные нормировались. Каждый природный ресурс считался частным критерием, а их взвешенная сумма — обобщенным комплексным критерием, характеризующим природно-ресурсный потенциал региона. Вес каждого из частных критериев определялся как величина, обратная его рангу (значимости) в выделенной системе критериев путем минимизации суммы квадратов отклонений текущего и предшествующего значений комплексного критерия. Процедура минимизации была реализована в MS Excel путем полного перебора перестановок рангов частных критериев методом Фишера-Йетса. В ходе исследования установлено, что полученные оптимальные ранжировки частных критериев для всех трех рассмотренных регионов соответствуют их значимости по данным официальной региональной статистики. Это означает, что выбранный способ оценки природно-ресурсного потенциала региона корректен и может быть использован в дальнейших исследованиях.

**Ключевые слова:** горнодобывающая отрасль, полезные ископаемые, природные ресурсы, природно-ресурсный потенциал, оценка, оптимизация, ранжировка, комплексный критерий.

**Для цитирования:** Сиротина Н. А., Копотева А. В., Затонский А. В. Оценка вклада горнодобывающей отрасли в природно-ресурсный потенциал региона // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 8. – С. 163–178. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-163-178.

### Contribution of mining industry to natural resource capacity of a region

N.A. Sirotnina<sup>1</sup>, A.V. Kopoteva<sup>1</sup>, A.V. Zatonskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Perm National Polytechnic Research University, Berezniki branch,  
Berezniki, Russia, e-mail: nsirotnina117@mail.ru

---

**Abstract:** Economic prosperity of any region depends, first of all, on the availability and efficient use of natural resources. Quantitatively, economic exuberance is expressed in money terms, different in form and value per regions, which makes their comparison difficult. In this article, the natural resource capacity of a region is constructed as a weighted sum of developed regional natural resources in physical terms. The case studies of three regions in Russia are presented: Perm, Stavropol and Altai Krai. Each region possesses distinct natural resources. The information sources were the official federal and regional statistics. The calculations involved norming of data to eliminate the influence of unit measures. Each natural resource was assumed as a partial criterion, and their weighted sum was considered as a generalized integrated criterion of the natural resource capacity of a region. The weight of a partial criterion was determined as an inverse value of its rank (significance) in the selected system of criteria by minimizing the sum of squared deviations between the current and previous values of the integrated criterion. The minimization procedure was implemented in MS Excel by brute-force search of variously arranged partial criteria using the Fisher–Yates shuffle. The studies find that the resultant optimal rankings of partial criteria agree with their weights from the official statistics in all three test regions. This means that the method of estimating regional natural resource capacity is correct and applicable in further research.

**Key words:** mining industry, minerals, natural resources, natural resource capacity, estimation, optimization, ranking, integrated criterion.

**For citation:** Siroтина N. A., Kopoteva A. V., Zatonский A. V. Contribution of mining industry to natural resource capacity of a region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(8):163-178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-163-178.

---

## Введение

В силу сложившейся структуры отечественной экономики добыча и переработка полезных ископаемых является одной из наиболее значимых отраслей и главным источником средств в бюджетах всех уровней. В подобных условиях основой эффективного функционирования субъекта хозяйствования является рациональное использование имеющихся в его распоряжении полезных ископаемых различных видов и иных природных ресурсов. Вклад того или иного природного ресурса в совокупный результат экономической деятельности региона, как правило, измеряется в стоимостном выражении в виде валового регионального продукта. Естественно, виды полезных ископаемых, их запасы, масштабы и эффективность освоения существенно различаются по регионам, что в совокупности с различием в ценах и их динамике при-

водит к искаженным стоимостным показателям, а проблема корректной оценки природно-ресурсного потенциала (ПРП) и управления им является актуальной народнохозяйственной задачей.

Вопросам значимости и эффективного освоения минерально-сырьевой базы полезных ископаемых посвящено множество научных работ. Например, в [1] исследована сырьевая база твердых полезных ископаемых Евро-Арктической зоны РФ, при этом выявлено смещение приоритетов в стратегии развития Арктики на развитие углеводородных ресурсов. По мнению авторов [2], согласно проекту новой Классификации запасов твердых полезных ископаемых (ТПИ) Россия находится на пути к интеграции своей структуры горного капитала с крупными международными рынками. В [3] приводятся результаты анализа программных документов субъ-

ектов РФ в сфере воспроизводства минерально-сырьевой базы общераспространенных полезных ископаемых, при этом автор указывает на то, что взаимосвязь региональных программ с положениями государственной программы РФ недостаточна. Основным недостатком рассматриваемых работ заключается в том, что учитываются только минерально-сырьевые ресурсы территории, тогда как природно-ресурсный потенциал является более емким понятием и включает ресурсы иных видов, например, продукцию сельского хозяйства, водные и лесные ресурсы и т.п.

Достаточно распространен подход к оценке эффективности использования ресурсов различных видов в рамках методологии анализа среды функционирования. В частности, в [4] предпринята попытка оценки роли природных ресурсов для международной торговли и финансового развития территорий на основании статистического анализа панельных данных по 30 различным странам, однако анализ проводится на макроуровне, а единый набор факторов в модели не позволяет учитывать специфику конкретного субъекта хозяйствования. Помимо этого, в [5] проведен многомерный анализ факторов — частных критериев на уровне предприятий, а в [6] — на уровне региона. В [7] оценивается эффективность регионального туризма, а в [8] данный метод применяется для оптимизации инвестиционной деятельности нефтедобывающей отрасли. Элементы такого анализа в дальнейшем будут реализованы и использованы в качестве возможной альтернативы моделирования природно-ресурсного потенциала региона.

