УДК 622:624.13:502/504 (476.1) DOI 10.63874/2218-0311-2026-1-73-82

Александр Николаевич Галкин[1], Андрей Борисович Торбенко[2],
Александр Илларионович Павловский[3], Андрей Андреевич Кологривко[4],
Евгения Юрьевна Нарыжнова[5], Валентина Андреевна Кузьмич[6]
[1]д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
[2]ст. преподаватель каф. экологии и географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
[3]канд. геогр. наук., доц., зав. каф. «Горные работы»
Белорусского национального технического университета
[4]канд. техн. наук, доц., декан ФГДИЭ Белорусского национального технического университета
[5]магистр техн. наук, ст. преподаватель каф. «Горные работы»
Белорусского национального технического университета
[6]магистр техн. наук, ст. преподаватель каф. «Горные работы»
Белорусского национального технического университета
Alexander Galkin[1], Andrei Torbenko[2], Alexander Pavlovsky[3], Andrei Kologrivko[4],
Evgenia Naryzhnova[5], Valentina Kuzmich[6]
[1]Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Ecology and Geography of P. M. Masherov Vitebsk State University
[2]Senior Lecturer of the Department of Ecology and Geography
of P. M. Masherov Vitebsk State University
[3]Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mining
of Belarusian National Technical University
[4]Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Mining and Engineering Ecology of Belarusian National Technical University
[5]Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Mining
of Belarusian National Technical University
[6]Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Mining
of Belarusian National Technical University
e-mail: [1]galkin-alexandr@yandex.ru; [3]aipavlovsky@mail.ru

ОЦЕНКА НАРУШЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ*

С помощью спутниковых снимков и геоинформационных систем (ГИС) была разработана методика, позволяющая оценить распространенность карьеров и выработанных торфяников в пределах Минской области и рассчитать удельную плотность размещения горных выработок на ее территории. Совместное использование плотностных и площадных характеристик горных выработок сделало возможным создать наиболее объективную картографическую модель существующей карьерной нагрузки в исследуемом регионе. Анализ модели показал, что участки с высокой карьерной нагрузкой тяготеют преимущественно к крупным торфяным массивам в пределах пологоволнистых моренных и флювиогляциальных равнин и низин, а также конечно-моренным грядам и возвышенностям сожского возраста среднего плейстоцена. Территории со средней карьерной нагрузкой также приурочены к крупным торфяникам в пределах пологоволнистых моренных и флювиогляциальных равнин и низин и участкам конечно-моренных образований сожского возраста среднего плейстоцена. Низкая карьерная нагрузка отмечается на всей территории Минской области, характерна для участков распространения малоплощадных торфоразработок, а также мест размещения карьеров по добыче песка, глин и песчано-гравийно-галечного материала, отличающихся небольшими размерами, и располагающихся в пределах различных генетических типов рельефа.

Ключевые слова: *общераспространенные полезные ископаемые, добыча полезных ископаемых, карьеры, торфяные поля, нарушенные земли, пораженность территории, карьерная нагрузка, Минская область.*

**Исследования выполнены в рамках реализации проекта БРФФИ – МИРРУ № Х25УЗБ-054 «Особенности обеспечения геоэкологической безопасности техногенно нагруженных территорий в процессе разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом» на 2025–2027 гг.*

Assessment of Land Disturbance in the Minsk Region during the Extraction of Common Minerals Using Remote Sensing and GIS Technologies

A methodology using satellite imagery and Geographic Information Systems (GIS) was developed to assess the prevalence of quarries and exhausted peatlands within the Minsk Region and to calculate the specific density of mining sites across its territory. The combined use of density and area characteristics of the mining sites made it possible to create the most objective cartographic model of the existing quarry load in the study region. The analysis of the model showed that areas with a high quarry load are predominantly associated with large peat massifs within gently undulating moraine and fluvioglacial plains and lowlands, as well as with terminal moraine ridges and uplands of the Sozh age from the Middle Pleistocene. Territories with a medium quarry load are also confined to large peatlands within gently undulating moraine and fluvioglacial plains and lowlands, and to areas of terminal moraine formations of the Sozh age from the Middle Pleistocene. A low quarry load is observed throughout the entire territory of the Minsk Region, characteristic of areas with small-scale peat extraction sites, as well as locations of sand, clay, and sand-gravel-pebble quarries, which are distinguished by their small size and are located within various genetic types of relief.

