

DOI: 10.12731/2070-7568-2023-12-1-150-171

УДК 659.1



ЦИФРОВОЙ ПРОГНОЗ ИНВЕСТИЦИЙ НА ОХРАНУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ «ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ»

*Н.И. Ломакин, Л.Я. Соломахина, В.В. Покидова,
И.А. Уланова, А.Н. Курасов, Ю.А. Качанов*

Исследованы теоретические основы развития природоохранных мероприятий в России и мире, вопросы инвестирования в охрану окружающей среды. Научная новизна состоит в том, что на основе использования вариационного ряда исследуемых параметров разработана модель машинного обучения «Дерево решений», с помощью которой было сформировано прогнозное значение величины инвестиций в природоохранные меры по охране окружающей среды. Актуальность состоит в том, что для определения объемов инвестирования в природоохранные меры в стране была использована система искусственного интеллекта – машинное обучение «Дерево решений» (ML «Decision tree»), что позволило успешно решить сложную проблему ввиду действия множества факторов на исследуемый параметр. Использование предложенного подхода особенно актуально в свете майских Указов Президента РФ. В 2018 году, в Указах Президента были сформулированы стратегические принципы развития страны, направленные на формирование «цифровой экономики», призванные обеспечить дальнейшее движение согласно «Стратегии научно-технического развития России» по магистральному направлению, согласно которой в качестве фундамента в целях осуществления инновационных изменений в государстве будут использованы цифровые технологии. С помощью системы искусственного интеллекта было сформирован прогноз такого параметра, как объем инвестирования в стране в природоохранные меры на следующий год, а именно 6,2221 млн. руб.

Ключевые слова: ML; инвестирование в охрану окружающей среды; цифровая экономика; Дерево решений; цифровой прогноз

Для цитирования. Ломакин Н.И., Соломахина Л.Я., Покидова В.В., Уланова И.А., Курасов А.Н., Качанов Ю.А. Цифровой прогноз инвестиций на охрану окружающей среды с использованием модели машинного обучения «Дерево решений» // Наука Красноярья. 2023. Т. 12, №1. С. 150-171. DOI: 10.12731/2070-7568-2023-12-1-150-171

DIGITAL ENVIRONMENTAL INVESTMENT FORECAST USING A DECISION TREE MACHINE LEARNING MODEL

*N.I. Lomakin, L.Ya. Solomakhina, V.V. Pokidova,
I.A. Ulanova, A.N. Kurasov, Yu.A. Kachanov*

Theoretical foundations for the development of environmental protection measures in Russia and the world, the issues of investing in environmental protection are studied. The scientific novelty lies in the fact that based on the use of a variational series of the studied parameters, a machine learning model “Decision Tree” was developed, with the help of which a predictive value of the amount of investment in environmental protection measures was formed. The relevance lies in the fact that to determine the volume of investment in environmental measures in the country, an artificial intelligence system was used – machine learning “Decision tree” (ML “Decision tree”), which made it possible to successfully solve a complex problem due to the influence of many factors on the parameter under study. The use of the proposed approach is especially relevant in the light of the May Decrees of the President of the Russian Federation. In 2018, in the Decrees of the President, strategic principles for the development of the country were formulated, aimed at the formation of a “digital economy”, designed to ensure further movement in accordance with the “Strategy for Scientific and Technical Development of Russia” in the main direction, according to which, as a foundation for the implementation of innovative changes in the state will use digital technologies. With the help of the artificial intelligence system, a forecast was formed for such a parameter as the volume of investment in the country in environmental measures for the next year, namely 6.2221 million rubles.

Keywords: *ML; environmental investment; digital economy; decision tree; digital forecast*

For citation. *Lomakin N.I., Solomakhina L.Ya., Pokidova V.V., Ulanova I.A., Kurasov A.N., Kachanov Yu.A. Digital Environmental Investment Forecast Using a Decision Tree Machine Learning Model. Krasnoyarsk Science, 2023, vol. 12, no. 1, pp. 150-171. DOI: 10.12731/2070-7568-2023-12-1-150-171*

Актуальность исследования определяется тем, что для обеспечения поддержки принятия управленческих решений на практике все шире используются различные системы искусственного интеллекта (AI-systems). В проведенном исследовании при расчете объемов инве-

стирования в природоохранные меры в стране также использовалась система искусственного интеллекта, на основе машинного обучения (machine learning) «Дерево решений» (ML «Decision tree»), что имеет важное значение в современных условиях. Стремительное изменение бизнес-процессов, с непрерывной их автоматизацией приводит к негативным воздействиям на окружающую среду, что требует увеличения инвестиций на природоохранные меры в РФ, и делает востребованным использование AI-систем, которые находят все более широкое применение с развитием «диджитализации» экономики, как важнейшего компонента нового технологического уклада – «Индустрия 4.0». Цель работы – на основе использования вариационного ряда исследуемых параметров разработать модель машинного обучения «Дерево решений», с помощью которой сформировать прогнозное значение величины инвестиций в природоохранные меры.

