

УДК 528.7:550.8  
DOI 10.17513/use.38198

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОТВАЛОВ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Осинцева М.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,  
e-mail: pavvm2000@mail.ru

Цель статьи – выбор средств дистанционного зондирования, обеспечивающих наибольшую эффективность сбора информации для определения рекультивационного направления работ на угольных отвалах вскрышных пород месторождений Кузбасса. Климатические условия во время проведения работ – сентябрь, ветер 3 м/с, температура окружающей среды +5 °С, пасмурно. Высота полета – 100 м, без огибания рельефа местности. Для геодезических измерений использовались спутниковые приемники PrinCe i90, для аэрофото съемки – БВС модели DJI Phantom 4 Pro+ с установленным бортовым ГНСС приемником. Обнаружено, что съемка с применением БВС позволяет получать информацию быстро и максимально эффективно с учетом таких ограничений, как отсутствие рядом аэродромов, плохих погодных условий, неудобного расположения объектов съемки, близости государственных границ и строгих требований к периоду съемок. Изображения, полученные при помощи БВС, отличаются высоким качеством по показателям пространственного разрешения, наличия каналов для формирования псевдоцветных изображений, геометрической точности и при этом не требуют высоких затрат для проведения исследований. Для оптимального осуществления сбора информации для проведения рекультивационных мероприятий на местах отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса рекомендуется использовать аэрофото съемку с применением беспилотных воздушных судов.

**Ключевые слова:** угледобыча, дистанционное зондирование, аэросъемка, беспилотные воздушные суда, спутниковая съемка, Кузбасс

*Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс»), мероприятия 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение №075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.)*

## REMOTE SENSING OF OVERBURDEN DUMPS OF COAL DEPOSITS IN KUZBASS

Osintseva M.A.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: pavvm2000@mail.ru

The aim of the study is to select remote sensing tools that provide the most efficient collection of information to determine the reclamation direction of work on coal dumps of overburden rocks of the Kuzbass deposits. Materials and methods. Climatic conditions during the work – September, wind speed 3 m/s, ambient temperature +5°C, overcast. The flight altitude was 100 meters, without enveloping the terrain. For geodetic measurements, satellite receivers PrinCe i90 were used, for aerial photography – UAV of the DJI Phantom 4 Pro + model with an onboard GNSS receiver. Results and discussion. It was found that surveying with the use of UAV allows obtaining information quickly and efficiently, taking into account such limitations as the absence of nearby airfields, bad weather conditions, inconvenient location of survey objects, proximity to state borders and strict requirements for the survey period. Images obtained with the help of UAV are of high quality in terms of spatial resolution, the presence of channels for the formation of pseudo-color images, geometric accuracy, and at the same time do not require high costs for research. Conclusion. For the optimal implementation of the collection of information for carrying out reclamation activities at the sites of overburden dumps of coal deposits in Kuzbass, it is recommended to use aerial photography using UAV.

**Keywords:** coal mining, remote sensing, aerial photography, unmanned aerial vehicles, satellite imagery, Kuzbass

*The work was carried out within the framework of Decree No. 1144-r of the Government of the Russian Federation dated 11.05.2022, a full innovation cycle comprehensive research and technical program "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment environment and risks to the life of the population" ("Clean coal – green Kuzbass"), event 3.1 "Ecopolygon of world-class reclamation and remediation technologies" with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2022-1200 dated 28.09.2022).*

Почва является сложной матрицей, постоянно взаимодействующей с компонентами окружающей среды, следовательно, загрязнения почвы легко напрямую распространяются на поверхностные, грунтовые воды и воздух. Плодородный слой почвы – это ценный природный ресурс, естественное возобновление которого протекает медленно [1, 2]. Добыча угля неизбежно сопровождается нарушением земель и выведением их из хозяйственного оборота, поэтому существует необходимость восстановления почвы в местах отвалов угольных месторождений и проведения различных мероприятий по рекультивации. Проведение рекультивации начинается с подготовительного этапа, который заключается в изучении условий территорий для определения рекультивационного направления [1]. Для исследования территорий часто используют наземное обследование, которое, несмотря на свою низкую затратность, обладает целым рядом минусов, главным из которых является большая погрешность получаемых результатов, которая практически не поддается проверке. Также данный способ является более ресурсоемким и трудоемким по сравнению с методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

ДЗЗ – это наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. На рис. 1 представлены различные типы ДЗЗ, которые применяются для нужд геодезии и геологии.