Key words: *common minerals, mineral extraction, quarries, peat fields, disturbed lands, land impairment, quarry load, Minsk Region.*

Введение

Общераспространенные полезные ископаемые (ОПИ) – ключевой элемент ресурсной базы любой страны, обеспечивающий сырьем строительство, производство стройматериалов и сельское хозяйство. Растущий спрос на ОПИ приводит к активной разработке месторождений, что влечет за собой изъятие земель и, как следствие, негативное изменение окружающей среды. Добыча и сопутствующая инфраструктура, включая отвалы, оказывают вредное воздействие не только на сами разрабатываемые участки, но и на прилегающие территории.

Минская область располагает значительными ресурсами общераспространенных полезных ископаемых. Основными среди них являются кирпичные, гончарные и керамзитовые глины, строительные пески и песчано-гравийно-валунный материал, мел, мергель, торф и сапропель [1].

В области сосредоточено 697 месторождений песка, из них 246 детально разведанные с запасами по категориям А + В + C_1 от 8 до 31 136 тыс. м^3 и C_2 143–666 63 тыс. м^3; 1090 месторождений песчано-гравийно-валунного материала, среди которых 335 детально разведанные с запасами по категориям А + В + C_1 7 – 67 659 тыс. м^3 и C_2 20–120 769 тыс. м^3; разведано 79 месторождений глинистого сырья с запасами по промышленным категориям от 47 до 32169 тыс. м^3, имеется 25 месторождений мергельно-меловых пород, среди которых 9 детально разведанные, с запасами по категориям А + В + C_1 41 – 16 199 тыс. т и C_2 от 1810 до 51 245 тыс. т [2; 3]. На территории области находится 133 месторождения сапропеля. Разведанные запасы сапропелевого сырья в регионе оцениваются в 200 млн м^3, из которых 103,8 млн м^3 приходится на карбонатные и смешанные сапропели [4]. Особое значение имеет торфяной фонд области, включающий 1131 месторождение общей площадью 560,35 тыс. га [5]. Общие запасы торфа, находящиеся на промышленной глубине, превышают 1,0 млрд т. Для промышленной разработки выделено 48 месторождений общей площадью 23,95 тыс. га с запасами торфа 76,73 млн т. Минская область занимает ведущее место в Беларуси по площади торфяных месторождений и объему запасов торфа.

Эксплуатация крупных месторождений полезных ископаемых карьерным способом вызывает значительную трансформацию геологической среды. Изменения затрагивают геологическое строение, литологический состав и физико-механические свойства горных пород, рельеф, гидрогеологические и геохимические условия. Наблюдается активизация экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, таких как эрозия, оползни, обвалы и суффозия. Водоотливы приводят к формированию депресси-

онных воронок и истощению запасов подземных вод, вызывая пересыхание водотоков и водоемов. Формирование отвалов вскрышных пород создает техногенные грунты с низкими несущими способностями. В совокупности эти факторы приводят к деградации земель и их непригодности для дальнейшего хозяйственного использования.

На базе разведанных крупных месторождений полезных ископаемых созданы предприятия и производственные мощности по карьерной добыче минерального сырья. В большинстве случаев их функционирование часто сопряжено с трансформацией компонентов геологической среды. Эта трансформация проявляется главным образом в изменении геологического строения территории, состава и свойств слагающих ее пород, рельефа, гидрогеологических и геохимических условий района добычи, а также в развитии различных природных и техногенных геодинамических процессов и явлений, часто носящих деструктивный характер. Загрязняется атмосферный воздух, деградируется почвенно-растительный покров. Интенсивный водоотлив из карьеров нарушает естественный гидрологический баланс, вызывая снижение уровня подземных вод, истощение их запасов и формирование обширных депрессионных воронок. Это приводит к негативным последствиям, таким как исчезновение источников водоснабжения, обмеление водоемов и пересыхание малых рек. Отвалообразование формирует техногенные грунты, характеризующиеся неблагоприятными физическими и физико-механическими свойствами, что снижает их устойчивость и пригодность для дальнейшего использования. На склонах отвалов и в бортах карьеров активно развиваются процессы выветривания, плоскостной смыв и линейная эрозия, возникают оползни, обвалы, осыпи, проявляются суффозия и плывуны. На близлежащих к карьерам территориях формируются зоны подтопления и заболачивания [6; 7]. Все эти факторы вместе приводят к тому, что земли, подвергшиеся воздействию горных работ и связанных с ними техногенных процессов, зачастую становятся непригодными для дальнейшего хозяйственного использования.

