

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ТЕРМОЭРОЗИЕЙ, В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

А.В. Абросимов (Компания «Совзонд»)

В 1992 г. окончил географический факультет Удмуртского государственного университета по специальности «география». Работал руководителем вузовско-академической лаборатории Курганского государственного университета и Института географии РАН. В настоящее время — заместитель главного инженера компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

О.С. Сизов (Компания «Совзонд»)

В 2005 г. окончил Алтайский государственный университет. С 2010 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — инженер тематической обработки данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

При осуществлении всех видов деятельности, обеспечивающих недропользование в районах Крайнего Севера, включая геологоразведочные, проектно-изыскательские, строительные и эксплуатационные работы, приходится сталкиваться с серьезными трудностями в связи с почти полным отсутствием актуальной и точной геопро пространственной информации.

Парадокс состоит в том, что именно на территориях Крайнего Севера, для которых характерны сложные условия недропользования, информация такого рода крайне необходима для обеспечения промышленной, трудовой и экологической безопасности в процессе освоения и эксплуатации месторождений. Наличие качественной геопро пространственной информации, включающей информацию о явлениях и объектах, критически важных в процессе освоения и эксплуатации месторождений, безусловно позволяет значительно повысить уровень безо-

пасности, серьезно снизить трудовые, временные и финансовые затраты и обеспечить экономии средств.

Вопросы создания геопро пространственной информации с применением космических снимков подробно рассматривались авторами статьи на примере работ, выполненных компанией «Совзонд» на Чаяндинском лицензионном участке (Республика Саха (Якутия)) по заказу ООО «Газпром нефть шельф» (см. Геоматика. — 2011. — № 1(10). — С. 63–67).

Необходимость актуальной геопро пространственной информации, в частности, обусловлена тем, что в ходе масштабной деятельности по добыче нефти и газа неустойчивые тундровые и лесотундровые ландшафты подвергаются активному воздействию, что приводит к их деградации, затрудняет эту деятельность и ведет к рискам для созданных объектов инфраструктуры.

Следует отметить, что слабая устойчивость для большинства

территорий вызвана рядом условий, среди которых:

1. Климатические — глобальные изменения средних годовых температур особенно ярко проявляются в северных регионах. Зачастую именно естественные температурные колебания являются первопричиной развития различных генетически связанных эрозионных процессов.

2. Геоморфологические — широкое развитие многолетней мерзлоты способствует формированию своеобразных криогенных рельефообразующих процессов, которые осложняются другими видами эрозии.

3. Гидрологические — в условиях переувлажнения формируется крайне обширная, разветвленная, гидрографическая сеть с высокими показателями водности и сложным гидрологическим режимом водотоков и озер.

4. Гидрогеологические — малые перепады относительных высот и отсутствие дренирования приводят к обширному за-

болачиванию территорий. В итоге формируются болота разных типов, а при наличии мерзлых пород (в большинстве случаев) это провоцирует крайнюю неустойчивость грунтов.

5. Почвенно-растительные — даже незначительные механические воздействия в тундровой зоне приводят к нарушению маломощного почвенно-растительного покрова, который характеризуется слабым естественным потенциалом самовосстановления.

Перечисленные условия во взаимосвязи существенно затрудняют хозяйственную деятельность. Среди основных

сложностей освоения территорий можно назвать следующие:

- плохую проходимость территории (в том числе ограничения на передвижения в летний период), сложную логистику техники и оборудования на этапах геологоразведки, инженерных изысканий и первичного освоения;

- высокие требования к промышленной и экологической безопасности (угрозы жизни и здоровью людей, потеря техники, природный ущерб и т. д.) как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации;

- высокие риски возникновения аварийных ситуаций, которые связаны с агрессивностью среды и сложностью прогноза последствий антропогенного воздействия на компоненты природной среды.

Таким образом, изменчивость природных условий и опасность развития эрозионных процессов необходимо учитывать как при проектировании, так и в ходе эксплуатации уже существующих объектов.

