



ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-230>

УДК 553.048:004.942(043.3)(476.7)

**ГИС-моделирование строения кайнозойской толщи Брестской области
для прогноза и оценки залежей нерудного сырья****М. А. Богдасаров¹  , А. Н. Маевская¹ , Д. О. Петров² , Н. Н. Шешко²  **¹ Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь² Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь bahdasarau@gmail.com**Аннотация**

К настоящему времени накоплен значительный опыт в решении задач прогноза и оценки полезных ископаемых, прежде всего горючих и рудных. Практически любой подобный прогноз не обходится без использования методов компьютерного моделирования, которые сегодня стали неотъемлемой составляющей геологической отрасли, оперирующей большими массивами данных. Но несмотря на столь значительные успехи в решении проблемы прогнозирования полезных ископаемых с использованием современных информационных технологий, научно-методические подходы к моделированию недр территорий, в которых сконцентрированы общераспространенные полезные ископаемые (ОПИ), все еще разработаны недостаточно. Ввиду незначительного финансирования данный вид ресурсов часто оставляют без внимания, несмотря на их важное социально-экономическое значение для развития местной промышленности регионов разного ранга. Важное значение ОПИ имеют и для территории Брестской области Беларуси. Развитие минерально-сырьевой базы данного региона в связи с особенностями его геологического строения (территория сложена мощной толщей кайнозойских отложений) связано именно с общераспространенными видами сырья. Поэтому научные исследования, направленные на моделирование геологического строения кайнозойских отложений территории Брестской области для оценки перспектив выявления новых залежей нерудных видов минерального сырья в регионе, являются весьма актуальными. *Цель* настоящей работы заключается в создании цифровой геологической модели кайнозойских отложений территории Брестской области как основы для прогноза новых наиболее доступных для освоения залежей ОПИ в регионе и оценки перспектив их освоения. *Задачи*: систематизировать сведения о геологическом строении Брестской области; создать цифровую геологическую модель кайнозойской толщи территории Брестской области; разработать подход к группировке земель региона по приемлемости к освоению залежей ОПИ; разработать схему вовлечения прогнозных залежей ОПИ территории Брестской области в разработку. *Объект*: кайнозойские отложения территории Брестской области. *Методы*: компьютерного моделирования, геоинформационный, аппроксимации, картографический, классификации, экспертных оценок. *Результаты*: предложен новый, адресный научно-методический подход к геологическому моделированию недр территории Брестской области и находящихся в них залежей нерудных полезных ископаемых. Созданная на его основе цифровая геологическая модель регионального уровня позволяет выполнить первичный прогноз на залежи ОПИ, приуроченных к толще кайнозойских отложений, а также провести оценку приемлемости вовлечения выявленных залежей в разработку.

Ключевые слова

геология, геологическая модель, кайнозой, кайнозойские отложения, общераспространенные полезные ископаемые, минерально-сырьевая база, сырье, прогноз, ГИС, ArcGIS, оценка, картосхема, Брестская область

Для цитирования

Bogdasarov M. A., Mayevskaya A. N., Petrov D. O., Sheshko N. N. GIS modeling of a Cenozoic strata structure in Brest region for forecasting and evaluation of non-metallic deposits. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(4):328–340. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-230>



GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

Research paper

GIS modeling of a Cenozoic strata structure in Brest region
for forecasting and evaluation of non-metallic depositsM. A. Bogdasarov¹   , A. N. Mayevskaya¹ , D. O. Petrov² , N. N. Sheshko²  ¹ Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Republic of Belarus² Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus bahdasarau@gmail.com

Abstract

To date, considerable experience has been accumulated in solving the problems of forecasting and evaluation of minerals, primarily fossil fuels and ore minerals. Virtually any such forecast requires the use of computer modeling methods, which today have become an integral part of geological industry, operating with large data sets. But despite such significant successes in solving the problem of natural (mineral) resources forecasting using up-to-date information technologies, scientific and methodological approaches to modeling the subsoil of territories where commonly occurring mineral resources (COMR) are concentrated are still insufficiently developed. Due to insufficient funding, this type of resources is often overlooked, despite its important socio-economic significance for the development of local industry of various ranks in regions. COMR are also important for the territory of the Brest region of Belarus. The development of the mineral resource base of this region due to the peculiarities of its geological structure (the territory is formed by a thick strata of Cenozoic sediments) is associated with commonly occurring types of raw materials. Therefore, scientific research aimed at modeling the geological structure of Cenozoic sediments in the Brest region to assess the prospects for discovering new deposits of non-metallic minerals in the region is very relevant. The *purpose* of this work is to create a digital geological model of the Cenozoic sediments of the Brest region as a basis for forecasting the new COMR deposits, being most accessible for development in the region, and assessing the prospects for their development. *Objectives*: to systematize data on the geological structure of the Brest region; to create a digital geological model of the Cenozoic strata in the Brest region; to develop an approach to the grouping of the region's lands according to their acceptability for the development of COMR deposits; to develop a scheme of involvement of the predicted COMR deposits of the Brest region in development. *Study subject*: Cenozoic sediments in the Brest region. *Methods*: computer modeling, geoinformation, approximation, cartographic, classification, expert review. *Results*: a new, targeted scientific and methodological approach to the geological modeling of the subsoil and non-metallic mineral deposits in the Brest region was proposed. The regional-level digital geological model created on its basis makes it possible to perform primary forecasting of COMR deposits confined to the Cenozoic sediments, as well as to assess the acceptability of involvement of the identified deposits in development.

Keywords

geology, geological model, Cenozoic, Cenozoic sediments, commonly occurring mineral resources, mineral resource base, raw material, forecast, GIS, ArcGIS, evaluation, schematic map, Brest region

For citation

Bogdasarov M. A., Mayevskaya A. N., Petrov D. O., Sheshko N. N. GIS modeling of a Cenozoic strata structure in Brest region for forecasting and evaluation of non-metallic deposits. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(4):328–340. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-03-230>

Введение

К настоящему времени выполнено огромное количество исследований, нацеленных на решение задач прогнозирования и оценки нефтяных и газовых месторождений полезных ископаемых. Повышенный интерес к этим видам сырья определяется постоянным ростом спроса и цен на них. Кроме того, для таких исследований характерны большие объемы инвестирования как на государственном уровне, так и со стороны частных горнорудных компаний. В то же время общераспространенные полезные ископаемые (ОПИ)¹,

имеющие важное социально-экономическое значение для развития местной промышленности регионов, достаточно часто незаслуженно обходят вниманием.

ОПИ призваны решать одну из значимых проблем для регионов разного ранга – обеспечение потребностей строительного комплекса местными видами сырья. Именно поэтому систематическое геологическое изучение таких ресурсов видится весьма актуальным направлением исследований на современном этапе. Важны геологические исследования сырьевой базы ОПИ и для территории Брестской области (Республика Беларусь), которая в геологическом отношении сложена мощной толщей осадочных, в первую очередь кайнозойских отложений. Именно с данной толщей генетически связаны наиболее доступные для освоения месторождения

¹ Межпарламентская Ассамблея государств – участников СНГ. Модельный кодекс о недрах и недропользовании для государств – участников СНГ. URL: https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=29299 [Доступ 29 февраля 2024].

общераспространенных видов сырья как в регионе, так и в стране в целом.