Еще один известный подход к решению многофакторных и многокритериальных задач — метод экспертных оценок. Авторы в [9] осуществляют аналитическое планирование и разрабатывают

модели социально-экономических объектов различной природы, опирающихся на экспертные оценки. В [10] автор описывает решение задачи оптимизации инвестиционной программы развития АПК региона, используя при этом системы поддержки принятия решений, разработанных на основе метода анализа иерархий. В [11] на основе метода анализа иерархий Саати авторами осуществляется выбор стратегии энергопроизводства при наличии нескольких альтернативных энергоисточников. В рамках метода анализа иерархий в [12] рассматривается проблема оценки уязвимости региональных водных ресурсов, в [13] — проблема оптимального планирования организации подземной инфраструктуры городской агломерации. Еще один метод обработки экспертной информации на естественном языке — нечеткие множества. В частности, задачи управления водными ресурсами в условиях неточных данных о спросе [14] и размещения твердых бытовых отходов в условиях нечетких формулировок и вероятностного характера исходных данных [15] решаются на основании принципа Беллмана-Заде. Основным недостатком экспертных оценок — множественность мнений экспертов и, как следствие, субъективный характер получаемых на основании таких оценок решений.

Кроме того, ряд авторов занимаются проблемами рационального использования полезных ископаемых и иных природных ресурсов. Так, в [16] исследованы возможности использования нерудных полезных ископаемых в качестве вторичных материальных ресурсов, а также как сырья для строительных материалов. В [17] разработан методологический подход к эффективному использованию невозобновляемых природных ресурсов. Авторы [18] особое внимание уделяют вопросам чрезмерной эксплуатации и использования ресурсов, произ-

водят оценку использования природных ресурсов и потенциала ресурсоэффективности. Приведенные подходы реализуются на примере отдельных видов ресурсов без привязки к конкретному региону, и могут быть использованы лишь в качестве составляющих ПРП, но не как его комплексный показатель.

Большое количество статей посвящено вопросам оценки и прогнозирования объемов добычи полезных ископаемых и иных природных ресурсов. В [19] предлагается создание экономического механизма предотвращения экологических конфликтов в регионе добычи природных ресурсов посредством использования экономико-математической модели. Работа [20] посвящена вопросам прогнозирования объемов добычи топливно-энергетических полезных ископаемых. Авторы [21] определяют четкую зависимость экономического развития от наличия различных природных ресурсов, в [22] исследовано, каким образом наличие природных ресурсов влияет на экономическое развитие стран. Применение математического моделирования предполагает, что моделируемый показатель определен, тогда как целью данного исследования является разработка метода его оценки. При этом сама процедура моделирования может быть использована в дальнейшем для построения прогнозных значений ПРП для различных сценариев динамики его составляющих.

Достаточно распространенной темой публикаций отечественных и зарубежных авторов является исследование минерально-сырьевой базы территории в региональном разрезе. В [23] исследованы минерально-сырьевые ресурсы Хабаровского края, приведен их количественно-качественный и стоимостный анализ. В [24] рассмотрен вопрос значимости полезных ископаемых для развития экономики Афганистана. Авторы [25] ана-

лизируют опыт проведения этнологического мониторинга в Республике Саха в рамках проектов, связанных с разведкой и добычей полезных ископаемых. В [26] рассмотрены современные подходы к региональному планированию пустынного региона Сирии на основе принципов устойчивого развития. Авторы [27] приводят обзор по твердым полезным ископаемым Лоухского, Кемского и Беломорского районов, указывая при этом на значимость минерально-сырьевого потенциала данной территории для социально-экономического развития северных районов. В [28] анализируется влияние финансового развития территории на рынок природных ресурсов Пакистана. Несмотря на широкую географию и тематику работ, посвященных проблеме ПРП и вклада в него горнодобывающих отраслей, нам не удалось найти сведений о соответствующих исследованиях на территории Пермского края, что и определяет актуальность данной работы.

Оценка экономического потенциала крупнейшего предприятия отечественной калийной отрасли и одного из лидеров экономики Пермского края ПАО «Уралкалий» рассматривается в [29], однако на региональном уровне невозможен расчет финансовых коэффициентов, а значит данный метод неприменим для характеристики ресурсного потенциала на региональном уровне.

### **Методы и информационная база исследования**

Управление природно-ресурсным потенциалом на региональном уровне осуществляют местные органы власти с помощью стратегий, программ, управленческих решений, посредством которых администрация стремится стимулировать развитие региона. Объектом исследования является природно-ресурсный потенциал субъекта хозяйствования.

Предметом исследования выступает построение комплексного показателя, характеризующего ПРП регионов Российской Федерации.

Целью данного исследования является определение оптимальной ранжировки региональных полезных ископаемых и иных природных ресурсов для конструирования математического показателя природно-ресурсного потенциала региона в виде их взвешенной суммы. Исследование проводилось на примере Пермского, Ставропольского и Алтайского краев. Для этого на основании анализа федеральных и региональных статистических источников для рассматриваемых территориальных субъектов были определены наиболее значимые для их экономики виды полезных ископаемых и прочих природных ресурсов и собраны сведения об уровнях их добычи и переработки. Для оценки весовых коэффициентов, определяющих вклад каждого из ресурсов в ПРП региона выбран и реализован средствами MS Excel метод максимальной гладкости комплексного показателя. Для выбранных регионов произведена оценка ПРП и проанализирован вклад в него отраслей, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых.

Обзор имеющихся по данной тематике публикаций позволил установить, что общепринятого подхода к оценке природно-ресурсного потенциала ни на уровне всего государства, ни на уровне отдельной административной единицы в его составе не существует. Можно выделить следующие три наиболее распространенных подхода:

- декомпозиция изучаемого показателя на отдельные элементы и оценка его на основе оценок полученных элементов;
- экспертный подход, косвенные оценки на основе устоявшихся общепринятых показателей;

- на основании измеримых количественных статистических данных.

При этом во всех трех случаях строится итоговый комплексный критерий в виде взвешенной суммы  $n$  частных показателей  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  вида

$$Y = \alpha_1 \cdot Y_1 + \alpha_2 \cdot Y_2 + \dots + \alpha_n \cdot Y_n.$$

Здесь  $\alpha_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$  — подлежащие определению весовые коэффициенты, характеризующие вклад каждого из частных критериев в совокупный показатель  $Y$ .

