

## ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ МЕЛОВОГО КАРЬЕРА

**Косарев А.В., Чумакова С.В., Алексеев В.С., Левченко Г.В., Левченко А.В.**

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов, e-mail: aleteia@inbox.ru*

Целью работы являлось определение объема мелового карьера методом дистанционного зондирования. Материалом исследований явились спутниковые космоснимки Landsat\_8\_9, на основе которых была построена цифровая модель рельефа карьера. В качестве объекта исследования был выбран завод «Красный Октябрь» г. Вольска. В работе представлены результаты исследований мелового карьера, расположенного на территории этого завода. Обработка матрицы высот и картографирование полученного материала проводились с помощью кроссплатформенной программной системы QGIS (version 3.32.0). Для разбиения и картографирования толщин карьера применялась программа SAGA-GIS (version 9.2.0). Были изучены особенности морфологии карьера, построена картограмма распределения толщин составляющих его сегментов. Полученные данные позволили определить глубину и объем карьера, а также средние значения крутизны и экспозиции склона соответственно. Проведенные исследования позволили определить высокую степень выработанности изучаемого карьера. Геоинформационные технологии в настоящее время предоставляют необходимые программные средства для оценки ресурсного потенциала месторождений полезных ископаемых, а их дистанционность и низкая себестоимость делают их востребованными инструментами исследований промышленной экологии. Результаты работы актуальны для круга задач инженерной экологии, связанных с рациональным использованием природных ресурсов и обеспечением устойчивого эколого-экономического развития.

**Ключевые слова:** меловой карьер, Вольск, объем, крутизна, экспозиция, дистанционное зондирование

## GEOSPATIAL MODELING OF THE MORPHOLOGY OF A CHALK QUARRY

**Kosarev A.V., Chumakova S.V., Alekseev V.S., Levchenko G.V., Levchenko A.V.**

*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: aleteia@inbox.ru*

The purpose of the work was to determine the volume of the chalk quarry by remote sensing of the Earth. The material of the research was satellite images Landsat\_8\_9, on the basis of which a digital model of the quarry relief was built. The Krasny Oktyabr plant in Volsk was chosen as the object of the study. The paper presents the results of studies of a chalk quarry located on the territory of this plant. The elevation matrix was processed and the resulting material was mapped using the cross-platform QGIS software system (version 3.32.0). SAGA-GIS (version 9.2.0) was used to divide and map the thickness of the pit. The features of the morphology of the quarry were studied, a cartogram of the distribution of the thickness of its constituent segments was constructed. The data obtained made it possible to determine the depth and volume of the quarry, as well as the average values of the steepness and exposure of the slope, respectively. The studies carried out made it possible to determine the high level of depletion of the quarry under study. Geoinformation technologies currently provide the necessary software tools for assessing the resource potential of mineral deposits, and their remoteness and low cost make them popular tools for studying industrial ecology. The results of the work are relevant to the range of tasks of engineering ecology related to the rational use of natural resources and ensuring sustainable environmental and economic development.

**Keywords:** chalk quarry, Volsk, volume, steepness, exposure, remote sensing

### Введение

Обеспечение рационального использования природных ресурсов является в настоящее время одной из основных проблем инженерной экологии и требует для своего решения применения функциональных методов исследования и мониторинга. К таким относятся методы неразрушающего контроля, среди которых широко применяется дистанционное зондирование Земли. Интеграция различных массивов данных на платформе геоинформационных систем является эффективным инструментом для комплексного изучения геоэкологического состояния региона [1, с. 59]. Это позволяет

исследовать структуру литосферы, особенности протекания геохимических и геофизических процессов, а также применять эти данные к геофизической разведке полезных ископаемых [2, с. 47]. Применение аэрофотосъемки предоставляет данные для оценки перспектив использования природных ресурсов, локализованных в определенной геоморфологической системе [3, с. 101]. Так, георадиолокационный мониторинг позволяет выявлять разрывные нарушения в вертикальных разрезах, такие как трещины, проседания и оползневые зоны [4, с. 181]. Результаты космического мониторинга позволяют оценивать геомеханическое состоя-

ние карьеров, например выявлять зоны сдвига, деформации горных пород [5, с. 49]. Составление металлогенических карт по данным дешифрирования спутниковых космоснимков предоставляет информацию о пространственном распределении уровня пересективности разработки металлических руд [6, с. 47]. Многоспектральные, инфракрасные и радиолокационные снимки позволяют оценивать перспективы нефтегазодобычи районов, что дает возможность прогнозировать и сравнивать их уровни устойчивого социально-экономического развития [7, с. 10]. Спутниковое зондирование карьеров позволяет исследовать горнопромышленные ландшафты добычи металлов, а также оценивать нагрузку технологического оборота и поступление отходов в окружающую среду [8, с. 24]. Большую роль при этом играет возможность изучения эрозионных процессов антропогенно нарушенных земель [9, с. 15], а также выявление роли объектов негативного воздействия на состояние экосистем [10, с. 43].

