

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДАТЧИКА ASTER ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ В ПРЕДЕЛАХ МОНГОЛИИ

Н.В. Глушкова<sup>1</sup>, Е.А. Наумов<sup>2</sup>, А.Б.Рябинин<sup>2</sup>, Г.С. Дягилев<sup>2</sup>, М.С. Нагирняк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии им. А.А.Трофимука СО РАН,  
630090 Новосибирск, пр.Коптюга 3  
E-mail: hope@uiggm.nsc.ru

<sup>2</sup>Институт геологии СО РАН  
630090 Новосибирск, пр.Коптюга 3  
E-mail: naumov@uiggm.nsc.ru

В предлагаемой работе рассматривается опыт применения многозональных космических снимков ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflector Radiometer) для выявления геологических особенностей четырех участков в пределах Монголии. Использование технологий ГИС и ДЗ позволило более точно представить геологическое строение тех территорий, на которые отсутствуют детальные геологические карты, а также значительно дополнить имеющийся картографический материал. Комплексирование космических снимков и цифровых моделей рельефа (ЦМР), построенных на основе радарных данных SRTM, позволило создать геологические схемы территорий, выявить разломные зоны.

## Введение

В настоящее время данные дистанционного зондирования (ДЗ) все большее применение находят при геологических исследованиях. Это объясняется тем, что материалы ДЗ позволяют получать информацию, которая недоступна другими методами или же ее получение требует больших затрат. В работе использовались многозональные космические снимки ASTER (пространственное разрешение 15 – 90 метров), которые имеют 14 каналов и охватывают видимый, ближний, средний и дальний инфракрасный диапазон (0.51 - 11.65 мкм), а также цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные на основе радарных данных SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Привлечение именно этих данных дистанционного зондирования объясняется тем, что многозональные данные позволяют оптимизировать геологическое картирование малоизученных территорий, вскрыть новую информацию по хорошо изученным территориям, а также решать задачи поиска контрастных геологических тел, которые не всегда выделяются в оптическом диапазоне. Объектами исследований являются четыре участка в пределах Монголии (рис. 1): район в пределах хребта Хан-Тайшири (Западная Монголия); вулканическая провинция в Хангайском нагорье (Тарягский вулканический ареал, Центральная Монголия); Южно-Гобийский золоторудный пояс (Олон-Обот, южная Гоби) и плато Дариганга (юго-востока Монголии). Из перечисленных выше участков только на одном имеются детальные геологические карты, а поэтому привлечение данных ДЗ стало весьма актуальным.

Основная цель исследования состояла в обработке методик интерпретации данных дистанционного зондирования для решения геологических задач в условиях недостаточности наземных данных.

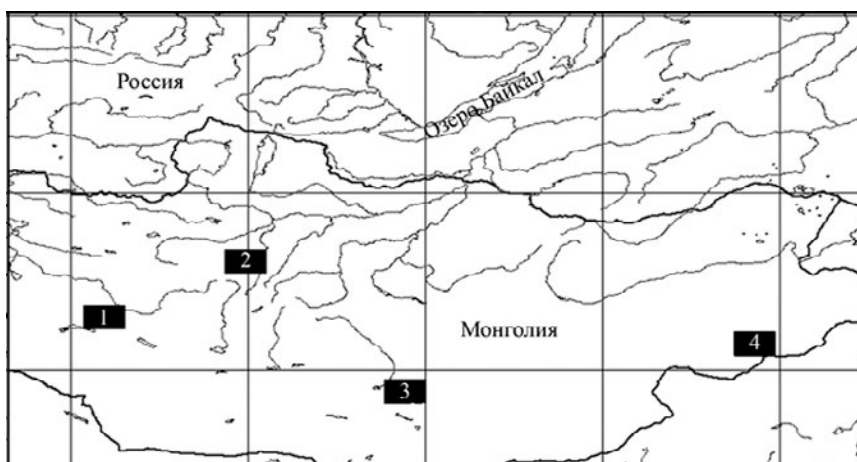


Рис. 1. Общее расположение полигонов: 1. Хан-Тайшири; 2. Тарягский вулканический ареал; 3. Олон-Обот; 4. Плато Дариганга