Постоянно происходит развитие дистанционных технологий, что приводит к сближению информационных возможностей материалов аэрофото- и космической съемки (в том числе аэрофотосъемки и БВС). При выборе между космической и аэросъемкой для анализа угольных отвалов возможность получить сопоставимые характеристики материалов ДЗЗ может играть важную роль. Аэрофотосъемка считается более оперативным способом съемки территории, а применение космической съемки возможно только при экономической и технической целесообразности [3].

Значительный рост рынка беспилотных воздушных судов (БВС) очевиден. Материалы, полученные при съемке БВС, качественно превосходят материалы, полученные при аэрофотосъемке с самолетов во многих аспектах. Особенностью БВС является их способность летать на низкой высоте, ниже облаков. Они в основном оснащены оптическими камерами и проводят стереоскопическую съемку, данный подход позволяет осуществлять стереоскопическое дешифрование и создавать материалы с более высоким пространственным разрешением, чем у пилотируемой авиации [4].

Наблюдается сближение некоторых показателей материалов (наличие стереоскопии, геометрическая точность, наличие необходимых каналов для формирования псевдоцветных изображений, пространственное разрешение), полученных при космической съемке, аэросъемке и съемке с помощью БВС.



Рис. 1. Классификация средств проведения ДЗЗ по типу

Учитывая стоимость съемки, погодные условия, близость государственных границ, форму и расположение объектов съемки, требования к периоду и повторяемости съемок, доступность аэродромов, возможны различные варианты и их комбинации. Необходимо анализировать каждую задачу отдельно и выбирать наиболее подходящий способ съемки, который будет соответствовать требованиям проекта и иметь наименьшее количество ограничений и рисков. Дистанционные методы, такие как автоматизированная классификация материалов ДЗЗ, лазерное сканирование (лидарная съемка), использование многоканальных съемок (гиперспектральных, мультиспектральных), а также их комбинация с информационными технологиями представляют перспективные направления применения.

Несмотря на успешный мировой опыт и положительные результаты проводимых исследований, применение современных дистанционных методов зондирования при обследовании полигонов, подлежащих рекультивации, достаточно ограничено. Решение подобных задач связано с получением характеристик почв и растительности, но на достаточно обобщенном уровне.

Целью исследования являлся выбор средств ДЗЗ, которые обеспечивают наибольшую эффективность сбора информации для определения рекультивационного направления работ на угольных отвалах вскрышных пород месторождений Кузбасса. Для исследования были использованы основные типы средств ДЗЗ, такие как космическая съемка сверхвысокого пространственного разрешения, съемка средствами БВС, съемка средствами пилотируемых летательных аппаратов.

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

Аэрофотосъемка экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса выполнялась ранней осенью. Погодные условия во время проведения аэрофотосъемочных работ – ветер 3 м/с, температура окружающей среды +5 °С, пасмурно. Высота полета 100 м относительно точки взлета посадки. Полет выполнялся без огибания рельефа местности. Подготовка полетного задания производилась в программном обеспечении UGCS. Уравнивание полета для получения точных центров фотографирования выполнялось относительно точки базовой станции  $tbs\_kru$  в программном обеспечении ТЕОВОТ, для при-

менения смещения камеры относительно GNSS приемника беспилотного воздушного судна использовалось программное обеспечение ТЕОВОХ 3.

Данные цифровых аэрофотосъемочных материалов представляли собой фотографии со штатной цифровой фотокамеры в формате \*.jpg, размещенной на беспилотном воздушном судне модели DJI Phantom 4 Pro+ с установленным бортовым ГНСС приемником. Для геодезических измерений использовались спутниковые двухчастотные мультисистемные геодезические приемники PrinCe i90, серийные № 3409349, № 3409350 и Trimble R10-2, серийный номер № 6015F00329. Каждый спутниковый приемник прошел метрологическую поверку.

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

Новые методы космической съемки с высоким пространственным разрешением и съемка с помощью БВС представляют конкуренцию для традиционных методов исследования [5–7]. Для выбора метода съемки угольных отвалов было проведено сравнение основных типов съемки, представленное в таблице.