Спутниковое зондирование карьеров также позволяет мониторировать изменения в природных ресурсах, таких как древесина, водные ресурсы и растительность, в результате добычи и эксплуатации металлических руд. Это позволяет принимать более обоснованные решения в области природоохраны и устойчивого развития, чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду [11, с. 76].

Данные, полученные с помощью спутников, могут быть использованы для создания карт динамики изменений в земельном покрове, что помогает выявлять тенденции в развитии горнопромышленных зон и оценивать их влияние на окружающую среду. Также спутниковое зондирование позволяет проводить мониторинг качества воздуха и воды в районах добычи металлов, что важно для предотвращения загрязнения и сохранения экосистем [12, с. 294].

Благодаря современным технологиям спутникового зондирования, исследователи и ученые могут проводить более точные и детальные исследования в области горной промышленности и охраны окружающей среды. Это помогает не только в управлении производственными процессами, но и в разработке эффективных стратегий по улучшению условий работы горнодобывающих предприятий и снижению их экологического воздействия [13, с. 72]. Кроме того, результаты космического мониторинга позволяют проводить наблюдения за из-

менениями в окружающей среде, связанными с горнодобывающей деятельностью. Это важно для оценки экологических последствий разработки карьеров и обеспечения устойчивого развития регионов, где они расположены [14, с. 302].

**Цель исследования** – определить объем мелового карьера (на примере завода «Красный Октябрь» г. Вольска) с помощью данных SRTM. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- а) построена цифровая модель рельефа исследуемого карьера;
- б) построена картограмма распределения толщин;
- в) рассчитан объем карьера.

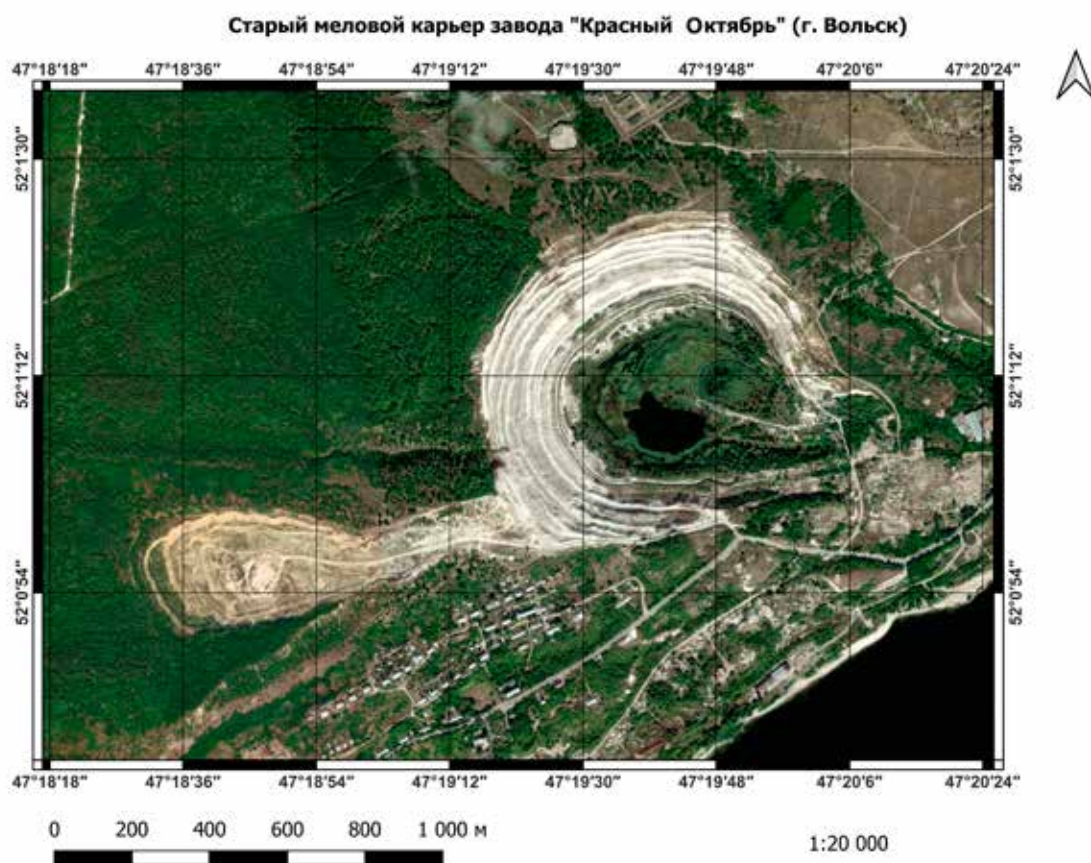
#### **Материалы и методы исследования**