## Физико-географическое и геологическое описание полигонов исследования

### *Полигон в пределах хребта Хан-Тайшири*

Хребет Хан-Тайшири расположен в пределах Озёрной зоны Западной Монголии [1]. В пределах хребта развит одноимённый офиолитовый комплекс, который является одним из немногих фрагментов древних структур Центральной Азии, где в крупных тектонических пластинах прослеживается практически непрерывный разрез древней океанской коры. Параллельно структурам офиолитов прослеживается древний островодужный комплекс. Офиолиты датируются поздним вендом, а островодужные вулканиты – ранним кембрием. На данном полигоне данные ДЗ использовались для решения задачи двух задач:

1. Выяснение пространственного положения различных членов офиолитовой ассоциации.
2. Уточнение границ геологических тел, выходящих на дневную поверхность

### *Тарягский вулканический ареал*

Район исследования расположен в центральной части Монголии. На этом участке на дневную поверхность выходят голоценовые базальты, поздненеоплейстоценовые базальты, рыхлые четвертичные отложения и домезозойские образования. Здесь топографические и геологические карты дают лишь приблизительное представление о геологической структуре, сформированной базальтовыми потоками. На полигоне данные ДЗ использовались для предварительного ознакомления с территорией исследования, чтобы еще в камеральный период разработать и уточнить геологические маршруты.

### *Южно-Гобийский золоторудный пояс (Олон-Обот)*

Южно-Гобийский золоторудный пояс представляет собой протяженную металлогеническую структуру, прослеживающуюся почти на 1000 км от района горы Сайшанда через сомон Манлай, Цагт-Обо, Мандал-Обо, Баян-Лэг, Баян-Цаган и далее в структурах Гобийского Алтая. В его пределах выявлен целый ряд мелких месторождений, рудопроявлений, пунктов минерализации и шлиховых ореолов золота. Они группируются в несколько рудных или потенциально рудных районов. Наиболее значимым и детально изученным рудным районом является Олоноботский [2]. Снимки датчика ASTER на полигоне Олон-Обот использовались для решения двух задач:

1. Уточнение геологического строения района (геологических границ и тектонических нарушений);
2. Определение по спектральным характеристикам пород разных типов и выявление участков, перспективных на рудные полезные ископаемые (в частности эпитермальное золотое оруденение локализованное среди кремненных и ожелезненных известняков и флюоритовое оруденение, связанное с полями развития вулканических пород субщелочного состава).

### *Плато Дариганга*

Плато Дариганга (территория юго-востока Монголии) располагается в пределах Южно-Гобийской складчатой системы. Базальты плато перекрывают комплексы активной континентальной окраины, слагающие Южно-Гобийскую складчатую систему, а также протерозойско-раннекембрийские образования Уланульско-Тотошаньской зоны. Данные ДЗ использовались для решения трех задач:

1. Дешифрирования вулканических построек, выявления геологических особенностей территории;
2. Дешифрирование разломов;
3. Оценка возраста вулканических построек.

### *Исходные данные*

В работе использовались многозональные космические снимки ASTER и различные картографические материалы.

**Полигон в пределах хребта Хан-Тайшири.** В работе использовались геологическая карта масштаба 1:200 000, топографическая карта масштаба 1:50 000. Дата съемки космических снимков - 23 сентября 2000 года, время съемки - 04:50:23 (по Гринвичу), облачность – 2%.

**Тарягский вулканический ареал.** В работе использовались геологическая карта масштаба 1:500 000, топографическая карта масштаба 1:1000 000. Дата съемки космических снимков - 27 августа 2001 года, время съемки – 04:30:14 (по Гринвичу), облачность – 32 %.

**Южно-Гобийский золоторудный пояс (Олон-Обот).** В работе использовались геологическая карта масштаба 1:50 000. Дата съемки космических снимков – 1 мая 2003 года, время съемки – 03:59:25 (по Гринвичу), облачность – 2%.

