

На правах рукописи



ИШМУХАМЕТОВА Венера Тальгатовна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ
ДЕШИФРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Специальность – 25.00.11. Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и в лаборатории Природных ресурсов и антропогенных процессов Научного геоинформационного центра Российской академии наук (НГИЦ РАН)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Дергачев Александр Лукич

Официальные оппоненты: **Поцелуев Анатолий Алексеевич**,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет (ФГАОУ ВО НИ
ТПУ), директор центра «Космогеология»

Кирсанов Александр Андреевич,
кандидат географических наук,
Федеральное государственное унитарное
предприятие Всероссийский научно-
исследовательский геологический институт имени
А.П. Карпинского (ФГУП ВСЕГЕИ), директор
центра дистанционных методов природоресурсных
исследований

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное
предприятие Центральный научно-
исследовательский геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ),
г. Москва

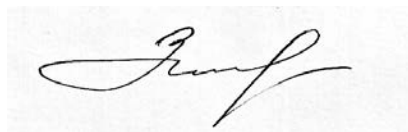
Защита состоится **«1» апреля 2016 года** в 14-30 час. в ауд. 415 на заседании диссертационного совета Д 501.001.62 геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале отдела диссертаций Фундаментальной библиотеки (Ломоносовский проспект, 27, сектор А, 8 этаж, к. 812)

Автореферат разослан «25» февраля 2016 года

Ученый секретарь диссертационного совета Д 501.001.62
доктор геолого-минералогических наук

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 501.001.62
доктор геолого-минералогических наук



Н.Г. Зиновьева

Введение

Актуальность работы

Якутская алмазоносная провинция (ЯАП) является главным источником добываемых алмазов, а также их разведанных запасов и прогнозных ресурсов. С позиции региональных объектов прогноза (субпровинция, кимберлитоконтролирующая зона, алмазоносный район) ЯАП изучена достаточно полно и требуется лишь уточнение имеющихся критериев для слабо исследованных территорий. Анализ литературы, посвященной геологии и алмазоносности показал, что высокими перспективами на обнаружение новых кимберлитовых полей на севере Сибирской платформы обладает Приленский алмазоносный район, где насчитывается свыше 190 кимберлитовых тел среднепалеозойского и мезозойского возраста, подавляющее большинство которых неалмазоносны или характеризуются убогой алмазоносностью. Наличие в районе промышленных россыпей алмазов, источниками которых не могли служить известные слабоалмазоносные кимберлитовые тела, позволяет предполагать возможность обнаружения на этой территории еще неизвестных богатых коренных источников. На большинстве открытых площадей, благоприятных для проведения поисков коренных месторождений алмазов, соответствующие работы уже выполнены, и поэтому ресурс объектов, выявляемых традиционными геолого-геофизическими методами, почти исчерпан. Совершенствование дистанционных методов открывает новые перспективы при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов на открытых территориях, обеспечивающих переход от собственно региональных прогнозных построений, к непосредственно поисковым работам на относительно локальных площадях.

Цели работы – разработать новые подходы к комплексированию дистанционных методов при прогнозировании алмазоносных кимберлитовых тел; на основе дешифрирования материалов космической съемки выделить потенциально алмазоносные участки в пределах Далдыно-Алакитского алмазоносного района и на малоизученной перспективной площади на севере Сибирской платформы.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть прогнозно-поисковые признаки алмазоносных кимберлитов Сибирской платформы.
2. Оценить возможности существующих методов дистанционного зондирования при прогнозировании коренных месторождений алмазов.
3. Определить целесообразность использования материалов космической съемки для распознавания кимберлитовых тел на фоне вмещающих их пород и оценки потенциальной алмазоносности.

4. На эталонной площади разработать методику комплексного использования материалов космической съемки и геолого-геофизических данных для крупномасштабного прогнозирования коренных месторождений алмазов.

5. На малоизученной перспективной площади, выделенной по существующим прогнозно-поисковым признакам, выявить потенциально алмазоносные участки по предложенной методике комплексного использования материалов космической съемки и геолого-геофизических данных для крупномасштабного прогнозирования коренных месторождений алмазов.

Фактический материал и методы исследования

В основу работы положен материал, полученный автором в процессе выполнения работ в Научном геоинформационном центре Российской академии наук (НГИЦ РАН). Базой для исследований стали: 1) материалы многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+; 2) геологические, топографические, геофизические, тектонические, шлихоминералогические карты, карты полезных ископаемых; 3) структурно-прогнозные схемы кимберлитолокализирующих дислокаций, полученные в результате анализа мегатрещиноватости, предоставленные Милашевым В.А.; 4) опубликованная и фондовая специализированная литература по геологическому строению региона и отдельных его площадей, истории развития, особенностям общей металлогении и алмазоносности.

Исследования проводились с помощью специализированных программных продуктов ArcGIS, ENVI и Adobe Photoshop.

Научная новизна

Предложен принципиально новый метод выделения алмазоносных кимберлитовых трубок на фоне вмещающих их пород на основе дешифрирования материалов многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+, позволяющий локализовать площади на перспективных участках, выделенных другими методами. Впервые продемонстрирована возможность использования значений яркости в каналах 4 (0.76–0.90 мкм), 5 (1.55–1.75 мкм), 7 (2.08–2.35 мкм) КС LANDSAT 7 ETM+ для прогнозирования кимберлитовых тел открытого типа.

Практическая значимость

Показана эффективность применения результатов дешифрирования материалов космической съемки на основе ГИС-технологий в комплексе с геологическими, геофизическими, шлихоминералогическими данными при прогнозировании кимберлитовых месторождений алмазов, как на изученных площадях, так и на новых, плохо исследованных территориях.

На перспективной площади, выделенной по имеющимся геофизическим и шлихоминералогическим данным, в пределах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей на основе дешифрирования материалов космической съемки выделены потенциально алмазоносные участки.

Впервые с использованием дистанционных методов установлено, что на севере Сибирской платформы, в пределах листов R-51-21-В,Г,-33-А,Б можно ожидать выявление нового кимберлитового поля, в пределах которого по яркостным характеристикам КС LANDSAT 7 ETM+ в каналах 4 (0.76–0.90 мкм), 5 (1.55–1.75 мкм), 7 (2.08–2.35 мкм) установлено 18 объектов, перспективных на наличие кимберлитовых тел.

Результаты исследований переданы в АК «АЛРОСА» для использования в поисково-разведочных работах на коренные месторождения алмазов (вх. № А01-100/1307 от 16.11.2015 г.).

Защищаемые положения

1. На объектах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей установлены статистически достоверные различия между алмазоносными кимберлитовыми телами и вмещающими породами в диапазонах 0.76-0.90, 1.55-1.75, 2.08-2.35 мкм КС LANDSAT 7 ETM+. Значения яркости в этих диапазонах в сочетании с гравимагнитными данными могут быть использованы в качестве информативных признаков при крупномасштабном прогнозировании алмазоносных кимберлитовых трубок открытого типа.

2. Выявленные аномалии в пределах точек тройного сочленения кимберлитолокализирующих дислокаций, установленные по методике структурного анализа изотропной мегатрещиноватости в Алакит-Мархинском и Далдынском кимберлитовых полях, обладают различными яркостными характеристиками КС LANDSAT 7 ETM+ и по-разному проявлены в гравитационном и магнитном полях. Разбраковка их по яркости и геофизическим данным позволила выявить новые участки, перспективные для выявления кимберлитовых трубок.

3. На основе предложенной методики дешифрирования материалов многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+ и комплексного анализа геологических данных, результатов геофизических и шлихо-минералогических исследований с использованием ГИС-технологий в Приленском районе Лено-Анабарской субпровинции, к северо-востоку от Хорбусуонского поля, прогнозируется новое кимберлитовое поле, включающее 18 объектов, перспективных на обнаружение потенциально алмазоносных кимберлитовых тел.

Апробация работы

Результаты работы представлены на следующих конференциях:

1. XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2014», 7-11 апреля 2014 г., Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова.

2. Вторая Международная конференция «Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов», 22-24 апреля 2014 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ».

3. XXII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2015», 13-17 апреля 2015 г., Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова.

4. Результаты выполненной работы изложены в 2 отчетах НГИЦ РАН по Программе фундаментальных научных исследований за 2013 г. – Гос. регистр. № 01201352174; за 2015 г. – Гос. регистр. № 01201451731.

5. Результаты выполненных исследований по крупномасштабному прогнозированию коренных месторождений алмазов на севере Сибирской платформы на основе дешифрирования материалов космической съемки переданы в АК «АЛРОСА».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, включая 3 статьи – в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, включает 140 страниц текста, 56 рисунков и 23 таблицы и сопровождается списком литературы из 99 наименований. Защищаемое положение 1 раскрыто в главе 3, защищаемое положение 2 – в главе 4, защищаемое положение 3 – в главе 5.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность профессору, доктору геолого-минералогических наук Дергачеву Александру Лукичу за научное руководство проведенными исследованиями и ценные рекомендации по проделанной работе. Автор также выражает искреннюю признательность за неоценимую помощь и поддержку при выполнении диссертационной работы заведующему лабораторией Природных ресурсов и антропогенных процессов НГИЦ РАН, кандидату геолого-минералогических наук Миловскому Георгию Алексеевичу.

Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук Милашеву Владимиру Аркадьевичу за предоставленные структурно-прогнозные схемы по кимберлитолокализирующим дислокациям, установленные по методике структурного анализа изотропной мегатрещиноватости в Алакит-Мархинском и Далдынском кимберлитовых полях.

Содержание работы

Во *Введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и решаемые задачи, отмечена научная новизна, практическая значимость работы, сформулированы главные защищаемые положения.

Глава 1. Прогнозно-поисковые признаки алмазоносных кимберлитов Сибирской платформы

Основой выделения перспективных площадей и участков на территории Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) является традиционный набор прогнозно-поисковых признаков, апробированный в процессе многолетней практики поисковых работ АК «АЛРОСА». В обобщенном виде он сводится к ряду магматических, минералогическо-геохимических, структурно-тектонических и геофизических факторов.

При проведении прогноза алмазоносных площадей Якутской алмазоносной провинции наиболее устойчивыми были признаны следующие геофизические и структурно-тектонические поисковые критерии и признаки: линейные зоны прогибов поверхности верхней мантии; локальные депрессии поверхности верхней мантии; участки повышенной сейсмической расслоенности земной коры; области максимального погружения магнитоактивной поверхности; гравитационные минимумы; рифтоподобные структуры – секущие зоны; зоны глубинных разломов – зоны краевых дислокаций; тектонические узлы (участки с наиболее сложным структурным планом осадочного чехла, узлы пересечения различно ориентированных разломов и дайковых поясов).

Рассмотренные прогнозно-поисковые признаки как для регионального, так и для локального прогнозирования нацелены на выделение кимберлитов безотносительно их алмазоносности. Вместе с тем, при оценке прогнозных ресурсов необходимо в первую очередь оценить вероятность обнаружения именно алмазоносных кимберлитов. Наиболее обоснованными в настоящее время являются прямые поисковые признаки алмазоносности, то есть те особенности состава глубинных минералов, которые обнаруживают значимую корреляцию с уровнем алмазоносности пород (Ваганов и др., 2002). Наиболее разработаны минералогические критерии алмазоносности на примере пиропов и хромшпинелидов. Косвенные критерии и даже прямые признаки имеют вероятностный характер, отражающий уровень наших знаний на сегодняшний день. Даже при максимальном совпадении благоприятных критериев алмазоносности в случае обнаружения, например, нового кимберлитового поля, одна алмазоносная трубка будет приходиться на десятки пустых. В связи с этим для независимой оценки границ кимберлитовых полей и потенциальной алмазоносности кустов кимберлитовых трубок в их пределах предлагается использование

принципиально новых методов, в основе которых лежит обработка результатов многозональной космической съемки.

Глава 2. Применение методов дистанционного зондирования при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов

Применение материалов дистанционного зондирования (аэро- и космических) при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов является составной частью собственно геологических методов и используется в качестве опережающего метода прежде всего на ранних стадиях поисковых работ наряду с другими методами прогноза.

Перспективные направления прогнозирования и поисков кимберлитовых тел по данным дистанционного зондирования являются: выявление разломов на основе линеamentного анализа, выявление зон повышенной трещиноватости, определение границ изотропных блоков и выделение кимберлитовых тел по яркостным характеристикам.

Большой вклад в развитие дистанционных методов выявления кимберлитовых трубок и контролирующих их размещение структур внесли специалисты ФГУНПП «Аэрогеология» (первоначально ВАГТ – Всесоюзный аэрогеологический трест), ГУП «НИИКАМ» (первоначально ЛАЭМ – Лаборатория аэрометодов АН СССР, затем ВНИИКАМ – Всероссийский научно-исследовательский институт космоаэрологических методов) и Всероссийского научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского).

В 1955 г. в ЛАЭМ началась разработка методики поисков коренных месторождений алмазов с помощью аэрофотосъемки; разрабатывалась методика комплексного применения аэрофотосъемки и аэромагнитной съемки; впервые была предложена методика интерпретации локальных аномалий «трубчатого типа». В ходе научных исследований на площадях Сибирской платформы (Барыгин В.М., Кобец Н.В., Комаров В.Б., Леонов Б.Н., Сусов М.В., Никаноров Н.Г.) выделены признаки дешифрирования кимберлитовых тел, связанные с изометричной формой проявления кимберлитовых тел, растительностью, микрорельефом и тектоникой. Установлено, что изометричная форма кимберлитовых тел выражается на аэроснимках по растительности и микрорельефу. На кимберлитах и продуктах их сноса часто развит густой ольхово-лиственничный лес, выделяющийся на снимке как темный фототон; светлый фототон основной части аэрофотоснимка соответствует редколесью. По микрорельефу кимберлитовые тела дешифрируются по приконтактной зоне с вмещающими породами, к которой приурочены зона изменения и зона дробления кимберлитов и вмещающих пород. О наличии кимберлитовых тел также свидетельствует огибающее, шлейфообразное, радиальное расположение деллей. Кроме

того, лучше дешифрируются кимберлитовые тела, расположенные в средних и верхних частях склонов долин с крутизной менее 30°. Одним из выявленных признаков дешифрирования кимберлитовых тел являются тектонические нарушения, развитые вокруг кимберлитовых тел, выделяющиеся на аэроснимках в виде многоугольника. Предлагается метод прослеживания кимберлитов по линиям простираения тектонических разрывных нарушений и их пересечений, хорошо дешифрирующихся на аэроснимках, располагающихся на линиях разрывных нарушений отдельными группами в виде отчетливо видимых цепочек и вытянутых в направлении простираения разрывных нарушений.

По результатам дешифрирования аэрофотоснимков были открыты кимберлитовые трубки: Аэрогеологическая, Крошка, Подснежная, Немагнитная, Львиная Лапа, Дайковая, Аэрофотосъемочная, Академическая, Сибирская, Полуночная.

С открытием Архангельской алмазоносной провинции специалистами ВСЕГЕИ разработаны методики дешифрирования аэрофотосъемки и радиолокационной съемки для выявления тел трубчатого типа на Восточно-Европейской платформе. Установлено, что практически все тела отображаются на снимках в виде фотообразов, т.е. имеет место своеобразное «просвечивание» трубок взрыва. Основание для этого – резкая плотностная неоднородность кимберлитовых «столбцов» и вмещающих их рыхлых платформенных отложений.

При дешифрировании аэрофотоснимков установлено десять признаков выделения трубок взрыва: 1) наличие фигуры, обладающей симметрией центрального типа, близкой к кругу диаметром от 100 до 1000 м; 2) парность фигур в плане (в форме восьмерки); 3) зональное концентрическое строение (в форме кольца); 4) пониженное положение местности, соответствующей контуру фигуры (наблюдается под стереоскопом); 5) приуроченность к выделяемым объектам локальных положительных форм рельефа; 6) определенная конфигурация гидросети – огибание реками и ручьями контура фигуры; 7) отчетливые кольцевые контуры на территории болот, которые подчеркиваются определенными типами ассоциаций болотной растительности; 8) закономерное распределение лесной растительности, разреженность или полное отсутствие которой по контуру фигуры усиливает его очертания; 9) характер сопряжения разрывных нарушений с выделяемыми объектами – утыкание и огибание; 10) тоновые отличия аномального дешифрируемого объекта и окружающего его изображения.

Структуры трубчатого типа на радиолокационных снимках выделяются через формы рельефа, проявляющиеся в яркостных характеристиках, которые сильно реагируют на степень увлажненности поверхности, связанной с особенностями гидрологического и гидрогеологического режимов, газобиохимического обмена в зонах повышенной

трещиноватости и проницаемости горных пород. Строение радиолокационных аномалий, имитирующих тела трубчатого типа, может быть (1) радиально-лучистым, (2) зонально-концентрическим, (3) контрастным рельефным внутри контура неконформного ему комплекса форм, (4) лепешковидным с ортогональными аномалиями в тоновом контрасте, (5) с выпуклой осветленной поверхностью внутри идеального фототонного кольца.

Появление материалов космических съемок вывело методы дистанционного зондирования на новый информационный уровень. На основе дешифрирования создавались геолого-структурные схемы конкретных площадей, космогеологические и космотектонические карты крупных регионов. Установлена система линеаментов, контролирующая известные кимберлитовые поля, приуроченные к местам пересечения линеаментов с разломами. Основное внимание при дешифрировании было обращено на выделение кольцевых структур, зон линеаментов и узлов их пересечений, с которыми связаны перспективные участки для выявления кимберлитовых полей (Глуховский М.З., Моралев В.М., Жаворонкин В.И., Фомин Ю.М., Тюленев А.Е., Пуговкин А.А., Натапов Л.М., Осташкин И.М., Музис В.А., Серокуров Ю.Н.).