В качестве исследуемого объекта выбран карьер завода «Красный Октябрь», расположенный на юге г. Вольска, благодаря следующим признакам: выраженная структура рельефа, незначительность пространства карьера, занятого фитоценотической вторичной сукцессией, выработанность к настоящему времени (рис. 1). Этот объект вскрывает меловые отложения восточной части Ульяновско-Саратовского прогиба [15, с. 48]. Обработка матрицы высот и картографирование полученного материала проводились с помощью кроссплатформенной программной системы QGIS (version 3.32.0). Для разбиения и картографирования толщин карьера применялась программа SAGA-GIS (version 9.2.0).

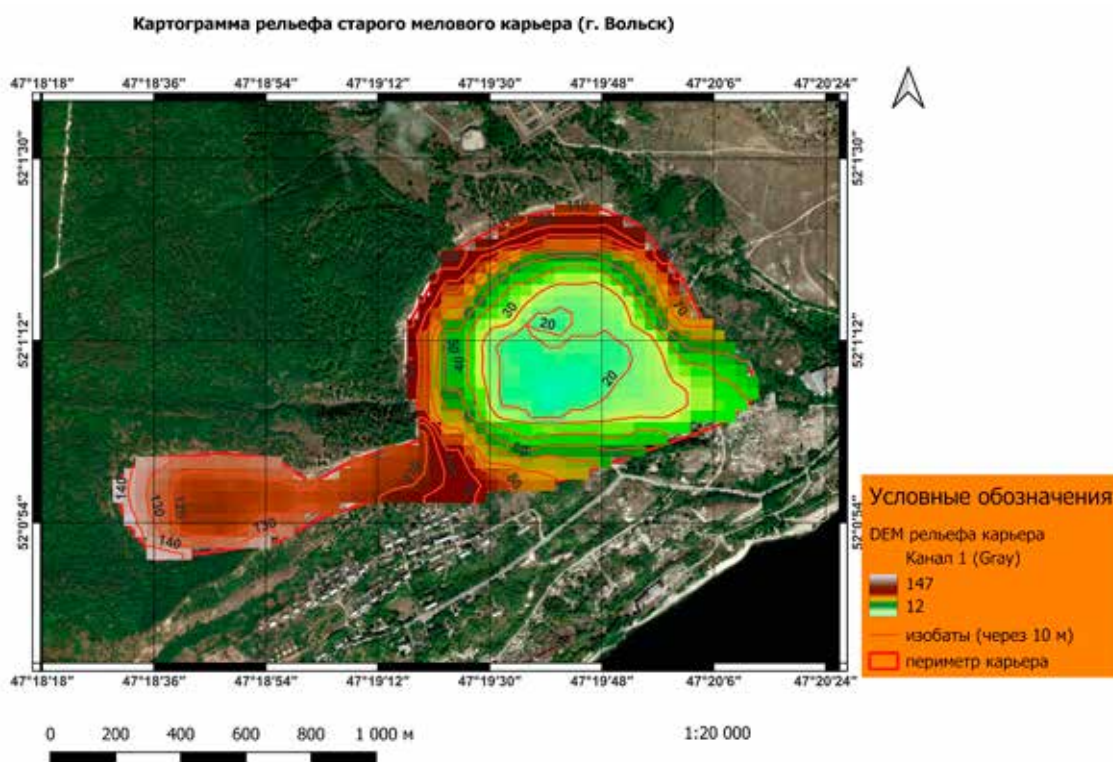
#### **Результаты исследования и их обсуждение**

DEM-растр, содержащий информацию о матрице высот над исследуемой территорией загружали с помощью модуля SRTM-downloader и перепроецировали из географической системы координат WGS 84 EPSG 4326 в систему координат проекции WGS 84/Pseudo-Mercator EPSG 3857. В этой же системе были заданы все остальные слои. Карта рельефа в изучаемом карьере приведена на рис. 2. Оцифровка периметра карьера проводилась с помощью полигонального shp-файла. С помощью инструмента работы с долинами «Valey Depth» в программе SAGA-GIS построена карта толщин (рис. 3).