**Плато Дариганга.** В работе использовались геологическая карта масштаба 1:500 000 и ЦМР, полученная на основе радарных данных SRTM с разрешением 30 метров и точностью по высоте 16 метров. Дата съемки космических снимков – 9 июня 2001 года, время съемки – 03:36:59 (по Гринвичу), облачность – 2%.

### Методики решения геологических задач

Как говорилось выше, основная цель исследования состояла в отработке методик интерпретации данных дистанционного зондирования для решения геологических задач. Для **выяснения пространственного положения различных членов офиолитовой ассоциации** на полигоне в пределах хребта Хан-Тайшири использовался метод максимального правдоподобия по эталонным участкам космического снимка ASTER. В работе использовались первые девять каналов (видимый, ближний ИК и коротковолновый ИК диапазоны). В результате процедуры классификации были выделены поля распространения всех элементов офиолитовой ассоциации: гипербазиты, габброиды, дайки различных генераций, лавы [3]. На основе полученной классификации создана геологическая схема, отражающая выходы перечисленных выше пород на дневную поверхность (рис. 2). При полевых работах в 2004 году на этом полигоне была проведена верификация полученных результатов. В результате проверки выявилось хорошее соответствие полученной схемы геологического строения с реальным расположением объектов.

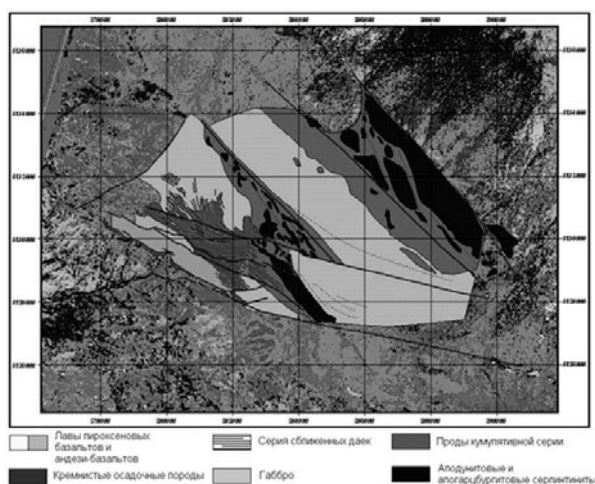


Рис. 2. Созданная схема геологического строения офиолитового комплекса

Для **разработки и уточнения геологических маршрутов** в камеральный период, а также для предварительного ознакомления с территорией Тарянского вулканического ареала проводилась классификация по первым девяти каналам космического снимка методом спектрального угла по эталонным участкам. В результате классификации были выделены области распространения голоценовых базальтов, позднеплейстоценовых базальтов, залесенные склоны дочетвертичных образований, скальные склоны дочетвертичных образований и пойменная растительность (рис. 3). Результат классификации позволил существенно уточнить картографические материалы, отражающие особенности геологического строения местности.

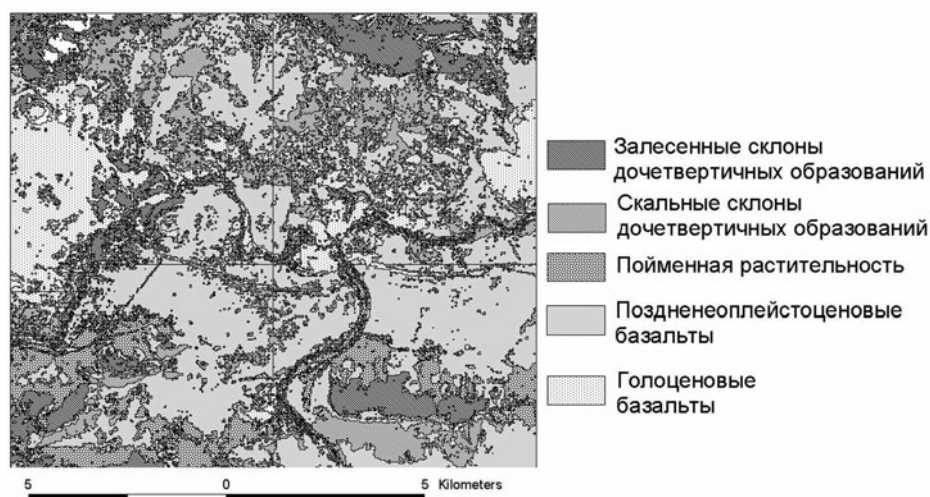


Рис. 3. Результат классификации Тарянского вулканического ареала методом спектрального угла

