

УДК 528.8.04

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-3-44-52

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Алексей Андреевич Самсонов^{1✉}, Юрий Антонович Чуриков²,
Никита Николаевич Анисимов³, Артур Русланович Ибрагимов⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; samsonov@geol.msu.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; churikov@geol.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nikita.n.anisimov@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ari3008@mail.ru

Аннотация. Использование метода дистанционного зондирования Земли для геологических исследований сегодня является неотъемлемой частью работ, связанных с поиском и разведкой месторождений, однако его применение для решения поставленных задач, независимо от вида искоемых полезных ископаемых, ограничивают природные и технические факторы. Рассмотрены основные препятствия использования дистанционного метода зондирования в геологии. Плотная растительность, лесные массивы, облачность, атмосферные помехи, осадочные покровы и снег затрудняют получение и интерпретацию данных. Анализируются технические ограничения, связанные с разрешением космических снимков и доступностью данных. Подробно описаны особенности применения данного метода в различных географических зонах России. На примере Кольского полуострова, северо-западной части Свердловской области, Белгородской, Курской и восточной части Оренбургской областей демонстрируется влияние рельефа, климата и растительности на условия проведения геологических исследований с использованием дистанционного зондирования Земли. Показано, как разнообразие природных условий России влияет на возможности и ограничения использования методики в геологических целях.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, ДЗЗ, растительность, облачность, осадочные покровы, разрешение снимков, антропогенное воздействие

Для цитирования: Самсонов А.А., Чуриков Ю.А., Анисимов Н.Н., Ибрагимов А.Р. Особенности применения дистанционного зондирования Земли для решения геологических задач в природных зонах Российской Федерации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 3. С. 44–52.

THE USE OF REMOTE SENSING TECHNOLOGIES FOR SOLVING GEOLOGICAL PROBLEMS IN THE NATURAL AREAS OF RUSSIA

Aleksey A. Samsonov^{1✉}, Yury A. Churikov², Nikita N. Anisimov³,
Artur R. Ibragimov⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; samsonov@geol.msu.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; churikov@geol.msu.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nikita.n.anisimov@gmail.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ari3008@mail.ru

Abstract. The use of remote sensing techniques for geological research has become an integral part of today's work related to the search for and exploration of mineral deposits. However, its application is limited by both natural and technical constraints. The main obstacles to the use of remote sensing in geology are considered. Dense vegetation, woodlands, clouds, atmospheric interference, sedimentary cover and snow make it difficult to obtain and interpret data. The technical limitations related to the resolution of satellite images and the availability of data are analyzed. The features of remote sensing applications in various geographical areas of Russia are described in detail. Using the example of the Kola Peninsula, the northwestern part of the Sverdlovsk region, Belgorod, Kursk and the eastern part of the Orenburg regions, the influence of relief, climate and vegetation on the conditions of geological research using remote sensing is demonstrated. It is shown how the diversity of natural conditions in Russia affects the possibilities and limitations of using remote sensing for geological purposes.

Keywords: remote sensing of the Earth, remote sensing, vegetation, clouds, sedimentary cover, image resolution, anthropogenic impact

For citation: Samsonov A.A., Churikov Yu.A., Anisimov N.N., Ibragimov A.R. The use of remote sensing technologies for solving geological problems in the natural areas of Russia. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 3: 44–52. (In Russ.).

Введение. Применение дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в геологических исследованиях открывает широкие возможности для изучения земной поверхности и поиска месторождений полезных ископаемых. Однако, реализация потенциала ДЗЗ сталкивается с рядом ограничений, обусловленных характеристиками поверхности Земли, а также техническими особенностями методов дистанционного зондирования.

Одним из ключевых препятствий для эффективного применения ДЗЗ в геологических исследованиях является влияние растительного покрова, особенно в лесных зонах. Листья и ветви деревьев поглощают и рассеивают излучение, препятствуя его проникновению к поверхности Земли. В результате, данные, полученные с помощью ДЗЗ, могут быть неполными или искаженными, поскольку они отражают не только геологическую структуру, но и характеристики растительности. Это затрудняет идентификацию горных пород, тектонических структур и других геологических образований, что снижает точность и надежность геологической информации, полученной с помощью ДЗЗ.

Другим ограничивающим фактором является наличие облачности и атмосферных помех. Облачность препятствует прохождению солнечного излучения, снижая качество получаемых изображений. Атмосферные помехи, такие как дымка, туман и аэрозольные частицы, искажают сигналы, получаемые со спутников, ухудшая разрешение и четкость снимков. Осадочные покровы затрудняют проникновение сигналов на значительную глубину, а снежный покров может полностью скрыть поверхность, искажая спектральные характеристики.

Еще одно ограничение применения имеет технический характер, в первую очередь это разрешающая способность снимков. Ограниченное разрешение снимков не позволяет распознавать мелкие геологические объекты, а недостаточная доступность снимков из-за облачности или времени съемки усложняет получение полной картины. С другой стороны открытые участки ландшафта, наоборот, являются благоприятными для использования ДЗЗ, такие как степные и пустынные территории.

Целью данной работы является исследование общих ограничений применения ДЗЗ в поиске рудных, нерудных, а также горючих полезных ископаемых при использовании на различных типах территорий.