Материалы и методы исследования

При проведении исследований авторами использовались преимущества монографического, аналитического методов, применялась AI-система - модель машинного обучения «Дерево решений». Расчеты выполнялись в таблицах XL, облачном сервисе Google Collab. [7]

Как показывают исследования, в современных условиях отмечается широкомасштабное развитие процессов цифровизации, что связано с внедрением технологий «Индустрия 4.0», причем, в числе важнейших ее элементов следует отметить: когнитивные технологии, киберфизические системы, умное производство, интернет вещей, Big Data и другие [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Теоретические основы развития охраны окружающей среды в России

По мнению многих экспертов, состояние окружающей природной среды в России оставляет желать лучшего, поскольку его состояние трудно назвать удовлетворительным [1]. Современное мировое сообщество выступает в поддержку модели экономического роста, в

основе которой используются подходы в развитии, с одной стороны, его фундаментальных основ, опирающихся на рост технологического прогресса, модернизацию производства, и увеличение человеческого капитала, укрепление инфраструктуры и макроэкономической стабилизации, а с другой – вектор, предусматривающий роста за счет «зеленой» составляющей [11]. Одним из главных назначений экологической функции государства является обеспечение научно обоснованного соотношения интересов общества в экологической и экономической сферах, создание необходимых гарантий для реализации и защиты прав человека на чистую природную среду.

Применение современных подходов, опирающихся на решение экологических проблем, особенно актуально в свете майских Указов Президента РФ. В 2018 году, в Указах Президента были сформулированы стратегические принципы развития страны, которые направлены на формирование «цифровой экономики» и призваны обеспечить поступательное движение в соответствии со «Стратегией научно-технического развития России» [15]. Следует отметить, что развитие процессов цифровизации повышает интенсивность воздействия индустрии на экологию.

На охрану окружающей среды российскими предприятиями было израсходовано в 2020 году в период пандемии коронавируса в абсолютном выражении больше в сравнении с 2019 годом на 97,2 млрд руб., или на 13,1%. То есть, расходы на экологию и охрану окружающей среды возросли до 836,5 млрд. руб. Компаниями реального сектора экономики было израсходовано 640,5 млрд. руб. в целях защиты воздуха, земли и воды от негативного воздействия. Исследования показали, что предприятиями было потрачено 614,2 млрд руб., на финансирование текущих эксплуатационных затрат и оказание услуг, связанных с охраной окружающей среды, и дополнительно 26,3 млрд. руб. было направлено на финансирование капитального ремонта основных фондов, имеющих природоохранное назначение, а именно на ремонт оборудования и инфраструктуры.

Большая часть средств была израсходована в целях очистки сточных вод – 243,9 млрд. руб., утилизацию отходов – 250,1 млрд. руб.,

а также эксплуатацию оборудования по очистке атмосферного воздуха и предотвращению необратимых изменений климата – 81,9 млрд. руб. В рассмотренную статью затрат включены суммы, направленные в целях восстановления природной среды, снижения уровня негативного воздействия от промышленных выбросов, в целях осуществление постоянного контроля за уровнем вредных выбросов и отходов, а также на выплаты заработной платы сотрудникам, которые заняты на объектах природоохранного характера.

Кроме того, отмечает Трубникова Е. в аналитическом обзоре агентства «Finexpertiza» в 2021 году предприятия реального сектора экономики потратили 196 млрд руб. в целях обеспечения охраны окружающей среды и природопользование, в том числе 91,3 млрд руб. – в целях защиты имеющихся водных ресурсов, 69,6 млрд руб. – на предотвращение загрязнения атмосферного воздуха, 15,3 млрд руб. – на защиту и надлежащую эксплуатацию земель. В структуру экологических инвестиций в основной капитал входят затраты в целях строительства, реконструкции и модернизации объектов, надлежащее обеспечение предприятий оборудованием и необходимыми установками в целях воздушной фильтрации, оборудованием, имеющими целью улавливание вредных веществ, станциями очистки воды и так далее [13].

Еще в 1970-е гг. лауреатом Нобелевской премии по экономике в 2018 г. У. Нордхаусом было отмечено, что процесс непрерывного экономического развития находится под влиянием динамики состояния глобального климата и непосредственно под воздействием окружающей среды. Им фактически были объединена модель экономического роста с моделью климатических изменений и в результате была предложена «интегрированная оценочная модель»

По мнению Дулатовой Н.В., наличие текущих и появление новых глобальных проблем и в России, и за рубежом, требуют проведения дальнейших научных исследований в целях поиска эффективных и надежных решений с использованием возможностей цифровизации бизнес-процессов [5]. Некоторые эксперты полагают, что совокупный эффект от использования цифровизации главным об-

разом может быть получен за счет широкомасштабного развития цифровой сферы.

Как отмечается в «майских» Указах Президента, необходимым условием становится реализация национальной программы «Цифровая экономика РФ», что позволит обеспечить правовое регулирование процессов развития цифровизации экономики. Например, паспорт национального проекта «Экология», утвержденного президентом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам имеет своей основной целью ряд важнейших первоочередных задач [9].

По мнению Демирела (Demirel) важное значение в развитие науки о защите окружающей среды имеет постановка и обсуждение актуальных и острых вопросов, подчеркивая роль нескольких факторов, таких как жизненный цикл отрасли, распространение знаний, институты и доступность внешнего финансирования, в формировании принятия решений и поведения фирм в «зеленых» стартапах [17]. Как показал анализ, за исследуемый период 2000-2018 гг. инвестиции в природоохранные меры возросли с 22338.6 млн. руб. в 2000 г. до 157651 млн. руб. в 2018 г., или в 7,1 раза (таблица 1).