Определение весовых коэффициентов возможно путем упорядочения частных критериев по степени значимости, т.е. присвоения каждому частному критерию  $Y_i$  соответствующего ему ранга  $R_i$  и определения веса  $\alpha_i$  как величины, обратной рангу:  $\alpha_i = 1/R_i, i = 1, 2, \dots, n$ . При этом большему значению ранга соответствует меньший вес. Одним из возможных способов ранжирования является использование экспертных оценок. Однако при этом возникает проблема не только подбора и опроса экспертов для каждого изучаемого региона, но и субъективности мнений отдельных экспертов, а также построения обобщенных рангов  $R_i, i = 1, 2, \dots, n$  на основании мнений различных экспертов. Это чревато как усложнением процесса вычисления рангов частных критериев, так и ненадежностью их результирующих значений, что приводит к необходимости выбора альтернативного метода ранжирования. По нашему мнению, относительно универсальный и объективный способ оценки рангов может быть получен исходя из следующих соображений. В качестве частных критериев, составляющих комплексную оценку ПРП, естественно выбрать количественные оценки добытых или использованных природных ресурсов, значимых для экономики региона. Поскольку соответствующие формы хозяйственной деятель-

ности требуют наличия сложной и дорогостоящей инфраструктуры, техники и технологии, изменение таких характеристик во времени в относительно стабильных условиях не может быть резким. Плавное изменение отдельных составляющих ПРП позволяет предположить, что и сводный показатель уровня ПРП также меняется плавно. Это означает, что лучшим следует считать такой набор рангов  $R_i, i = 1, 2, \dots, n$ , который обеспечивает минимум суммы квадратов отклонений последующего значения сводного критерия

$$Y^{t+1} = \alpha_1 \cdot Y_1^{t+1} + \alpha_2 \cdot Y_2^{t+1} + \dots + \alpha_n \cdot Y_n^{t+1}$$

от его текущего значения

$$Y^t = \alpha_1 \cdot Y_1^t + \alpha_2 \cdot Y_2^t + \dots + \alpha_n \cdot Y_n^t,$$

т.е.

$$\alpha_i, i = 1, 2, \dots, n: S = \sum (Y^{t+1} - Y^t)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Процедура расчета рангов в таком случае сводится к полному перебору наборов их значений и выбора того из них, который обеспечивает минимум выражения (1). Конечно, процедуры полного перебора весьма трудоемки, однако данное обстоятельство не является существенной проблемой при достигнутом уровне возможностей современных программных средств и компьютеров. Предложенная процедура не только исключает проблему привлечения экспертов и субъективности их оценок, но и позволяет средствами математики и программирования автоматизировать процесс получения рангов, что делает метод универсальным и объективным.

Расчеты производились по нормированным данным для исключения влияния размерностей частных критериев, при этом использовалась общепринятая формула

$$\tilde{Y}_i^t = \frac{Y_i^t - \min_t Y_i^t}{\max_t Y_i^t - \min_t Y_i^t},$$

где  $Y_i^t, i = 1, 2, \dots, n$  — значение  $i$ -го частного критерия в  $t$ -й период времени,  $\tilde{Y}_i^t \in [0; 1]$  — его нормированное значение.

Для определения ранжировок, обеспечивающих наиболее плавную динамику комплексного показателя ПРП были созданы таблицы Excel, содержащие данные о составляющих ПРП Пермского, Ставропольского и Алтайского краев и написана VBA-программа, реализующая полный перебор перестановок рангов всех частных критериев методом Фишера-Иетса. Поскольку число доступных частных критериев для всех трех рассматриваемых субъектов относительно мало (для Пермского края — 6, для Ставропольского — 5, для Алтайского — 4), то полный перебор дает приемлемое число вариантов перестановок ( $6! = 720, 5! = 120$  и  $4! = 24$  соответственно). В силу малого количества частных критериев их исключение из рассмотрения путем добавления нулевого ранга является нецелесообразным. По этой причине мы рассматривали только полные ранжировки с не повторяющимися (вида 123456) и повторяющимися (вида 112345) рангами.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим реализацию метода на примерах Пермского, Ставропольского и Алтайского краев, одной из основных отраслей экономики которых является добыча, обогащение и переработка полезных ископаемых, то есть горнорудное дело.

Из представленных на сайте Пермского отделения Росстата нами были выбраны следующие статистические показатели оценки природно-ресурсного потенциала, с нашей точки зрения, имеющие или могущие иметь отношение к данной предметной области:

$Y_{11}$  — добыча нефти, включая газовый конденсат, тыс. т;

$Y_{12}$  — добыча угля, тыс. т;

Таблица 1

**Значения частных критериев в период с 2000 по 2017 гг. для Пермского края**  
**Perm region partial criteria values in the period from 2000 to 2017**

<i>t</i>	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$Y_{11}$	75 156,0	78 678,0	82 989,0	89 249,0	92 922,0	93 183,0	95 500,0	97 351,0	98 840,0
$Y_{12}$	167,0	58,0	225,0	155,0	215,0	244,0	307,0	534,0	515,0
$Y_{13}$	28 558,0	27 547,0	26 676,0	25 586,0	24 282,0	23 885,0	23 587,0	23 829,0	23 985,0
$Y_{14}$	6344,9	6740,8	6918,1	7289,7	8643,8	9228,0	8951,8	9696,7	9221,7
$Y_{15}$	14 006,0	16 902,0	15 989,0	16 137,0	17 601,0	18 127,0	19 010,0	20 238,0	26 972,0
$Y_{16}$	3067,2	2852,0	2222,1	2309,6	2606,2	2679,2	2762,0	2824,2	2188,0
<i>t</i>	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
$Y_{11}$	102 255,0	107 369,0	110 170,0	112 084,0	113 663,0	115 049,0	117 030,0	118 558,0	15 597,7
$Y_{12}$	312,0	387,0	318,0	492,0	569,0	558,0	217,0	217,0	217,0
$Y_{13}$	23 345,0	24 379,0	24 518,0	24 571,0	24 798,0	24 907,0	24 593,0	23 852,0	1 993,2
$Y_{14}$	7179,2	9718,0	10295,0	9029,0	9659,0	11051,0	10935,0	10942,0	8324,4
$Y_{15}$	27 352,0	30 056,0	40 557,0	36 029,0	37 652,0	41 669,0	46 537,0	46 067,0	44 956,4
$Y_{16}$	1934,1	1629,2	2193,3	1958,7	2148,0	2132,0	1980,7	2339,3	2000,0

$Y_{13}$  — добыча природного и попутного газов, млн куб. м;

$Y_{14}$  — добыча минерального и углеводородного сырья и производство удобрений, тыс. т;

$Y_{15}$  — продукция сельского хозяйства (в хозяйствах всех категорий; в фактически действовавших ценах, млн руб.);

$Y_{16}$  — производство деловой древесины, тысяч плотных кубических метров.