В связи с негативным воздействием горных выработок по добыче общераспространенных полезных ископаемых на окружающую среду актуальной задачей является изучение их пространственного распределения и влияния на компоненты природной среды исследуемой территории.

Целью данного исследования является анализ особенностей распространения отработанных и действующих карьеров и других горных выработок в Минской области, а также оценка степени пораженности территории этими выработками для оптимизации системы управления инженерно-хозяйственной деятельностью в регионе.

Материалы и методы исследования

Для изучения объектов исследования применялись данные из различных источников, включая открытый картографический сервис OpenStreetMap, официальные источники: Государственный кадастр недр Республики Беларусь, Обзорная карта месторождений общераспространенных полезных ископаемых, база данных «Торфяники Беларуси», доклады Минского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды о состоянии минерально-сырьевой базы [1–3; 5].

Из этих источников были получены сведения об отработанных и действующих карьерах и торфяных полях, включая технологические карты с дренажными системами. Данные содержали информацию о названии объекта (согласно результатам геологических исследований), количестве учтенных и разрабатываемых полезных ископаемых и другие характеристики.

На основе собранной информации была создана схематическая карта распространения различных горных выработок на территории Минской области, включающая 747 объектов (рисунок 1).

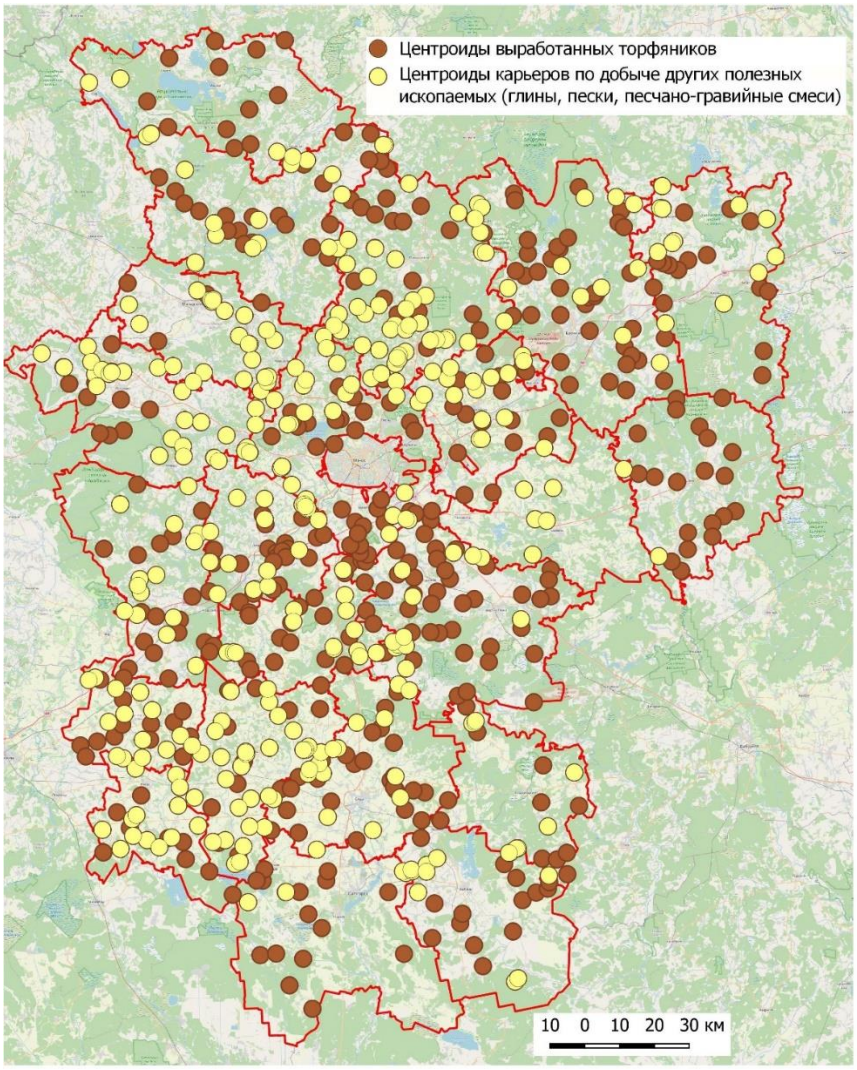


Рисунок 1 – Схематическая карта Минской области с расположением горных выработок по добыче общераспространенных полезных ископаемых

Для создания картосхемы и других картографических моделей применялась геоинформационная система QGIS.