Подробные исследования кайнозойских отложений Брестской области, прежде всего четвертичной толщи, проводились с середины XIX в. и были связаны с развитием строительства железных дорог и промышленных предприятий, ввиду чего возник спрос на строительное сырье [1]. Сегодня на территории региона уже разведаны многочисленные месторождения строительных материалов (глин, суглинков, песков и песчано-гравийных пород и др.). Значимая часть таких месторождений разрабатывается. Остальные служат резервными базами для предприятий региона.

Несмотря на достигнутые успехи в формировании и развитии сырьевой базы ОПИ Брестской области проблема прогнозирования и оценки таких ресурсов продолжает оставаться здесь насущной проблемой. Обусловлено это прежде всего необходимостью актуализации накопленных предшественниками результатов с использованием последних (наиболее полных) данных геологического бурения. На современном этапе наиболее эффективно данная задача может быть решена с применением методов компьютерного моделирования. Актуализация сведений о ресурсах ОПИ в регионе позволит геологам планировать дальнейшее изучение недр для развития минерально-сырьевой (МСБ) Брестской области и создать качественную основу для обеспечения заинтересованных организаций информацией о перспективных залежах строительного сырья.

На основании вышесказанного могут быть сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследования – создание цифровой геологической модели кайнозойских отложений территории Брестской области как основы для прогноза новых наиболее доступных для освоения залежей ОПИ в регионе и оценки перспектив их освоения.

Задачи исследования:

- систематизировать накопленные сведения о геологическом строении Брестской области;
- сформировать цифровую геологическую модель кайнозойской толщи территории Брестской области;
- разработать подход к группировке земель территории Брестской области по приемлемости к освоению залежей ОПИ;
- разработать обоснованную схему вовлечения прогнозных залежей ОПИ территории Брестской области в разработку.

Объектом исследования выступают кайнозойские отложения территории Брестской области.

Исходные материалы

В качестве исходных данных для реализации настоящего исследования послужила база данных буровой изученности Брестской области, составленная авторами на основе материалов, предоставленных Государственным предприятием «Научно-производственный центр по геологии» и Государственным научным учреждением «Институт природопользования НАН Беларуси».

Описываемая база данных содержит информацию о более чем 5500 скважинах, которые были пробурены в разное время на территории региона. По каждому горизонту, вскрытому определенной скважиной, здесь даны более 20 характеристик. Среди них наиболее значимыми для цели реализуемого исследования являются следующие: местоположение, глубина залегания, стратиграфическое описание, литологическое описание, абсолютные отметки подошвы и кровли, мощность пород.

Характерной особенностью описываемой сети скважин является неравномерность ее распределения по территории Брестской области. Как видно на рис. 1, концентрация скважин в западной части области

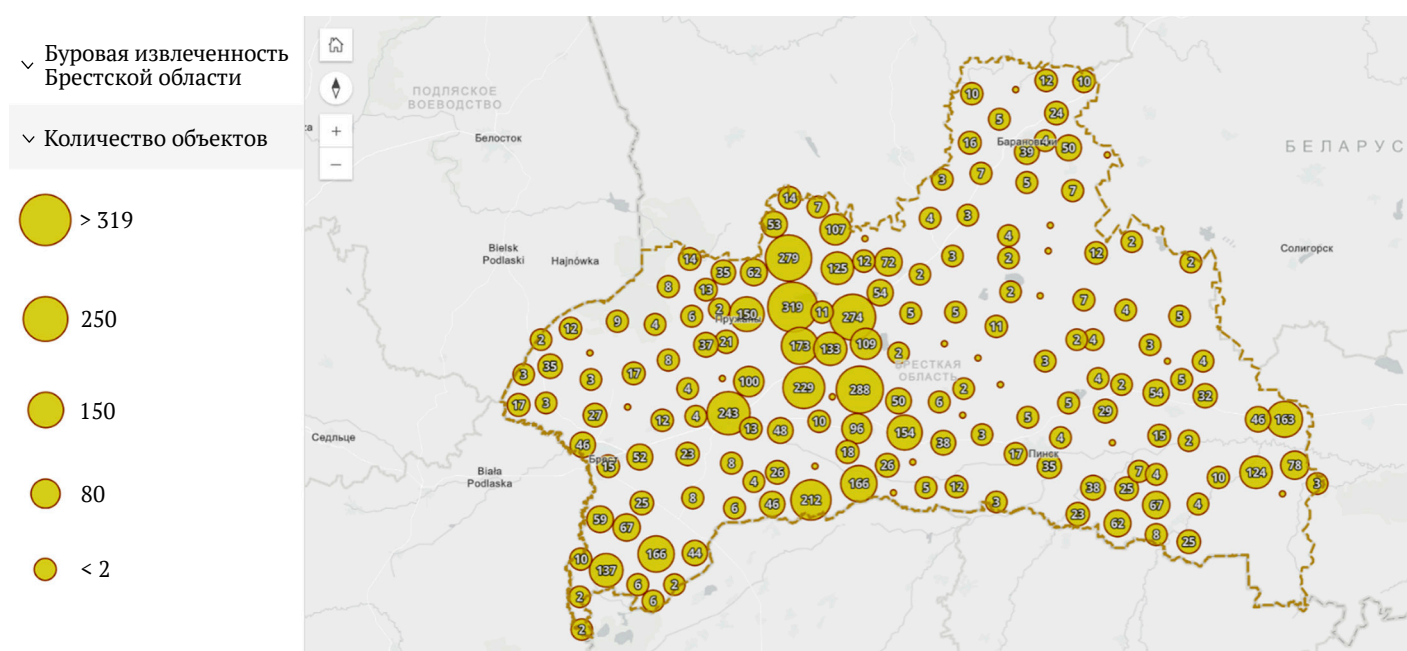


Рис. 1. Концентрация буровых скважин на территории Брестской области



весьма высока, в восточной, напротив, крайне низкая. Эта особенность оказала значимое влияние на разработку цифровой геологической модели кайнозойских отложений региона.

Методика исследования

В настоящее время существует большое количество разнообразных методик, посвященных решению задачи компьютерного геологического моделирования для прогноза полезных ископаемых. В то же время большая часть таких подходов, доказавших свою практическую эффективность, ориентированы на создание моделей применительно к прогнозу залежей горючих и рудных видов сырья. В меньшей степени эти подходы ориентированы на построение моделей недр для прогноза ОПИ. Это связано не только с меньшими объемами финансирования исследований в области прогноза общераспространенных видов сырья, но и со спецификой профильных ГИС-программ. Большое количество инструментов, представленных в таких ГИС, разрабатывались в контексте задач нефтеразведки, где сеть данных плотная и равномерная. Применение их к неоднородной и разреженной сети данных (наиболее присуща ОПИ) зачастую является невозможным. Именно поэтому создание моделей строения недр для прогноза нерудных полезных ископаемых весьма часто требует применения специально разработанных алгоритмов, методик и технологий.

Принимая во внимание вышесказанное, а также с учетом накопленного в отечественной и зарубежной практике опыта в сфере геологического моделирования [2–4] для достижения цели настоящего исследования предложена авторская методика прогноза и оценки залежей ОПИ, сконцентрированных в кайнозойских отложениях территории Брестской области [5]. Схема предполагает реализацию прогноза и оценки на основе цифровой геологической модели данной толщи. Основные блоки предложенной методики отражены на рис. 2. Далее подробнее остановимся на каждом из этих блоков.