Появление в последние годы высокопроизводительной компьютерной техники и многофункционального программного обеспечения открыло качественно новые возможности реализации информационных технологий по применению материалов космической съемки за счет количественных методов комплексного анализа цифровых данных различного пространственного разрешения. Среди специализированных программ обработки изображений наиболее распространены ERDAS IMAGINE, ENVI, использование которых позволяет решать задачи предварительной и тематической обработки данных дистанционного зондирования, а также обеспечивает возможности быстрого перехода от результатов обработки снимков к выполнению операций моделирования, анализа и интерпретации средствами ArcGIS.

Многими исследователями для выявления перспективных алмазоносных участков ранга кимберлитового района и кимберлитового поля используются автоматизированные процедуры для выделения радиально-кольцевых структур и поиска их центров с последующим выделением составляющих элементов (Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М., Макаров Д.В., Громцев К.В., Енгальчев С.Ю.). Разрабатываются методики выделения кольцевых и радиальных разломов по контрастному изменению температурного поля (Кривошапкин И.И.).

Задачи регионального прогноза и поисков кимберлитовых полей, кимберлитовых тел также могут быть решены посредством применения метода композиционного кодирования многозональных (многоспектральных) космических снимков, разработанного в НИИКАМ

Н.Ф. Афанасьевым. Метод реализуется последовательностью технологических операций обработки различных комбинаций диапазонов, анализа и сравнительной оценки результатов, полученных в различных вариантах вычислений. Благодаря этому методу, становится возможным целенаправленная интерпретация преобразованных изображений для прогнозирования участков локализации кимберлитовых тел. В основе метода раздельный анализ энергетической и информационной составляющих изображения, которые дифференцированно характеризуют функциональную структуру многозональных изображений. Благодаря этому по многозональным снимкам можно выделять тектонические и петрофизические неоднородности в земной коре.

В области разработки технических средств и автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования выделяются авторские программы LINEAMENT (Загубный Д.Г.) и ALINA (Щепин М.В.), где представлены первые результаты экспериментальных прогнозов для выявления локальных областей потенциально алмазоносных кимберлитов.

С помощью программы LINEAMENT по материалам дистанционного зондирования устанавливаются изотропные и анизотропные области трещиноватости земной коры, производится поиск центров кольцевых структур. Результаты обработки линеаментных полей представляются в виде полутоновых изображений, где яркость соответствует определенному значению характеристики поля.

В программе ALINA реализованы алгоритмы поиска и выделения радиально-концентрических кольцевых структур и алгоритмов трассировки границ перепадов яркости с помощью программного распознавания образов – «метода свернутых роз». Область прогноза задается в виде локальных круговых областей диаметром 100-500 м, что позволяет значительно сократить площади геологоразведочных работ.

Таким образом, существующие технологии обработки данных комплекса дистанционных съемок весьма разнообразны. Они предназначены для совместного использования и анализа материалов геологических, аэрокосмических и геофизических (гравиметрических, магнитометрических, геологических и др.) методов с целью последовательного решения задач среднемасштабного и локального прогнозирования.

Глава 3. Методика комплексного использования материалов космической съемки, гравиметрических и магнитометрических данных для выявления алмазоносных кимберлитовых трубок

Разработка комплекса методов дистанционного зондирования для выявления алмазоносных кимберлитовых трубок осуществлялась автором на эталонных объектах Алаakit-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей. Выбор этих кимберлитовых полей обусловлен максимальной изученностью в пределах Якутской алмазоносной провинции, их принадлежностью к существенно различным категориям по степени благоприятности для поисковых работ и нахождение в этих районах большинства промышленных коренных месторождений (Айхал, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская, Краснопресненская, Удачная, Зарница).

Для решения вопросов, связанных с распознаванием кимберлитовых тел на фоне вмещающих их пород и оценки их потенциальной алмазоносности в условиях открытых площадей, было предпринято исследование возможностей многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+. Выбор космической съемки для исследований обусловлен тем, что составление Государственных геологических карт России М. 1 : 1 000 000 (третьего поколения) в обязательном порядке обеспечивается дистанционной основой, созданной на базе цифровых материалов КС LANDSAT 7 ETM+. Поэтому дальнейшая разработка методических основ комплексного использования геолого-геофизических данных и материалов дистанционного зондирования для крупномасштабного прогнозирования коренных месторождений алмазов является актуальной.

Обработка цифровых материалов космической съемки осуществлялась с использованием программного продукта ENVI 4.8, включающего набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от пространственной привязки изображения до получения необходимой информации. Для анализа результатов данных КС LANDSAT 7 ETM+ использовались значения яркостных характеристик в каналах: 1 (0.45–0.52 мкм, видимый), 2 (0.52–0.60 мкм, видимый), 3 (0.63–0.69 мкм, видимый), 4 (0.76–0.90 мкм, ближний инфракрасный), 5 (1.55–1.75 мкм, средний инфракрасный), 6 (10.40–12.5 мкм, тепловой), 7 (2.08–2.35 мкм, средний инфракрасный), 8 (0.52–0.90 мкм, панхроматический). Яркостные характеристики представляют собой значения DN (Digital Numbers) – исходные значения в каждом пикселе полученного снимка. Значения DN безразмерны, пропорциональны количеству попадающего на сенсор излучения и характеризуют поток энергии (ватт) на квадратный метр земной поверхности на один стерадиан (трехмерный угол от точки на поверхности Земли к сенсору) на единицу

измеряемой длины волны: $W/(m^2 * ster * \mu m)$. Пространственное разрешение каналов 1–5 и 7 составляет 30 м, канала 6 – 60 м, канала 8 – 15 м.

В пределах участков Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей проведена обработка яркостных характеристик отдельных трубок, кустов трубок и площадей, на которых по результатам проведения детальных геолого-съёмочных работ кимберлитовых тел не выявлено (так называемых «пустых» площадей). Координаты кимберлитовых трубок и их краткая характеристика любезно предоставлены Амакинской экспедицией АК «АЛРОСА».

Изучение яркостных характеристик во всех диапазонах космической съёмки позволило наметить количественные критерии для выявления кимберлитовых тел на фоне вмещающих их пород и оценки их потенциальной алмазоносности. Все исследуемые трубки, кусты трубок и «пустые» площади сравнивались попарно на основе статистических критериев Фишера (F-критерий) и Стьюдента (t-критерий) с целью определения значимости различий яркости в диапазонах KC LANDSAT 7 ETM+. Все расчеты проводились с уровнем значимости $\alpha=0.01$, что соответствует 99 % доверительной вероятности правомочности полученных выводов.

Исходным являлся вопрос о том, какую площадь следует рассматривать в качестве основы для идентификации с кимберлитовой трубкой. На основе изучения яркостных характеристик эталонных трубок (НИИГА, Геофизическая, Долгожданная, Ленинградская, Молодежная, Искорка) и околотрубочного пространства установлено, что, если изучаемая площадь околотрубочного пространства превышает размеры самой трубки не более чем в 2-4 раза, то различия дисперсий и средних значений яркостей между ними являются незначимыми. Если исследуемая площадь превышает площадь кимберлитового тела в 5 раз и более, то в сравниваемых выборках в ряде диапазонов появляются значимые различия как по F-, так и по t-критерию. Это обстоятельство, вероятно, связано с тем, что внедрение кимберлитов приводит к возникновению околосадоватых мульд проседания, брекчированию пород, в результате чего вокруг каждой диатремы образуется ореол трещиноватости и повышенной проницаемости для растворов, формирующих в этом ореоле зону изменений вмещающих пород, которые выражаются в доломитизации последних, образовании прожилков сульфидов, кальцита, халцедона, участков интенсивной закарстованности, кавернозности, повышенной битуминозности и т.д. Ореол этих проявлений в 3–5 раз больше диаметра самой кимберлитовой диатремы (Подчасов, 2004). Поэтому кимберлитовое тело и вмещающие его метасоматические породы приобретают близкие яркостные характеристики. Таким образом, была проведена оптимизация размера,

которая принимается в расчетах за площадь эталонной трубки, с учетом значимости различий по яркости в зависимости от площади считываемой информации.

В пределах участка Алаakit-Мархинского поля (Q-49-XVI-067,068) исследованы трубка НИИГА, куст трубок НИИГА, Маршрутная, куст трубок Радиогодезическая, Талисман, Меньшикова и пять «пустых» площадей, сложенных породами олдондинской свиты, не содержащими кимберлитовых тел. Несмотря на различия по площади алмазоносных трубок НИИГА и Маршрутная (соответственно 3.6 га и 0.47 га), они уверенно выявляются на фоне вмещающих пород, тогда как безрудные трубки Радиогодезическая, Талисман и Меньшикова практически неотличимы от фона (рис. 1). На возможность выявления кимберлитовых трубок по яркостным характеристикам на фоне вмещающих пород влияет мощность рыхлых перекрывающих отложений. Хотя все трубки относятся к открытому типу, тем не менее, трубки НИИГА и Маршрутная, отличающиеся наименьшими значениями мощности перекрывающего чехла (от 0.3-0.5 до 1.5-2.0 м), по яркостным характеристикам выявляются увереннее, чем трубки Меньшикова и Талисман, для которых мощность перекрывающих отложений составляет 2-3 м.