Таблица 1.

Динамика инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды (фрагмент)

Год	Доля инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в общем объеме инвестиций, %	Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов	Текущие затраты на охрану окружающей природной среды, млн. руб.
2020	0,571	115679,5	393691,0
2019	0,410	79434,6	374411,1
2018	0,892	157651,1	345464,2
2017	0,961	154042,0	320947,3
2016	0,950	139677,1	306534,1
2015	1,091	151788,2	290890,1
2014	1,142	158636,3	269839,4
2013	0,921	123807,1	254377,3
2012	0,923	116543,0	239170,2
2011	0,864	95662,3	222599,1
2010	0,972	89093,9	195461,4

Источник: [18], [10], [12]

Показатель «Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» имеет следующую динамику (рисунок 1).

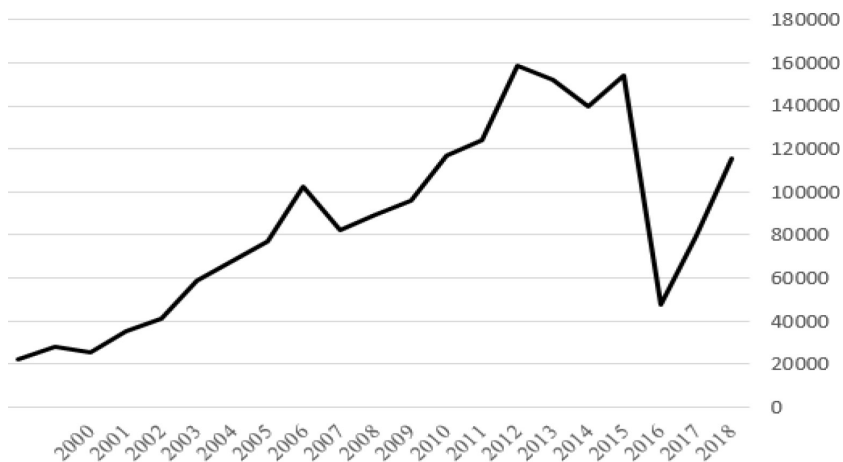


Рис. 1. Динамика инвестиций на охрану природу в 2000-2018 гг.

Источник: [авторская разработка]

По данным аналитической записки Центра международных финансов НИФИ, Россия вошла в состав семи стран и имеет средние значения величин объемов «зеленых» инвестиций – 6000 млн. долларов США [8].

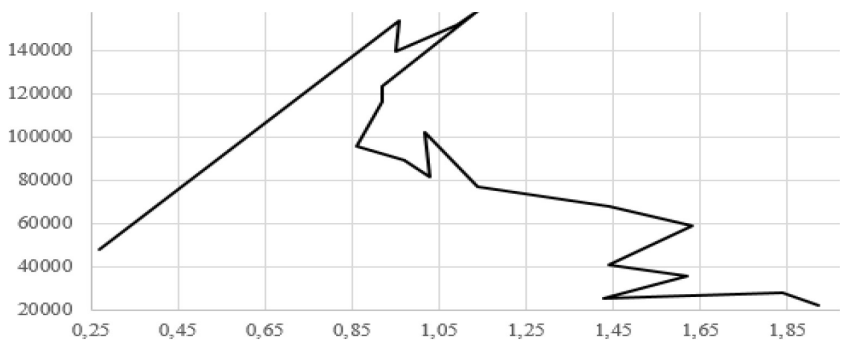


Рис. 2. Зависимость инвестиций на охрану природу от их доли в инвестициях в основной капитал

Источник: [авторская разработка]

При этом такой показатель, как «Доля инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в общем объеме инвестиций, %» сократилась с 1,92% в 2000 г. до 0,89% в 2018 г. [14] Зависимость инвестиций на охрану природу от их доли в инвестициях в основной капитал представлена ниже (рисунок 2).

Многогранность проблемы обуславливают необходимость применения систем искусственного интеллекта, например, «Дерева решений» при прогнозировании важных параметров, связанных с защитой окружающей среды.

Прогноз инвестиций на охрану окружающей среды на основе ML DT модели

Как известно, дерево решений (Decision Tree, DT) представляет собой инструмент, обеспечивающий поддержку принятия управленческих решений, в котором используется древовидная модель решений и их возможных последствий, в том числе и варианты исходов случайных событий, затрат ресурсов и динамику параметра полезности [4].

Процесс формирования «Дерева решений» проходит следующие этапы формирования. В ходе разработки дерева решений требуется урегулирование нескольких основных проблем: а) выбор атрибута, необходимого для последующего разбиения в данном узле; б) определение критерия останковки обучения; в) подбор метода отсечения ветвей; г) проведение оценки точности предсказания (классификации) сформированного дерева.