Блок 1. Систематизация и актуализация сведений о геологическом строении Брестской области. Ввиду того что основной целью исследования является прогноз новых наиболее доступных для освоения залежей ОПИ в регионе, первой ступенью исследования, по мнению авторов, должна выступать систематизация накопленного обширного материала о геологическом строении Брестской области. Ведь именно геологическое строение выступает ключевым фактором, определяющим закономерности размещения МСБ региона и ее специфику. Кроме того, без понимания специфики геологического строения невозможно построить корректную геологическую модель.

Непосредственная реализация данного блока включала: 1 – сбор и обобщение многочисленных материалов о геологическом строении данной территории; 2 – уточнение сведений, полученных исследователями этой территории ранее, на основе авторского комплекта погоризонтных картосхем изопохит.

Блок 2. Выбор программных продуктов для создания цифровой геологической модели. Ввиду того что поставленная в работе цель наиболее эффективно может быть решена с применением информационных продуктов, значимой частью исследования стал данный блок.

Как показывает практика, в качестве программной основы для геологического моделирования применяются разнообразные ГИС-пакеты, которые могут быть объединены в две группы [6]: недропользовательские ГИС (Rock-works, GMS, Surfer, Petrel и др.) и общегеографические ГИС (ArcGIS, MapInfo, QGIS и др.).

Применительно к созданию цифровой геологической модели исследуемого региона рассматривалось использование таких программ, как ГИС Petrel и ГИС ArcGIS 10.5. Но поскольку пакет Petrel разрабатывался для использования в секторе нефтеразведки и нефтедобычи, где сеть данных бурения является весьма плотной и равномерной, его применение для создания модели с целью прогноза залежей ОПИ не представлялось возможным. Поэтому предпочтение было отдано общегеографической системе ArcGIS 10.5.

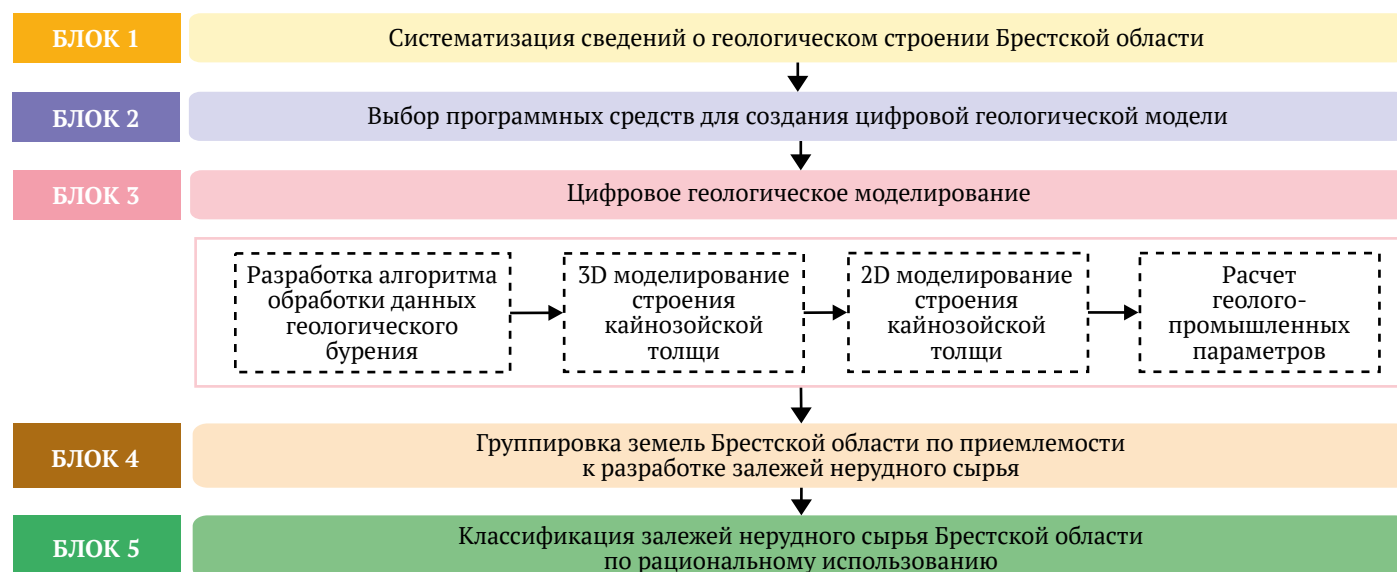


Рис. 2. Структурно-логическая схема методики прогноза и оценки залежей ОПИ Брестской области



Помимо выбора ГИС как основной платформы моделирования, данный этап включал и отбор дополнительных программных средств, расширяющих базовый функционал выбранного ГИС-пакета. В качестве таких средств обосновано использование: СУБД MS Access, табличного процессора Microsoft Excel, программного обеспечения для создания трехмерной компьютерной графики Blender, системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica.

Блок 3. Цифровое геологическое моделирование. Рассматриваемый блок является ключевым блоком выполняемого исследования и самым продолжительным по времени реализации. Он включал следующие шаги:

- разработку алгоритма обработки материалов, представленных в базе данных буровой изученности, с целью выявления ошибочных показателей, присутствующих в них;
- создание трехмерной цифровой геологической модели региона [7];
- преобразование трехмерной модели в двухмерный формат;
- расчет наиболее значимых для ОПИ геолого-промышленных параметров (вертикальная мощность отложений, мощность вскрышных пород, коэффициент вскрыши);
- построение набора прогнозно-минерагенических картосхем, отражающих сведения о закономерностях размещения и перспективных площадях наиболее значимых по мощности видов нерудного сырья исследуемой территории.

Блок 4. Группировка земель Брестской области по приемлемости к разработке залежей нерудного сырья. Включение в оценочную схему блока, позволяющего учитывать тип земель района размещения залежей, связано со спецификой добычи ОПИ. Разработка таких видов сырья, как правило, осуществляется открытым способом, что приводит к негативному воздействию на компоненты окружающей среды. Это, в свою очередь, влечет увеличение затрат на освоение таких ресурсов ввиду необходимости последующего возмещения ущерба, в первую очередь связанного с деградацией разных видов земель.

Применительно к территории Брестской области использование такого блока значимо еще и в связи с тем, что здесь добыча строительного сырья зачастую проводится путем разработки внутрихозяйственных карьеров, в результате чего нарушенные земли крайне проблематично вовлечь в хозяйственный оборот.

Итоговым результатом рассматриваемого блока стал предложенный авторами подход к группировке земель Брестской области по отношению к возможности открытой добычи [8].

Блок 5. Классификация залежей нерудного сырья Брестской области по рациональному использованию. Завершающим блоком предложенной методики стала классификация выявленных в ходе моделирования залежей ОПИ Брестской области по приемлемости к освоению. Процедура классификации проводилась на основе комплексирования растровых покрытий, отражающих геолого-промышленные параметры по

каждой залежи, и рассчитанных весовых коэффициентов, характеризующих приемлемость выделенных на этапе 4 групп земель Брестской области к разработке ОПИ. Более подробно алгоритм классификации залежей описан в работе [9].

Результаты и их обсуждение

Выполнен комплексный анализ геологического строения территории Брестской области как ключевого фактора, определяющего закономерности формирования минерально-сырьевой базы региона и ее специфику. Ниже дана краткая характеристика основных черт геологического строения территории региона.