В табл. 1 представлены значения частных критериев по Пермскому краю.

По результатам проведенных расчетов (табл. 2), наибольшее значение гладкости  $S$  получено при ранжировках 123456 и 112234.

Табл. 2 иллюстрирует наилучшие варианты ранжировок при разном выборе возможных рангов частных критериев.

Таблица 2

**Наилучшие ранжировки при разном выборе возможных рангов частных критериев (Пермский край)**

**Perm region partial criteria optimal ranks of different values sorting**

Частный критерий	Варианты ранжировки $R_{1j}, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$						
	1–6	1–6	1–6	112233	112233	112234	122334
$Y_{11}$	1	2	3	2	1	2	2
$Y_{12}$	6	6	5	3	3	3	3
$Y_{13}$	2	1	2	1	1	1	2
$Y_{14}$	3	3	4	2	2	2	3
$Y_{15}$	5	5	6	3	3	4	4
$Y_{16}$	4	4	1	1	2	1	1
$S$	0,91	0,88	0,63	0,74	0,88	0,63	0,80

Горнодобывающая отрасль в Пермском крае представлена: нефтегазовой промышленностью, горнохимической (добыча калийных солей), а также добычей угля. К тому же на основании анализа финансово-экономических результатов региона добыча полезных ископаемых традиционно является одним из лидеров по прибыльности.

Результат ранжировки для данного субъекта получился вполне логичным (лучшая  $S = 0,63$ ), поскольку полученные результаты согласуются с официальной статистикой.

Обобщенный критерий для природно-ресурсного потенциала Пермского края для ранжировок 1 – 6 имеет вид:

$$Y_1 = Y_{11}/3 + Y_{12}/5 + Y_{13}/2 + Y_{14}/4 + Y_{15}/6 + Y_{16}. \quad (2)$$

Таким образом, наиболее значимый вклад в ПРП Пермского края среди отраслей горнодобывающей промышленности вносит газодобывающая отрасль. Второй по значимости горнодобывающей отраслью является нефтегазовая. Действительно, нефтегазовая промышленность является одним из флагманов экономики Прикамья. Самой прибыльной компанией в 2017 г. являлось ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», прибыль этой компании превышает прибыль занявшей второе место компании ПАО «Уралкалий» в 1,5 раза. Нефтегазовая отрасль Пермского края — это одна из ведущих отраслей, определяющая современное состояние и перспективы социально-экономического развития края. Несмотря на то, что в общем объеме добычи нефти в России на Пермский край приходится всего около 3%, этого достаточно, чтобы вести успешный бизнес на территории региона. «ЛУКОЙЛ» и «Газпром» остаются крупнейшими налогоплательщиками региона и реализуют на территории края ряд инвестиционных проектов.

Третьей по значимости горнодобывающей отраслью является добыча минерального и углеводородного сырья, а кроме того, производство удобрений. Так, добыча и переработка полезных ископаемых составляет 15,7% от общего объема промышленного производства Пермского края. Пермский край производит 20% от объема мирового рынка минеральных удобрений и является одним из центров отечественной химической промышленности. В регионе производится 100% отечественных калийных удобрений, в Прикамье расположен крупнейший производитель метанола в стране — «Метафракс» в г. Губаха, а также основные производители отечественных азотных удобрений — «Минудобрения» в г. Пермь и «Азот» в г. Березники. Значительная часть объемов производства предприятий Пермского края сосредоточена в ТЭК (32%). Рост основных финансовых показателей ТЭК Пермского края способствует развитию экономики края за счет увеличения налоговых поступлений в бюджет и повышения фонда оплаты труда.

Четвертой по значимости является угледобывающая отрасль. В Пермском крае расположены Кизеловский, Вишерский и камский угольные бассейны. Кизеловские угли экономически нецелесообразны для освоения, их добыча прекращена. Угленосность Вишерского бассейна весьма низкая. Специальных разведочных работ на уголь на территории Камского угленосного бассейна не проводилось.

При этом наиболее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом вносит  $Y_{16}$ . Действительно, Пермский край по объемам лесных ресурсов занимает первое место в Приволжском федеральном округе. Ежегодная расчетная лесосека составляет 19 млн м<sup>3</sup>. Прикамье вошло в пилотный проект по развитию биржевой торговли лесом

Таблица 3

**Значения частных критериев в период с 2010 по 2017 гг. для Ставропольского края**  
**Stavropol region partial criteria values in the period from 2010 to 2017**

Критерии	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
$Y_{21}$	964,3	938,3	845,4	845,4	804,4	861,6	877,6	853,0
$Y_{22}$	273,0	281,0	260,0	238,0	227,0	215,0	214,0	208,0
$Y_{23}$	1627,1	1468,0	1576,6	1582,8	1484,0	1509,2	1489,0	1470,0
$Y_{24}$	84 263,0	103 470,0	101 214,0	122 775,0	149 001,0	188 556,0	207 082,0	186 889,0
$Y_{25}$	112,0	116,0	114,0	115,0	118,0	113,0	117,0	116,0

и лесоматериалами в России. И с начала введения биржевой торговли лесом Пермский край закрепился в числе лидеров по этому направлению. Согласно данным СПбМТСБ, за 2018 г. в Пермском крае на торгах было реализовано 141,1 тыс. м<sup>3</sup> лесоматериалов. Помимо этого, регион принял участие в экспериментальном проекте Рослесхоза, и в 2020 г. в крае заработает система «Умный лес», которая займется учетом природных ресурсов.