Материалы и методы. Исследование ограничений применения ДЗЗ на территории Российской Федерации происходило при помощи использования ретроспективных космических снимков, полученных со спутников Landsat. Выбор этой программы спутниковой съемки Земли обусловлен как общедоступностью, так и простотой в обработке, разработанной методике работы с данными ДЗЗ в геологических целях, а также второй по частоте использования после данных миссии ASTER. Разрешающая способность сенсора составляет 15–30 м на

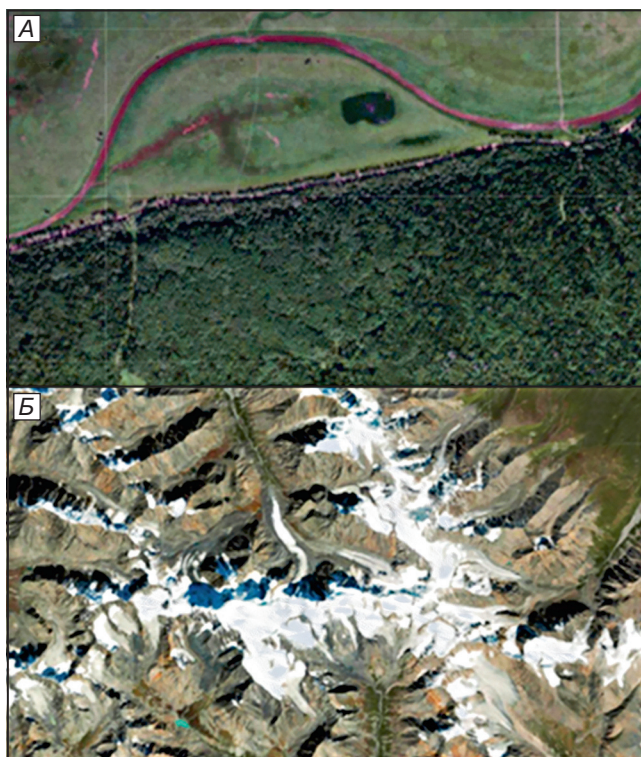


Рис. 1. А — снимок лесного массива с использованием ДЗЗ; Б — снимок поверхности со слоем снежного покрова

пиксел, что может показаться недостаточно точным, однако в масштабах рассматриваемых территорий в 17 млн кв. км такое разрешение будет иметь удовлетворительную для решения задач точность [Jeffrey, 2002]. Программа Landsat, реализуемая Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA) и Геологической службой США (USGS), обеспечивает получение изображений земной поверхности с 1972 г. [Самсонов и др., 2025].

В период с 2023 по 2025 гг. было просмотрено и интерпретировано порядка 12 тысяч космоснимков по всей территории России. Используя данные полученные за время исследования, были сформированы главные ограничивающие аспекты применения дистанционного метода зондирования.

Первичная обработка полученных спутниковых снимков, включая расчет вегетационных и геологических индексов, была выполнена в геоинформационной системе QGIS, работа над которой была начата американским геологом Гари Шерманом в 2002 г.

Густая растительность и лесные массивы. В густых лесных зонах, например, даже самые высокоразрешающие космические снимки могут столкнуться с препятствиями в виде загущенного лесного покрова, который затрудняет визуализацию земной поверхности (рис. 1, А). Такие условия делают трудным определение геологических особенностей, а также могут приводить к искажению данных, особенно в отношении геоморфологических и гидрологических характеристик [Гарбук и др., 1997; Козинцев и др., 2002; Григорьева и др., 2012].

Существующая взаимосвязь между угнетенностью или развитостью растительности и литологическим составом пород может быть использована как диагностический признак. Она проявляется через влияние физико-химических свойств грунтов, располагающихся над горными массивами определенного состава, на условия произрастания растений. На участках с плотными глинистыми породами, где почвы характеризуются высокой влагоемкостью и низкой аэрацией, наблюдается угнетение видов, которые предпочитают хорошо дренированные почвы. В то же время на карбонатных породах, таких как известняки, где почвы обладают высокой щелочностью и содержанием кальция, могут успешно произрастать виноград, лаванда и оливковые деревья (в качестве примера можно рассмотреть Крым). На песчаных и супесчаных породах, где почвы бедны питательными веществами и имеют низкую влагоемкость, доминируют ксерофитные виды, такие как полынь полевая и шиповник морщинистый. Следовательно литологический состав пород играет ключевую роль в формировании растительного покрова, определяя его видовой состав и степень угнетенности отдельных видов, что может быть учтено при анализе данных ДЗЗ и косвенно говорить о геологии рассматриваемых территорий.

Таким образом, необходимо учитывать ограничения, связанные с густой растительностью и лесными массивами при планировании и проведении геологических исследований с использованием ДЗЗ, а также разрабатывать специализированные методы обработки данных для улучшения качества получаемых снимков [Богоявленский и др., 2021; Самсонов 2025].

Однако, снимки лесных массивов пригодны для определения плотности растительности и мониторинга изменений в ее составе и структуре. Это может быть полезным для экологических исследований, планирования лесного хозяйства, а также для оценки состояния природных экосистем. Такие снимки могут помочь в оценке биоразнообразия и здоровья лесов, а также в принятии решений по устойчивому использованию лесных ресурсов [Кочуб и др., 2012].