В качестве исходных данных использовались спутниковые снимки, полученные из открытых источников Google, Yandex и Bing, которые предоставляют информацию от спутниковых групп Landsat и Sentinel.

Отбор снимков осуществлялся с помощью программы для работы с картами и спутниковыми снимками SAS. Planet (рисунок 2).

Для анализа нарушенности земель, вызванной горными выработками (или *карьерной нагрузки*), применялись статистические методы.

Количественная оценка включала расчет коэффициента распространенности ($D = N / S$) и удельной плотности ($d = N / s$) карьеров, где N – количество карьеров (ед.), S – площадь территории (км^2), а s – стандартизированная площадь в 100 км^2.



Рисунок 2 – Космические снимки карьера по добыче песчано-гравийно-валунного материала «Крапужино» Логойского района (вверху) и участка разрабатываемого месторождения торфа «Гричино-Старобинское» Солигорского района (внизу) при обработке программным продуктом SAS. Planet

Следует отметить, что если коэффициент распространенности определялся нами для административных районов Минской области, то для расчета удельной плотности размещения горных выработок в исследуемом регионе вся его площадь с прилегающими территориями была разбита на 478 квадратов площадью каждого 100 км^2. Затем в каждом квадрате или ячейке был выполнен расчет горных выработок и определена их удельная плотность. На основе этих данных была установлена степень карьерной нагрузки как в рамках отдельных административных районов, так и для всей области в целом.

Результаты и их обсуждение

Согласно результатам исследований, наибольшая плотность горных выработок наблюдается в Дзержинском, Минском и Несвижском районах Минской области, где соответствующие коэффициенты составляют 0,036, 0,031 и 0,030 ед./км^2. В девяти

из двадцати двух районов Минской области показатель распространенности горных выработок находится в диапазоне от 0,028 до 0,021 ед./км². Для семи районов этот коэффициент ниже и колеблется от 0,017–0,016 ед/км² в Борисовском и Столбцовском районах до 0,011 ед/км² в Березинском районе (рисунок 3).