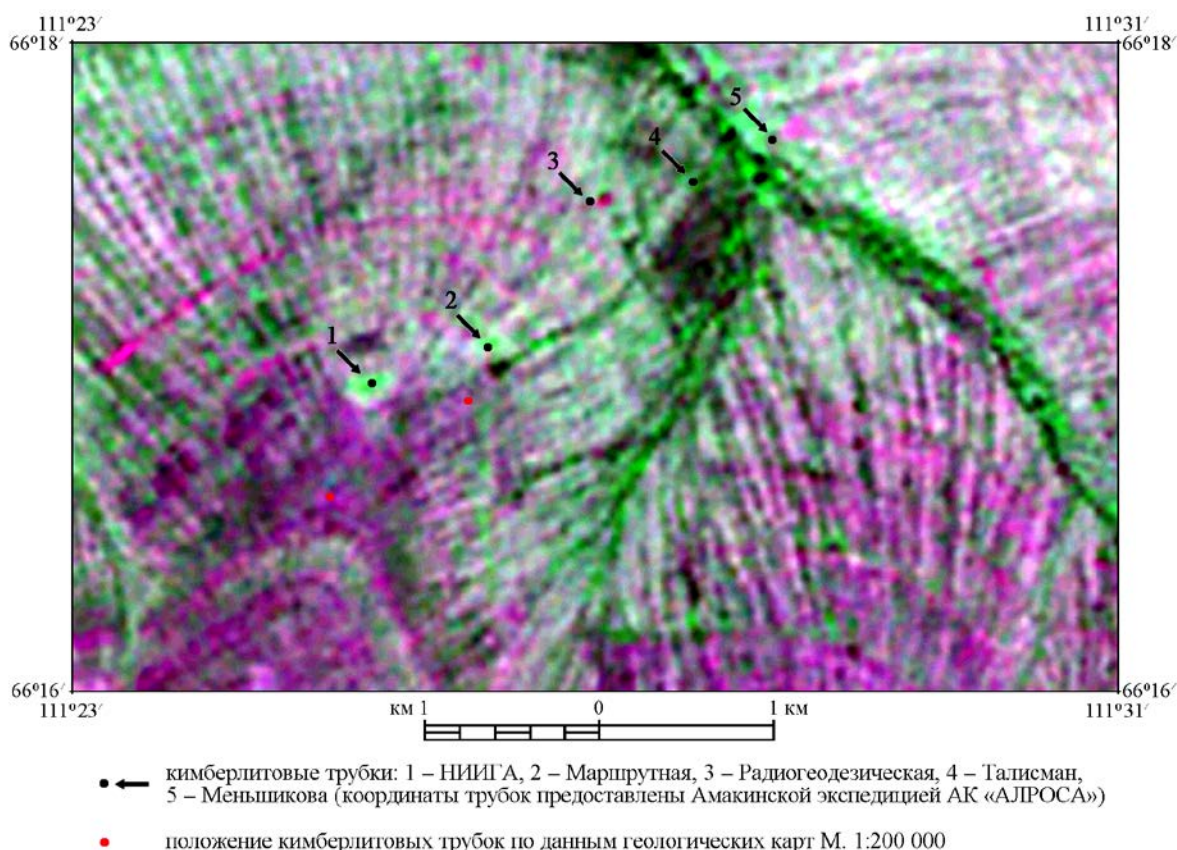


Рис. 1. Результаты обработки в цветовой модели RGB 4-го (0.76–0.90 мкм), 5-го (1.55–1.75 мкм) и 7-го (2.08–2.35 мкм) каналов КС LANDSAT 7 ETM+ участка расположения кимберлитовых трубок НИИГА, Маршрутная, Радиогодезическая, Талисман, Меньшикова Алаakit-Мархинского кимберлитового поля

В пределах участка Алаakit-Мархинского поля (Q-49-XVI-067) изучены яркостные характеристики трех отдельных трубок Искорка, Коллективная, Светлая, куст трубок Начальная, Смежная и куст трубок Кутузовой, Веселая. Полученные данные были сопоставлены с четырьмя «пустыми» площадями олдондинской свиты, не содержащими кимберлитовых тел. В связи с тем, что трубки Коллективная, Светлая, Начальная, Смежная, Веселая имеют мощность перекрывающих отложений от 2.0 м до 4.9 м и площадь в плане 0.1-0.3 га, перечисленные кимберлитовые трубки трудно диагностировать по яркости.

В пределах участка Далдынского поля (Q-49-XVII-058,070) исследованы яркостные характеристики трубок Геофизическая, Долгожданная, Ленинградская, Молодежная и четырех «пустых» площадей в поле развития пород олдондинской свиты. На обработанном космическом снимке в цветовой модели RGB в каналах 4, 5, 7 алмазоносные кимберлитовые трубки уверенно выявляются на фоне вмещающих пород (рис. 2).

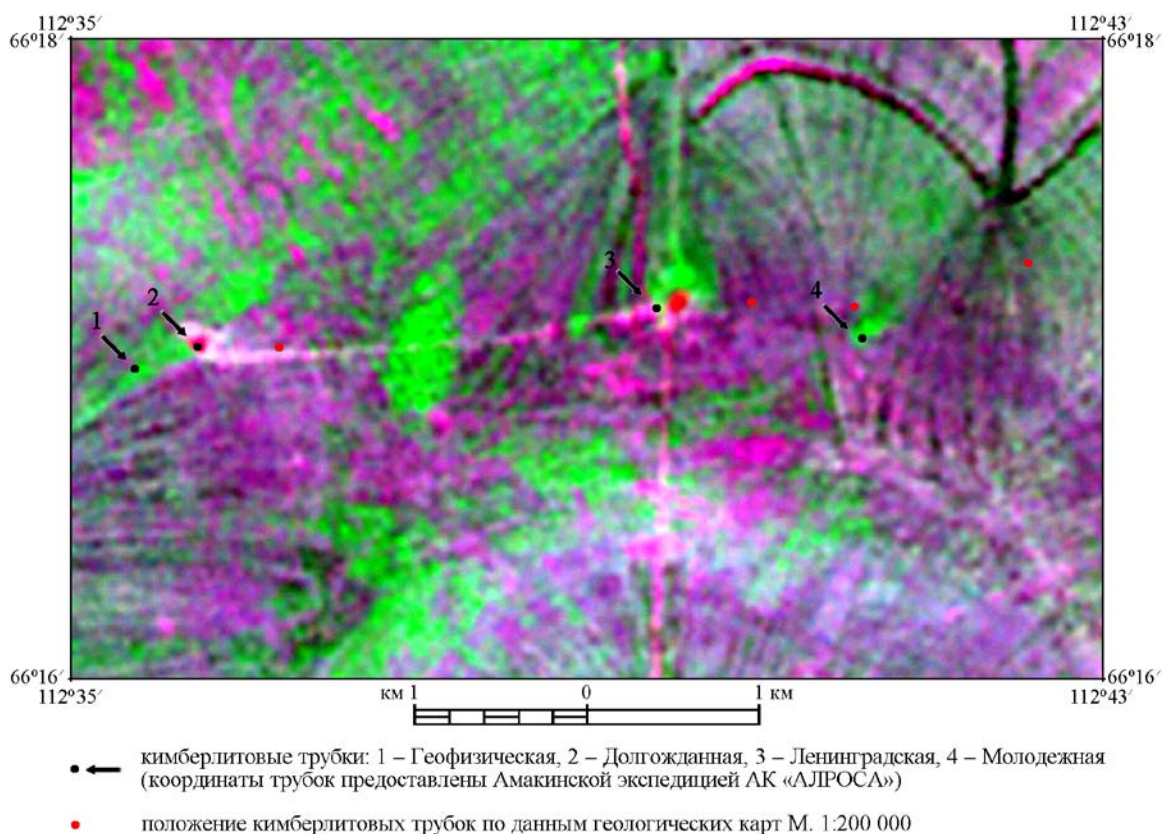


Рис. 2. Результаты обработки в цветовой модели RGB 4-го (0.76–0.90 мкм), 5-го (1.55–1.75 мкм) и 7-го (2.08–2.35 мкм) каналов КС LANDSAT 7 ETM+ участка расположения кимберлитовых трубок Геофизическая, Долгожданная, Ленинградская, Молодежная Далдынского кимберлитового поля

В пределах участка Далдынского поля исследованы яркостные характеристики трубок Осенняя, Зимняя и трех «пустых» площадей в поле развития пород моркокинской свиты. Трубка Зимняя с мощностью перекрывающих отложений 1.5-2.3 м выявляется более уверенно, чем трубка Осенняя с перекрывающими отложениями 2.0-2.8 м (рис. 3).