Менее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом вносит  $Y_{15}$ . Пермский край — зона рискованного земледелия. Сельское хозяйство региона в большей степени зависит от погодных условий. Сохраняется низкая доля сельскохозяйственных товаропроизводителей в цене конечной продукции и в расходах на продукты питания.

Метод описания природно-ресурсного потенциала, полученный поиском ранжировок также был апробирован на примере Ставропольского края.

На основании изучения данных региональной статистики в качестве составляющих ПРП были выбраны следующие отрасли:

$Y_{21}$  — добыча нефти, включая газовый конденсат, тыс. т;

$Y_{22}$  — добыча природного и попутного газов, млн м<sup>3</sup>;

$Y_{23}$  — производство минеральных удобрений, тыс. т;

$Y_{24}$  — продукция с/х, млн руб.;

$Y_{25}$  — число санаторно-курортных организаций, шт.

В табл. 3 представлены значения частных критериев для данного субъекта.

В табл. 4 показаны наилучшие ранжировки при разном выборе возмож-

Таблица 4

**Наилучшие ранжировки при разном выборе возможных рангов частных критериев (Ставропольский край)**

**Stavropol region partial criteria optimal ranks of different values sorting**

Частный критерий	Варианты ранжировки $R_{2j}, j = 1, 2, 3, 4, 5$		
	1	2	3
$Y_{21}$	2	1	1
$Y_{22}$	5	1	4
$Y_{23}$	4	2	3
$Y_{24}$	1	4	0
$Y_{25}$	3	3	2
S	0,35728	0,31173	0,53837

ных рангов частных критериев для данного региона.

Горнодобывающая отрасль в Ставропольском крае представлена нефтегазовой промышленностью, добычей минерального и углеводородного сырья и производством удобрений.

Результат ранжировки для данного субъекта получился вполне логичным (лучшая  $S = 0,31173$ ), поскольку полученные результаты согласуются с официальной статистикой.

Обобщенный критерий для природно-ресурсного потенциала Ставропольского края для ранжировок 2–5 имеет вид:

$$Y_2 = Y_{21} + Y_{22} + Y_{23}/2 + Y_{24}/4 + Y_{25}/3. \quad (3)$$

Действительно, для Ставропольского края согласно полученным ранжировкам среди отраслей горнодобывающей промышленности наибольший вклад в природно-ресурсный потенциал вносит нефтегазовая отрасль, добыча минерального и углеводородного сырья, производство удобрений. Безусловно, обрабатывающая промышленность занимает важное место в экономике края, обеспечивая 11,8% занятости населения края, 15% ВРП края, 64,1% экспорта промышленной продукции, 12,7% налоговых платежей (по информации с сайта правительства). Третьей по значимости горнодобывающей отраслью является добыча природного и попутного газа.

При этом наиболее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным ме-

тодом вносит  $Y_{24}$ . Сельское хозяйство Ставропольского края формирует сельское хозяйство Северо-Кавказского федерального округа в целом. Здесь производится 45% всей сельскохозяйственной продукции округа в стоимостном выражении (по данным с сайта правительства края). Следовательно, агропромышленный комплекс является ключевым сектором инвестиционной активности на территории края, он является одним из лидеров РФ по производству сельскохозяйственной продукции. За последние 10 лет общий объем производимой продукции АПК в крае в сопоставимых ценах вырос в 2,8 раза и составил по итогам 2018 г. 190,3 млрд руб.

Менее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом вносит  $Y_{22}$ . Добыча природного и попутного газа является не профильным для Ставропольского края. В последние годы объем добычи стабилизировался, и в ближайшие годы основная задача — оставаться на том же уровне.

Предложенный метод поиска ранжировок также применим и для Алтайского края. В табл. 5 представлены значения частных критериев для данного субъекта.

$Y_{31}$  — число организаций, оказывающих туристские и санаторно-оздоровительные услуги, ед.

$Y_{32}$  — объем добычи полезных ископаемых, млрд руб.

$Y_{33}$  — продукция с/х, млн руб.

$Y_{34}$  — производство древесины, тыс. куб.

Таблица 5

**Значения частных критериев в период с 2010 по 2017 гг. для Алтайского края**  
**Altai region partial criteria values in the period from 2010 to 2017**

Критерии	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
$Y_{31}$	730,0	740,0	760,0	780,0	790,0	800,0	800,0	980,0
$Y_{32}$	5,7	5,8	7,4	7,4	3,2	4,4	4,6	4,7
$Y_{33}$	83 335,0	93 784,0	94 297,0	114 743,0	113 938,0	141 356,0	143 321,1	125 955,5
$Y_{34}$	3084,2	3345,5	2982,0	2543,8	2512,9	2501,5	2640,0	2713,0

Таблица 6

**Наилучшие ранжировки при разном выборе возможных рангов частных критериев (Алтайский край)****Altai region partial criteria optimal ranks of different values sorting**

Частный критерий	Варианты ранжировки $R_{3j}, j = 1, 2, 3, 4$		
	$Y_{31}$	4	3
$Y_{32}$	1	1	0
$Y_{33}$	3	2	2
$Y_{34}$	2	1	1
$S$	1,60635	1,54963	1,66984

В табл. 6 представлены наилучшие ранжировки при разном выборе возможных рангов частных критериев для данного региона.

Обобщенный критерий для природно-ресурсного потенциала Алтайского края для ранжировок 3–4 имеет вид:

$$Y_3 = Y_{31}/3 + Y_{32} + Y_{33}/2 + Y_{34}. \quad (4)$$

Горнодобывающая отрасль в Алтайском крае представлена добычей полезных ископаемых, причем эта же отрасль вносит наиболее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом ( $Y_{32}$ ). Добыча полезных ископаемых — флагман экономики Алтайского края. Наиболее значимыми для экономики края видами полезных ископаемых в настоящее время являются полиметаллические руды, золото и сульфат натрия.