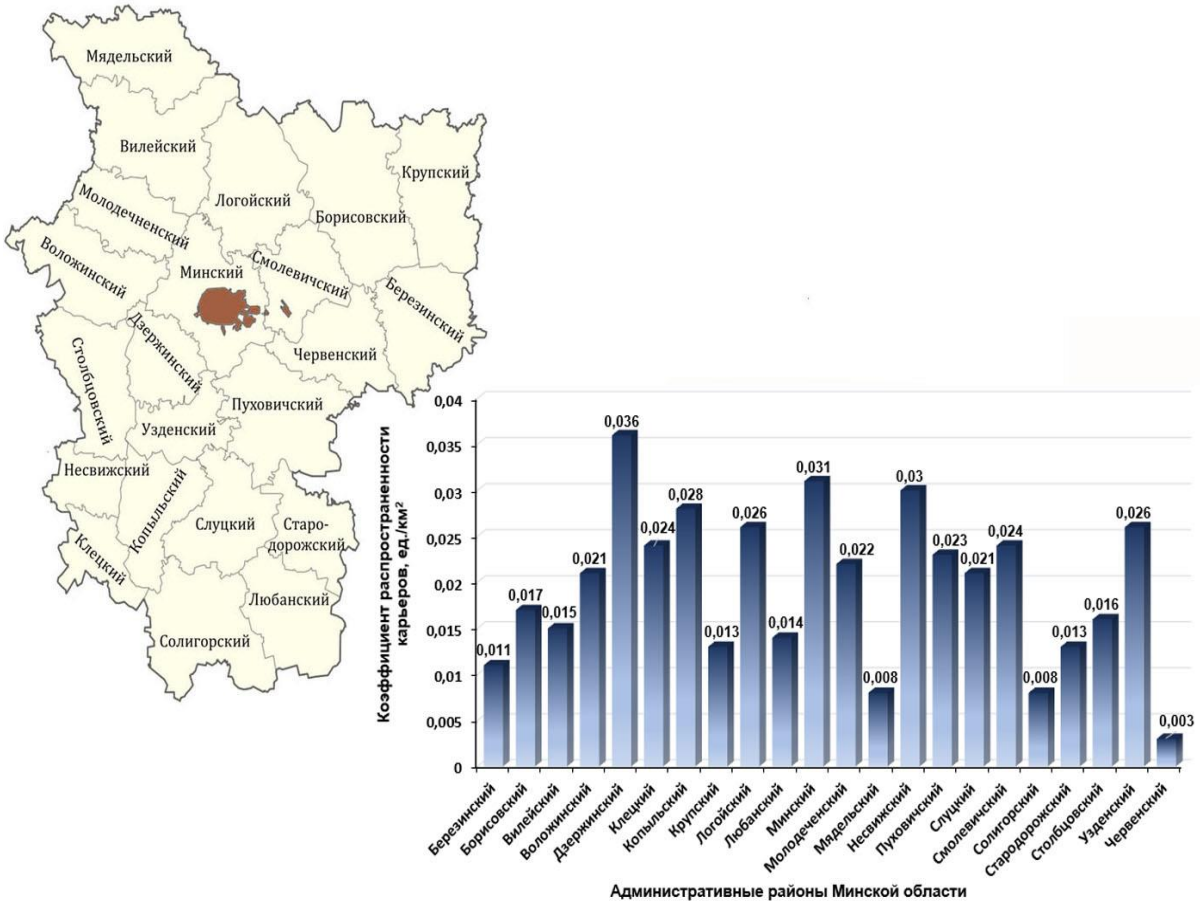


Рисунок 3 – Распределение коэффициента распространенности горных выработок по административным районам Минской области

Три района (Мядельский, Солигорский и Червенский) имеют наименьшую распространенность горных выработок, с показателем, не превышающим 0,010 ед./км². В целом для всей Минской области средний коэффициент распространенности горных выработок составляет 0,020 ед./км², что в 1,4 раза больше, чем для Витебского региона.

Особого внимания заслуживает анализ распространенности горных выработок, основанный на расчете удельной плотности их размещения на территории исследуемого региона. Согласно созданной сеточной модели, наибольшее их количество, приходящееся на единичный квадрат или ячейку, равно 10, наименьшее – 0 (рисунок 4). Соответственно, максимальная удельная плотность размещения горных выработок в регионе составляет 10 ед./100 км^2, а минимальная – 0. Всего на сеточной модели выделяется одна ячейка с удельной плотностью горных выработок 10 ед./100 км^2, одна – с 9, по четыре – с 7 и 6, четырнадцать – с 5, тридцать пять – с плотностью 4 ед./100 км^2.

В 166 ячейках выработки отсутствуют (0), в остальных 253 их удельная плотность составляет 1–3 ед./100 км^2 (рисунок 4).