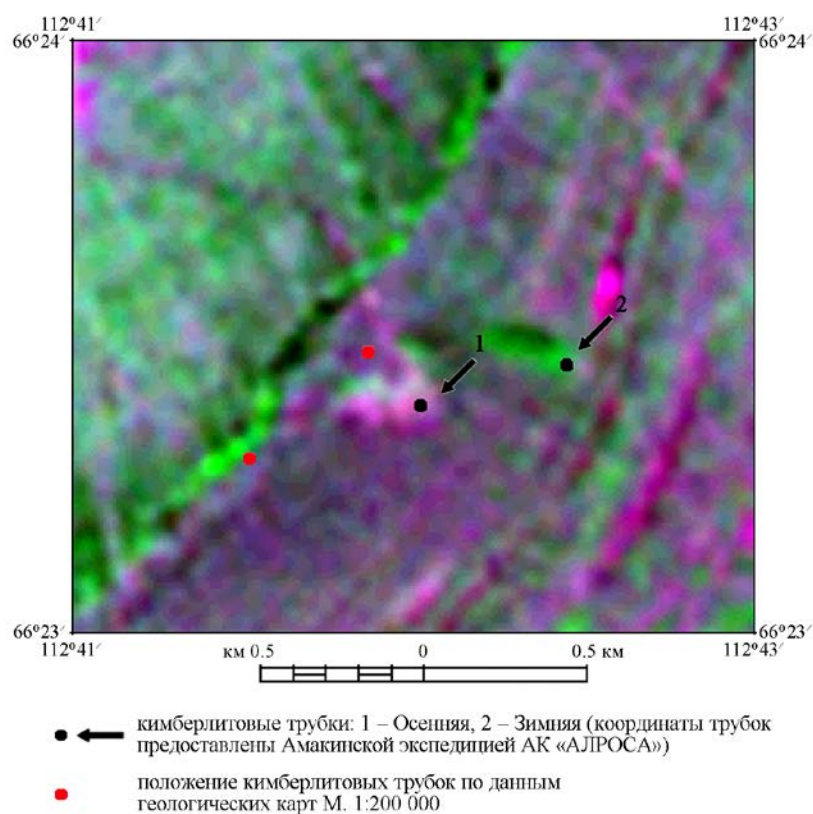


Рис. 3. Результаты обработки в цветовой модели RGB 4-го (0.76–0.90 мкм), 5-го (1.55–1.75 мкм) и 7-го (2.08–2.35 мкм) каналов КС LANDSAT 7 ETM+ участка расположения кимберлитовых трубок Осенняя, Зимняя Далдынского кимберлитового поля

По результатам обработки яркостных характеристик кимберлитовых трубок, кустов трубок и «пустых» площадей с целью определения значимости различий яркостных характеристик в разных диапазонах установлены статистически достоверные различия между алмазонасными кимберлитовыми телами и вмещающими породами в каналах 4 (0.76-0.90 мкм), 5 (1.55-1.75 мкм), 7 (2.08-2.35 мкм) КС LANDSAT 7 ETM+.

Важной закономерностью является то, что среднее значение яркостных характеристик алмазонасных кимберлитовых трубок выше, чем среднее значение «пустых» площадей не содержащие кимберлитовых тел.

Основываясь на полученных результатах, подобран алгоритм обработки цифровых материалов КС LANDSAT 7 ETM+ в цветовой модели RGB в каналах 4 (0.76–0.90 мкм), 5 (1.55–1.75 мкм), 7 (2.08–2.35 мкм) с целью выделения аномалий, соответствующих алмазонасным кимберлитовым телам открытого типа на фоне вмещающих пород. С учетом разрешающей способности используемых в работе космических снимков площадь одного пиксела в основных спектральных каналах соответствует 0.08 га. Площадь отдельной кимберлитовой трубки на исследованной территории составляет в среднем 0.3 – 3 га (исключение составляет только трубка Ленинградская – 9.4 га). С учетом околотрубочной зоны метасоматически измененных пород площадь выделенной аномалии составляет

1 – 12 га. Данные аномалии представлены ярко зеленым цветом и выделяются на фоне вмещающих пород различного сочетания фиолетовых и зеленых оттенков. Аномалии, соответствующие разрабатываемым кимберлитовым трубкам, представлены в красных оттенках в цветовой модели RGB в каналах 4, 5, 7 KC LANDSAT 7 ETM+.

Характерно, что в пределах каждой отдельно взятой «пустой» площади выборка является однородной: яркость по всей совокупности пикселей распределена в соответствии с нормальным законом. Площади, относящиеся к классу «пустых», варьируют в пределах 87 – 158 га. В связи с этим при сканировании исследуемой территории на наличие кимберлитовых трубок методом «скользящего окна» предлагается применять размер окна в 100 га (1 км x 1 км). В этом случае при отсутствии в пределах «окна» кимберлитов и метасоматитов из околотрубочного пространства выборка по яркости в данном спектральном диапазоне будет однородной, а при наличии кимберлитов, отличающихся в данном диапазоне яркости от вмещающих пород, в пределах «окна» возникнет аномалия площадью порядка 1 – 12 га, которая и будет обнаружена.

На представленных рисунках 1, 2, 3 показаны кимберлитовые трубки по данным геологических карт масштаба 1:200 000, положение которых отличается от истинного. Таким образом, по материалам космической съемки, используя комбинации каналов 4, 5, 7 при синтезе изображения, можно более достоверно определять положение кимберлитовых трубок. Ограничением предложенного метода выявления аномалий по яркостным характеристикам, соответствующих кимберлитовым трубкам, является наличие перекрывающих рыхлых отложений мощностью более пяти метров, наличие траппов и малый размер площади самих кимберлитовых трубок (менее 0.3 га). В последнем случае площадь аномалии с учетом околотрубочной зоны метасоматически измененных пород должна составить менее 1 га, и ее трудно диагностировать по яркости в связи с техническими характеристиками KC LANDSAT 7 ETM+.

По результатам исследований распределения кимберлитовых тел в магнитных и гравитационных полях алмазоносные кимберлитовые трубки открытого типа характеризуются диапазонами значений $-2 \div -5$ мЭ и $-10 \div -15$ мГал, которые могут использоваться в качестве реперных для прогноза алмазоносных кимберлитов на перспективных площадях. Для выявления кимберлитовых трубок открытого типа предлагается следующая последовательность обработки материалов дистанционного зондирования, гравиметрических и магнитометрических данных. Сначала на поисковой площади устанавливаются области, в которых значения гравитационного и магнитного полей составляют, соответственно, $-10 \div -15$ мГал и $-2 \div -5$ мЭ, затем, в пределах, выделенных для опосредованного поиска областей, проводится компьютерная обработка космических

снимков и по яркостным характеристикам в комбинации спектральных каналов 4, 5, 7 сканированием методом «скользящего окна» выявляются потенциально возможные трубки и кусты трубок.

Глава 4. Крупномасштабный прогноз кимберлитовых трубок на основе ГИС-технологий и комплекса дистанционных методов

Для апробации предложенной методики выявления аномалий, соответствующих кимберлитовым трубкам, привлечены структурно-прогнозные схемы кимберлитолокализующих дислокаций, составленные Милашевым В.А. с использованием методики структурного анализа изотропной мегатрещиноватости. Выявление структурно-текстурного рисунка линеаментов является одним из приоритетных направлений дистанционного зондирования при выявлении границ кимберлитовых полей и кустов кимберлитовых трубок.

Исследованиями Милашева В.А. установлена тесная связь пространственного распределения кимберлитовых тел с блоками земной коры, характеризующимися изотропной по ориентировке тектонической трещиноватостью (Милашев, 1979, 1997, 2003, 2007, 2008, 2010). Результаты анализа мегатрещиноватости позволяют устанавливать структурные границы кимберлитовых полей вне зависимости от числа и размещения найденных диатрем. Использование дистанционных методов для выделения таких участков, не превышающих 10 % изучаемых территорий, позволяет резко сокращать площади поисков и повышать эффективность работ. Наиболее результативными приемами анализа мегатрещиноватости являются построение карт роз-диаграмм простираний, отражающих относительную протяженность систем трещин по различным направлениям. Карты роз-диаграмм служат основой для выделения площадей (блоков), различающихся по типу (изотропный, анизотропный) и структурному рисунку трещиноватости. Далдынское и Алакит-Мархинское кимберлитовые поля обладают четко выраженным мозаичным строением. Они состоят из большого числа миниблоков, отличающихся от соседних структурным рисунком изотропной по ориентировке трещиноватости. Площадь миниблоков изменяется от нескольких десятков до первых сотен км². Дистанционно выделяемые структурные элементы контролируют локализацию 75 % выходов кимберлитовых тел в Далдынском, и 80 % – в Алакит-Мархинском полях. Ведущую роль в локализации кимберлитов играют тройные и двойные «точки» (к тройным «точкам» относятся точки пересечения трех и более линейных дислокаций). Они контролируют размещение 43 % найденных диатрем, хотя суммарная площадь «точек» составляет лишь 14 % всей территории Далдынского и 9 % Алакит-Мархинского поля.