Территории с высокой облачностью и атмосферными помехами. Облачность может привести к недостаточной проницаемости для солнечного излучения, что снижает качество снимков, получаемых с космических аппаратов. Высокая влажность в атмосфере может также привести к искажениям в спектральных характеристиках, что делает анализ данных менее точным и надежным [Кочуб и др., 2012].

Атмосферные помехи, такие как дымка, туман, и аэрозольные частицы могут искривлять сигналы, получаемые с сенсоров на спутниках, что вносит искажения в снимки и снижает их разрешение и четкость. Это усложняет выделение геологических объектов и определение их характеристик с высокой точностью.

Обычно для таких территорий повышенная облачность и влажность имеют периодический сезонный характер, поэтому необходимо подбирать правильные годовые интервалы для работы с ДЗЗ. В некоторых случаях для сокращения влияния облачности и атмосферных помех используются радарные и инфракрасные снимки, а также методы обработки изображений для улучшения качества данных [Самсонов, 2025].

Однако, несмотря на это, данные ограничения остаются значимыми и влияют на возможности применения ДЗЗ в геологических исследованиях [Савиных и др., 2001].

Мощные осадочные покровы и слои снега. Осадочные покровы, такие как глины, пески, и другие наносные материалы, могут быть очень плотными и непроницаемыми для электромагнитного излучения, используемого при съемке с космоса. Это препятствует проникновению сигналов ДЗЗ на значительную глубину, что затрудняет исследование подстилающих геологических структур и обнаружение рудных залежей [Григорьева и др., 2012].

Повышенная влажность почв вносит не менее серьезные помехи при оценке территорий. Так поглощение в тепловых каналах может заметно отличаться на одном и том же участке, но в разные сезоны, что стоит учитывать при работе с данными ДЗЗ. Также важно учитывать не только влажность почв, но влажность воздуха, которая влияет на поглощение и рассеивание в диапазонах близких к ультрафиолетовому и дальнему инфракрасному. Эти проблемы характерны для регионов с сезонами дождей, прибрежных территорий, болотистых местностей (например: конец осени в Приморском крае, Карелия, Краснодарский край). Для нивелирования такого рода проблем используются различные методы от атмосферной коррекции, до подбора даты съемки сцены.

Слои снега также могут создавать проблемы, особенно в регионах с суровым климатом и сезонными осадками. Плотный снежный покров может заглушать искомые сигналы и искажать спектральные характеристики поверхности, что снижает точность и надежность данных, полученных с космических аппаратов. Высокая отражательная способность снега приводит к ярким бликам и отражениям, что усложняет интерпретацию снимков и выделение геологических объектов [Гарбук и др., 1997; Григорьева и др., 2012] (рис. 1, Б).

Для преодоления этих ограничений могут применяться различные методы и технологии, такие как радарное зондирование, которое может проникать сквозь некоторые типы покровов и даже дать представление о структуре под ними. Тем не менее, несмотря на технические разработки, мощные осадочные покровы и слои снега остаются серьезными препятствиями для полноценного применения ДЗЗ, особенно в регионах с сильным накоплением осадков и снега [Staenz, 2013].