Территория Брестской области расположена в западной части древней Восточно-Европейской платформы. С учетом глубины залегания поверхности пород кристаллического фундамента в ее границах выделяются следующие тектонические элементы: Подляско-Брестская впадина (восточная часть), Полесская седловина, Припятский прогиб (западная часть), Микашевичско-Житковичский выступ кристаллического фундамента, Ивацевичский погребенный выступ Белорусской антеклизы, Луковско-Ратновский горст, Волынская моноклиналь Вольно-Азовской плиты. Отложения осадочного чехла залегают повсеместно и объединяются в структурные комплексы, последовательно сменяющиеся в разрезе формационных рядов и разделенные перерывами в осадконакоплении. Данные комплексы соответствуют основным тектоническим этапам развития территории: готскому, нижнебайкальскому, верхнебайкальскому, каледонскому, герцинскому, киммерийско-альпийскому.

Наиболее широкое распространение среди пород платформенного чехла исследуемого региона получили кайнозойские отложения, в первую очередь четвертичные. Накопление кайнозойских отложений происходило на протяжении трех геологических периодов, отличающихся палеогеографическими условиями, оказавшими влияние на характер осадконакопления и современное строение осадочного чехла региона.

Отложения палеогеновой системы занимают значительные площади в границах области. Абсолютные отметки залегания их подошвы изменяются от 30–40 м на севере, северо-западе до 150 м на юге, юго-западе. Мощность на большей части региона 20–30 м.

Отложения неогеновой системы в пределах Брестской области занимают обширные площади, перекрывая палеогеновые и подстилая четвертичные. Они залегают на абсолютных отметках 30–150 м, достигая максимальных значений на юго-западе. Средняя мощность составляет 15–20 м.

Отложения четвертичной системы повсеместно распространены на исследуемой территории и сплошным чехлом перекрывают образования более древних геологических систем. Мощность их варьируется от нескольких десятков до 240 м.

Ввиду того что именно с кайнозойскими отложениями связаны наибольшие перспективы развития

МСБ региона, для уточнения особенностей их строения был выполнен комплект погоризонтных картосхем изопакит. Одна из них в качестве примера приведена на рис. 3.

Разработана цифровая геологическая модель кайнозойских отложений территории Брестской области. Она представляет собой сконцентрированную систему данных о структурных, литологических и горно-геологических особенностях строения кайнозойской толщи региона [7].

Ввиду многослойной структуры используемых для моделирования данных первоначально модель

была сформирована в объемном виде. Трехмерная модель реализована на основе авторского алгоритма, исполненного с применением самостоятельно разработанного модуля на языке программирования C++. В основе данного алгоритма лежат построения на основе диаграммы Вороного. Как видно на рис. 4, объемная модель состоит из множества выпуклых многогранников в трехмерном пространстве. Смежные группы этих многогранников и представляют собой тела залежей осадочных пород, которые могут быть рассмотрены в качестве потенциальных для освоения ресурсов ОПИ в регионе.

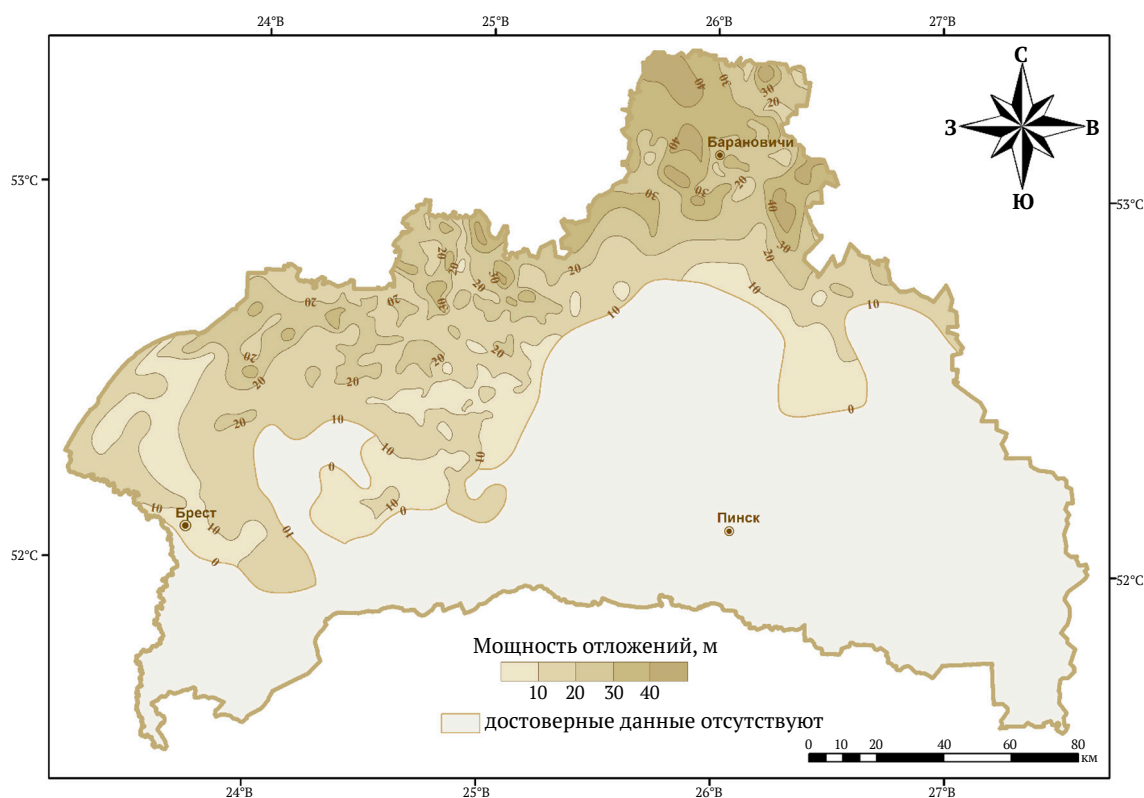


Рис. 3. Картосхема изопакит сожского подгоризонта припятского горизонта ($Q_{2pr1\ sz}$) четвертичной системы на территории Брестской области

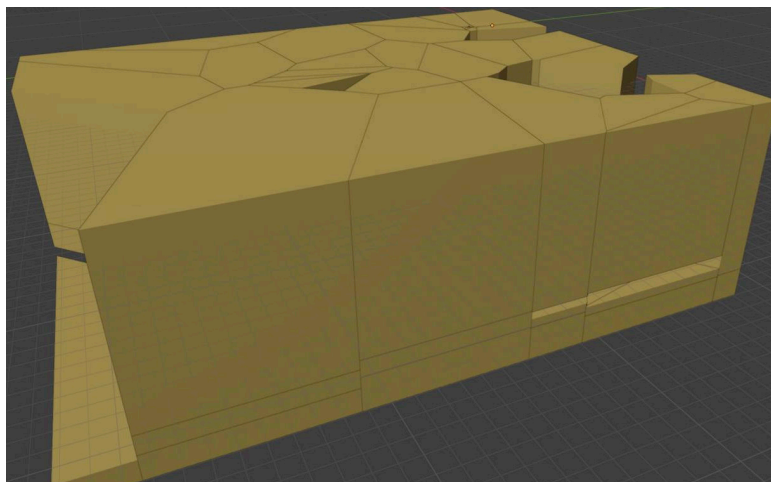


Рис. 4. Пример сформированной объемной модели, отражающей распределение залежей песка в толще четвертичных отложений на территории Жабинковского района Брестской области, авторский алгоритм



Рис. 5. Картограмма закономерностей размещения и прогноза залежей торфа в кайнозойских отложениях на территории Брестской области

Поскольку при создании трехмерной модели построения в отдельных частях базировались на редкой сети скважин, она в значительной степени отличается от классических объемных моделей, которые представлены в научной литературе, посвященной моделированию нефтяных пластов. Это привело к необходимости проведения процедуры ее аппроксимации и формирования двухмерной модели, которая также наиболее привычна с точки зрения анализа для профильных специалистов. Алгоритм трансформации трехмерной модели в двухмерный формат подробно описан в [7].

В целом созданная двухмерная модель представляет собой структурированные в виде файловой базы геоданных ArcGIS наборы: 1 – векторных точечных слоев, полученных в ходе численной обработки «нарезанной» на слои объемной модели; 2 – растровых покрытий по каждому из 19 типов пород; 3 – классов полигональных объектов, отражающих предварительные границы распространения залежей ОПИ, их мощности, мощности перекрывающих отложений, отметки залегания.

Двухмерная модель послужила основой для создания базового набора цифровых прогнозно-минерогенических картограмм региона, который был выполнен для таких типов пород, как пески, валунно-гравийно-песчаные породы (песчано-гравийно-валунные породы), глины, суглинки и супеси, торф. Именно эти породы являются наиболее значимыми с точки зрения мощности и представительными по площади на

исследуемой территории. Пример картограммы из описываемого набора показан на рис. 5.

Предложен подход к группировке земель территории Брестской области по приемлемости к освоению залежей ОПИ. При выделении групп земель были учтены: 1 – правовые нормы, регламентирующие возможность использования земель разных видов в Республике Беларусь для разработки карьеров²; 2 – применяемые в работах других исследователей подходы к группировке земель по приемлемости к освоению залежей ОПИ³ [10, 11]; 3 – подход к группировке земель по степени антропогенного воздействия на природные ландшафты, используемый в работе Б.И. Кочурова [12].

² Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Кодекс Республики Беларусь о земле. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12200195> [Доступ 29 февраля 2024]; Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Кодекс Республики Беларусь о недрах. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk0800406> [Доступ 29 февраля 2024]; Правовой форум Беларуси. Проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О порядке размещения, разработки, рекультивации и учета внутрихозяйственных карьеров». URL: <https://forumpravo.by/publicnoe-obsuzhdenie-proektov-npa/forum15/16239> [Доступ 29 февраля 2024].

³ Лютягин Д.В. Геолого-экономическое обоснование вовлечения в разработку месторождений общераспространенных полезных ископаемых. [Автореф. дисс. канд. экон. наук]. М.; 2006. 28 с.



Группы земель – результат систематизации множества подтипов земель⁴ [13] базы данных земельно-информационной системы Брестской области. Всего в ходе группировки были выделены шесть групп земель (табл. 1).

Для обеспечения возможности использования разработанной классификации при проведении оценки приемлемости освоения залежей ОПИ Брестской области по каждой группы земель были рассчитаны весовые коэффициенты на основе метода анализа иерархий Т. Саати [13, 14].

По итогам группировки земель и расчета весовых коэффициентов создана цифровая растровая модель (рис. 6), отражающая приемлемость выделенных групп земель региона к освоению залежей строительного сырья.

Разработана схема вовлечения прогнозных залежей ОПИ территории Брестской области в разработку. В результате создания растровой модели, отражающей приемлемость разных групп земель территории Брестской области к освоению залежей ОПИ, стало возможным обоснование рациональной последовательности включения выделенных в результате цифрового геологического моделирования залежей строительного сырья исследуемого региона в разработку. Для этого в программном пакете

ArcGIS 10.5 была проведена процедура комплексирования нескольких типов растровых поверхностей: 1 – растров мощностей выявленных перспективных площадей местных видов сырья; 2 – растров мощностей вскрышных пород над выявленными залежами; 3 – растра, показывающего доступность земель Брестской области к освоению ОПИ [9].

По результатам комплексирования были сформированы наборы картосхем двух видов:

1) картосхемы, дающие общее представление о приемлемости разработки выявленных нерудных видов сырья области. Пример такой схемы представлен на рис. 7;

2) картосхемы, дающие детальное представление о приемлемости освоения каждой отдельной залежи. Пример такой схемы представлен на рис. 8.

Как хорошо видно на обоих рисунках, все залежи на картосхемах сгруппированы в виде пяти классов:

1) наиболее приемлемые для освоения, которые характеризуются близким залеганием к поверхности, отличаются значимыми мощностями продуктивной толщи и приурочены к неиспользуемым или слабо используемым с/х и лесным землям;

2) приемлемые для освоения, вскрышной коэффициент которых преимущественно равен единице, приуроченные к с/х и лесным землям с высокой интенсивностью использования;

3) освоение которых допускается при наличии острого спроса на сырье, в основном сконцентрированные под нарушенными землями, с вскрышным коэффициентом, равным единице или превышающим ее;

⁴ Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания, ведения (эксплуатации и обновления). URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22137315&p1=1&p5=0> [Доступ 29 февраля 2024].

Таблица 1

Группировка земель Брестской области с учетом приемлемости к освоению залежей строительного сырья

Код	Группа земель	Подтип земель
1	Земли, наиболее пригодные для отвода под разработку ОПИ	Прочие неиспользуемые земли; пески, лишенные растительности; овраги и промоины; валы; ямы; вымочки
2	Земли, пригодные для отвода под разработку ОПИ	Залежные; луговые; луговые (закустаренные); луговые (заболоченные); луговые (заболоченные, закустаренные); улучшенные луговые; не покрытые лесом; под ДКР
3	Земли, отвод которых под разработку ОПИ допускается	Пахотные; теплицы, парники; сады; ягодники; плантации; плодовые питомники; леса; посадки; под лесополосами; дороги полевые, лесные; просеки
4	Земли, отвод которых под разработку ОПИ ограничивается	Земли, нарушенные при разработке и добыче полезных ископаемых; земли, нарушенные при торфоразработках и добыче сапропелей; земли, нарушенные при ведении строительных работ; выгоревшие торфяники; бывшие с/х земли, загрязненные радионуклидами; земли, находящиеся в стадии мелиоративного строительства; земли, находящиеся в стадии восстановления плодородия; отвалы и терриконы; карьеры и иные объекты в стадии добычи полезных ископаемых; земли в стадии добычи торфа и сапропелей; действующие стройплощадки и другие объекты в стадии строительства; земли, используемые для хранения отходов; скотомогильники
5	Земли, отвод которых под разработку ОПИ крайне ограничивается	Дороги проселочные; дороги улучшенные – полотно (проезжая часть); дороги улучшенные – откосы; скотопргоны; железные дороги – полотно; железные дороги – откосы; железные дороги – платформы; иные транспортные коммуникации; земли под трубопроводами; мосты, путепроводы, эстакады; площади; улицы и проезды; проезжие части улиц; парки, скверы, бульвары, иные озелененные территории; газоны и клумбы; курганы; кладбища; земли, предоставленные гражданам для коллективного садоводства; усадебные земли; дворы (без разделения на производственную и жилую застройку); открытые склады; загоны; здания жилые; здания нежилые; постройки легкого типа; иные строения и сооружения; силосные ямы
6	Земли, отвод которых под разработку ОПИ запрещается	Реки; каналы и канавы; озера; водохранилища и пруды; дамбы; плотины; под бровками; болота

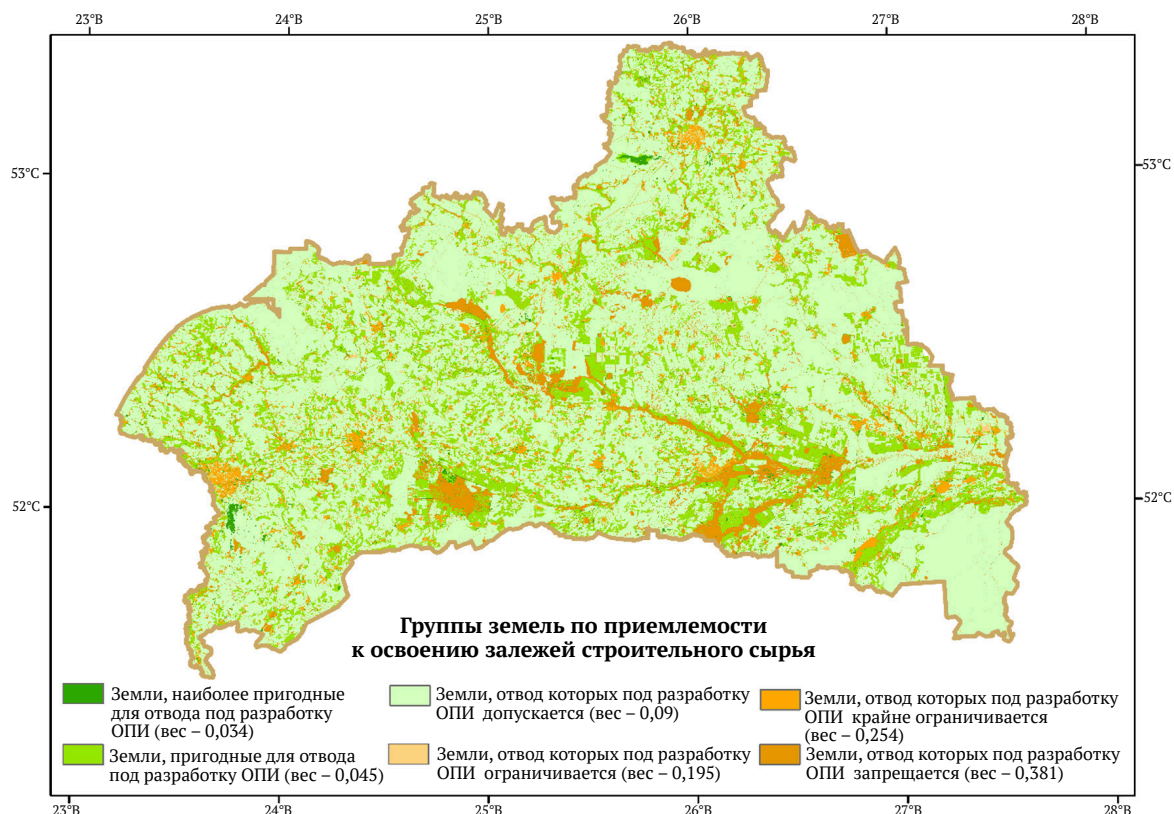


Рис. 6. Растровая модель, отражающая приемлемость различных групп земель Брестской области к освоению залежей строительного сырья

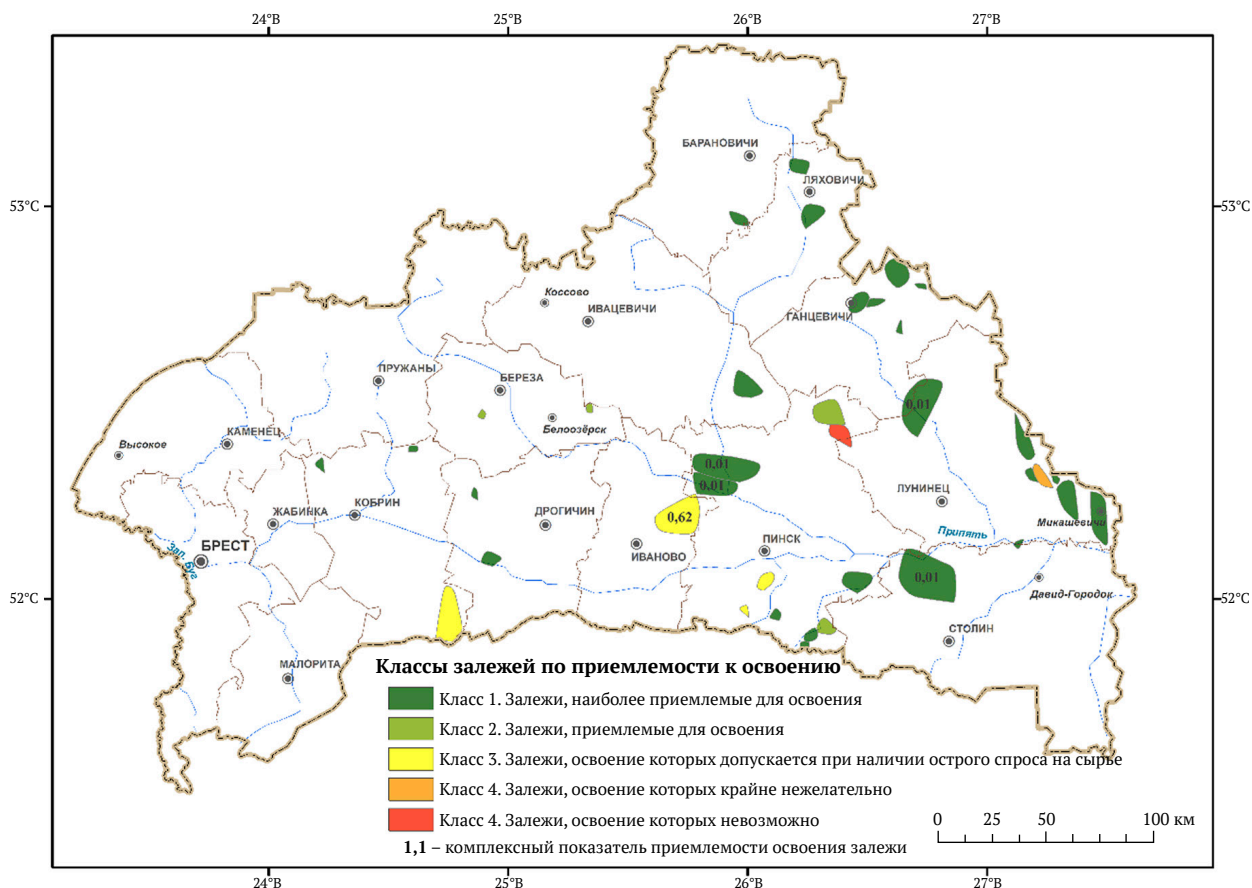


Рис. 7. Картограмма залежей торфа Брестской области по перспективности освоения

4) освоение которых крайне нежелательно, размещенные под застроенными землями с коэффициентом вскрыши, превышающим единицу;

5) освоение которых невозможно, залегающие под водными объектами и болотами, значения вскрышных пород которых значительно (в два и более раза) превышают значения мощностей продуктивной толщи.

При этом нельзя не отметить, что представленный подход к обоснованию целесообразности разработки залежей с учетом статуса земель стоит рассматривать как предварительный. Окончательное решение о приемлемости разработки конкретной залежи должно приниматься только после детального изучения района ее размещения. Это позволит более объективно оценить воздействие планируемых работ на компоненты природной среды.