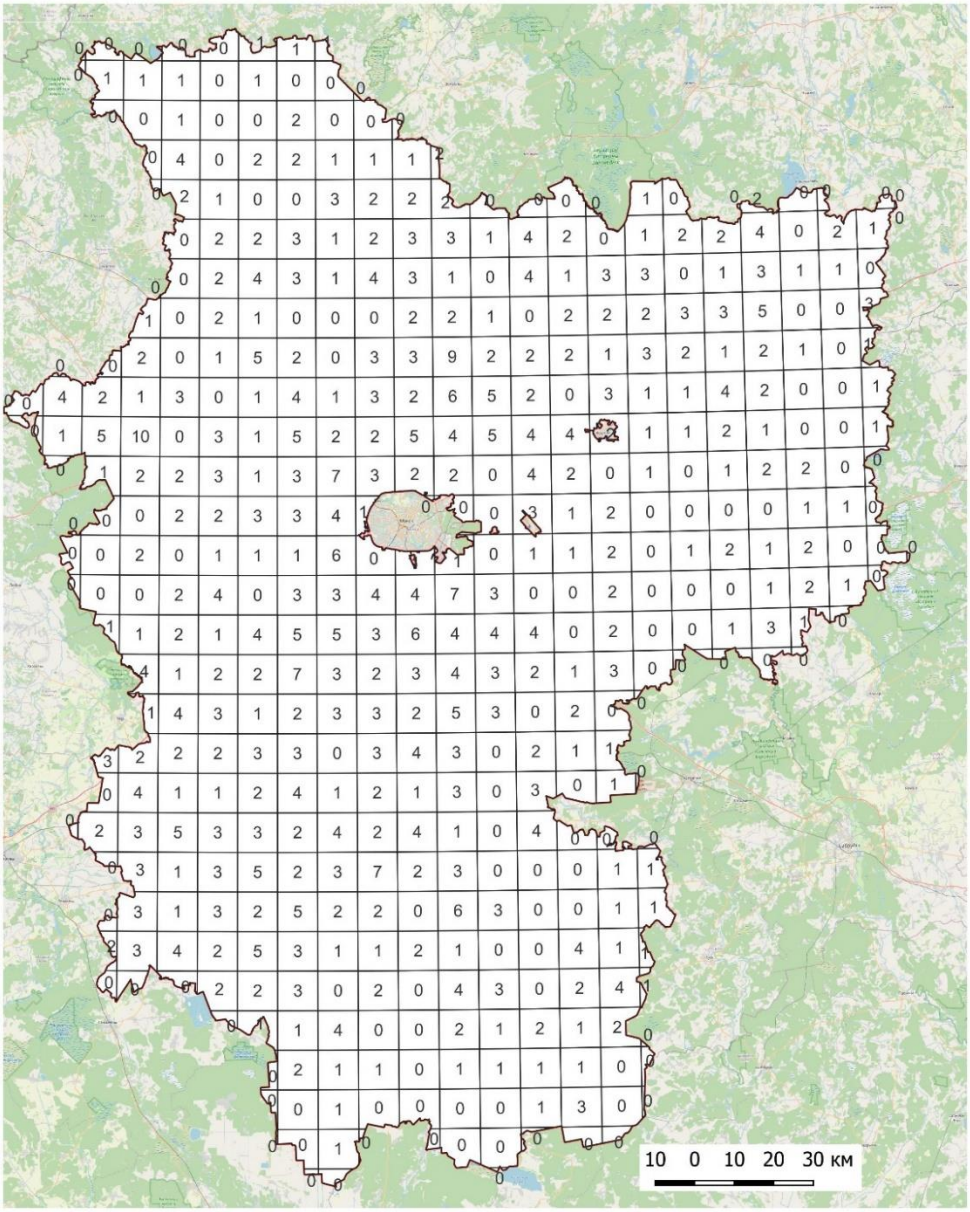


Рисунок 4 – Сеточная модель распределения удельной плотности горных выработок (ед./100 км^2) на территории Минской области

Установленные значения плотностных характеристик распространенности рассматриваемых горных выработок позволили классифицировать и визуализировать карьерную нагрузку по степени или уровню ее возрастания на различных территориях. По результатам анализа полученной информации была предложена следующая градация уровней: при удельной плотности выработок 1–3 ед./100 км^2 нагрузка низкая; 4–6 – средняя; более 7 ед./100 км^2 – высокая.

Вместе с тем необходимо отметить, что некоторые карьеры и торфяные выработки занимают довольно небольшую площадь – менее 1 км^2, другие же могут охватывать значительные территории, иногда в десятки квадратных километров. Так, например, у выработанного карьера по добыче песка в 400 м от д. Добрая Лука на западе Солигорского района или карьера на окраине д. Яблонка на юго-востоке Борисовского района площадь не превышает 0,001 км^2 (всего таких карьеров 25), в то время как у выработанных торфяников месторождений Чисть в Вилейском районе, Цна (Ганцевичское)