На первом этапе необходимо выбрать атрибут разбиения, при этом, для формирования правила, чтобы обеспечить разбиение в очередном узле дерева следует выбрать атрибут, с помощью которого это будет выполнено. Принцип «разделяй и властвуй» заложен в основе работы большинства используемых алгоритмов обучения деревьев решений. Принцип работы алгоритма реализуется следующим образом при этом задано обучающее множество S , содержащее n примеров, для каждого из которых задана метка класса

$$C_i = (i = 1 \dots k), \quad (1)$$

И m атрибутов

$$A_j = (j = 1 \dots m), \quad (2)$$

которые, определяют факт принадлежности объекта к тому или иному классу.

В нашем случае атрибутом был выбран признак: X – «Доля инвестиций на охрану окружающей среды в инвестициях в основной капитал, %». Критерий основан на понятиях теории информации, а именно – информационной энтропии.

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} \log\left(\frac{N_i}{N}\right), \quad (3)$$

Где n – число классов в исходном подмножестве;

N_i – число примеров i -го класса;

N – общее число примеров в подмножестве.

Признаком, выбранным для формирования прогноза, стал $У$ «Инвестиции в основной капитал на охрану окружающей среды, млн. руб.».

При проведении настоящего исследования была использована CART (Classification and Regression Tree), который представляет собой алгоритм, используемый для обучения деревьев решений, который позволяет использовать как дискретную, так и непрерывную целевую переменную. Это дает возможность решать как задачи классификации, так и задачи регрессии. Алгоритм способен строить деревья, у которых в каждом узле имеются только два потомка. На практике используется множество алгоритмов обучения деревьев решений: ID3, CART, C4.5, C5.0, NewId, ITrule, CHAID, CN2 и т.д.

Использование индекса Джини, лежит в основе статистического подхода, который показывает расстояние между двумя распределениями: целевых значений и предсказаний модели. Индекс Джини рассчитывается по формуле:

$$Gini(Q) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i, \quad (4)$$

Где Q – результирующее множество;

n – число классов в нём;

p_i – вероятность i -го класса (выраженная как относительная частота примеров соответствующего класса).

Данный показатель может меняться от 0 до 1, при этом он равен 0, если все примеры Q относятся к одному классу, и равен 1, когда классы представлены в равных пропорциях и равновероятны. Тогда лучшим будет то разбиение, для которого значение индекса Джини минимальны. По итогам работы модели, прогнозное значение составило 115679 млн. руб. (рисунок 3).

Шаг 6: прогнозирование нового значения

```

1 # predicting a new value
2
3 # test the output by changing values, like 3750
4 y_pred = regressor.predict([[0.57]])
5
6 # print the predicted price
7 print("Predicted cost: % d\n"% y_pred)

```

Predicted cost: 115679

Рис. 3. Расчет прогнозного значения инвестиций на охрану природу
 Источник: [авторская разработка]

Исследование зависимости между инвестициями в основной капитал, направленными на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов обеспечивается с использованием визуализация данных (рисунок 4).

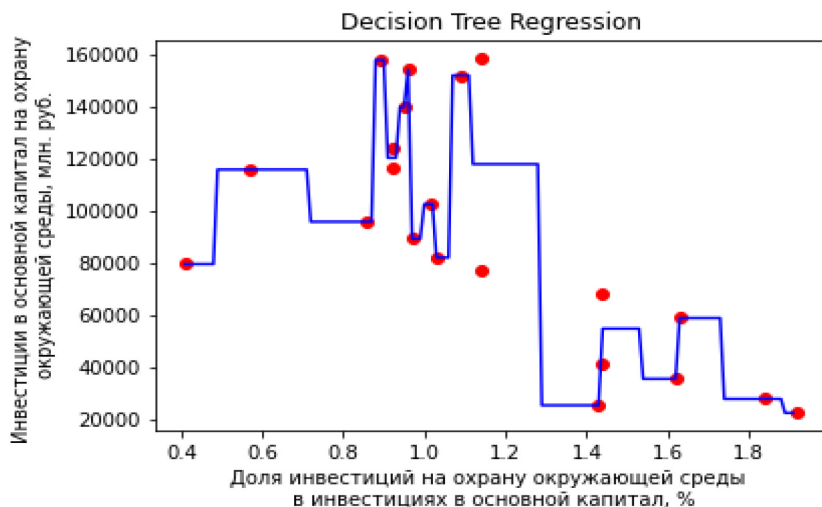
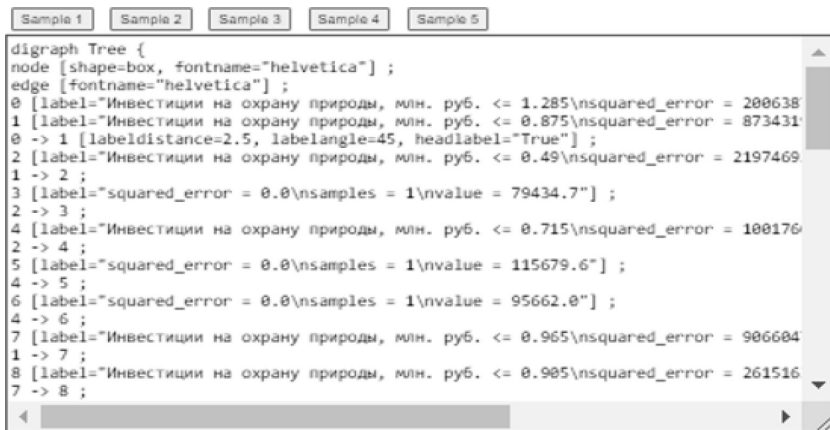


Рис. 4. Визуализация инвестиций на охрану природы
 Источник: [авторская разработка]

Обычно каждый узел дерева – прямоугольник на рисунке, может содержать определенные записи, в частности: 1) о значении одного из признаков конкретного измерения; 2) Squared_error – мера ошибки в узле; 3) Samples – количество образцов данных в узле; 4) Value – оценка цели.