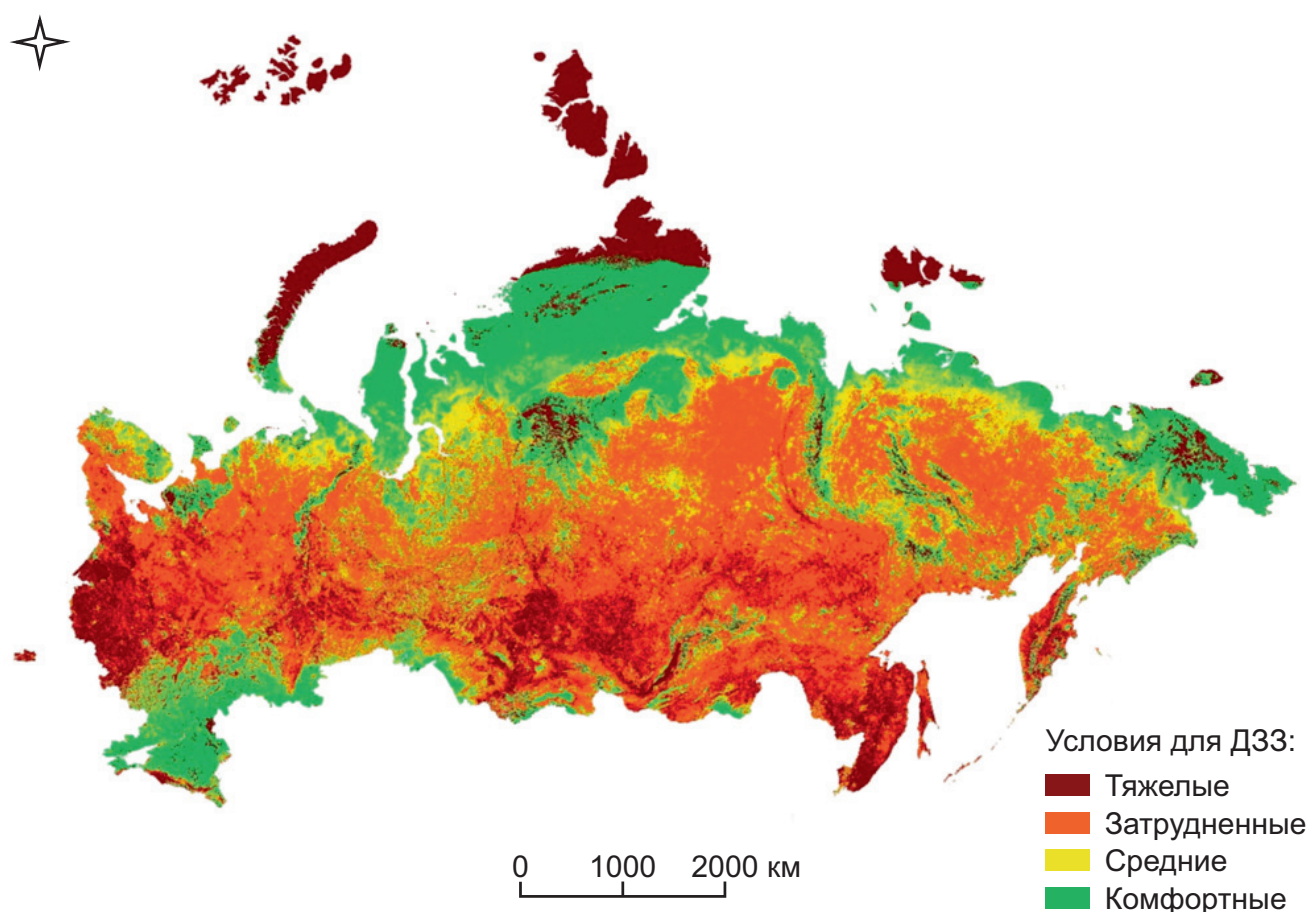


Рис. 2. Карта России с условиями для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Технические ограничения и ограничения в решении космических снимков. Первое техническое ограничение связано с тем, что космические снимки, получаемые с помощью спутников, могут иметь ограниченное разрешение. Это означает, что детализация и четкость изображений могут быть недостаточными для определения мелких геологических структур или объектов. Например, при исследовании мелких трещин или разломов на поверхности Земли может потребоваться более высокое разрешение, чем то, которое предоставляют снимки с космических аппаратов [Подъездков, 2007; Шовенгердт, 2010].

Для преодоления этих технических ограничений и улучшения качества данных, необходимы инновационные методы обработки снимков, развитие новых спутниковых технологий и усовершенствование алгоритмов анализа данных ДЗЗ в геологических исследованиях [Самсонов, 2025].

Области ограничения ведения работ по дистанционному зондированию Земли. Территория России характеризуется значительным разнообразием топографических условий. В частности, рельефные особенности Европейской и Западно-Сибирской частей преимущественно равнинные, в то время как в южно-европейской части России наблюдается горная система Большого Кавказа. Обширные территории к востоку и югу от бассейна Енисея включают

протяженные цепи горных систем Алтая и Саяна, а также Верхоянский хребет, хребет Черского, плато Путорана и Сихотэ-Алинь. Территория России вследствие своих размеров, вытянутости с запада на восток и с севера на юг, и соответственно характера рельефа расположена в четырех климатических поясах, особенно выделяется умеренный пояс с густой и продолжительной тайгой и смешанными и широколиственными лесами.

Наличие высоких горных систем затрудняют процесс дешифровки данных дистанционного зондирования Земли, поскольку преимущественно большая часть покрыта плотными лесами, плотными голоценовыми осадками или снежным покровом на протяжении всего года, и дополнительно к этому добавляется повышенная облачность, которая провоцируется самими горами. Одной из самых распространенных помех в горной местности также является тень. Следует учитывать вертикальную зональность с ее разнообразием климатических условий. На рис. 2 представлена карта с условиями для ДЗЗ на территории России.

Тяжелые условия, приведенные на карте ниже, характеризуются сочетанием нескольких факторов, которые не зависят от сезонности в данном регионе. Затрудненные участки характерны тем, что они могут быть рассмотрены в качестве источника данных на территориях, прилегающих к участкам с тяжелы-

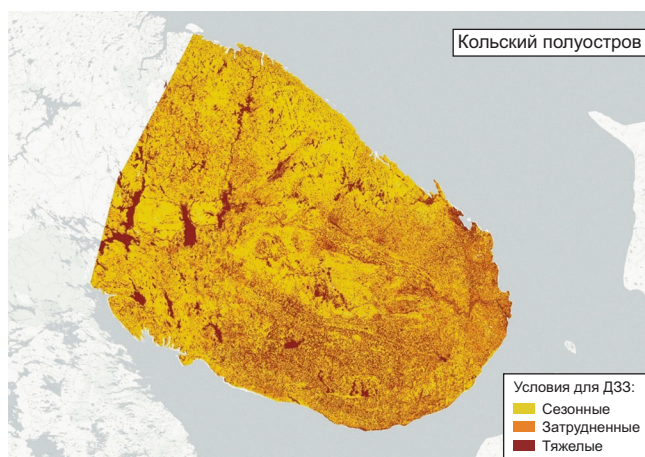


Рис. 3. Условия ДЗЗ для центральной и восточной частей Кольского полуострова

ми для применения ДЗЗ условиями, но с меньшей степенью развитости последних. Например, смешанные леса будут затрудненными для применения дистанционного зондирования территориями, в то время как довольно часто расположенные часто по соседству хвойные будут приписаны к тяжелым. Умеренные участки имеют слабую развитость негативных факторов, могут на своих территориях иметь открытые участки горных пород с небольшими мощностями перекрывающих отложений. Комфортные же условия могут содержать незначительную растительность на своей территории, имеют пониженную влажность, а также не большой слой перекрывающих пород (не более 2–3 м) или характеризоваться его полным отсутствием.