При работе с пространственными данными автором использована геоинформационная система ArcGIS ver. 10., в которую включены различные виды карт, а также результаты исследования по мегатрещиноватости, выполненные В.А. Милашевым в пределах Алаakit-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей. Обработка космических снимков осуществлялась в ENVI с последующей интеграцией результатов в ArcGIS.

На основе ГИС-технологий в пределах Алаakit-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей по яркостным характеристикам КС LANDSAT 7 ETM+ исследованы точки тройного сочленения кимберлитолокализирующих дислокаций, установленные Милашевым В.А. по методике структурного анализа изотропной мегатрещиноватости. Всего обследовано 88 тройных «точек», в том числе 14 «точек» с установленными кимберлитами и 74 «точки», на которых кимберлитовые тела к настоящему времени не выявлены (рис. 4). С учетом разрешающей способности космического снимка и технических характеристик программных продуктов их обработки каждая из тройных «точек» представляет собой небольшую площадь земной поверхности ограниченную 1-2' по широте с севера на юг и 2-4' по долготе с запада на восток.

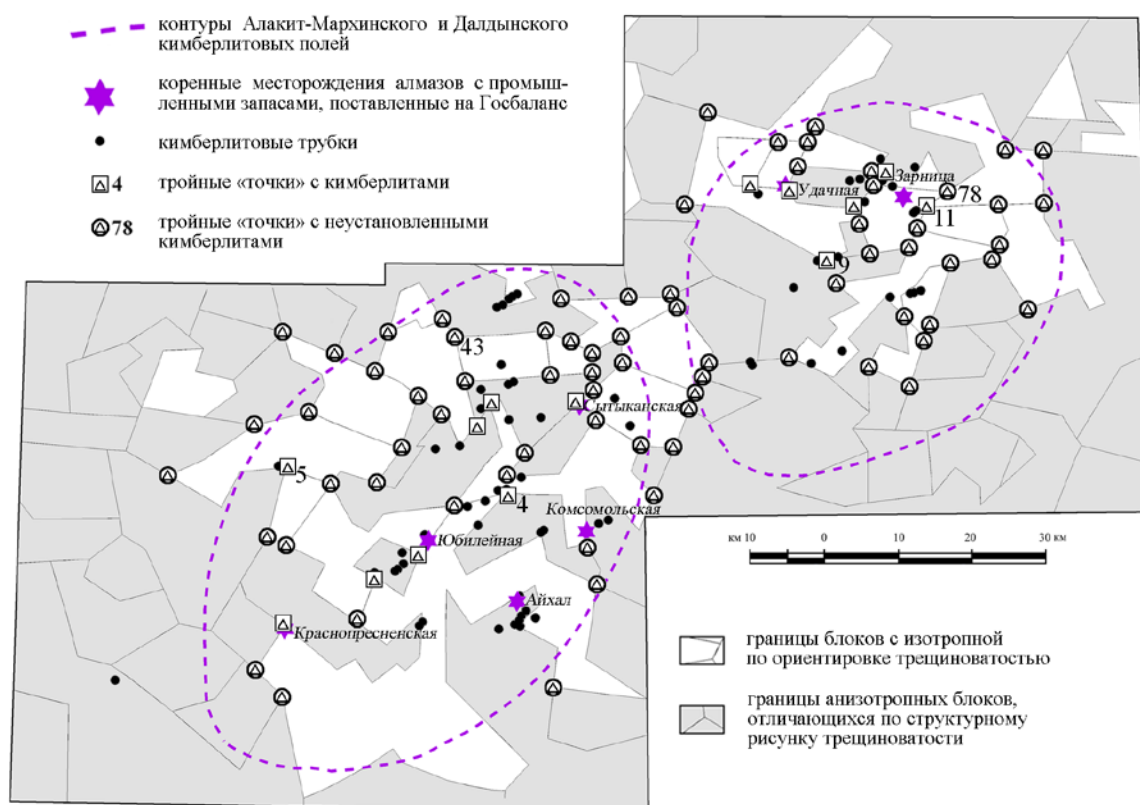


Рис. 4. Структурно-прогнозная схема Алаakit-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей по тройным «точкам» с установленными и неустановленными кимберлитами (по Милашеву В.А., 1997; с дополнениями автора)

При определении перспективности тех или иных тройных «точек» на наличие кимберлитовых тел, кроме значений аномалий силы тяжести и интенсивности магнитного

поля, учитывалось отсутствие траппов. Если значения аномалий силы тяжести (Δg , мГал) и интенсивности магнитного поля (ΔT , мЭ) по этим объектам находятся в интервале $-10 \div -15$ мГал и $-2 \div -5$ мЭ соответственно, то тройные «точки» относятся к объектам прогноза первой очереди и на них необходимо проведение наземных заверочных работ и детального опробования. К объектам прогноза второй очереди относятся тройные «точки», на которых перспективные по космическим данным объекты соответствуют эталонным значениям хотя бы по одному из двух геофизических параметров Δg или ΔT .

В пределах тройных «точек» по результатам обработки космических данных в диапазонах: 0.76-0.90 мкм, 1.55-1.75 мкм, 2.08-2.35 мкм КС LANDSAT 7 ETM+ сканированием методом «скользящего окна» выявлены объекты, аналогичные эталонным алмазонасным трубкам НИИГА и Маршрутная (Ишмухаметова, 2014). Данные объекты представлены аномалиями площадью 1 – 12 га, соответствующие как установленным кимберлитовым телам открытого типа, так и предполагаемым участкам, перспективным на наличие кимберлитовых тел.

Комплексное использование методов дистанционного анализа кимберлитолокализующих дислокаций (Ишмухаметова, 2015) позволило выявить перспективные участки для поиска кимберлитовых трубок в пределах шести тройных «точек», которые в дальнейшем были разбракованы по степени перспективности.

На рис. 5 – 7 представлены результаты обработки в цветовой модели RGB 4-го (0.76–0.90 мкм), 5-го (1.55–1.75 мкм) и 7-го (2.08–2.35 мкм) каналов КС LANDSAT 7 ETM+ участков тройных «точек» с установленными кимберлитами и с неустановленными кимберлитами. Перспективные участки на наличие кимберлитовых тел представлены аномалиями ярко зеленого цвета, выделяющиеся на фоне различного сочетания фиолетовых и зеленых оттенков.

В Алакит-Мархинском поле перспективные участки установлены в пределах «точек» №№ 4 и 5. Тройная «точка» № 4 расположена в центральной части Алакит-Мархинского поля, с ней связаны известные кимберлитовые трубки – Богатых, Кисмет, Геохимическая. В пределах «точки» № 4 выявлено до семи перспективных участков, три из которых наиболее предпочтительны по совокупности геолого-структурных, геофизических и космических факторов: №№ 4-5, 4-6, 4-7. В пределах тройной «точки» № 5, расположенной в западной части Алакит-Мархинского поля, имеется только одна кимберлитовая трубка – Славутич. В пределах тройной «точки» № 5 установлено пять перспективных участков, из которых наибольший интерес представляют участки №№ 5-1, 5-2 и 5-3.

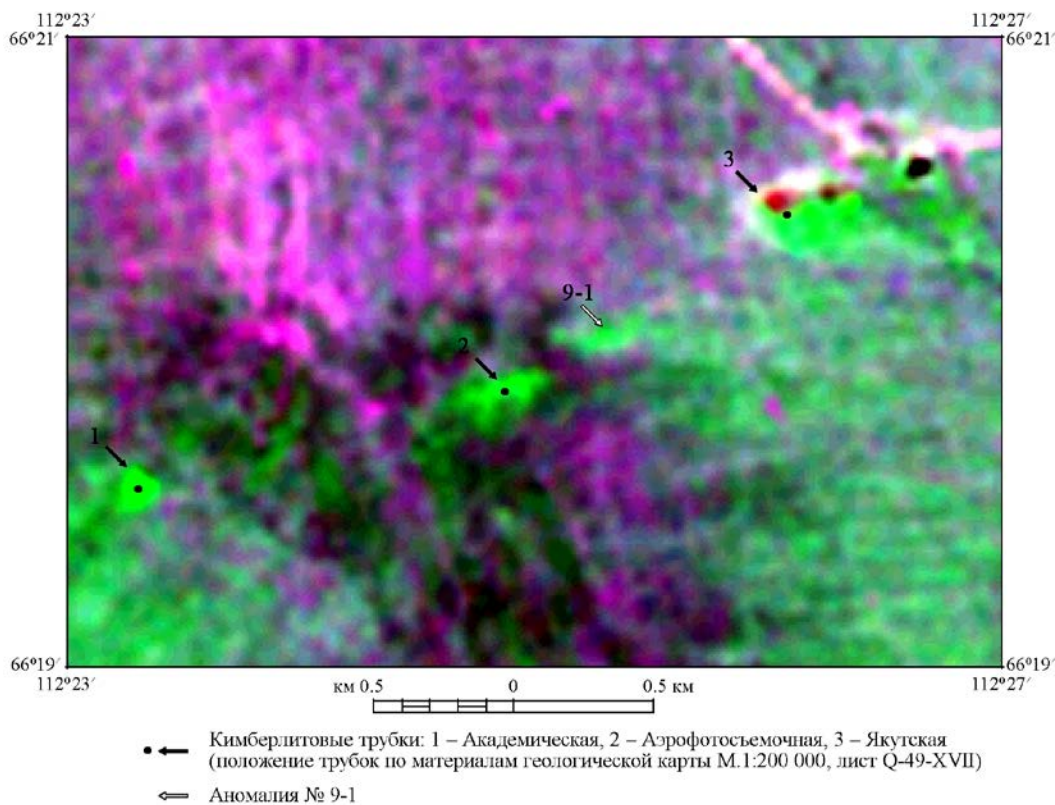


Рис. 5. Результаты обработки в цветовой модели RGB 4-го (0.76–0.90 мкм), 5-го (1.55–1.75 мкм) и 7-го (2.08–2.35 мкм) каналов КС LANDSAT 7 ETM+ участка тройной точки № 9 с установленными кимберлитами