в Борисовском и Гричино-Старобинское в Солигорском районе площадь составляет 22,57; 37,43 и 48,03 км^2 соответственно (база данных «Торфяники Беларуси», 2024). Всего количество выработанных торфяных участков с площадью более 20 км^2 составляет 10 ед. В связи с этим, оценивая карьерную нагрузку на какую-либо территорию, целесообразно учитывать наряду с удельной плотностью горных выработок и занимаемую ими площадь, а именно, если суммарная площадь горных выработок в единичном квадрате в 100 км^2 составляет менее 10 % его площади (<10 км^2), то нагрузка будет низкая; 10–20 % – средняя; более 20% (>20 км^2) – нагрузка высокая. Такая градация принята нами с некоторой корректировкой по аналогии с площадной пораженностью территорий плоскостной и овражной эрозией (согласно СНБ 2.03.01–98 [8]), морфологически схожей с техногенной денудацией земной поверхности. Совместное использование плотностных и площадных характеристик горных выработок (их произведение) позволило создать наиболее объективную картографическую модель существующей карьерной нагрузки на территории исследуемого региона (рисунок 5).

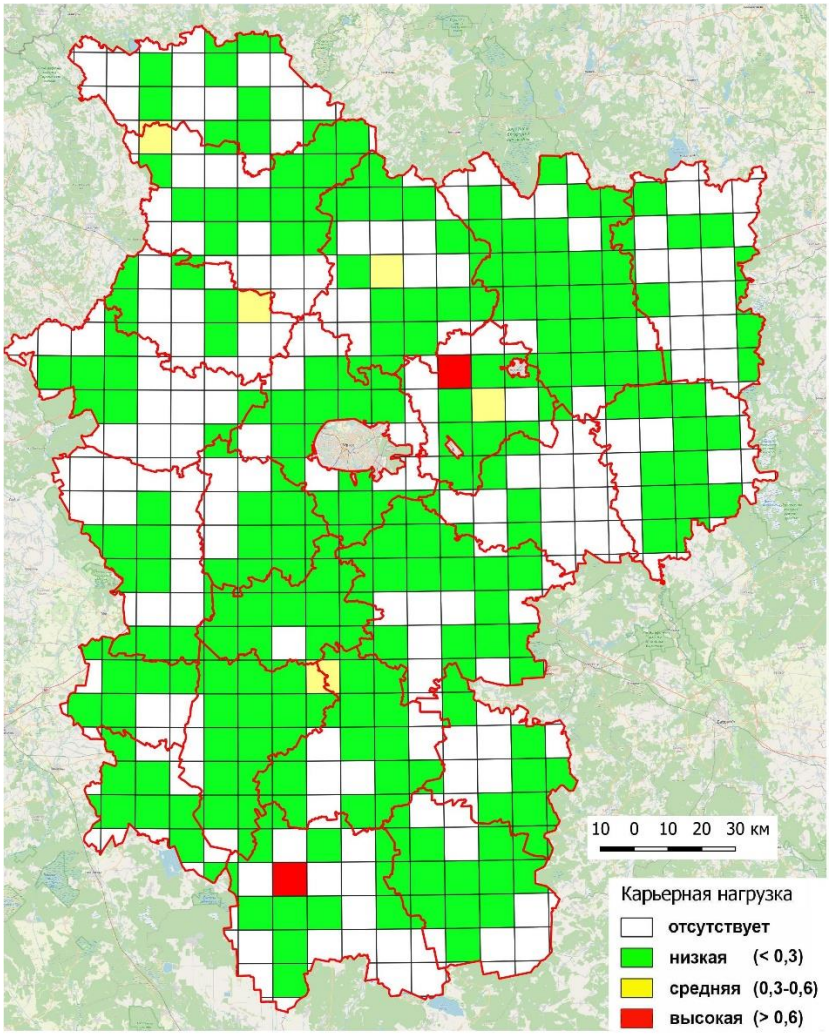


Рисунок 5 – Карьерная нагрузка на территории Минской области

Анализ данной модели показал, что участки с высокой карьерной нагрузкой располагаются в пределах Смолевичского и Солигорского районов. В геолого-геоморфологическом отношении все они тяготеют преимущественно к крупным торфяным массивам в пределах пологоволнистых моренных и флювиогляциальных равнин и низин,

а также к конечно-моренным грядам и возвышенностям сожского возраста среднего плейстоцена. Здесь нарушенные земли представлены выработанными торфяниками и карьерами по добыче песков и песчано-гравийно-галечного материала.

Участки со средней карьерной нагрузкой установлены в Вилейском, Молодечненском, Логойском, Слуцком и Смолевичском районах. В геолого-геоморфологическом плане они также приурочены к торфяным залежам в пределах пологоволнистых моренных и флювиогляциальных равнин и низин и участкам размещения конечно-моренных образований сожского возраста среднего плейстоцена.

Низкая карьерная нагрузка отмечается по всей территории Минской области. Она характерна для участков распространения малоплощадных торфоразработок, а также мест размещения карьеров по добыче песка, глин и песчано-гравийно-галечных смесей, отличающихся в основном относительно небольшими размерами. Причем все эти участки располагаются в пределах различных генетических типов рельефа.

Заключение

По итогам проведенных исследований установлено, что применение спутниковых данных в совокупности с ГИС-технологиями позволило авторам сформировать авторскую методику оценки степени нарушенности земель, обусловленной добычей общераспространенных полезных ископаемых. Данная методика основана на совместном использовании показателей плотности размещения и площади горных выработок. Расчетная карьерная нагрузка в пределах Минской области свидетельствует о ее относительно низком уровне для региона в целом: территории со средним и высоким уровнями нагрузки занимают менее 1,5 % от общей площади сеточной модели исследуемой территории, при этом около 35 % ее площади не подвержено воздействию процессов добычи полезных ископаемых.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию БелНИГРИ / Под ред. П. З. Хомич [и др.]. – Мн. : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.

2. Государственный кадастр недр Республики Беларусь. – URL: https://gkn.belgeocentr.by/ (дата обращения: 02.07.2025).

3. Обзорная карта месторождений общераспространенных полезных ископаемых. – URL: https://catalog.belgeocentr.by/map/field/minsk (дата обращения: 02.07.2025).

4. Москальчук, Л. Н. Сорбционные свойства основных типов почв, природного сырья и промышленных отходов / Л. Н. Москальчук. – Мн. : Бел. наука, 2008. – 230 с.

5. База данных «Торфяники Беларуси». – URL: https://www.peatlands.by/ (дата обращения: 02.07.2025).

6. Галкин, А. Н. Особенности проявления инженерно-геологических процессов на территории Беларуси / А. Н. Галкин // Літасфера. – 2006. – № 1 (24). – С. 95–100.

7. Эколого-геологические проблемы в зоне влияния объектов добычи и переработки нерудного минерального сырья (Республика Беларусь) / О. В. Шершнев, А. И. Павловский, А. Н. Галкин, И. И. Косинова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2020. – № 3. – С. 64–72. – DOI: https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3010.

8. СНБ 2.03.01–98. Геофизика опасных природных воздействий. – Мн., 1998. – 7 с.

REFERENCES

1. Poleznye iskopaemye Belarusi : k 75-letiyu BelNIGRI / Pod red. P. Z. Khomich [i dr.]. – Mn. : Adukacyya i vykhavanne, 2002. – 528 s.

2. Gosudarstvennyj kadastr nedr Respubliki Belarus’. – URL: https://gkn.belgeocentr.by/ (data obrashcheniya: 02.07.2025).

3. Obzornaya karta mestorozhdenii obshcherasprostranennykh poleznykh iskopaemykh. – URL: https://catalog.belgeocentr.by/map/field/minsk (data obrashcheniya: 02.07.2025).

4. Moskal’chuk, L. N. Sorbtsionnye svoistva osnovnykh tipov pochv, prirodnogo syr’ya i promyshlennykh otkhodov / L. N. Moskal’chuk. – Mn. : Bel. nauka, 2008. – 230 s.

5. Baza dannykh «Torfianiki Belarusi». – URL: https://www.peatlands.by/ (data obrashcheniya: 02.07.2025).

6. Galkin, A. N. Osobennosti proyavleniya inzhenerno-geologicheskikh processov na territorii Belarusi / A. N. Galkin // Litasfera. – 2006. – № 1 (24). – S. 95–100.

7. Ekologo-geologicheskie problemy v zone vliyaniya ob’ektov dobychi i pererabotki nerudnogo mineral’nogo syr’ya (Respublika Belarus’) / O. V. Shershnev, A. I. Pavlovskii, A. N. Galkin, I. I. Kosinova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – 2020. – № 3. – S. 64–72. – DOI: https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3010.

8. SNB 2.03.01–98. Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeistvij. – Mn., 1998. – 7 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.02.2026