Для **уточнения геологического строения района** (геологических границ и тектонических нарушений) на территории Южно-Гобийского золоторудного пояса (Олон-Обот) была проведена классификация по эталонам методом спектрального угла (рис. 4). Интрузивные массивы кислого состава достаточно надежно выделились в результате классификации. Риолиты (кислые вулканические породы), по спектральным характеристикам в результате классификации достаточно хорошо отличаются от гранитов. С такими породами часто связаны месторождения F, Sr, Ba, TR. В пределах гранитоидных массивов на снимках выделяются фазы внедрения различного состава и зоны активного приконтактового изменения, что весьма важно при поиске скарновых месторождений, формирующихся в контактовой зоне гранитоидов и карбонатных или терригенных пород.

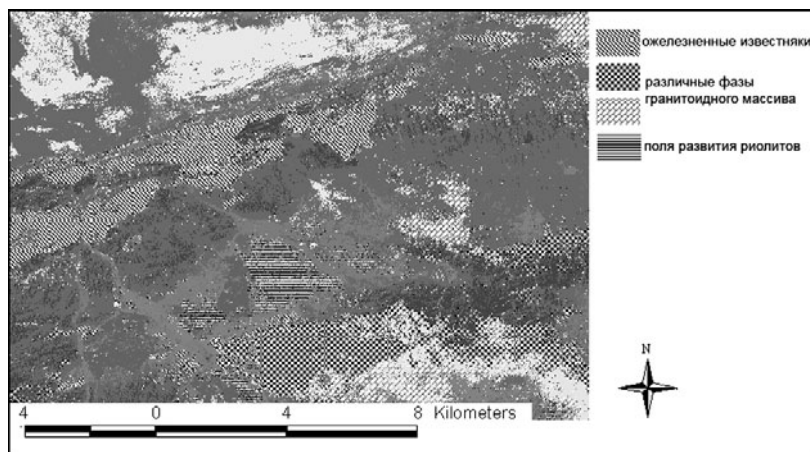


Рис. 4. Результат классификации участка Олон-Обот методом спектрального угла

Для **выявления линейных структур** (разломов, контрастных геологических границ, жильных и дайковых комплексов, систем временных водотоков) использовалось отношение 4/3 каналов (рис. 5).

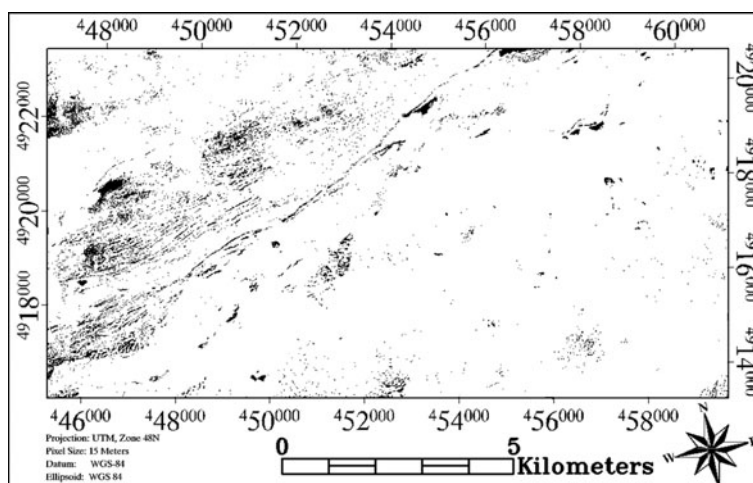


Рис. 5. Инвертированное бинарное изображение отношения каналов (4/3 канал) участка Олон-Обот. Хорошо видны линейные структуры

**Выявление участков, перспективных на эпитермальное золотое оруденение**, в первую очередь связано с поиском кремнезённых и железных известняков, а на **флюоритовое оруденение** - поиском вулканических пород субщелочного состава. Выделение на снимках перечисленных выше пород успешно было реализовано при классификации снимков методом спектрального угла. Кроме этого, для **выделения железных карбонатов** хороший результат дал метод отношения каналов. Из литературы [4] известно, что присутствие оксидов железа в почве уменьшает их отражательные свойства в видимой части спектра и увеличивает в ближней инфракрасной зоне. Таким образом, отношение каналов ближний ИК к красному (что соответствует 3/2 датчика ASTER) позволило выявить массивы железных карбонатных пород (известняков, известковых песчаников). Но при этом не удалось отличить от перечисленных выше пород гранитоидные массивы (на рис. 6 справа внизу), т.к. они имеют схожий спектр отражений. Для решения этой проблемы была использована комбинация приемов – на эталонном участке определялась наиболее характерная для данной породы спектральная кривая (рис. 7) и по наиболее контрастным пикам выяснялось, в каких диапазонах спектральные кривые имеют наибольшие различия. Далее применялся метод отношений

диапазонов. Полученное отношение (4/8 каналы) позволяет четко отличить гранитоидные и карбонатные массивы (рис. 8).

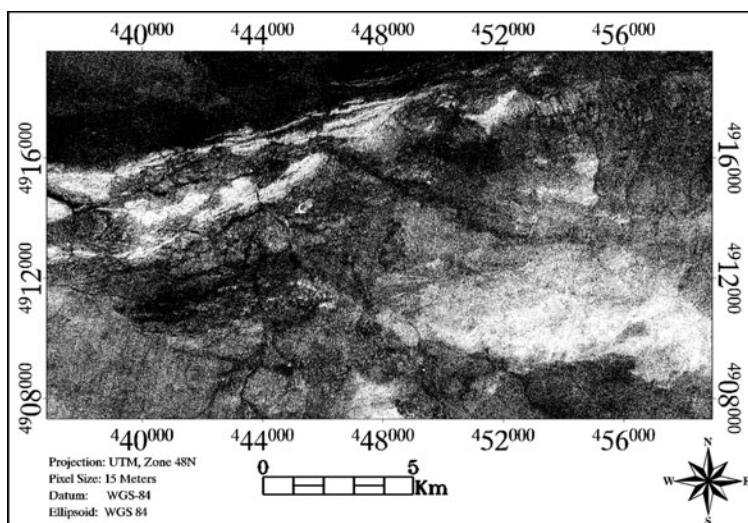


Рис. 6. Результат отношения каналов 3/2 участка Олон-Обот

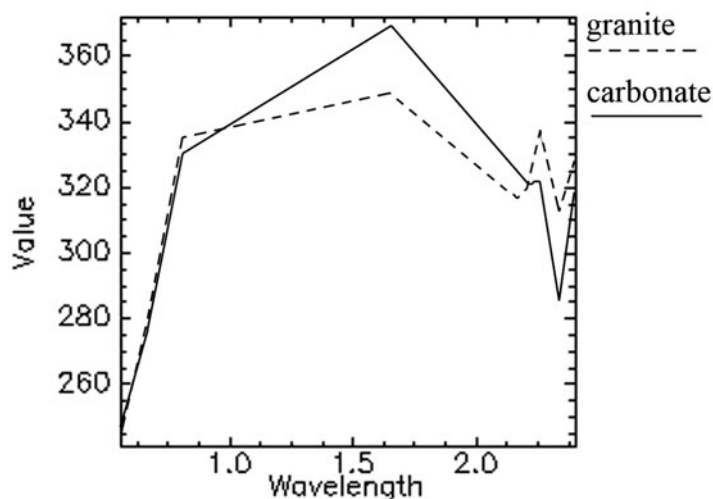


Рис. 7. Спектральные кривые известняка и гранитоидной породы

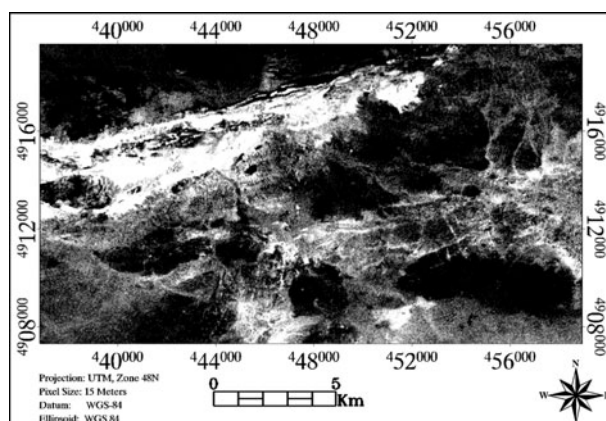


Рис. 8. Результат отношения каналов 4/8 участка Олон-Обот

Для дешифрирования вулканических построек, лавовых потоков на территории Плато Дариганга использовались дневные космические снимки и ЦМР, полученная на основе радарных данных SRTM: сопоставляя видимый диапазон снимка и теневую модель рельефа, построенную на основе ЦМР, проводилась обрисовка их границ (рис. 9).



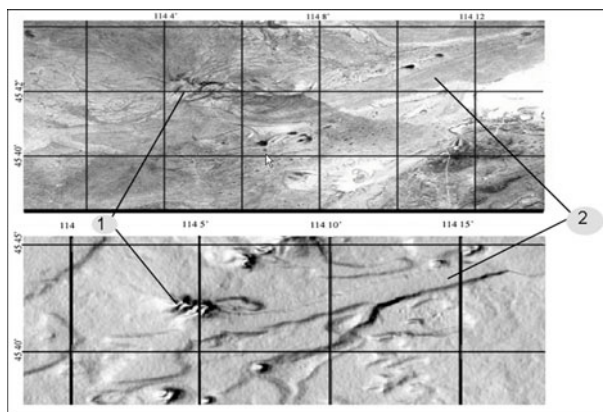


Рис. 9. Дешифрирование вулканических построек (1 - шлаковый конус, 2 - лавовый поток). Сверху – космический снимок, снизу – ЦМР

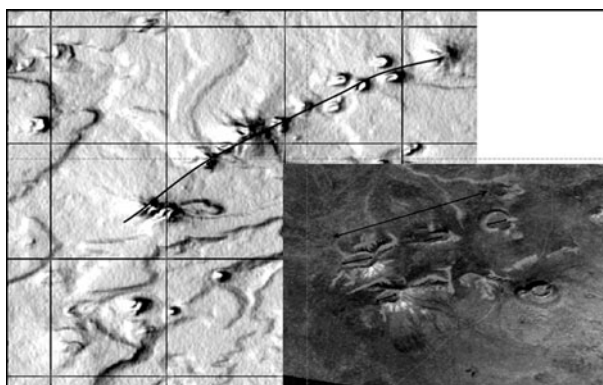


Рис. 10. Выделение разломов (территория плато Дариганга)

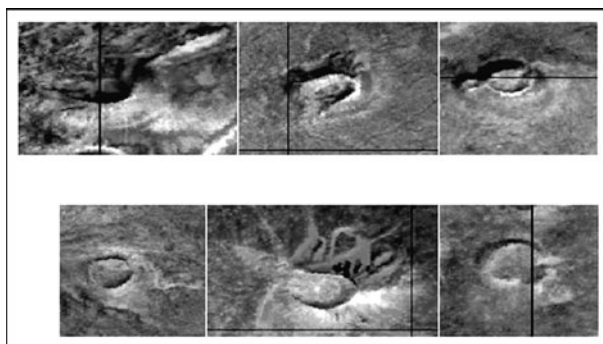


Рис. 11. Верхний ряд – более молодые постройки (в ряду – одновозрастные постройки), нижний ряд — более древние постройки

**Выделение разломов** на этой же территории основывалось на следующих принципах: ориентировка длинной оси эллипса вулканических построек, формирование ими ориентированных цепочек, соотношение потоков близрасположенных вулканов (рис. 10).

Оценка **сравнительной степени деградации вулканических конусов** проводилась на основании эродированности конусов, т.е. сравнения крутизны внутренних и внешних склонов шлакового конуса и степени эродированности верхней кромки шлакового конуса (рис. 11).

## Выводы

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что с помощью различных видов классификаций данных дистанционного зондирования можно уточнить границы геологических тел, выходящих на дневную поверхность. Так, методом максимального правдоподобия было определено пространственное положение различных членов офиолитовой ассоциации (в частности, области распространения гипербазитов, габброидов, даек различных генераций, лав). Методом спектрально-углового анализа определены области распространения голоценовых базальтов, позднелепистоценовых базальтов, залесенные склоны дочетвертич-

ных образований, скальные склоны дочетвертичных образований и пойменная растительность. Это позволило еще в камеральный период разработать и уточнить геологические маршруты, что значительно сократило время на рекогносцировочных маршрутах. Также методом спектрального угла удалось выделить участки окремненных и ожелезненных известняков (которые связаны на районе исследования с поиском участков, перспективных на эпитермальное золотое оруденение), и риолиты – субщелочные кислые вулканические породы (связанные с флюоритовым оруденением).

Метод отношения каналов позволил четко отличить гранитоидные и карбонатные массивы, а также выделить линейные структуры (разломов, контрастных геологических границ, жильных и дайковых комплексов, систем временных водотоков).

Визуальное дешифрирование позволило выявить вулканические постройки, лавовые потоки, оценить их относительный возраст, выявить разломы.

Кроме этого, из результата исследования следует, что при работе с данными дистанционного зондирования нельзя обойтись без предварительного знания геологии района (необходимо знать локализацию тех или иных пород для того, чтобы правильно подобрать эталонные участки). Как говорилось выше, в работе использовались **многозональные** космические снимки, а поэтому в процессе обработки материалов напрашивался вопрос об использовании спектральных библиотек. Имеющиеся в открытом доступе спектры пород, к сожалению, неприемлемы для использования, поскольку они сняты для эталонных участков территорий Канады и США. В силу того, что геологические условия формирования пород изучаемых территорий отличаются от указанных эталонов, нельзя было применить их спектры. Именно поэтому, для анализа многозональных данных в спектральном домене с использованием спектральных библиотек, необходимо сперва провести полевые замеры спектрометром, что в нашем случае не было сделано из-за недоступности оборудования. Несмотря на это, метод спектрального анализа (метод спектрального угла) был применен по эталонным спектральным кривым, взятых со снимка. В некоторых случаях (в частности, для полигонов Тарятский вулканический ареал и Олон-Обот) результат классификации показал лучший результат, чем какой-либо из статистических методов.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность использования многозональных космических снимков ASTER и ЦМР для геологических задач. Только следует заметить, что все изученные полигоны находятся в аридной климатической зоне, где покровные отложения слабо развиты, а растительный покров угнетен, т.е. районы максимально пригодны для использования данных дистанционного зондирования. Работа выполнена при поддержке РФФИ №05-05-64704, ВМТК №1743. Снимки ASTER предоставлены центром ERSDAC по программе ASTER ARO (AP-321).

## Литература

1. *Рябинин А.Б.* Анализ геологического строения Хантайширского офиолитового комплекса (Западная Монголия) на основе использования технологий ГИС и ДЗ // Материалы XLII международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Геология. Новосибирск: Новосиб. гос. Ун-т., 2004. – 199 с.
2. *Наумов Е.А., Боровиков А.А., Задорожный М.В., Сухоруков В.П., Делгермаа.* Золотое оруденение Южно-Гобийского рудного пояса (Монголия) и физико-химические условия его формирования. Строение литосферы и геодинамика: Материалы XX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск: ИЗК СО РАН 2003, с.161-163.
3. *Глушкова Н.В., Баландис В.А., Мартысевич У.В., Дягилев Г.С., Рябинин А.Б.* Опыт обработки многозональных данных дистанционного зондирования для различных геоландшафтных и геологических задач // ENVIROMIS 2004, Тезисы Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Томск: Издательство Томского ЦНТИ, 2004 г. С.43-44.
4. *Смирнова И.О., Русанова А.А.* ГИС-технологии обработки и интерпретации материалов дистанционного зондирования для изучения тектонических критериев размещения месторождений углеводородов // Отечественная геология. – 1999. №6. – С. 32-40.