Практическое применение результатов исследования

Полученные в ходе реализации исследования, описанного в настоящей статье, результаты уже нашли свое применение как в образовательном, так и в производственном процессе. В частности, разработанный алгоритм обработки данных геологических изысканий, набор инструментов, предназначенный для автоматизации его работы, используются в образовательном процессе и научно-исследовательской работе студентами кафедры городского и регионального развития факультета естествознания Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, а также студентами кафедры природо-

обустройства факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Созданные наборы картосхем изопакит, прогноз-но-минерагенических картосхем, картосхем приемлемости ввода залежей нерудных видов сырья территории Брестской области в освоение внедрены и используются при изучении кайнозойских отложений региона в лаборатории современной геодинамики и палеогеографии Института природопользования НАН Беларуси, а также в отделе четвертичной геологии филиала «Институт геологии» Республиканского унитарного предприятия «Научно-производственный центр по геологии».

Экономическая значимость полученных результатов может быть оценена в случае принятия соответствующих управленческих решений по освоению минерально-сырьевой базы региона и заключается в наличии актуальной и верифицируемой информации о геологическом строении территории, существенно облегчающей как задачи дальнейших поисков новых залежей минерального сырья, так и использования недр для целей, не связанных с освоением минеральных ресурсов.

Направления дальнейших исследований

Перспективы проведения дальнейших исследований по прогнозу и оценке залежей ОПИ Брестской области авторами видятся в дополнении предложенной методики блоком оценки доступности залежей.

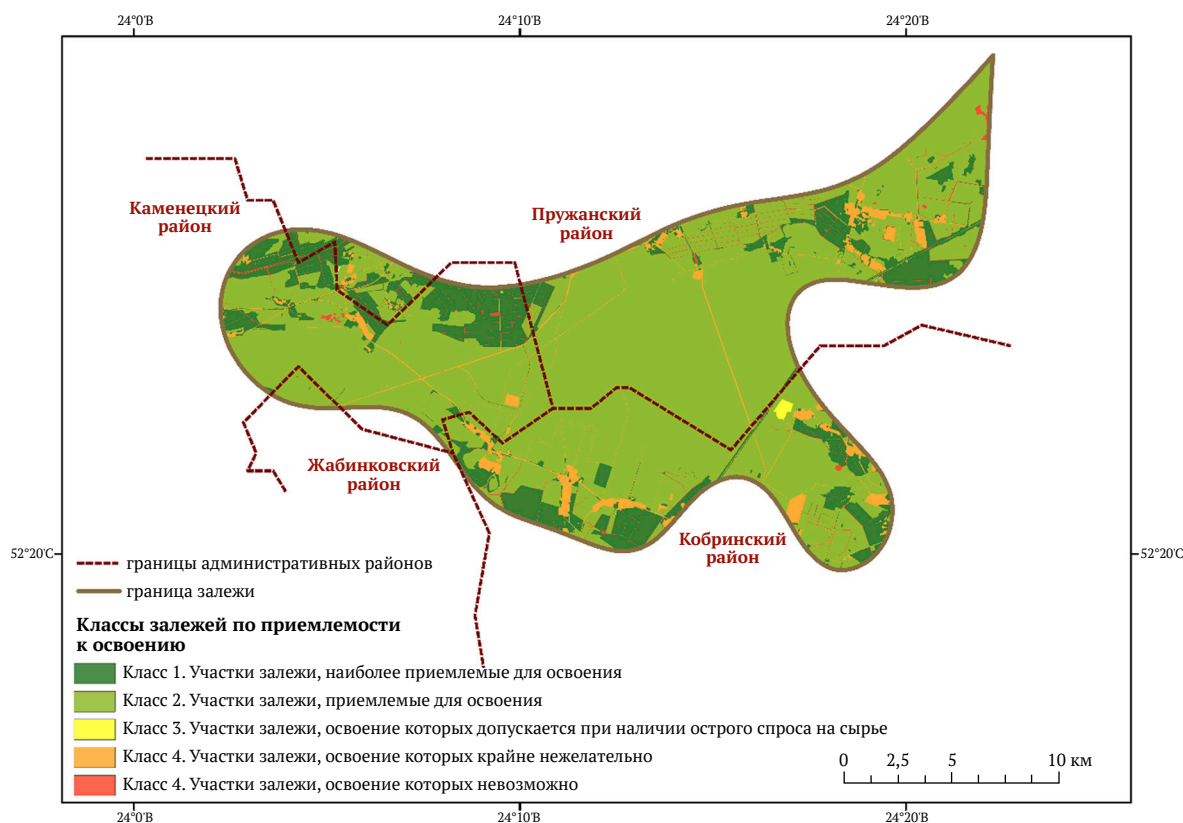


Рис. 8. Картосхема, отражающая приемлемость освоения отдельной залежи песчано-гравийных пород в пределах Брестской области



Под доступностью в данной работе предлагается понимать близость/удаленность залежей по отношению к узлам потребления сырья и по отношению к имеющейся транспортной инфраструктуре. Оценку доступности авторы предлагают проводить с использованием таких критериев, как:

- удаленность залежей по отношению к транспортным коммуникациям;
- удаленность залежей по отношению к узлам потребления [5].

Анализ последнего критерия может проводиться в двух направлениях:

- оценка удаленности относительно населенных пунктов как территорий потенциального возведения, расширения или ремонта различных строительных объектов, а также территорий, выступающих местами концентрации рабочей силы;
- оценка удаленности относительно профильных промышленных предприятий с учетом существующего с их стороны спроса на отдельные виды строительных ресурсов.

Заключение

В настоящем исследовании впервые с использованием методов компьютерного моделирования выполнены прогноз и оценка залежей минерального строительного сырья, сконцентрированных в кайнозойских отложениях территории Брестской области. Основные результаты проведенных работ могут быть обобщены в следующих выводах:

1. На основе материала, накопленного предшественниками и серии авторских цифровых погоризонтных картосхем изопакит выполнен анализ геологического строения исследуемого региона. Полученные в ходе анализа сведения обеспечили возможность проведения визуальной оценки корректности результатов, получаемых на разных этапах создания цифровой геологической модели кайнозойских отложений Брестской области.

2. Сформирована трехмерная цифровая геологическая модель кайнозойских отложений территории Брестской области. Для ее создания разработан авторский алгоритм, основанный на применении диаграммы Вороного. Ввиду того что созданная объемная модель в значительной степени отличается от классических двухмерных моделей, в алгоритме заложена возможность ее аппроксимации путем перехода к двухмерной модели. Полученная двухмерная модель дает целостное представление о геологическом устройстве кайнозойских отложений региона и послужила основой для создания серии цифровых картосхем, отражающих особенности пространственной локализации выявленных в ходе моделирования залежей ОПИ области.

3. Разработан подход к группировке земель территории Брестской области. На его основе все земли в регионе были объединены в шесть групп по приемлемости к добыче ОПИ. Для каждой группы земель были рассчитаны весовые коэффициенты и сформирована цифровая растровая модель, послужившая основой классификации залежей ОПИ Брестской области по «рациональной последовательности» ввода в освоение.

4. Предложен подход к классификации выявленных в ходе моделирования залежей ОПИ Брестской области по приемлемости ввода в разработку. Он базируется на учете таких характеристик, как мощность залежи, мощность вскрышных пород над залежью, весовое значение групп земель, под которыми расположена залежь. В результате проведенной классификации создан комплект картосхем, отражающих приемлемость ввода залежей ОПИ региона в освоение. К каждому объекту на сформированных цифровых схемах привязана атрибутивная информация. Полученные комплекты картосхем и связанные с ними базы данных атрибутивной информации могут представлять интерес для местных территориальных органов власти при разработке регионального плана действий по изучению, освоению, рациональному использованию залежей местных видов сырья.