Этот инструмент определяет края долины и заполняет ее ячейками, каждая из которых показывает расстояние между дном долины и поверхностью крайних бровок (краев долины).



*Рис. 1. Карта карьера завода «Красный Октябрь» (г. Вольск)*



*Рис. 2. Картограмма рельефа карьера завода «Красный Октябрь» (г. Вольск)*



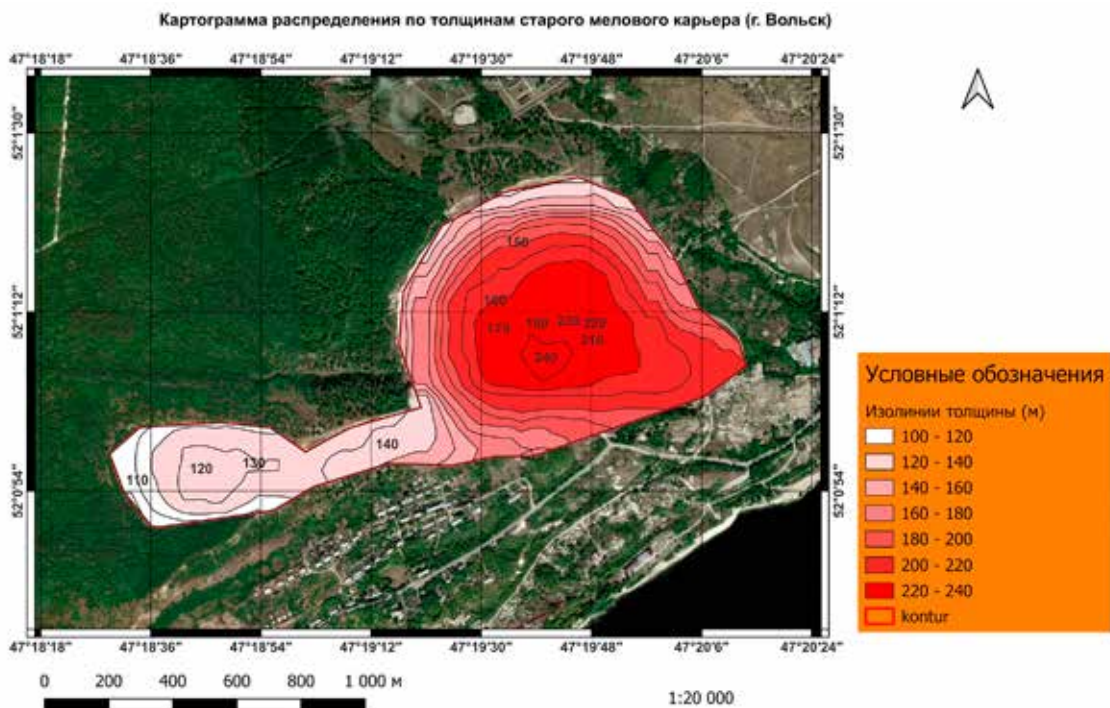


Рис. 3. Картограмма распределения толщин в изучаемом карьере

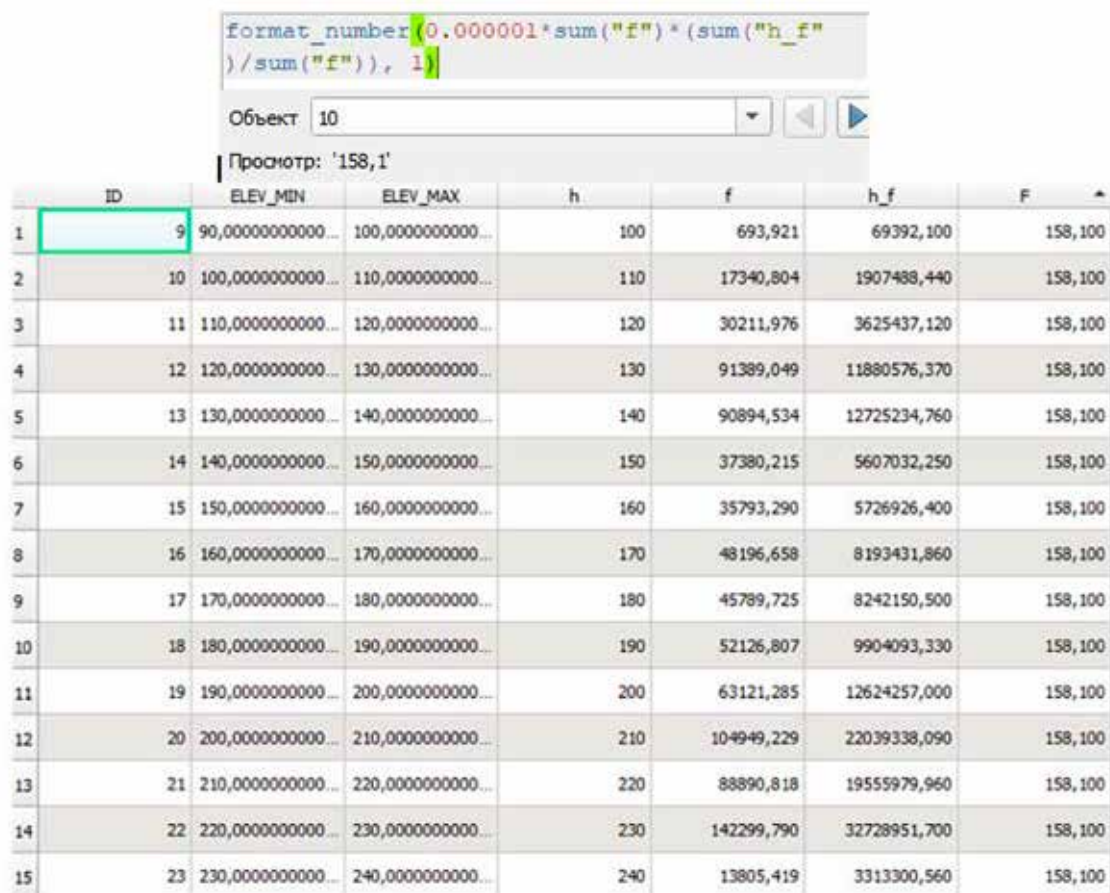


Рис. 4. Расчет объема карьера на калькуляторе растров и результаты этого расчета в атрибутивной таблице векторного слоя «Изолинии толщины»

Далее эта grid-карта толщин переводилась в полигональный векторный объект, с помощью которого можно рассчитать объем. Это делалось с помощью инструмента «создать полигоны изолиний» с разностью между соседними изолиниями толщины, составляющей 10 м. Рассчитанная карта изолиний раскрашивалась с помощью градуированного знака по полю ELEV\_MAX, отражающего максимальную высоту слоя, при этом применялась градиентная заливка Reds. При классификации использовалась опция «форматированные отступы», при этом диапазон толщин разбивался на 7 классов. С усилением красной окраски территории карьера увеличивается глубина составляющих