В западных регионах России, близких к границам с другими странами, такими как Белоруссия, Латвия, Эстония, сложились тяжелые условия, поскольку сформировалось сочетание достаточно густой лесистости и повышенной облачности с осадками. Здесь наблюдается наиболее сильное влияние теплых океанических течений с Атлантического океана, и чем дальше уходить на восток, тем меньше становится их влияние, что можно обнаружить на карте. В случае их влияния на Карелию и Мурманскую область оно чуть меньше, поэтому условия для ДЗЗ здесь будут затрудненными. Для изучения лесных массивов с помощью ДЗЗ сложностей нет, однако для изучения собственно горных пород и геологических процессов сами лесные массивы будут иметь ограничивающий характер, поскольку они плотно закрывают собой поверхность земли.

Похожая ситуация сложилась в Приморье и на Сахалине, густые леса вместе с повышенной влажностью вследствие муссонного климата создают тяжелые условия. Однако в отличие от Европейской части с ее равнинным рельефом здесь дополнительно влияет характер рельефа (хребет Сихотэ-Алинь).

Острова Северного Ледовитого океана, часть Таймырского полуострова преимущественно покрыты крупными ледниками, что создает тяжелые условия

для работы. Местами можно встретить исключения, где можно встретить непокрытую снегом или льдом поверхность, например, южная часть архипелага Новая Земля или Новосибирских островов.

Умеренный пояс с тайгой, хвойным и широколиственным лесом выделены нами как затрудненные или в особых случаях — тяжелые. В качестве особых случаев считаются горный рельеф и повышенная облачность, например, в районе Уральских гор, Алтая, Крымских гор, Среднесибирского плоскогорья, Забайкалья и Камчатки. В случае Урала дополнительно стоит отметить, что примерно там заканчивается существенное влияние теплых океанических течений, упомянутых ранее [Гарбук и др., 1997].

Лесостепи и лесотундры представляют территории со средними условиями, поскольку лесной покров менее плотный вследствие климата, больше незалесенных пространств. Дополнительно к лесостепям добавляется антропогенный фактор, например, сельскохозяйственное использование земель, вырубка лесов, урбанизация. Средние условия можно также обнаружить и в Сибири, и на Дальнем Востоке, в котловинах и впадинах, а также в долинах крупных рек (например, Лена, Обь, Иртыш). Что касается лесотундр, важное значение имеет сезонный фактор, так как за исключением короткого лета большую часть года они покрыты снегом [Григорьева и др., 2012].

Наиболее комфортные условия для работы с ДЗЗ имеют территории степей, пустынь, полупустынь, поскольку они не покрыты лесными массивами, и теплые климатические условия способствуют качественной работе со снимками. В европейской части России к ним относятся Кубань, Ставрополье, Калмыкия, Волгоградская, Ростовская, Оренбургская и Астраханская области, а также присоединенные регионы Новороссии. За Уралом к ним частично относятся Омская и Новосибирская области, Алтайский и Забайкальский края. Стоит отметить, степи в Восточной Сибири находятся в местах, которые защищены от прихода арктических воздушных масс (Минусинская котловина), что также отражено на карте [Савиных и др., 2001].

Тундры также были отнесены к территориям с комфортными условиями ДЗЗ, северные территории вследствие сурового климата тоже не покрыты густыми лесами, растительность представлена преимущественно мхами, лишайниками и низкорослыми кустарниками, однако они большую часть года покрыты снегами, поэтому работа будет возможна только в короткий летний период.

На примере центральной и восточной части Кольского полуострова проверены возможности ДЗЗ на малой территории. Кольский полуостров отличается преимущественно холмистым ландшафтом с плато, встречающимися впадинами и террасами. Высочайшие точки полуострова — горные массивы, достигающие высоты более 800 м над уровнем моря. На западе выделяются Ловозер-