Список литературы / References

1. Лукашев К.И. и др. *История геологических наук в Белорусской ССР*. Минск: Наука и техника; 1978. 272 с. Lukashev K.I. et al. *History of geological sciences in the Byelorussian SSR*. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ.; 1978. 272 p. (In Russ.)
2. Закревский К.Е. *Геологическое 3D моделирование*. М.: ООО ИПЦ Маска; 2009. 376 с. Zakrevsky K.E. *Geological 3D modeling*. Moscow: IPTs Maska LLC Publ.; 2009. 376 p. (In Russ.)
3. Поклонов В.И., Семенов Ф.В., Иванов С.К. Создание прогнозно-математической модели закономерностей размещения кварцевых песков для строительных работ на территории республики Марий Эл. *Разведка и охрана недр*. 2015;(7):23–26. Poklonov V.I., Semyonov F.V., Ivanov S.K. Creation of forecasting mathematical model of regularities of quartz sands placement for construction works in the territory of the Republic of Mari El. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2015;(7):23–26 (In Russ.)
4. Boissonnat J-D., Nullans S. Reconstruction of Geological Structures from Heterogeneous and Sparse Data. *The 4th ACM international workshop on Advances in geographic information systems*. 1996;3069:3–24. URL: <https://inria.hal.science/inria-00073623>
5. Богдасаров М.А., Маевская А.Н., Шешко Н.Н. Методические особенности прогноза и оценки общераспространенных полезных ископаемых. *Разведка и охрана недр*. 2023;(3):45–52. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_03_45
Bogdasarov M.A., Maevskaya A.N., Sheshko N.N. Methodical specifics of forecasting and evaluating commonly occurring mineral resources. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2023;(3):45–52. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_03_45



6. Петин А.Н., Васильев П.В. Геоинформатика в рациональном недропользовании. Белгород: БелГУ; 2011. 268 с.
Petin A.N., Vasiliev P.V. *Geoinformatics in rational subsoil use*. Belgorod: BelSU Publ.; 2011. 268 p. (In Russ.)
7. Маевская А.Н., Богдасаров М.А., Петров Д.О., Шешко Н.Н. Геолого-генетическое моделирование кайнозойских отложений Брестской области с применением информационных технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2023;(1):107–118. URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/298810>
Mayevskaya A.N., Bahdasarau M.A., Piatrou D.A., Sheshko M.M. Geological and genetic modelling of the Cenozoic deposits of the Brest region using information technologies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2023;(1):107–118. (In Russ.) URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/298810>
8. Маевская А.Н., Богдасаров М.А., Шешко Н.Н. Ранжирование земельного фонда административных районов Брестской области по приемлемости к освоению залежей строительного сырья. *Природные ресурсы*. 2022;(2):45–56. URL: <https://priroda.belnauka.by/jour/article/view/140>
Mayevskaya A.N., Bogdasarov M.A., Sheshko N.N. Ranking of the land fund of the administrative districts of the Brest Region according to the acceptability to the development of deposits of construction raw materials. *Natural Resources*. 2022;(2):45–56. (In Russ.) URL: <https://priroda.belnauka.by/jour/article/view/140>
9. Маевская А.Н., Богдасаров М.А., Шешко Н.Н. Обоснование схем рационального использования залежей нерудного сырья Брестской области. *Природопользование*. 2023;(1):135–150.
Mayevskaya A.N., Bogdasarov M.A., Sheshko N.N. Justification of schemes of rational use of deposits of non-metallic raw materials in Brest region. *Prirodopol'zovanie*. 2023;(1):135–150 (In Russ.)
10. Пешкова Г.Ю. Экспресс-оценка привлекательности разработки месторождений глины на основе геолого-экономических критериев (на примере Ленинградской области). *Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: вестник научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета*. 2016;(1):121–128.
Peshkova G.Yu. Express-evaluation of clay deposits mining effectiveness on the base of economic-geological criteria (using Leningrad region as an example). *Corporate governance and innovative economic development of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Capital of Syktyvkar State University*. 2016;(1):121–128.
11. Черемисина Е.Н., Никитин А.А. Геоинформационные системы в природопользовании. *Геоинформатика*. 2006;(3):5–20.
Cheremisina E.N., Nikitin A.A. Applying geoinformation systems in nature use. *Geoinformatika*. 2006;(3):5–20. (In Russ.)
12. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.: ИНФРА-М; 2016. 362 с.
Kochurov B.I. *Ecodiagnosis and sustainable development*. Moscow: INFRA-M Publ.; 2016. 362 p. (In Russ.)
13. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь; 1991. 224 с.
Saati T. *Analytical Planning. Systems Organization*. Moscow: Radio i Svyaz' Publ.; 1991. 224 p. (In Russ.)
14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь; 1993. 278 с.
Saaty T. *Decision Making. Hierarchy Analysis Method*. Moscow: Radio i Svyaz' Publ.; 1993. 278 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Максим Альбертович Богдасаров – доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, проректор по научной работе, профессор кафедры городского и регионального развития, профессор кафедры биологических и химических технологий, Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь; ORCID [0000-0002-2039-679X](https://orcid.org/0000-0002-2039-679X), Scopus ID [57191968270](https://orcid.org/57191968270); ResearcherID: [HPG-0293-2023](https://orcid.org/HPG-0293-2023), e-mail bahdasarau@gmail.com

Анна Николаевна Маевская – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры городского и регионального развития, Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь; ORCID [0009-0006-0448-450X](https://orcid.org/0009-0006-0448-450X); e-mail maevskaya.anna@inbox.ru

Дмитрий Олегович Петров – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ и систем факультета электронно-информационных систем, Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь; ORCID [0000-0001-6164-9936](https://orcid.org/0000-0001-6164-9936); e-mail polegdo@gmail.com

Николай Николаевич Шешко – кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательской части, доцент кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии, Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь; ORCID [0000-0001-6373-8166](https://orcid.org/0000-0001-6373-8166), Scopus ID [57214638269](https://orcid.org/57214638269); e-mail optimum@tut.by



Information about the authors

Maksim A. Bogdasarov – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Dr.Sci. (Geol. and Mineral.), Vice-Rector for Science, Professor of the Department of Urban and Regional Development, Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies, Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Republic of Belarus; ORCID [0000-0002-2039-679X](#), Scopus ID [57191968270](#), [ResearcherID HPG-0293-2023](#); e-mail bahdasarau@gmail.com

Anna N. Mayevskaya – Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Senior Lecturer at the Department of urban and regional development, Brest State A.S. Pushkin University, Brest, Republic of Belarus; ORCID [0009-0006-0448-450X](#); e-mail maevskaya.anna@inbox.ru

Dmitry O. Petrov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electronic Computing Machines and Systems, Faculty of Electronic Information Systems, Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus; ORCID [0000-0001-6164-9936](#); e-mail polegdo@gmail.com

Nikolay N. Sheshko – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Research Department, Associate Professor of the Department of Environmental Management, Faculty of Engineering Systems and Ecology; Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus; ORCID [0000-0001-6373-8166](#), Scopus ID [57214638269](#); e-mail optimum@tut.by

Поступила в редакцию 12.03.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Принята к публикации 20.05.2024

Received 12.03.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 20.05.2024