его сегментов. Для выделения исследуемой территории карьера из всей площади космоснимка, карта изолиний обрезалась по оцифрованному полигональному периметру. Атрибутивная таблица векторного слоя «Изолинии толщин» содержит в себе следующие данные: ELEV\_MIN и ELEV\_MAX – минимальная и максимальная толщина отдельного сегмента соответственно;  $h$  – толщина сегмента (равная в расчетах ELEV\_MAX);  $f$  – площадь каждого сегмента ( $S_{area}$ );  $h \cdot f$  – объем отдельного сегмента толщины  $h$ ;  $F$  – объем карьера, определяющийся как средневзвешенное суммы объемов, соответствующих отдельным сегментам толщиной  $h$ , в соответствии с формулой

$$F = \sum (f) \cdot \left( \frac{\sum (h \cdot f)}{\sum f} \right)$$

Проведенные расчеты показали, что объем исследуемого карьера составляет 158,1 км<sup>3</sup> (рис. 4).

### Заключение

В работе проанализирована геоморфологическая структура мелового карьера завода «Красный Октябрь». Полученные данные позволили определить глубину и объем карьера, которые составили 147 м и 158,1 км<sup>3</sup> соответственно. Средняя крутизна склона и экспозиция составляли 7,34° и 168,16° соответственно. Это свидетельствует о высокой степени выработанности изучаемого карьера.