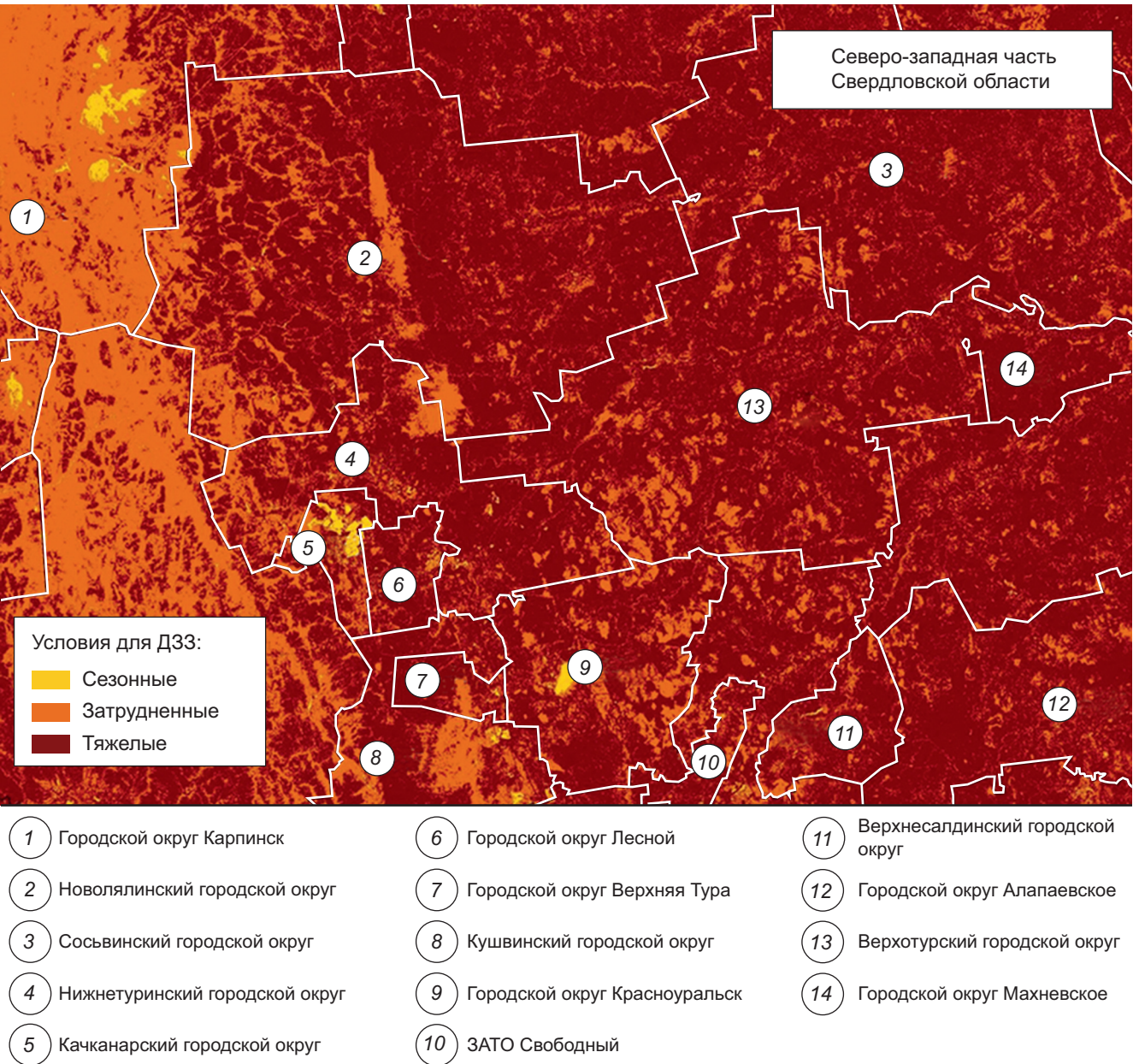


Рис. 4. Условия Д33 для Северо-западной части Свердловской области

ские Тундры и Хибины. Однако таких высот недостаточно для образования постоянных снежных шапок подобно крупным горным вершинам, что не предоставляет трудностей для работы с Д33 [Мишкин, 1953] (рис. 3).

Кольский полуостров богат водными ресурсами: на его территории расположено более 107 000 озер площадью более 10 га и 18 209 рек длиной более 100 м. Общая протяженность речной сети составляет более 60 000 км. Такие территории определены как тяжелые, поскольку глубокие водоемы не позволяют заглянуть под воду.

Кольский полуостров — это место встречи разных природных зон: южной тундры, лесотундры и северной тайги. Большую часть полуострова занимает северная тайга, типичная для восточной Европы, с преобладанием ели европейской и сибир-

ской. Встречаются также светлые хвойные леса, где господствует сосна. В горах располагаются горные тундры, покрытые лишайниками и мхами, местами встречаются кустарники (вереск, багульник, карликовая береза). Лесная граница проходит на высоте около 400 м [Флора..., 1953–1966; Шляков и др., 1982].

Низменности представлены чередованием березовых криволесий, еловых и сосновых лесов. Долины — это мозаика из лесных участков и тундры. На севере полуострова находятся предтундровые редколесья из извилистой березы и сибирской ели, перемежающиеся с тундрой, по долинам рек растут ивняки. Побережье Баренцева моря — это царство южных тундр с разнообразной растительностью: кустарники, травянистые растения, мхи и лишайники. Разнообразие ландшафтов, сформированное