Лесная промышленность также является одной из самых важных сфер производства Алтайского края. В этой сфере удалось привлечь инвесторов, которые спонсировали предприятия лесного сектора. Этот факт позволил лесному сектору пользоваться всеми преимуществами: модернизировалось и технически оснащалось производство, создавались важные факторы для развития лесных поселков Алтая.

Вторым по значимости вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом вносит  $Y_{33}$ . Занимая лишь 4% территории

и имея около 12% населения Сибири, край производит пятую часть сельскохозяйственной продукции Сибирского Федерального округа.

Менее значимый вклад в ПРП в соответствии с выбранным методом вносит  $Y_{31}$ . В настоящее время Алтайский край пытается позиционировать себя как многопрофильный туристский регион. В крае активно развивается лечебно-оздоровительный, сельский, научно-познавательный, спортивный, событийный, деловой туризм. В Сибирском Федеральном округе край занимает первое место по количеству мест в санаторно-курортных средствах размещения и числу отдыхающих.

**Заключение**

В результате работы были выделены частные критерии оценки природно-ресурсного потенциала, выбранные из числа общедоступных статистических данных, получена их обоснованная ранжировка. Показана работоспособность данного метода на примерах Пермского, Ставропольского и Алтайского края.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Оптимальные ранжировки частных критериев, полученные для трех различных регионов РФ на основании метода максимальной гладкости комплексного критерия ПРП, в целом соответствуют официальным экспертным

оценкам значимости ключевых отраслей для региональных экономик. В частности, наиболее значимый вклад в ПРП Пермского края вносит производство деловой древесины, наименее значимый — сельское хозяйство. Для Ставропольского края наиболее значимым природным ресурсом оказалось сельское хозяйство, наименее значимым — добыча природного и попутного газа. Для Алтайского края наиболее значимой является горнодобывающая отрасль, наименее значимой — туристическая. Это позволяет утверждать, что соответствующий комплексный критерий оценки ПРП и методика его определения экономически корректны и могут быть использованы для любого территориального ресурсного потенциала. При этом для всех рассмотренных субъектов горнодобывающие отрасли оказались в числе первых по значимости (с низкими рангами  $R_{ij}$  и высокими весовыми коэф-

фициентами  $\alpha_{ij} = 1/R_{ij}$ ). Так, совокупный вес четырех горнодобывающих отраслей Пермского края (добыча угля, нефти, газа и калийных солей) составляет 1,28 из общих 2,45 (52,4%); совокупный вес трех горнодобывающих отраслей Ставропольского края (добыча нефти, газа и производство минеральных удобрений) равен 0,95 из общих 2,28 (41,6%). Весовой коэффициент первостепенной для Алтайского края горнодобывающей отрасли равен 1, что составляет 48,0% от суммарного веса всех включенных в анализ ресурсов. Столь значительный вклад этих отраслей свидетельствует об их огромной значимости для рассмотренных регионов РФ и ее экономики в целом. Таким образом, разработанный метод оценки ПРП не только позволяет сформулировать комплексный показатель его регионального уровня, но и оценивать значимость различных отраслей для конкретной территории.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиров Д. В. Сырьевая база твердых полезных ископаемых — основа сбалансированного социально-экономического развития Евро-Арктической зоны Российской Федерации // Север и рынок: формирование экономического порядка. — 2019. — № 1 (63). — С. 36 — 49.
2. Шпуров И. В. Значимость и статус проекта новой классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых РФ // Недропользование XXI век. — 2019. — № 2. — С. 62 — 62.
3. Александров О. В. О развитии минерально-сырьевой базы общераспространенных полезных ископаемых в субъектах Российской Федерации // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 4. — С. 39 — 42.
4. 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. Pp. 65 — 78.
5. Березовский В. С. Сравнительный анализ эффективности российских электросетевых компаний с помощью метода анализа среды функционирования (DEA) // Новое в российской электроэнергетике. — 2018. — № 8. — С. 58 — 67.
6. Ратнер С. В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // Управление большими системами: сборник трудов. — 2017. — № 67. — С. 81 — 106.
7. Chaabouni S. China's regional tourism efficiency. A two-stage double bootstrap data envelopment analysis // Journal of Destination Marketing & Management. 2019. Vol. 11. Pp. 183 — 191.