Дальнейшие исследования с использованием геоинформационных технологий позволяют выявить важные закономерности в изменениях рельефа и структуры карьера со временем. Анализ этих данных может прогнозировать развитие месторождения,

оптимизировать процессы рекультивации и заботиться о сохранении окружающей среды. Таким образом, геоинформационные технологии становятся неотъемлемой частью устойчивого развития промышленности и экологии.

Исследования, проведенные с применением дистанционного зондирования Земли, обладают большим потенциалом для применения в других отраслях, где необходима детальная информация о территориальных объектах и процессах. Этот метод позволяет получать данные без необходимости непосредственного контакта с исследуемой областью, что обеспечивает удобство и экономическую эффективность исследований.

Результаты работы актуальны для круга задач инженерной экологии, связанных с рациональным использованием природных ресурсов и обеспечением устойчивого эколого-экономического развития.

### Список литературы

1. Плякин А.В., Бодрова В.Н. Инфраструктура пространственных данных для оценки геоэкологического состояния территории региона // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. 2013. № 1 (5) С. 59–66.
2. Злобина Т.Г. Методические аспекты использования данных дистанционного зондирования Земли в государственном геологическом надзоре // Геоинформатика. 2015. № 2. С. 47–51.
3. Рахымбердина М.Е., Сарсембина А.Н., Токтарбекова Н.А. Использование данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга месторождений полезных ископаемых на территории Восточно-Казахстанской области // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 9 (2). С. 100–103.
4. Фролова О.В., Зимановская Н.А., Охотенко А.И., Щербак Д.А., Тельгарасва А. Геотехнический мониторинг николаевского карьера с применением дистанционных методов зондирования // Труды университета. 2022. № 4 (89). С. 181–186.
5. Каранеева А.Д., Мозер Д.В. Наблюдения за обрушениями на карьере «Западный Каражал» по данным дистанционного зондирования // Труды университета. 2014. № 4 (57). С. 48–52.
6. Пуляев Н.А. Применение современных методов дистанционного зондирования поверхности земли при металлогенетическом анализе сложнослоистых комплексов // Вестник СВФУ. Серия «Науки о земле». 2019. № 4 (16). С. 47–61.
7. Трофимов Д.М., Евдокименков В.Н., Серебряков В.Б., Шуваева М.К. Инновационные интегрированные технологии дистанционного зондирования в комплексе геологоразведочных работ на нефть и газ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 12. С. 10–15.
8. Зеньков И.В., Чинь Ле.Х., Вокин В.Н., Киришина Е.В., Латынцев А.А., Кондрашов П.М., Павлова П.Л., Конов В.Н., Лунев А.С., Скорнякова С.Н., Маглинец Ю.А., Раевич К.В. Космические технологии дистанционного зондирования в исследовании открытых горных работ и экологии на месторождениях руд цветных металлов // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 1. С. 24–29.
9. Шибалова Г.В. Возможности применения дистанционного зондирования для сбора информации о нарушенных землях // Природообустройство. 2010. № 4. С. 14–18.

10. Пичугин Е., Шенфельд Б. Использование данных дистанционного зондирования Земли при экологической оценке объектов негативного воздействия на окружающую среду I и II категорий // *Экология и промышленность России*. 2022. № 26 (10). С. 40–44.
11. Зеньков И.В., Чинь Ле.Х., Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Скорнякова С.Н., Маглинец Ю.А., Раевич К.В., Латынцев А.А., Павлова П.Л., Лунев А.С. Исследование показателей угольных карьеров в топливно-энергетическом комплексе Республики Монголия с использованием ресурсов дистанционного зондирования // *Уголь*. 2023. № 1 (1163). С. 76–79.
12. Бардулин И.М., Зеньков И.В. Геоэкологическое обследование отработанных щебеночных карьеров с применением средств дистанционного зондирования Земли // *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2015. № 2. С. 294–298.
13. Крамаров С.О., Храмов В.В., Митясова О.Ю. Спутниковая идентификация объектов добычи полезных ископаемых на месторождениях, разрабатываемых открытым способом // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 5. С. 72–79.
14. Бардулин И.М. Экологическое обоснование разработки карьеров по производству строительного и дорожного щебня с использованием дистанционного зондирования // *Решетневские чтения*. 2015. Т. 1. С. 302–303.
15. Олферьев А.Г., Сельцер В.Б., Алексеев А.С., Амон Э.О., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.Н., Харитонов В.М. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный Октябрь» на южной окраине г. Вольска // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение геологии*. 2014. Т. 89. Вып. 6. С. 45–76.