В Далдынском поле перспективные участки на кимберлиты выявлены в пределах тройных «точек» №№ 9 и 11. В тройной «точке» № 9 находятся три линейно расположенные кимберлитовые трубки: Академическая, Аэрофотосъемочная и Якутская, и перспективный участок № 9-1 (рис. 5). В тройной точке № 11 имеется трубка Зимняя, восточнее которой выявлены три участка с примерно равной перспективностью №№ 11-1, 11-2, 11-3 (рис. 6). Следует отметить, что тройные «точки» № 9 и № 11 характеризуются положительными значениями магнитного поля.

Среди тройных «точек», в пределах которых кимберлитовые тела к настоящему моменту не обнаружены, следует выделить «точки» №№ 43 и 78. В точке № 43, расположенной на севере Алакит-Мархинского поля, рядом с кустом эталонных трубок НИИГА и Маршрутная, выявлено до шести перспективных участков, из которых наиболее предпочтительными являются три: №№ 43-1, 43-2, 43-3. В Далдынском поле в тройной «точке» № 78 выявлен расположенный в русле ручья один перспективный участок №78-1 (рис. 7).

К северу от Алакит-Мархинского кимберлитового поля в выделенных диапазонах значений Δg , ΔT по яркостным характеристикам КС LANDSAT 7 ETM+ выделен перспективный участок, где предположительно могут быть выявлены три кимберлитовые трубки, которые могут быть аналогами куста алмазоносных трубок НИИГА, Маршрутная.

Результаты проведённых исследований на эталонных площадях Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей могут служить основанием для проведения прогнозно-поисковых работ на алмазы на севере Сибирской платформы.

Глава 5. Прогнозирование нового кимберлитового поля и коренных месторождений алмазов на основе ГИС-технологий обработки космических, геолого-геофизических и картографических данных

Оценка перспектив коренной алмазоносности на севере Сибирской платформы проведена на основе обобщения имеющихся геолого-геофизических материалов с использованием традиционного комплекса охарактеризованных выше прогнозно-поисковых признаков, с учетом результатов ранее выполненных работ и рекомендаций предшественников, с применением предложенного комплекса дистанционных методов выявления алмазоносных кимберлитовых трубок. Исследование проведено в пределах листа R-51-А, Б на основе геоинформационных технологий, обеспечивающих полный пространственный анализ систем поисковых признаков: геологических, космических, геофизических и позволяющих более точно определять кимберлитоперспективные участки с оценкой их потенциальной алмазоносности. Задача исследования сводилась к выделению площади соответствующей кимберлитовому полю, а в пределах прогнозируемого кимберлитового поля – к выявлению локальных участков, перспективных на обнаружение группы тел или отдельной кимберлитовой трубки.

На севере Сибирской платформы в Приленском районе Лено-Анабарской субпровинции насчитывается свыше 190 кимберлитовых тел среднепалеозойского и мезозойского возраста, подавляющее большинство которых неалмазоносны или характеризуются убогой алмазоносностью. Наличие в районе промышленных россыпей алмазов, источниками которых не могли служить известные слабоалмазоносные кимберлитовые тела, позволяет предполагать возможность обнаружения на этой территории еще неизвестных богатых коренных источников.

Основные особенности геологического строения Приленского алмазоносного района обусловлены приуроченностью его к Оленекскому сводовому поднятию, в пределах которого развиты региональные разломы, фиксируемые геофизическими методами. В совокупности все нарушения образуют две зоны краевых дислокаций: Молодо-Попигайскую северо-западного направления и Оленекскую северо-восточного простиранья, контролирующих размещение кимберлитовых полей: Куойкского, Молодинского, Толуопского, Мерчимденского и Хорбусуонского.

Первоочередное внимание было уделено площадям, перспективность которых на наличие кимберлитовых полей обосновывалась глубинными геофизическими данными. Алмазоносные кимберлитовые поля Якутии характеризуются гипсометрическими отметками поверхности Мохоровичича от -42 км до -58 км, где земная кора не подверглась значительной деструкции; а также разуплотнением пород кристаллической коры и понижением магнитоактивной поверхности.

Если площади, перспективные на наличие кимберлитовых полей по глубинным геофизическим критериям, отличались от эталонных геофизических значений Δg и ΔT (-10÷-15 мГал, -2÷-5 мЭ), то они относились к объектам прогноза второй очереди.

На площади R-51-20,21,32,33, расположенной к северо-востоку от Хорбусуонского поля, наблюдается одновременно как наличие участков понижения магнитоактивной поверхности и разуплотнения пород кристаллической коры, так и наличие участков с отрицательными значениями Δg и ΔT , близкими к эталонным значениям. Дальнейшая оценка каждого из объектов и детализация участков, рекомендуемых для постановки наземных геолого-разведочных работ, осуществлялась с привлечением имеющихся результатов шлихо-минералогического опробования и учета рельефа по топографическим картам масштабов 1:100 000 – 1:50 000, сравнительный анализ которых позволяет определить направления сноса минералов-спутников алмаза и возможные источники алмазов.

В пределах выделенной площади R-51-20,21,32,33 установлены находки алмазов в отдельных шлиховых пробах четвертичных аллювиальных отложений. Современный аллювий обогащен минералами спутниками алмаза и находками алмазов, где происходит естественное обогащение ассоциации в процессе транспортировки водными потоками и аккумуляции. На изучаемой площади в отдельных точках отмечены находки малотранспортабельных минералов-спутников алмаза – оливина, хромдиопсида; находки зерен минералов-спутников алмазов I-II классов сохранности в ореолах и потоках – хромшпинелида, в отдельных точках – пикроильменита, хромшпинелида. Минералы-спутники алмаза пользуются широким распространением. Они образуют локальные площадные ореолы и различные по протяженности линейные потоки рассеяния. Преобладают хромшпинелидовая, пироп-пикроильменитовая, пикроильменитовая ассоциации МСА, в меньшей степени развиты хромшпинелид-пикроильменитовая, хромшпинелид-пикроильменит-пироповая, пироп-пикроильменит-хромшпинелидовая ассоциации.

Первичные геохимические ореолы характеризуются повышенными значениями местного геохимического фона пород нижнего палеозоя и аномальными содержаниями Cr,

Ni, Co, Ti, Ba, Sr, Mn. Для литохимических потоков рассеяния характерны повышенные содержания Nb, V, Zn, Cr, Mn, Ag, Ce, Y, Sn, Pb.

Указанные глубинные геофизические и минералогические признаки, а также тектоническая позиция свидетельствуют о перспективности выделенной площади. Она относительно плохо изучена, имеет неясные перспективы алмазоносности и рекомендуется к доизучению в первую очередь. По ландшафтно-геологической обстановке эта территория является открытой с маломощными (до 3 м) аллювиально-делювиальными покровами, и в ее пределах при крупномасштабном прогнозировании кимберлитовых трубок можно применить предложенную методику дешифрирования материалов космической съемки, апробированную на эталонных площадях Далдыно-Алакитского алмазоносного района.

В пределах выделенной прогнозной площади I очереди R-51-21-В,Г;-33-А,Б, перспективной на наличие кимберлитового поля, проведено дешифрирование материалов космической съемки LANDSAT 7 ETM+ для выявления объектов, соответствующих алмазоносным кимберлитовым телам открытого типа. Исследование проводилось по обработанным цифровым материалам КС LANDSAT 7 ETM+ в цветовой модели RGB в каналах 4 (0.76–0.90 мкм), 5 (1.55–1.75 мкм), 7 (2.08–2.35 мкм) сканированием методом «скользящего окна». В результате исследования по яркостным характеристикам выявлены объекты, аналогичные эталонным алмазоносным трубкам НИИГА и Маршрутная Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

Большинство выявленных аномалий имеет в плане изометричную форму и выделяется на космоснимке в виде овального или округлого пятна, отличающегося от фототона окружающей территории. Следует отметить, что дешифровочные признаки, характерные для кимберлитов, не являются специфическими только для них. Изометричная форма пятен могут быть вызваны и иными причинами и далеко не всегда отражают выход на поверхность кимберлитового тела. Поэтому предварительное дешифрирование новых тел дает эффект только в тех случаях, когда достаточно определено геологическими и геофизическими исследованиями установлена высокая перспективность территории на возможность их обнаружения. Для дальнейшей интерпретации выделенных аномалий были привлечены топографические карты, анализ которых в комплексе с полученными данными позволяет выделить потенциально алмазоносные участки в связи с особенностями рельефа и приуроченности выявленных объектов к зонам разрывных нарушений.