8. Zhong Y., Zhao J. The optimal model of oilfield development investment based on Data Envelopment Analysis // *Petroleum*. 2016. Vol. 2. No 3. Pp. 307 – 312.
9. Кочанов А. А., Лясин Д. Н. Экспертная оценка асимметричных криптоалгоритмов по методу Саати // *NovalInfo.Ru*. – 2017. – Т. 1. – № 60. – С. 41 – 46.
10. Соломахин А. Н. Решение задачи оптимизации программы развития регионального АПК методом анализа иерархий Саати // *Системы управления и информационные технологии*. – 2007. – № 1–2 (27). – С. 279–282.
11. Федорова Н. В., Мохов В. А., Антоненко Е. М., Шафорост Д. А., Коломийцева А. М., Утишева С. А., Ушаков Ф. И. Выбор стратегии энергопроизводства при наличии нескольких видов энергоисточников с применением метода анализа иерархий Саати / *Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века. Труды III международной конференции*. – Казань, 2017. – С. 616–620.
12. Shabbir R., Ahmad S.S. Water resource vulnerability assessment in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan using Analytic Hierarchy Process (AHP) // *Journal of King Saud University – Science*. 2016. Vol. 28. No 4. Pp. 293–299.
13. Doyle M. R. Mapping urban underground potential in Dakar, Senegal: From the analytic hierarchy process to self-organizing maps // *Underground Space*. 2019. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.04.004
14. Kindler J., Tyszewski S., Zielinski P. Water Resources Allocation with Imprecise Demand Estimates // *IFAC Proceedings Volumes*. 1984. Vol. 17. No 2. Pp. 3139–3144.
15. Biswas A., De A. K. A Fuzzy Goal Programming Approach for Solid Waste Management Under Multiple Uncertainties // *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 35. Pp. 245–256.
16. Щепетова В. А. Эколого-экономические проблемы добычи полезных ископаемых месторождений Пензенской области // *Образование и наука в современном мире*. – 2018. – № 8. – С. 262–267.
17. Агеев В. Г. Эколого-экономические проблемы комплексного использования природных ресурсов и возможные пути их решения // *Научный вестник НИИГД Респиратор*. – 2018. – № 1. – С. 89–103.
18. Samus T., Lang B. Assessing the natural resource use and the resource efficiency potential of the Desertec concept // *Solar Energy*. 2013. Vol. 87. Pp. 176–183.
19. Новоселова И. Ю. Экономический механизм предотвращения экологических конфликтов в регионе // *Экономика. Налоги. Право*. – 2019. – № 5. – С. 70–81.
20. Матвеев В. В. Прогнозирование объемов добычи топливно-энергетических полезных ископаемых в современных геоэкономических условиях / *Перспективные технологии проектного менеджмента в региональной и отраслевой индустрии. Материалы I Всероссийской научно-практической конференции*. – Орел, 2019. – С. 299–304.
21. Namazi M., Mohammadi E. Natural resource dependence and economic growth: A TOPSIS/DEA analysis of innovation efficiency // *Resources Policy*. 2018. Vol. 59. Pp. 544–552.
22. Amiri H., Samadian F. Natural resource abundance, institutional quality and manufacturing development: Evidence from resource-rich countries // *Resources Policy*. 2019. Vol. 62. Pp. 520–560.
23. Склярова Г. Ф., Архипова Ю. А. Минерально-сырьевые ресурсы Хабаровского края как субъекта Дальневосточного федерального округа и их геоэкономическая оценка // *Горный журнал*. – 2018. – № 10. – С. 13–18.
24. Гулом Ф. И. Экономическая значимость полезных ископаемых Афганистана и препятствия на пути их освоения // *Вестник таджикского национального университета. Образование и наука в современном мире*. – 2017. – № 2/2. – С. 100–105.
25. Потравная Е. В. Этнологический мониторинг проектов в управлении природопользованием // *Экология экономика. информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. – 2019. – № 4. – С. 39–44.

26. Щербина Е. В. Значение природных условий в региональном планировании особенности пустынного региона Сирии // Экология урбанизированных территорий. — 2019. — № 3. — С. 107–113.

27. Щипцов В. В. Минерально-сырьевой потенциал арктических районов республики Карелия // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. — 2018. — № 2. — С. 3–33.

28. Rashid Khan H., Zaman K., Usman B. Financial management of natural resource market: Long-run and inter-temporal (forecast) relationship // Resources Policy. 2019. Vol. 63. Pp. 165–178.

29. Черный С. А., Копотева А. В., Гуреев К. А. Анализ влияния экономического потенциала предприятия на его конкурентоспособность Актуальные проблемы экономики. — 2014. — № 3 (153). — С. 238–247.

30. Янченко Т. В., Затонский А. В. Определение оптимальной ранжировки частных критериев оценки краевого социального ресурса // Экономика и менеджмент систем управления. — 2013. — Т. 10. — № 4. — С. 99–104. **ПЛАЭ**

## REFERENCES

1. Zhirov D. V. Solid mineral reserves and resources — a framework for the balanced social and economic development in the Euro-Arctic zone of the Russian Federation. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*. 2019, no 1 (63), pp. 36–49. [In Russ].

2. Shpurov I. V. Relevance and status of the new draft classification of solid mineral reserves and resources of the Russian Federation. *Nedropol'zovanie XXI vek*. 2019, no 2, pp. 62–62. [In Russ].

3. Aleksandrov O. V. Expansion of the common mineral reserves and resources in the federal subjects of the Russian Federation. *Razvedka i okhrana nedr*. 2017, no 4, pp. 39–42. [In Russ].

4. 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. Pp. 65–78.

5. Berezovskiy V. S. Comparison of efficiency of Russia's electric network companies using the data envelope analysis (DEA). *Novoe v rossiyskoy elektroenergetike*. 2018, no 8, pp. 58–67. [In Russ].

6. Ratner S. V. Dynamic problems of ecological and economic efficiency evaluation of regions based on reference models of the data envelope analysis. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov*. 2017, no 67, pp. 81–106. [In Russ].

7. Chaabouni S. China's regional tourism efficiency. A two-stage double bootstrap data envelopment analysis. *Journal of Destination Marketing & Management*. 2019. Vol. 11. Pp. 183–191.

8. Zhong Y., Zhao J. The optimal model of oilfield development investment based on Data Envelopment Analysis. *Petroleum*. 2016. Vol. 2. No 3. Pp. 307–312.

9. Kochanov A. A., Lyasin D. N. Expert appraisal of asymmetrical crypton algorithms by the Saaty method. *NovInfo.Ru*. 2017. vol. 1, no 60, pp. 41–46. [In Russ].

10. Solomakhin A. N. Optimization of the development program for the regional agribusiness industry using the analytic hierarchy process of Saaty. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2007, no 1–2 (27), pp. 279–282. [In Russ].

11. Fedorova N. V., Mokhov V. A., Antonenko E. M., Shaforost D. A., Kolomiytseva A. M., Utisheva S. A., Ushakov F. I. Selection of energy industry strategy given a few energy sources using the analytic hierarchy process of Saaty. *Okruzhayushchaya sreda i ustoychivoe razvitie regionov: ekologicheskie vyzovy XXI veka*. Trudy III mezhdunarodnoy konferentsii [Environment and Sustainable Development: 21st Century Ecology Challenges. III International Conference Proceedings], Kazan, 2017, pp. 616–620. [In Russ].

12. Shabbir R., Ahmad S. S. Water resource vulnerability assessment in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of King Saud University – Science*. 2016. Vol. 28. No 4. Pp. 293–299.

13. Doyle M.R. Mapping urban underground potential in Dakar, Senegal: From the analytic hierarchy process to self-organizing maps. *Underground Space*. 2019. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.04.004
14. Kindler J., Tyszewski S., Zielinski P. Water Resources Allocation with Imprecise Demand Estimates. *IFAC Proceedings Volumes*. 1984. Vol. 17. No 2. Pp. 3139–3144.
15. Biswas A., De A. K. A Fuzzy Goal Programming Approach for Solid Waste Management Under Multiple Uncertainties. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 35. Pp. 245–256.
16. Shchepetova V.A. Ecological and economic problems of mineral mining in the Penza Region. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire*. 2018, no 8. pp. 262–267. [In Russ].
17. Ageev V.G. Integrated use of natural resources: Ecological and economic problems and possible solutions. *Nauchnyy vestnik NIIGD Respirator*. 2018, no 1, pp. 89–103. [In Russ].
18. Samus T., Lang B. Assessing the natural resource use and the resource efficiency potential of the Desertec concept. *Solar Energy*. 2013. Vol. 87. Pp. 176–183.
19. Novoselova I.Yu. Economic mechanisms of ecological conflict prevention in a region. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. 2019, no 5, pp. 70–81. [In Russ].
20. Matveev V.V. Prediction of production outputs of fuel and power mineral resources in modern geoeconomics. *Perspektivnye tekhnologii proektnogo menedzhmenta v regional'noy i otraslevoy industrii*. Materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Advanced Project Management Technologies in the Regional and Sectorial Industry. I Russian Conference and Workshop Proceedings], Orel, 2019, pp. 299–304. [In Russ].
21. Namazi M., Mohammadi E. Natural resource dependence and economic growth: A TOPSIS/DEA analysis of innovation efficiency. *Resources Policy*. 2018. Vol. 59. Pp. 544–552.
22. Amiri H., Samadian F. Natural resource abundance, institutional quality and manufacturing development: Evidence from resource-rich countries. *Resources Policy*. 2019. Vol. 62. Pp. 520–560.
23. Sklyarova G. F., Arkhipova Yu.A. Mineral resources of the Khabarovsk Territory as a subject of the Russian Far East Federal District and their geo-economic appraisal. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 10, pp. 13–18. [In Russ].
24. Gulom F.I. Economic significance of minerals and mining constraints in Afghanistan. *Vestnik tadzhikskogo natsional'nogo universiteta. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire*. 2017, no 2/2, pp. 100–105. [In Russ].
25. Potravnyaya E.V. Ethnologic monitoring of natural management projects. *Ekologiya ekonomika. informatika. Sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem*. 2019, no 4, pp. 39–44. [In Russ].
26. Shcherbina E.V. Importance of natural environment in regional planning: Features of desert terrain in Syria. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2019, no 3, pp. 107–113. [In Russ].
27. Shchiptsov V.V. Mineral resource capacity of the Arctic areas in the Republic of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018, no 2, pp. 3–33. [In Russ].
28. Rashid Khan H., Zaman K., Usman B. Financial management of natural resource market: Long-run and inter-temporal (forecast) relationship. *Resources Policy*. 2019. Vol. 63. Pp. 165–178.
29. Chernyy S.A., Kopoteva A. V., Gureev K.A. Effect of economic strength on competitiveness of a company. *Aktual'nye problemy ekonomiki*. 2014, no 3 (153), pp. 238–247. [In Russ].
30. Yanchenko T.V., Zatonskiy A.V. Optimization of ranking of partial criteria for regional social resource appraisal. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2013, vol. 10, no 4, pp. 99–104. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сиротина Наталья Александровна<sup>1</sup> – старший преподаватель,  
e-mail: nsiroтина117@mail.ru,

Копотева Анна Владимировна<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент,

e-mail: kopoteva\_av@mail.ru,

Затонский Андрей Владимирович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор,

зав. кафедрой, e-mail: zxenon@narod.ru,

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал.

**Для контактов:** Сиротина Н.А., e-mail: nsiroтина117@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N.A. Siroтина<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: nsiroтина117@mail.ru,

A.V. Kopoteva<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

e-mail: kopoteva\_av@mail.ru,

A.V. Zatonskiy<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Head of Chair, e-mail: zxenon@narod.ru,

<sup>1</sup> Perm National Polytechnic Research University, Berezniki branch, 618404, Berezniki, Russia.

**Corresponding author:** N.A. Siroтина, e-mail: nsiroтина117@mail.ru.

Получена редакцией 22.01.2020; получена после рецензии 14.04.2020; принята к печати 20.07.2020.

Received by the editors 22.01.2020; received after the review 14.04.2020; accepted for printing 20.07.2020.



---

## РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

### ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

(№ 1225/08–20 от 02.06.2020; 6 с.)

Абдуллаев Улан Ганиевич — магистрант, ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: a.ulan94@mail.ru.

Разработана трехуровневая система управления для оптимального распределения выщелачивающих растворов и синтез систем управления метода эффективного извлечения, путем определения «застойных зон» на основе численного моделирования. Построение математических моделей и идентификация аналитических зависимостей для обоснования оптимального управления технологии подземного выщелачивания, направленных на эффективную эксплуатацию.

Ключевые слова: технология подземного выщелачивания, погружные насосы, электрический привод, частотно-регулируемый привод, математическое моделирование.

### VISUAL MODELING IN MATLAB ENVIRONMENT OF A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE OF A PUMPING UNIT FOR VARIOUS CONTROL SYSTEMS

Abdullaev U.G., Master's Degree Student, e-mail: a.ulan94@mail.ru,

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

The significance of the work consists in the development of a three-level control system for optimal distribution of leaching solutions and the synthesis of control systems for efficient extraction by determining «stagnant zones» based on numerical modeling. Construction of mathematical models and identification of analytical dependencies to justify optimal control of underground leaching technology aimed at efficient operation.

Key words: underground leaching technology, submersible pumps, electric drive, frequency-controlled drive, mathematical modeling.