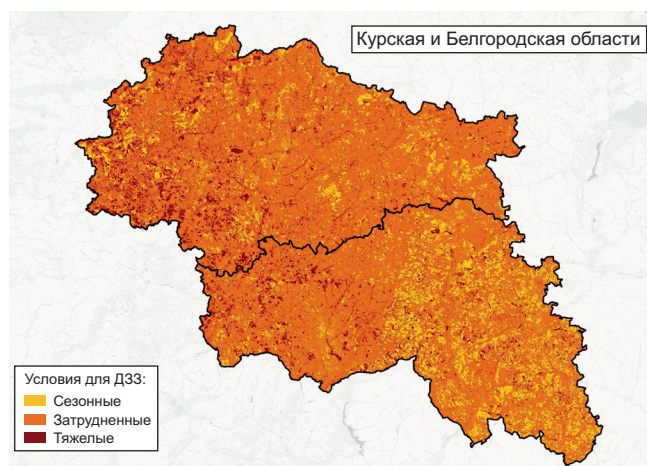


Рис. 5. Условия Д33 для Курской и Белгородской областей

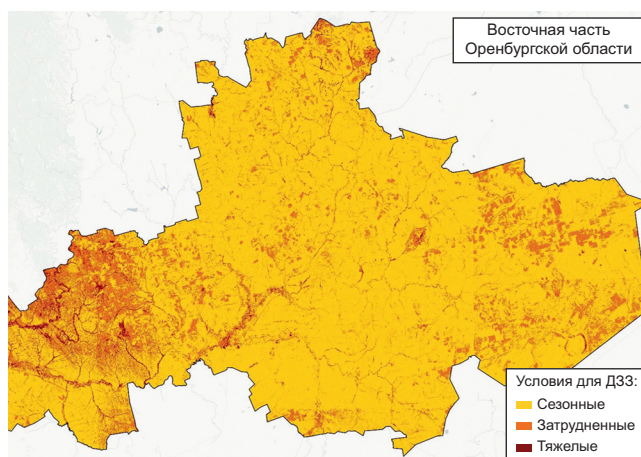


Рис. 6. Условия Д33 для восточной части Оренбургской области

мозаикой различных растительных сообществ, делает Кольский полуостров уникальным местом.

Характерны полигональные и бугристые мерзлые болота. Наличие воды, высокой влажности и плотной растительности на болотах приводит к значительному поглощению и рассеянию электромагнитного излучения, что затрудняет получение качественных снимков. Это особенно актуально для оптических данных, где плотная растительность и облачность могут полностью скрыть поверхность болота.

Тундра обладает отличными условиями работы с Д33, поскольку характерная низкая растительность не закрывает собой земную поверхность, хоть она и покрыта снежным покровом большую часть года, поэтому следует считать местные условия, обладающими преимущественно сезонным характером. Тем не менее на условия работы с Д33 здесь влияет небольшое среднегодовое количество солнечных дней, большее относительно остальной части России среднее количество осадков и та же близость к океану.

Далее последует территория с более тяжелыми условиями для обработки данных Д33 — северо-западная часть Свердловской области (рис. 4).

Северо-запад Свердловской области располагается в пределах таежной зоны, что обуславливает преобладание хвойных лесов в его растительном покрове. Характерными для этой территории являются елово-пихтовые леса. Эти леса отличаются глубокой тенью и развитым моховым покровом, который формирует мягкую и рыхлую подстилку [Бобров, 1971]. На более сухих участках, с песчаными почвами, преобладают сосновые леса. Для них характерна высокая освещенность, благодаря редким кронам сосен, а также слой опавших иголок на почве. Лиственные леса, представленные преимущественно березняками и осиновиками, встречаются на участках с нарушенными почвами, а также в долинах рек. Преобладание хвойных пород обусловлено суровыми климатическими условиями [Горчаковский, 1956].

Здесь на фоне густого леса наглядно прослеживаются места антропогенного воздействия, а именно карьеры и рудники, например на территории Качканарского городского округа, Карпинска или Красноуральска, которые выделены желтым цветом на карте. Просто затрудненные условия для мест по мере приближения к Северному Уралу, они выделены оранжевым цветом [Говорухин, 1937]. Стоит отметить, что для северо-запада Свердловской области характерно повышенное среднее количество осадков, пик наблюдается на Урале, солнечных дней хоть и больше, чем на Кольском полуострове, тем не менее влияние облачности здесь сильное, восточнее от гор ситуация постепенно нормализуется вместе со спадом количества осадков.

Хорошим примером территорий с затрудненными условиями интерпретации данных Д33 являются Белгородская и Курская области. Эти регионы расположены в местах залегания Курской магнитной аномалии, поэтому здесь можно обнаружить большое количество крупных карьеров и рудников.

Растительность Белгородской и Курской областей, расположенных в южной части лесостепной зоны России, отличается своеобразным сочетанием лесных и степных элементов, формирующим мозаичный ландшафт (рис. 5).

Преобладают широколиственные леса, в основном дубравы, с участием осинников, березняков, липняков. В лесостепных участках происходит переход от лесных массивов к открытым степным пространствам, которые здесь сохранились в основном только по овражно-балочной системе. Такие места обладают затрудненными условиями, реже выделены как тяжелые, однако леса здесь сменяются луговыми степями, появляется больше свободных от густой растительности мест, приближаясь к югу [Алехин, 1925; Келлер, 1931].

Растительный мир Белгородской и Курской областей подвергался значительному антропогенному воздействию в течение длительного времени сельскохозяйственного освоения территории. Это привело к сокращению естественных степных участков,

преобразованию лесов в лесополосы и агролесомелиоративные посадки [Келлер, 1931].

Одни из наиболее комфортных районов для работы с ДЗЗ — территории степей. В качестве примера будет продемонстрирована восточная часть Оренбургской области, ее расположение обуславливает преобладание степной растительности в ее растительном покрове. На территории Оренбургской области есть множество рудных месторождений, большая часть которых расположена в восточной части области (рис. 6).