Визуализация обеспечивалась применением библиотеки graphviz. Дерево окончательно экспортируется и отображается в древовидной структуре ниже, визуализируемой с помощью <http://www.webgraphviz.com> / путем копирования данных из дерева “.файл” с точкой (рисунок 5).



```

digraph Tree {
node [shape=box, fontname="helvetica" ] ;
edge [fontname="helvetica" ] ;
0 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 1.285\nsquared_error = 200638
1 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 0.875\nsquared_error = 873431
0 -> 1 [labeldistance=2.5, labelangle=45, headlabel="True" ] ;
2 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 0.49\nsquared_error = 2197469
1 -> 2 ;
3 [label="squared_error = 0.0\nsamples = 1\nvalue = 79434.7" ] ;
2 -> 3 ;
4 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 0.715\nsquared_error = 100176
2 -> 4 ;
5 [label="squared_error = 0.0\nsamples = 1\nvalue = 115679.6" ] ;
4 -> 5 ;
6 [label="squared_error = 0.0\nsamples = 1\nvalue = 95662.0" ] ;
4 -> 6 ;
7 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 0.965\nsquared_error = 906604
1 -> 7 ;
8 [label="Инвестиции на охрану природы, млн. руб. <= 0.905\nsquared_error = 261516
7 -> 8 ;

```

Generate Graph!

Рис. 5. Визуализация данных дерева решений с сервисом webgraphviz.com
Источник: [авторская разработка]

Первые два слоя «Дерева решений» представлен ниже (рисунок 6).

Обычно алгоритм обучения дерева решений может работать до тех пор, пока в результате не будет получен результат, который характеризуется тем, что будут получены абсолютно «чистые» подмножества. То есть, в каждом из подмножеств будут содержаться примеры одного класса. При этом, возможно, может быть построено дерево, в котором для каждого примера будет сформирован отдельный лист.



Рис. 6. Визуализация первых двух слоев «Дерева решений» прогноза инвестиций на охрану природы и окружающей среды
 Источник: [авторская разработка]

Такое дерево может оказаться бесполезным, поскольку оно будет переобученным. Действительно, каждому примеру будет соответствовать свой уникальный путь в дереве, и, соответственно, набор правил, будет актуален лишь для данного примера. «Дерево решений» в полном объеме представлено ниже (рисунок 7).

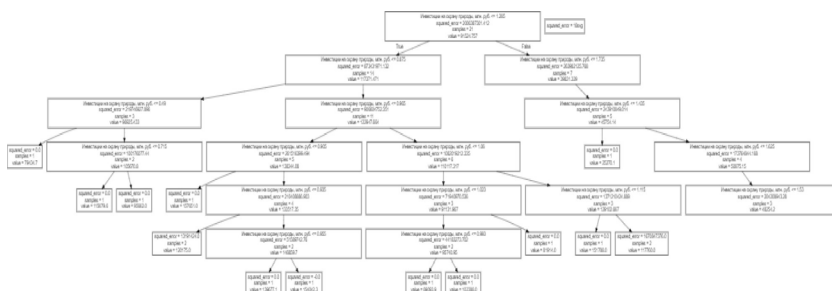


Рис. 7. «Дерево решений» для прогноза инвестиций на охрану природы и окружающей среды в полном объеме
 Источник: [авторская разработка]

В ходе исследования, коллективом авторов для построения и реализации «Дерева решений» импортировались и использовались следующие библиотеки: xlrд, pandas, matplotlib, numpy, sklearn.tree, DecisionTreeRegressor. Пошаговый алгоритм разработки ML DT модели «Дерево решений» представлен в «облаке» Google Collab.

Деревья решений представляют собой один из методов автоматического анализа данных. Рассматривая общие принципы работы и области применения, можно отметить, что деревья решений являются одним из наиболее продвинутых инструментов интеллектуального анализа данных, которые позволяют решать задачи классификации и регрессии. Они похожи на иерархические древовидные структуры,

которые состоят из решающих правил вида «Если ..., то ...». Правила могут автоматически генерироваться в ходе обучения на обучающем множестве и, поскольку они формируются на естественном языке, деревья решений как математические модели могут оказаться более вербализуемыми и интерпретируемыми, чем, скажем, нейронные сети.

Таким образом, получение правила в деревьях решений могут быть осуществлены благодаря обобщению множества отдельных наблюдений, которые позволяют описать предметную область. По аналогии с методом логического вывода их называют индуктивными правилами. Сам процесс обучения носит название индукции деревьев решений [3]. В обучающем множестве для примеров задается целевое значение, т.к. деревья решений являются моделями, которые строятся на основе обучения с учителем. При этом, если целевая переменная – дискретная (метка класса), то модель называют деревом классификации, а если непрерывная, то деревом регрессии (как в нашем случае).

Для получения структуры дерева решений происходит выстраивание его определенным образом. Собственно, само дерево решений выступает тем методом представления решающих правил в иерархической структуре, которые состоят из элементов двух типов – узлов (node) и листьев (leaf). При этом в узлах располагаются решающие правила, при этом производится проверка соответствия примеров этому правилу. В результате проверки, множество примеров, которые попали в узел, обычно разбивается на два подмножества, в одно из которых попадают примеры, которые удовлетворяют правилу, а в другое – те, которые не удовлетворяют.

Точность предсказания – высокая, уровень ошибки не превышает 0,0005%. Прогноз инвестиций в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды представлен ниже (таблица 2).

Таким образом, прогнозное значение модели «Дерево решений» практически совпало с фактическим, ошибка прогноза не превысила -0,0005%. При этом, в листе содержится не правило, а подмножество объектов, которые удовлетворяют всем правилам ветви,

которая заканчивается данным листом. Очевидно, чтобы попасть в лист, пример должен удовлетворять всем правилам, лежащим на пути к этому листу. Поскольку путь в дереве к каждому листу единственный, то и каждый пример может попасть только в один лист, что обеспечивает единственность решения.

Таблица 2.

Прогноз инвестиций в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов

Наименование	Фактическое значение	Прогноз	
		Величина, млн. руб.	Отклонение, %
2020 г.			
Доля инвестиций на охрану окружающей среды в инвестициях в основной капитал, %	0,57	-	-
Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, млн. руб.	115679,60	115679	-0,0005

Источник: [авторская разработка]

Идеи, которые лежали в основе появления и развития деревьев решений, были заложены в 1950-х годах. Среди работ, посвященных этой научной проблеме следует выделить работы К. Ховеленда Е. Ханта и др. [20], которые разработали алгоритм ID3 и его усовершенствованные модификации C4.5 и C5.0, а также работы Лео Бреймана [16], который предложил алгоритм CART и метод случайного леса.

Обсуждение

Глобальные экологические проблемы современного мира требуют поиска эффективных путей их решения. НАСА наблюдало в атмосфере Земли увеличение количества углекислого газа и некоторых других парниковых газов. Слишком много этих парниковых газов может привести к тому, что атмосфера планеты будет удерживать все больше и больше тепла. Эти изменения могут стать необратимыми [2]. По мнению ряда экспертов лишь совместные усилия

правительств государств, на основе использования самых современных технологий нового технологического уклада «Индустрия 4.0», в основе которого лежит применение возможностей искусственного интеллекта, позволят сформировать подходы в решении глобальных экологических проблем. Как показывает практика, в современных условиях с увеличением производительности технологических мощностей, повышения быстродействия суперкомпьютеров и с появлением качественно-новых программных средств, в том числе на основе искусственного интеллекта, например, на базе глубокого обучения (Deep Learning) и машинного обучения (Machin Learning), расширились области применения масштабов информационных технологий во всех сферах человеческой деятельности.

В модели глубокого риска, предложенной Hengxu Lin, Dong Zhou, Weiqing Liu и Jiang Bian, предлагается решение для глубокого обучения для анализа скрытых факторов риска при одновременном улучшении оценки ковариационной матрицы [19].

Современными технологическими трендами становятся:

- применение современных достижений в области искусственного интеллекта в реальном секторе экономики, в сфере защиты экологии, посредством объединения передовых методов машинного обучения с финансовой экспертизой в целях создания стратегий максимально эффективных экологических инвестиций;
- превращение искусственного интеллекта в сильный драйвер в создании ландшафта услуг, обеспечивающих не только поддержку принятия управленческих решений, но и эффективное использование автономных киберфизических систем, сервисов-консультантов, так называемых Rob-эдвайзеров и других;
- использование деревьев решений для поддержки принятия управленческих решений в сфере управления финансами.

Выводы

На основе вышеизложенного можно сделать определенные выводы.

Важное значение имеет дальнейшее исследование теоретических основ развития природоохранных мероприятий в России и

мире, в целях решения вопросы инвестирования в охрану окружающей среды.

Как показывают исследования, важное значение имеет применение систем искусственного интеллекта в сфере защиты окружающей среды. Это становится особенно важно в современных условиях.

В результате использования разработанной системы искусственного интеллекта на основе машинного обучения «Дерево решений» (ML «Decision tree»), было получено прогнозное значение исследуемого параметра «Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», величина которого составила 115679 млн. руб., при этом ошибка прогноза составила -0,005%, что говорит о высокой точности.

Список литературы

1. Гильманов И.М., Гильманов М.М. Экологическое право. Часть 1: Учебно-методическое пособие для изучения дисциплины студентами дневной и заочной форм обучения по специальности 20.04.01 «Техносферная безопасность». - Набережные Челны: Изд.-полигр. Центр Набережночелнинского института К(П)ФУ. 60 с.
2. Глобальные экологические проблемы современного мира и пути их решения. URL: <https://vyvoz.org/blog/globalnye-jekologicheskie-problemy> (дата обращения 21.01.2023).
3. Деревья решений. Общие принципы URL: <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p> (дата обращения 21.01.2023).
4. Древо решений URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree (дата обращения 21.01.2023).
5. Дулатова Н.В. Цифровая и эколого-экономическая безопасность // Вестник ЮУрГУ. Серия «Право». 2020. Т. 20, № 1, С. 29-32.
6. Индустрия 4.0: Big Data, цифровизация и рост экономики. URL: <https://habr.com/ru/post/507822/> (дата обращения 25.02.2023)
7. Ломакин Н.И. Цифровой прогноз величины инвестиций на охрану. URL: <https://colab.research.google.com/drive/1Wza5YcSm1Ir1-cpLs03i2KVYEKrlE8aJ?usp=sharing> (дата обращения 21.01.2023).