Целью проведенной работы являлась разработка методики дистанционной оценки термоэ-

розионной опасности как вероятности активизации экзогенных процессов в зоне многолетней мерзлоты под влиянием климатических изменений.

В традиционной трактовке под термоэрозией понимают тепловое и механическое воздействие текущей воды на многолетнемерзлые горные породы. Определяющими факторами развития термоэрозии являются температура многолетнемерзлых пород, литологический состав, льдистость грунтов, форма залегания подземного льда, особенности криотекстуры и пр.

В то же время очевидно, что воздействие температурных колебаний приводит не только к увеличению мощности сезонного стока, объема поверхностного стока и эрозионного врез долины сети. При повышении (понижении) среднегодовых температур воздуха значительно меняется весь комплекс криогенно-эрозионных процессов на территории, включая термокарст, термоабразию, солифлюкцию и т. д.

В связи с этим под термоэрозией авторы понимают все экзогенные процессы, для которых основным условием возникновения является изменение температурного режима. Соответственно, понятие «термоэрозионная опасность» характеризует не только вероятность активизации, но и устойчивость того или иного процесса к температурным колебаниям.

Территория проведения работ располагалась в Таймырском районе Красноярского края и включала ряд лицензионных участков нефтегазодобычи, находящихся на ранней стадии освоения (рис. 1).

В ходе работ на всю рассматриваемую территорию общей площадью около 3100 км² была выполнена высокодетальная съемка с КА WorldView-2 (DigitalGlobe, США) в четырех



Рис. 1
Местоположение района работ

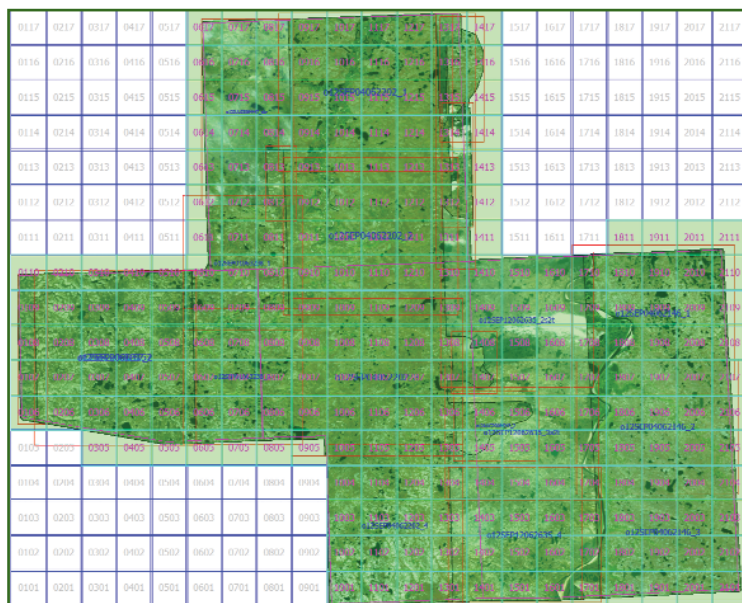


Рис. 2
Ортомозаика из космических снимков WorldView-2 на лицензионные участки с нарезкой на фрагменты

спектральных каналах. Полученные изображения (снимки) с пространственным разрешением 0,5 м/пиксель были орто-трансформированы без применения наземных опорных точек, после чего на их базе создали бесшовное мозаичное изображение в двух вариантах синтеза: в естественных цветах и с использованием ближнего инфракрасного канала (спектральный диапазон длин волн 0,77–1,04 мкм) (рис. 2).

Для разработки методики оценки термоэрозионной опасности была выбрана территория площадью 420 га (2,8x1,5 км), которая характеризовалась максимальным разнообразием мерзлотных и эрозионных процессов, встречающихся в подзоне южной тундры Красноярского края. Она располагается в центральной части Восточно-Пендомаяхского лицензионного участка (68°42'10" с. ш., 83°22'20" в. д.) (рис. 3, 4). Абсолютные высоты имеют значения от 27 до 60 м, рельеф — полого-волнистый, расчлененность — средняя. С севера на юг территорию пересекает река Токачья — левый приток реки Большая Хетта.