Космическая съемка сверхвысокого пространственного разрешения представляет собой получение данных со спутников, их обработку и систематизацию. Стоимость 1 снимка составляет от 2000 \$ с минимальным объемом заказа 100 км<sup>2</sup>. При этом данные снимки обладают пространственным разрешением от 2 м и метровой геодезической точностью. К преимуществам космической съемки относятся возможность получения результатов посредством геопорталов, наличие многих спектральных каналов, высокая обзорность полученных данных, возможность съемки удаленных и труднодоступных территорий, в том числе тех, где на значительном расстоянии отсутствуют аэродромы, меньшая трудоемкость обработки по сравнению с аэрофотосъемкой. Спутниковая съемка также предлагает возможность частого наблюдения за одним и тем же объектом (например, раз в сутки или несколько раз в сутки), независимо от его географического расположения, что означает отсутствие ограничений для съемки граничных территорий и секретных государственных объектов, сложных процедур согласования. Немаловажным плюсом является уменьшение стоимости съемки в зависимости от увеличения площади зонирования.

Основные характеристики традиционного способа исследования  
и различных методов ДЗЗ [4, 8–10]

Критерий	Традиционный способ исследования	Спутниковая съемка	Пилотируемые летательные аппараты	Применение БВС
Стоимость работ	Низкая на масштабах менее 0,2 км <sup>2</sup> (выполняется штатными сотрудниками)	Высокая (от 2000 \$ за 100 км <sup>2</sup> )	Высокая (от 100 тыс. руб. за вылет)	Средняя (от 5 000 руб. за км <sup>2</sup> )
Оперативность	Средняя (от 3 дней)	Низкая (от 1 недели)	Низкая (от 1 недели)	Средняя (от 3 дней)
Геодезическая точность	Трудно измерима, отсутствует объективность	Метровая	Сантиметровая	Сантиметровая / субсантиметровая

У компаний, реализующих продукты космической съемки, существует высокий спрос на архивные снимки. Стоимость таких снимков обычно невысока и со временем имеет тенденцию к снижению.

Средняя себестоимость комплекса работ по аэрофотосъемке и обработке визуальных данных с помощью БВС составляет около 5000 руб/км<sup>2</sup>. О растущем спросе на услуги БВС также можно судить по переориентации съемочного оборудования, программного обеспечения и части рынка аэросъемочных услуг на сегмент БВС. К основным преимуществам БВС относятся: возможность съемки маленьких по площади или линейных объектов с ультравысоким разрешением, что недоступно другим средствам по разным причинам – техническим и экономическим; возможность осуществлять съемку в условиях сложных для аэросъемки участков, а также участков, где существуют риски для жизни и здоровья пилотов (гор-

ная местность, неблагоприятные погодные условия, зоны стихийных бедствий, военных действий или техногенных катастроф); более гибкие требования к погодным условиям, сравнительно с аэрофотосъемкой; позволяет выполнять полеты без наличия аэродромов; стоимость работ для площадей менее 20 км<sup>2</sup> значительно ниже (от 5 тыс. руб./км<sup>2</sup>), чем при использовании других методов ДЗЗ [5, 9].

К основному недостатку БВС, значимому при обследовании полигонов, подлежащих рекультивации, относится недостаточная изученность пригодности материалов съемок БВС для данной задачи. У пилотируемых летательных аппаратов стоимость работ исчисляется сотнями тысяч рублей (1 час работы стоит порядка 100 тыс. руб. при схожей с БВС производительностью). Также они ограничены такими факторами, как наличие или отсутствие аэродромов, разрешение на полеты, метеословия.