8. НИФИ «Практический опыт поддержки «зеленого» финансирования (на примере стран «Группы двадцати»)» «Научно-исследовательский финансовый институт» (НИФИ) URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2018/06/main/2017_analytics.pdf (дата обращения 21.01.2023).
9. Паспорт национального проекта «Экология» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 N 16). – Правовая система «Консультант Плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/ (дата обращения 21.01.2023).
10. Росстат. Инвестиции в России. Официальное издание 2021 г. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Invest_2021.pdf (дата обращения 21.01.2023).
11. Семенова Н.Н., О.И. Еремина О.И., Скворцова М.А. «Зеленое» финансирование в России: современное состояние и перспективы развития. Финансы: теория и практика . Finance: theory and practice. Т. 24, - № 2. – 2020. – С. 39-49. DOI: 10.26794/2587-5671-2020-24-2-39-49. URL: <http://www.fa.ru/org/div/edition/vestnik/SiteAssets/Pages/nov/39-49.pdf> (дата обращения 21.01.2023).
12. Статистический бюллетень, 2021. Основные показатели охраны окружающей среды. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxh_bul_2021.pdf (дата обращения 21.01.2023).
13. Трубникова Е. Зеленые деньги: российский бизнес в пандемию увеличил расходы на экологию. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2021/zelenye-dengi/> (дата обращения 21.01.2023).
14. ФТС. Окружающая среда. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/03/23/825942-rosneft> (дата обращения 21.01.2023).
15. Цифровая Россия Новая реальность. McKinsey Global Inc. Исследование компании *McKinsey Global Inc.* Июль 2017. URL: <http://www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf> (дата обращения 21.01.2023).
16. Breiman Leo, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone Classification and Regression Trees. *Wadsworth, Belmont, CA*, URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315139470/classification-regression-trees-leo-breiman> (дата обращения 21.01.2023).

17. Demirel P., Li Q.C., Rentocchini F. Tamvada J.P. Born to be green: New insights into the economics and management of green entrepreneurship. *Small Business Economics*. 52(4):759–771. DOI: 10.1007/s11187-017-9933-z
18. EMIS. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, с 2017 г. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2021/zelenye-dengi/> (дата обращения 21.01.2023).
19. Hengxu Lin, Dong Zhou, Weiqing Liu and Jiang Bian Deep Risk Model: A Deep Learning Solution for Mining Latent Risk Factors to Improve Covariance Matrix Estimation. ICAIF'21. November 3–5. Virtual Event. USA URL: <https://arxiv.org/format/2107.05201> (дата обращения 21.01.2023).
20. Hovland C.I. Computer simulation of thinking. *American Psychologist*, 15(11), 687-693.

Reference

1. Gilmanov I.M., Gilmanov M.M. *Ekologicheskoe pravo. Chast' 1: Uchebno-metodicheskoe posobie dlya izucheniya discipliny studentami dnevnoj i zaochnoj form obucheniya po special'nosti 20.04.01 «Tekhnosfernaya bezopasnost'»*. [Environmental law. Part 1: Teaching aid for studying the discipline by full-time and part-time students in the specialty 20.04.01 "Technosphere safety"]. - Naberezhnye Chelny: Publishing house - polygraph. Center of the Naberezhnye Chelny Institute of K(P)FU. - 60 s.
2. *Global'nye ekologicheskie problemy sovremennogo mira i puti ih resheniya*. [Global environmental problems of the modern world and ways to solve them]. URL: <https://vyvoz.org/blog/globalnye-jekologicheskie-problemy> (Accessed 21.01.2023).
3. *Derev'ya reshenij. Obshchie principy* [Decision trees. General URL principles]: <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p> (accessed 21.01.2023).
4. *Drevo reshenij* [Decision tree] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree (Accessed 21.01.2023).
5. Dulatova N.V. *Cifrovaya i ekologo-ekonomicheskaya bezopasnost'* [Digital and Ecological and Economic Security] // *Bulletin of SUSU. Series "Right"*. 2020. V. 20, No. 1, S. 29-32.