На подготовительном этапе работ в пределах исследуемого участка были определены все виды мерзлотных и эрозионных процессов. На основе эталонной базы данных, накопленной в компании «Совзонд» для различных районов Крайнего Севера, были установлены ключевые (прямые и косвенные) признаки дешифрирования для каждого из следующих процессов:

— солифлюкционные процессы (солифлюкция, оползание (сплывание));

— водно-денудационные процессы (ручейковая и плоскостная эрозия, речная эрозия (четковидные долины), эрозия временных и постоянных водотоков, овражная эрозия, береговая эрозия озер);

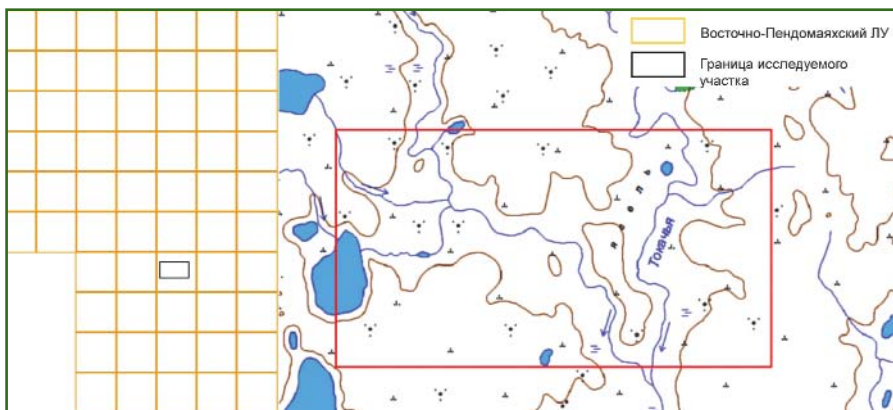


Рис. 3
Расположение исследуемого участка

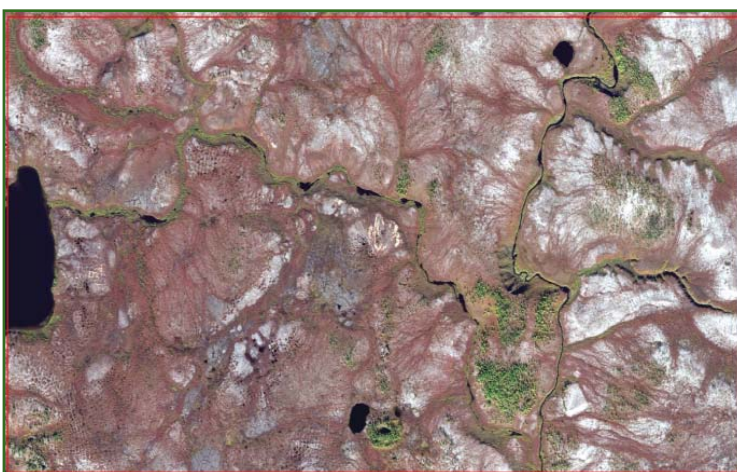


Рис. 4
Участок работ (космический снимок WorldView-2, синтез в естественных цветах)

Потенциальная активность мерзлотных и эрозионных процессов в баллах

Таблица 1

Мерзлотные и эрозионные процессы	Активность
Аласовидные понижения	1
Береговая эрозия озер	2
Дефляция	4
Морозобойное растрескивание	3
Овражная эрозия	5
Оползание (сплывание)	3
Речная эрозия (четковидные долины)	2
Ручейковая и плоскостная эрозия	3
Солифлюкция	3
Термокарст	3
Термоэрозия (комплексное воздействие)	1
Участки без проявления эрозии	0
Участки торфонакопления	0
Эрозия временных и постоянных водотоков	4