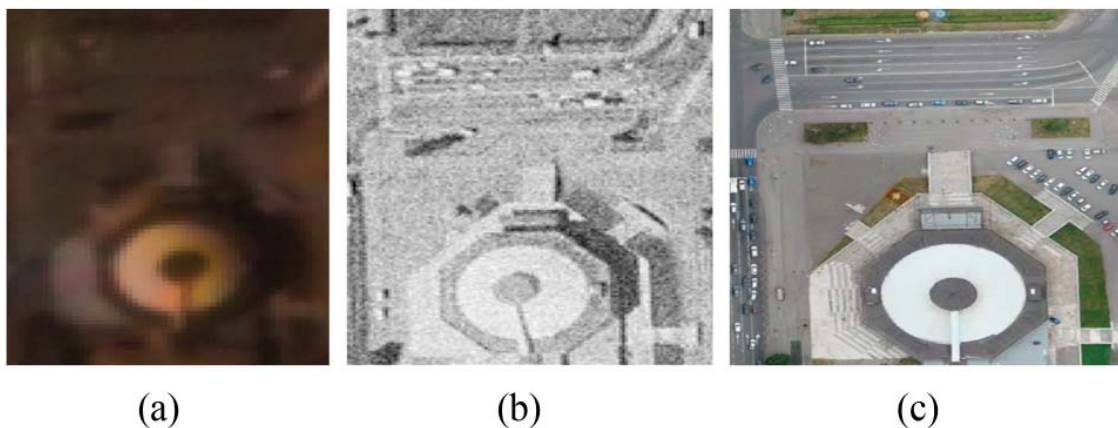


Рис. 2. Цифровой ортофотоплан КемГУ, полученный различными методами ДЗЗ:  
(a) спутниковый снимок (спутник Канопус-В, пространственное разрешение 2 м/пикс),  
(b) аэрофотосъемка с пилотируемого летательного аппарата (пространственное разрешение 20 см/пикс), (c) аэрофотосъемка с БВС (пространственное разрешение 5 см/пикс)



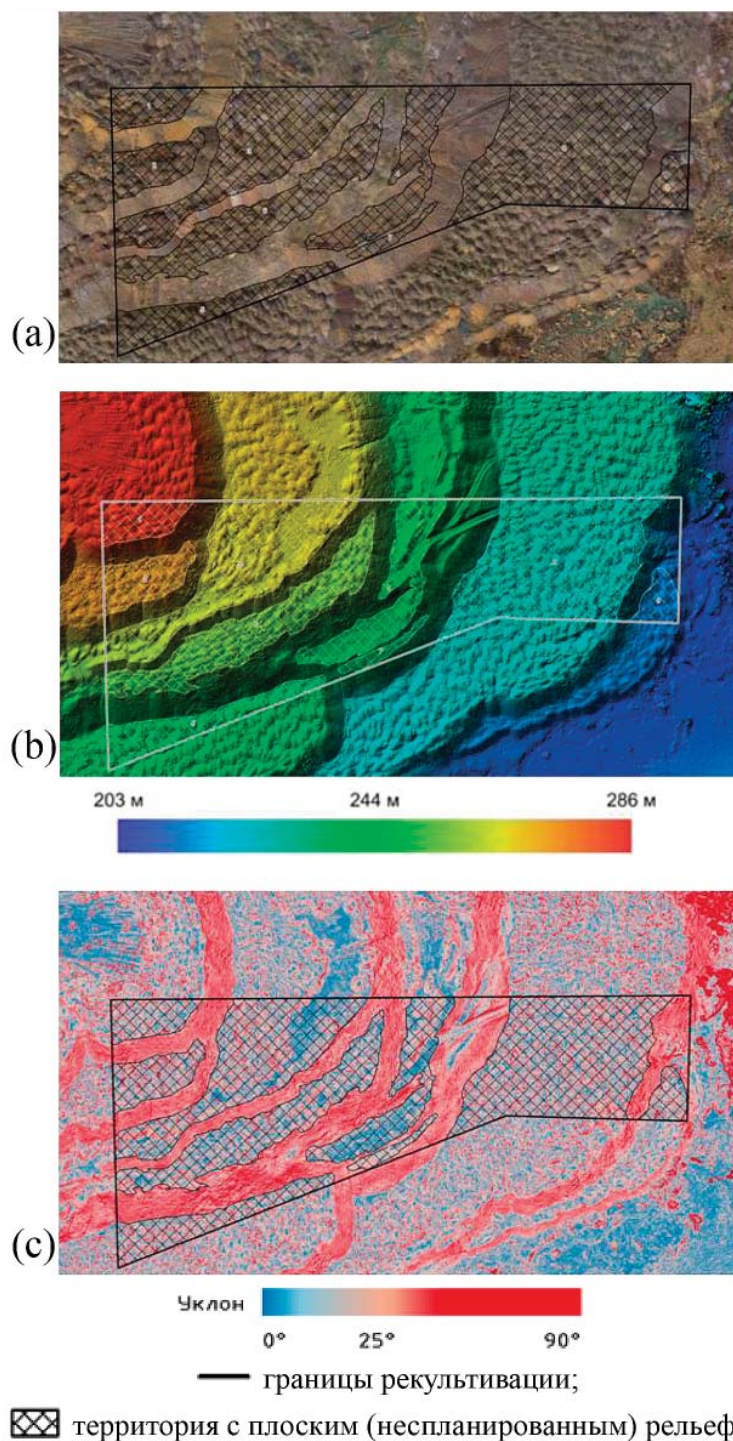


Рис. 3. Изображение экспериментального участка и сопредельных территорий:  
 (a) ортофотоплан и граница объекта работ; (b) спектральная карта  
 высот объекта работ; (c) карта плоских территорий

Для проведения полноценного исследования полигона, подлежащего рекультивации, необходимо изучить видимую ситуацию на объекте работ, рельеф территории для определения объема необходимых подготовительных работ на площадках объекта,

изучить существующие на участке вегетативные процессы, а также исключить вероятность наличия на объекте температурных аномалий и/или возможных источников выбросов метана, которые могут негативно сказаться на развитии высаживаемых куль-

тур [2]. Качество снимков является одним из важнейших параметров первого этапа подготовки плана по рекультивации почв угольных отвалов. На рис. 2 представлены снимки местности, полученные при помощи различных средств ДЗЗ, для исследования полигона предпочтительнее получать изображения с БВС, демонстрирующих максимальную детализацию исследуемой местности.

При принятии управленческого решения необходимо руководствоваться в первую очередь критериями точности получаемого результата, а также площади обследования, определяющей экономическую целесообразность выбора определенного метода обследования [4, 8–10]. Отметим, что наиболее эффективным техническим решением по исследованию отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса является БВС. В случае небольшой площади объекта (до 8 га) становится возможным применение мультироторных систем с полетным временем до 30 мин, что снижает себестоимость данных работ, так как амортизация крупных промышленных БВС самолетного типа составляет порядка 50 тыс. руб. за одну взлет-посадку, а мультироторных систем – от 5 тыс. руб. При этом исключается риск получения повреждений БВС из-за посадки на твердый грунт.

Аэрофотосъемка экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса выполнялась 20.10.2022. В результате произведенной аэрофотосъемки были получены аэрофотоснимки, которые были использованы для построения цифрового ортофотоплана и цифровой модели поверхности (рис. 3).

### Заключение

Для оптимального осуществления сбора информации при проведении рекультивационных мероприятий на местах отвалов вскрышных пород угольных месторождений рекомендуется использовать аэрофотосъемку с применением БВС. Данный метод позволяет получать информацию быстро

и максимально эффективно с учетом отсутствия рядом аэродромов, плохих погодных условий, неудобного расположения объектов съемки, близости государственных границ и строгих требований к периоду съемок. Изображения, полученные при помощи БВС, отличаются высоким качеством по показателям пространственного разрешения, наличия каналов для формирования псевдоцветных изображений, геометрической точности и не требуют высоких затрат для проведения исследований.

### Список литературы

1. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Санников П.Ю. Применение беспилотного летательного аппарата при исследовании состояния лесов // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 4 (59). С. 60–69.
2. Данилин И.М., Ташлыков М.А., Данилин А.И. Трехмерный кадастр объектов недвижимости на основе данных дистанционного зондирования и ГИС // ГЕО-СИБИРЬ. 2010. № 1. С. 39–45.
3. Космаков В.И., Бадмаева С.Э., Бакач А.А. Этапы лесохозяйственной рекультивации земель, нарушенных при открытой добыче полезных ископаемых // International Agricultural Journal. 2021. Т. 64, № 6. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10430.
4. Максимова В.Н. Применение геоинформационных технологий для рационального использования земель сельскохозяйственного назначения (практический аспект) // Управление инвестициями и инновациями. 2018. № 2. С. 62–65.
5. Данилин А.И., Данилин И.М., Корец М.А., Нисневич А.Е., Онучин А.А., Свищев Д.А., Скудин В.М. Некоторые результаты научно-исследовательского проекта по использованию лазерной и цифровой аэро- и космической съемки при таксации леса // Лесная таксация и лесостроительство. 2013. № 1 (49). С. 26–33.
6. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // Записки Горного института. 2021. Т. 251, № 5. С. 767–776.
7. Хорт Д.О., Личман Г.И., Филиппов Р.А., Беленков А.И. Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) в точном земледелии // Фермер. 2016. № 8. С. 34–37.
8. Система координат WGS 84, основные параметры // Geostart: взгляд инженера. URL: <https://geostart.ru/post/324> (дата обращения: 13.01.2023).
9. Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7, № 4 (28). С. 190–205.
10. Толкач И.В., Саевич Ф.К. Спектральные и яркостные характеристики основных лесобразующих пород на снимках сканера LEICA ADS100 // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. 2016. № 1 (183). С. 24–27.