6. Industriya 4.0: Big Data, cifrovizaciya i rost ekonomiki [Industry 4.0: Big Data, digitalization and economic growth]. URL: <https://habr.com/ru/post/507822/> (accessed 02/25/2023)
7. Lomakin N.I. Cifrovoj prognoz velichiny investicij na ohranu. [Lomakin N.I. Digital forecast of the amount of investment in security]. URL: <https://colab.research.google.com/drive/1Wza5YcSm1Ir1-cpLs03i2KVYEKrlE8a-J?usp=sharing> (accessed 01/21/2023).
8. NIFI «Prakticheskij opyt podderzhki «zelenogo» finansirovaniya (na primere stran «Gruppy dvadcati»)» [NIFI “Practical experience in supporting “green” financing (on the example of the G20 countries)” “Research Financial Institute” (NIFI)] URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2018/06/main/2017_analyc.pdf (Accessed 01/21/2023).
9. Pasport nacional'nogo proekta «Ekologiya» (utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente RF po strategicheskomu razvitiyu i nacional'nym proektam, protokol ot 24.12.2018 N 16). [Passport of the national project “Ecology” (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, protocol dated December 24, 2018 N 16).]– Legal system “Consultant Plus”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/ (accessed 21.01.2023).
10. Rosstat. Investicii v Rossii. Oficial'noe izdanie 2021 g. [Rosstat. Investments in Russia. Official publication 2021]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Invest_2021.pdf (accessed 01/21/2023).
11. Semenova N.N., O.I. Eremina O.I., Skvortcova M.A. «Zelenoe» finansirovanie v Rossii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Semenova N.N., O.I. Eremina O.I., Skvortsova M.A. “Green” financing in Russia: current state and development prospects. Finance: theory and practice]. Finance: theory and practice. T. 24, - No. 2. - 2020. - S. 39-49. DOI: 10.26794/2587-5671-2020-24-2-39-49 URL: <http://www.fa.ru/org/div/edition/vestnik/SiteAssets/Pages/now/39-49.pdf> (Accessed 21.01.2023).
12. Statisticheskij byulleten', 2021. Osnovnye pokazateli ohrany okruzhayushchej sredy. [Statistical Bulletin, 2021. Main indicators of environmental protection]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.pdf (Accessed 01/21/2023).

13. Trubnikova E. Zelenye den'gi: rossijskij biznes v pandemiyu uvelichil raskhody na ekologiyu. [Trubnikova E. Green money: Russian business increased environmental spending during the pandemic.] URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2021/zelenye-dengi/> (accessed 01/21/2023).
14. FSGS. Okruzhayushchaya sreda. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, [FSGS. Environment. Federal State Statistics Service] URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/03/23/825942-rosneft> (Accessed 01/21/2023).
15. Cifrovaya Rossiya Novaya real'nost'. [Digital Russia New reality. McKinsey Global Inc.] Research by McKinsey Global Inc. July 2017. URL: <http://www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf> (Accessed 21.01.2023).
16. Breiman Leo, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone Classification and Regression Trees. *Wadsworth, Belmont, CA*, URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315139470/classification-regression-trees-leo-breiman> (Accessed 21.01.2023).
17. Demirel P., Li Q.C., Rentocchini F. Tamvada J.P. Born to be green: New insights into the economics and management of green entrepreneurship. *Small Business Economics*. 52(4):759–771. DOI: 10.1007/s11187-017-9933-z
18. EMIS. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, с 2017 г. URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2021/zelenye-dengi/> (Accessed 21.01.2023).
19. Hengxu Lin, Dong Zhou, Weiqing Liu and Jiang Bian Deep Risk Model: A Deep Learning Solution for Mining Latent Risk Factors to Improve Covariance Matrix Estimation. ICAIF'21. November 3–5. Virtual Event. USA URL: <https://arxiv.org/format/2107.05201> (дата обращения 21.01.2023).
20. Hovland C.I. Computer simulation of thinking. *American Psychologist*, 15(11), 687-693.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Ломакин Николай Иванович, к.э.н., доцент

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация
tel9033176642@yahoo.com*

Соломахина Людмила Яковлевна, ст. преподаватель, Институт архитектуры и строительства

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация*

Solokha@yandex.ru

Покидова Виктория Викторовна, к.э.н., доцент

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация*

pakidova@mail.ru

Уланова Ирина Алексеевна, к.э.н., доцент

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация*

irina301170@yandex.ru

Курасов Александр Николаевич, аспирант, Институт архитекту-
ры и строительства

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация*

tamonko@mail.ru

Качанов Юрий Александрович, аспирант

*Волгоградский государственный технический университет
просп. В.И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Фе-
дерация*

yura_1234@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nikolay I. Lomakin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Volgograd State Technical University

*28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
tel9033176642@yahoo.com*

Lyudmila Ya. Solomakhina, Lecturer, Institute of Architecture and Construction

*Volgograd State Technical University
28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9240-0746>
Solokha@yandex.ru*

Victoria V. Pokidova, Candidate of Economics, Associate Professor

*Volgograd State Technical University
28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1034-6027>
pakidova@mail.ru*

Irina A. Ulanova, Candidate of Economics, Associate Professor

*Volgograd State Technical University
28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5955-2043>
irina301170@yandex.ru*

Alexander N. Kurasov, post-graduate student, Institute of Architecture and Construction

*Volgograd State Technical University
28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7681-0737>
tamonko@mail.ru*

Yury A. Kachanov, post-graduate student

*Volgograd State Technical University
28, prosp. Lenin, 28, Volgograd, 400005, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4754-449X>
yura_1234@mail.ru*

Поступила 08.03.2023

После рецензирования 15.03.2023

Принята 20.03.2023

Received 08.03.2023

Revised 15.03.2023

Accepted 20.03.2023