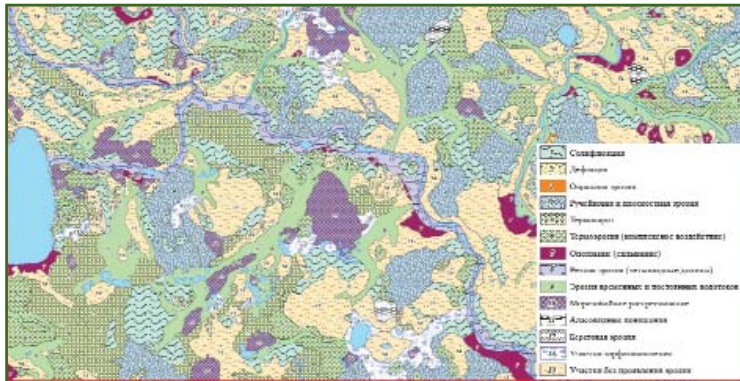


Рис. 5
Карта преобладающих экзогенных процессов

— мерзлотные процессы (термоэрозия (комплексное воздействие), термокарст, морозобойное растрескивание, аласовидные понижения);

— аккумулятивные процессы (участки торфонакопления);

— процессы ветровой эрозии (дефляция).

В дальнейшем, согласно разработанной методике, составлялись карты термоэрозионной опасности. Процесс составления включал в себя несколько этапов. Остановимся более подробно на каждом из них.

1. Разбиение территории на элементарные участки с преобладающим типом эрозии. Выявление объектов выполнялось с помощью методов экспертного визуального дешифрирования. Помимо космических снимков и эталонных признаков дешифрирования использовались дополнительные материалы — топографическая основа и ретроспективная съемка с меньшим разрешением, цифровая модель рельефа, индексные изображения. Это позволило минимизировать возможные ошибки классификации.

Для каждого объекта в качестве атрибутивной информации присваивался не только тип ведущего процесса, но и значение потенциальной активности по шкале от 0 до 5 баллов (табл. 1). Наименее активны участки торфонакопления и во-

дораздельные пространства без признаков эрозии. Наибольшей активностью характеризуется овражная эрозия. Результатом данного этапа стала карта преобладающих типов экзогенных процессов (рис. 5). Представленные на ней контуры отражают максимально подробную пространственную дифферен-

циацию территории. На следующих этапах происходило только укрупнение этих контуров.

2. Разбиение территории на структурные элементы рельефа. На этом этапе каждому элементу присваивалось значение эрозионного потенциала (по шкале от 1 до 5 баллов), которое основано на величине уклона земной поверхности (табл. 2). Соответственно, наиболее высоким потенциалом характеризуются крутые склоны (более 15°), а минимальным — пойменные участки. Результатом этого этапа стала карта структурных элементов рельефа заданной территории (рис. 6).

3. Определение преобладающей экспозиции для выявленных участков склонов на основе цифровой модели рельефа. При этом склонам южной экспозиции, как наибо-

Эрозионный потенциал эрозионных форм рельефа в баллах

Таблица 2

Рельеф	Эрозионный потенциал
Водоразделы	3
Выровненные участки	2
Высокая пойма	1
Крутые склоны	5
Низкая пойма	1
Пологие склоны	3
Склоны средней крутизны	4
Эрозионная сеть	5

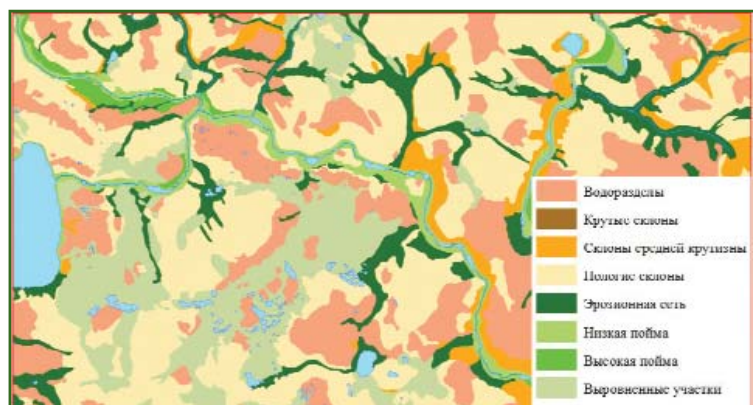


Рис. 6
Карта структурных элементов рельефа

лее подверженным процессам термоэрозии в условиях изменения климатических показателей, присваивался дополнительный балл опасности (рис. 7), а для склонов остальных экспозиций значение не менялось.

4. Создание итоговой карты термоэрозионной опасности.

На заключительном этапе для каждого элементарного участка проводилось суммирование полученных ранее баллов. По результатам суммирования формировалась итоговая карта (рис. 8) и сводная таблица термоэрозионной опасности. При этом значения в баллах изменялись от 1 до 10.

Полученная таким образом карта содержит интегральное значение термоэрозионной опасности, которое определяется активностью и эрозионным потенциалом основных экзогенных процессов, а также экспозицией склонов.

Развитие предложенной методики возможно в направлении комплексного анализа данных дистанционного зондирования и результатов инженерно-геологических изысканий, поскольку актуальные (на момент проведения космической съемки) значения основных характеристик многолетнемерзлых пород позволят уточнить результаты дешифрирования и провести дробную дифференциацию территории.

В целом можно выделить два направления практического использования разработанной методики.

1. При планировании строительных работ, а также при экстраполяции результатов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Точная информация о специфике протекающих на каждом участке процессов эрозии позволит избежать аварийных ситуаций и дополнительных расходов, связанных с ремонтными работами. совме-



Рис. 7

Карта выявленных участков склонов южной экспозиции

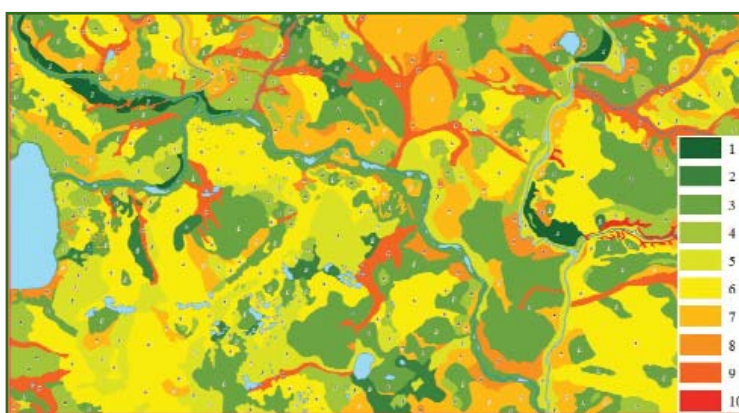


Рис. 8

Итоговая карта термоэрозионной опасности

щение результатов точечных полевых работ с данными дистанционного зондирования даст возможность экстраполяции выводов о специфике природных условий на всю территорию промышленной деятельности, т. е. для каждого участка может быть получена достоверная информация без необходимости дополнительных полевых работ.

2. При проведении экологического и промышленного мониторинга в процессе освоения и эксплуатации месторождения. Особенность мерзлотных процессов в зоне тундры заключается в том, что в условиях неустойчивого равновесия и постепенного роста среднегодовых температур любое антропогенное вмешательство приводит к резкой активизации всех процессов эрозии, особенно солифлюкции, термокарста и

линейной эрозии. Поэтому периодические дистанционные наблюдения по выявлению эрозионной динамики позволят уверенно и заблаговременно выявлять проблемные участки и оперативно принимать меры по недопущению аварийных и экстренных ситуаций.

RESUME

It is noted, that for preventing natural risks urgent geospatial information is necessary during both field development and exploitation. The technique developed by the authors for remote estimate of the probability of the thermal erosion hazard caused by the activation of exogenous processes in the permafrost zone under the influence of the climate changes is described in detail. In conclusion, the directions of the practical use of the developed technique are given.