Растительный мир восточной части Оренбургской области длительное время подвергался антропогенному воздействию, связанному с сельскохозяйственным освоением территории. Это привело к сокращению естественных степных участков, преобразованию их в пашни и пастбища, что вызвало уменьшение видового разнообразия растительности.

Степные почвы отличаются плодородием, что делает их привлекательными для сельского хозяйства, однако в то же время делает их уязвимыми к антропогенному воздействию [Чибелёв, 1995; Горчаковский, 1956].

Важное значение имеет низкое среднее количество осадков относительно предыдущих регионов, количество солнечного сияния — одно из наибольших в России. Тем не менее условия для работы с ДЗЗ здесь преимущественно сезонные, так как сказыва-

ется удаленность от океанов, поэтому на данной территории ярко выражен континентальный климат, что влечет за собой жаркое и сухое лето, и холодную и очень снежную зиму. Наиболее затрудненные места для работы с ДЗЗ характерны для пойменных лесов бассейна реки Урал [Русский, 1999].

Выводы. Применение дистанционного зондирования Земли в геологических исследованиях, несмотря на очевидные преимущества, сопряжено с рядом объективных трудностей. Природные условия, включая плотный растительный покров, облачность, наличие осадочных отложений и снега, могут существенно ограничивать возможности получения и интерпретации данных ДЗЗ. Технические ограничения, связанные с разрешением снимков и доступностью данных, также оказывают влияние на эффективность использования данного метода.

Проведенный анализ геологических условий различных регионов России демонстрирует необходимость учета специфики рельефа, климата и растительности при планировании и проведении геологических исследований с использованием ДЗЗ.

Разработка и применение специализированных методов обработки данных, адаптированных к конкретным природным условиям, является актуальной задачей, решение которой позволит расширить возможности ДЗЗ для решения геологических задач и повысить информативность получаемых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алехин В.В. Растительный покров степей Центрально-Черноземной области. Воронеж: Изд. Союза обществ и организаций по изучению ЦЧО, 1925. 102 с.

Бобров Е.Г. Истории и систематика рода *Picea* A. Dietr // Новости систематики высших растений. 1971. Т. 7. С. 5–34.

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Анализ состояния, перспектив и проблем освоения ресурсов углеводородов и угля в Арктике в связи с экономическими, геополитическими и технологическими реалиями // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-perspektiv-i-problem-osvoeniya-resursov-uglevodorodov-i-uglya-v-arktike-v-svyazi-s-ekonomicheskimi> (дата обращения: 31.01.2024).

Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: А и Б, 1997. 296 с.

Говорухин В.С. Флора Урала. Определитель растений, обитающих в горах Урала и его предгорьях от берегов Карского моря до южных пределов лесной зоны. Свердловск: Обл. кн. изд-во, 1937. 506 с.

Горчаковский П.Л. Границы распространения сибирского кедра на Урале. Академику В.Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения. М.; Л., 1956. С. 101–121.

Григорьева О.В., Чапурский Л.И. Проблемы создания и информационного наполнения базы данных по коэффициентам спектральной яркости объектов наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 3. С. 18–25.

Келлер Б.А. Степи Центрально-Черноземной области // Степи Центрально-Черноземной области (степные сено-

косы и пастбища). М.; Л.: Госсельхозиздат, 1931. С. 3–59, 319–327.

Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. 528 с.

Кочуб Е.В., Топаз А.А. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. 2012. № 16. С. 132–140.

Мишкин Б.А. Флора Хибинских гор, ее анализ и история. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 112 с.

Подъездов Ю.А. Космическая съемка Земли 2007–2008 гг. М.: Радиотехника, 2007. Вып. 1–5. 275 с.

Русский Г.А. Физическая география Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1999. 64 с.

Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 2001. 228 с.

Самсонов А.А., Чуриков Ю.А., Ибрагимов А.Р. и др. Результаты дистанционного мониторинга изменения компонентов природных ресурсов в степной зоне Южного Урала под техногенным влиянием добычи полезных ископаемых // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 3. С. 53–60.

Флора Мурманской области. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. Вып. 1. 254 с.; 1954. Вып. 2. 289 с.; 1956. Вып. 3. 450 с.; 1959. Вып. 4. 393 с.; 1966. Вып. 5. 549 с.

Чибелёв А.А. Природа Оренбургской области. (Часть I. Физико-географический и историко-географический

очерк). Оренбургский филиал Русского географического общества. Оренбург, 1995. 128 с.

Шляков Р.Н., Константинова Н.А. Конспект флоры мохообразных Мурманской области. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1982. 288с.

Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: Пер с англ. М.: Техносфера, 2010. 560 с.

Jeffrey G., Ruby L., Fisher L. Spectral signature database for remote sensing applications // Proc. SPIE. 2002. Vol. 4816. P. 156–163.

Staenz K., Mueller A., Held A., Heiden U. International Spaceborne Imaging Spectroscopy (ISIS) Technical Committee. URL: http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2013/07/ISIS_GRSS_report_final.pdf (дата обращения: 21.02.2016).

Статья поступила в редакцию 14.05.2024,
одобрена после рецензирования 12.05.2025,
принята к публикации 28.06.2025