В результате изучения выделенной прогнозной площади R-51-21-В,Г;-33-А,Б, установлено 18 объектов, перспективных на наличие кимберлитовых тел, локализованных в известняках, известняковых конгломерато-брекчиях и доломитах среднего кембрия (юнкюлябит-юряхская свита C_{1-2jn}). Выявленные объекты представлены аномалиями ярко

зеленого цвета, выделяющиеся на фоне различного сочетания фиолетовых и зеленых оттенков, соответствующие предполагаемым перспективным участкам на наличие кимберлитовых тел. Площадь выявленных аномалий по результатам дешифрирования материалов космической съемки составляет от 1 до 4.55 га. С учетом околотрубочной зоны метасоматически измененных пород площадь прогнозируемой отдельной кимберлитовой трубки составит в среднем от 0.5 до 3 га.

Дальнейшая интерпретация выявленных аномалий заключалась в разбраковке выявленных объектов. Разбраковка выполнена по значениям гравимагнитных данных и по гистограммам распределения яркости в каналах 4 (0.76–0.90 мкм), 5 (1.55–1.75 мкм) и 7 (2.08–2.35 мкм). Результаты обработки участков 1-й очереди, перспективных на наличие кимберлитовых тел, для площади R-51-21-В,Г;-33-А,Б представлены на рис. 8.

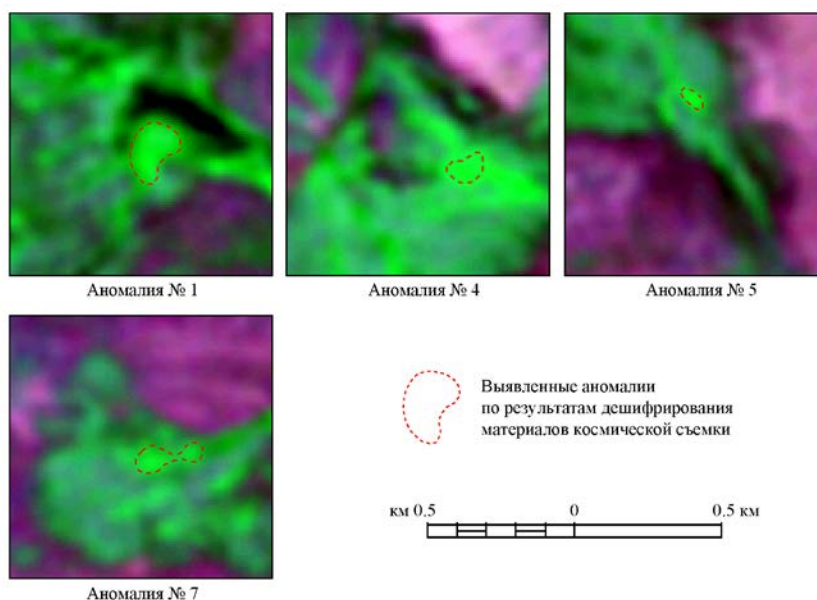


Рис. 8. Результаты обработки участков 1-й очереди, перспективных на наличие кимберлитовых тел, в цветовой модели RGB 7-го (2.08-2.35 мкм), 5-го (1.55-1.75 мкм) и 4-го (0.76-0.90 мкм) каналов KC LANDSAT 7 ETM+ для площади R-51-21-В,Г;-33-А,Б

Таким образом, в результате изучения площади R-51-20,21,32,33 установлено, что в пределах листов R-51-21-В,Г;-33-А,Б можно ожидать выявление нового кимберлитоперспективного поля (Инняхское поле), приуроченного к узлу пересечения разломов север-северо-восточного и северо-западного простирания.

Резюмируя изложенное выше, следует сделать вывод, что дешифрирование космических снимков при прогнозировании и поисках кимберлитовых тел дает максимальный эффект при предварительном изучении эталонных участков, перспективность которых установлена наземными исследованиями. Как правило, шлиховым опробованием и геофизическими работами оконтуривается район, перспективный на поиски кимберлитовых тел, однако, обнаружение и вскрытие тела в пределах даже ограниченного участка требует очень большого объема горных выработок. В таких случаях дешифрирование космических

снимков может оказать очень большую помощь и резко облегчит нахождение кимберлитового тела.

Рекомендуемые к постановке детальных работ и координаты участков, перспективных на наличие кимберлитовых тел, выявленные средствами ДЗЗ в пределах изученной поисковой площади, переданы в АК «АЛРОСА» (вх. № А01-100/1307 от 16.11.2015 г.).

Заключение

Предложен принципиально новый метод выделения алмазоносных кимберлитовых трубок на фоне вмещающих их пород на основе дешифрирования материалов многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+, позволяющий локализовать площади на перспективных участках, выделенных другими методами.

Показана эффективность применения результатов дешифрирования материалов космической съемки на основе ГИС-технологий в комплексе с геологическими, геофизическими, шлихоминералогическими данными при прогнозировании кимберлитовых месторождений алмазов, как на изученных площадях, так и на новых, плохо исследованных территориях.

На объектах Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей установлены статистически достоверные различия между алмазоносными кимберлитовыми телами и вмещающими породами в диапазонах 0.76-0.90, 1.55-1.75, 2.08-2.35 мкм КС LANDSAT 7 ETM+. Значения яркости в этих диапазонах в сочетании с гравимагнитными данными могут быть использованы в качестве информативных признаков при крупномасштабном прогнозировании алмазоносных кимберлитовых трубок открытого типа.

Для апробации предложенной методики выявления аномалий, соответствующих кимберлитовым трубкам, привлечены структурно-прогнозные схемы кимберлитолокализующих дислокаций Милашева В.А., установленные по методике структурного анализа изотропной мегатрещиноватости в Алакит-Мархинском и Далдынском кимберлитовых полях. Выявленные аномалии в пределах точек тройного сочленения кимберлитолокализующих дислокаций, обладают различными яркостными характеристиками КС LANDSAT 7 ETM+ и по-разному проявлены в гравитационном и магнитном полях. Разбраковка их по яркости и геофизическим данным позволила выявить в пределах полей новые участки, перспективные для выявления кимберлитовых трубок.

На малоизученной перспективной площади на севере Сибирской платформы, выделенной с использованием традиционного комплекса прогнозно-поисковых признаков, с учетом результатов ранее выполненных работ и рекомендаций предшественников в пределах листов R-51-21-В,Г,-33-А,Б впервые выделена площадь, соответствующая новому

перспективному кимберлитовому полю (Инняхское поле). В пределах прогнозируемого кимберлитового поля на основе предложенной методики дешифрирования материалов многозональной космической съемки LANDSAT 7 ETM+ и комплексного анализа геологических данных, материалов геофизических и шлихо-минералогических исследований с использованием ГИС-технологий в Приленском районе Лено-Анабарской субпровинции, к северо-востоку от Хорбусуонского поля, выявлены 18 локальных участков, перспективных на обнаружение потенциально алмазоносных кимберлитовых тел.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в реферируемых журналах из списка ВАК

1. **Ишмухаметова В.Т.** Исследование критериев, получаемых средствами дистанционного зондирования для выявления кимберлитовых трубок в Далдыно-Алакитском районе Якутии // Исследование Земли из космоса, 2014, № 4, С. 39–47.

2. **Ишмухаметова В.Т.** Крупномасштабный прогноз кимберлитовых трубок в Далдынском и Алакит-Мархинском полях на основе ГИС-технологий // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2015, № 5, С. 15–19.

3. **Ишмухаметова В.Т.** Прогнозирование кимберлитовых месторождений алмазов на севере Сибирской платформы на основе дешифрирования материалов космической съемки // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология, 2016, № 2.

Тезисы докладов научных конференций

1. **Ишмухаметова В.Т.** Анализ результатов космического и геофизического дистанционного зондирования для выявления кимберлитовых трубок в Далдыно-Алакитском районе Якутии // XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2014», 7-11 апреля 2014 г., Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова.

2. **Ишмухаметова В.Т.** Применение комплекса геофизических и космических методов прогнозирования кустов кимберлитовых трубок в центральной Якутии // Материалы Второй Международной конференции «Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов», 22-24 апреля 2014 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ», С. 48-50.

3. **Ишмухаметова В.Т.** Прогнозирование коренных месторождений алмазов на основе дешифрирования материалов космической съемки // XXII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2015», 13-17 апреля 2015 г., Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова.