

**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» инженером тематической обработки данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

# Дистанционное геопространственное информационное обеспечение недропользования в условиях Крайнего Севера: предотвращение рисков, связанных с термоэрозией

Осуществление всех видов деятельности, обеспечивающих недропользование в районах Крайнего Севера, включая геолого-разведочные, проектно-изыскательские, строительные, эксплуатационные работы, сталкивается с серьезными трудностями в плане почти полного отсутствия актуальной, точной геопространственной информации.

Парадокс состоит в том, что именно на территориях Крайнего Севера, для которых характерны сложнейшие условия недропользования, информация такого рода крайне необходима для обеспечения промышленной, трудовой и экологической безопасности в процессе освоения и эксплуатации месторождений. Наличие качественной геопространственной информации, включающей информацию о явлениях и объектах, критически важных в процессе освоения и эксплуатации месторождений, безусловно, позволяет значительно повысить уровень безопасности, серьезно снизить трудовые, временные и финансовые затраты в ходе освоения месторождений и обеспечить экономии средств в ходе их эксплуатации.

Вопросы создания такой геоосновы с применением современных космических снимков уже

подробно рассматривались нами на примере работ, выполненных компанией «Совзонд» на Чаяндинский лицензионный участок (Республика Саха (Якутия) по заказу ООО «Газпром нефть шельф» (см. — Геоматика. — 2011. — №1(10), С. 63–67).

Необходимость использования актуальной геоосновы, в частности, обусловлена тем, что в ходе масштабной деятельности по добыче нефти и газа подвергаются активному воздействию неустойчивые тундровые и лесотундровые ландшафты, деградация которых в дальнейшем затрудняет саму эту деятельность и ведет к рискам для созданной инфраструктуры.

Слабая устойчивость для большинства территорий вызвана рядом условий, которые можно разделить на 5 классов:

1. Климатические — глобальные изменения среднегодовых 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 развитию 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 заболачиванию 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 можно назвать:

1. Плохую проходимость территории (в том числе ограничения на передвижения в летний период), сложную логистику техники и оборудования на этапах геологоразведки, изысканий и первичного освоения.

2. Высокие требования к безопасности (угрозы жизни и здоровью людей, потеря техники, природный ущерб и т. д.) как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации.

3. 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 термоэрозионной 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 многолетне-

мерзлых 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 сезонно-талого слоя, объема поверхностного стока и эрозионного вреза долинной 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 в данной работе под термоэрозией понимаются 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 расположена в Таймырском районе Красноярского края и включает ряд лицензионных участков нефтегазодобычи, находящихся на ранней стадии освоения (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение района работ

В ходе работ на всю рассматриваемую территорию общей площадью около 3100 кв. км была выполнена высокоточная космическая съемка со спутника WorldView-2 (DigitalGlobe, США) (рис. 2). Полученные 4-канальные снимки с пространственным разрешением 0,5 м/пикс. ортотрансформировались без применения наземной опорной информации, после чего на их базе создавалось бесшовное мозаичное изображение в двух вариантах синтеза: в естественных цветах и с использованием ближнего инфракрасного канала (рис. 3).

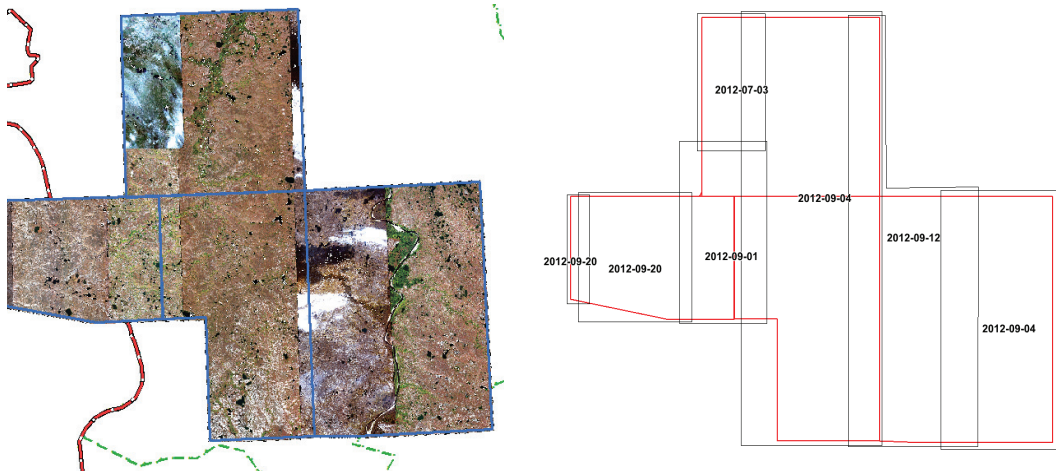


Рис. 2. Схема покрытия лицензионных участков космической съемкой WorldView-2

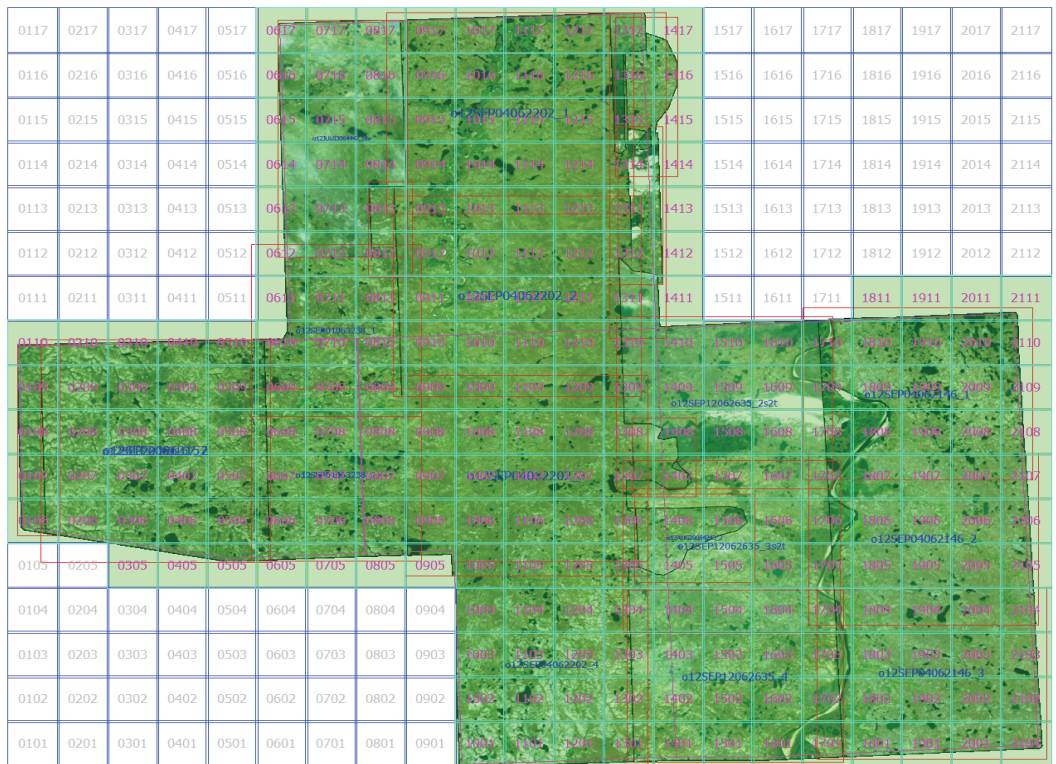


Рис. 3. Ортомозаика на лицензионные участки с порезкой на фрагменты

В качестве модельного района для разработки методики термоэрозионной опасности была выбрана территория площадью 440 га (2,8х1,5 км), которая характеризуется максимальным разнообразием мерзлотных и эрозионных процессов, встречающихся в подзоне южной тундры Красноярского края.

Модельный район располагается в центральной части Восточно-Пендомаяхского лицензионного участка (68°42'10" с. ш., 83°22'20" в. д.) (рис. 4, 5). Абсолютные высоты изменяются в пределах от 27 до 60 м, рельеф пологоволнистый, расчлененность средняя. С севера на юг территорию пересекает река Токачья — левый приток реки Большая Хетта.

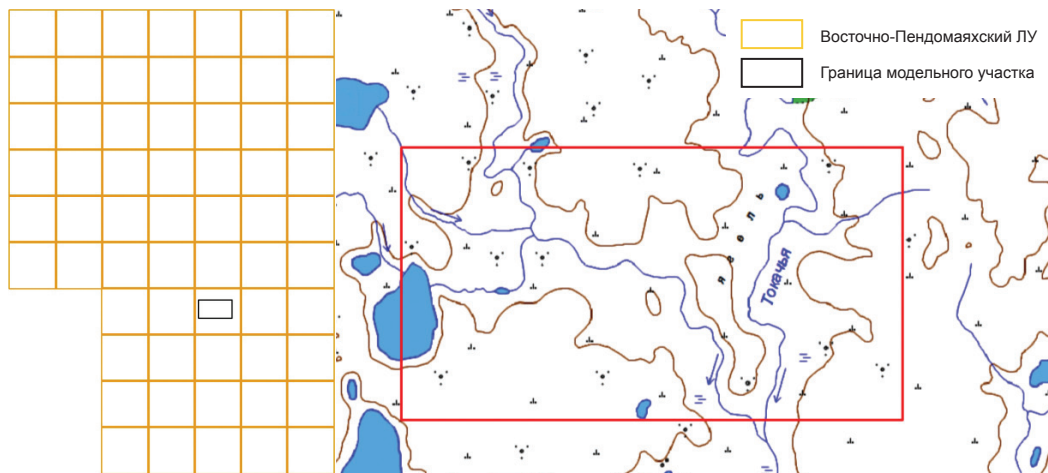


Рис. 4. Расположение модельного участка

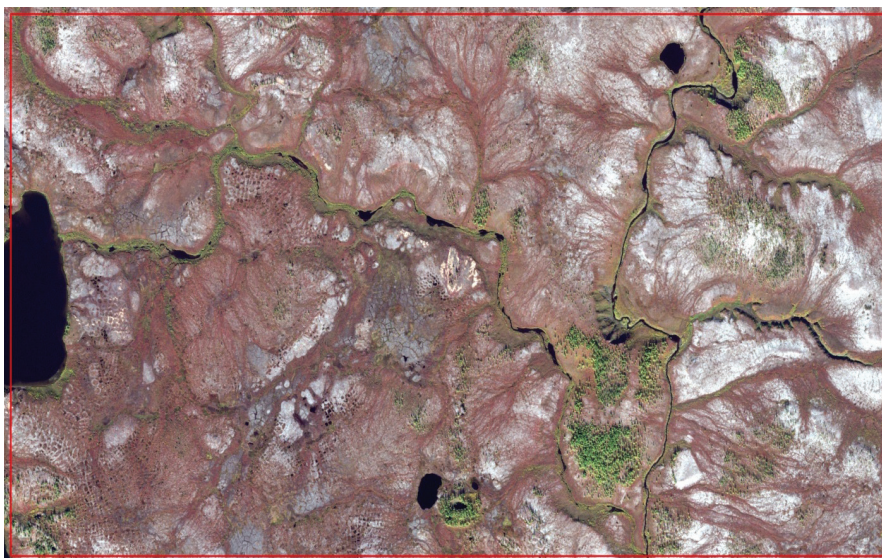
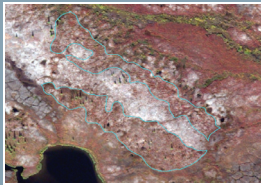

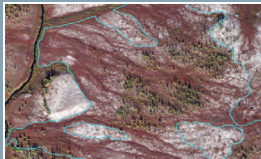

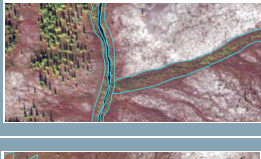
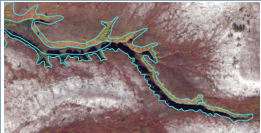


Рис. 5. Участок работ, космический снимок WorldView-2 (синтез в естественных цветах)

На подготовительном этапе работ в пределах исследуемого участка были определены все виды мерзлотных и эрозионных процессов. Далее на основе эталонной базы данных, накопленной в компании «Совзонд» для различных районов

Крайнего Севера, были установлены ключевые (прямые и косвенные) признаки дешифрирования для каждого вида процессов. Краткое описание процессов и примеры эталонов дешифрирования представлены в табл. 1.

№	Виды мерзлотных и эрозионных процессов	Характеристика	Космический снимок (на примере модельного участка)
<b>Солифлюкционные процессы</b>			
1	Солифлюкция	Течение увлажненных грунтовых масс по склонам, развивающееся в результате повторяющегося промерзания — протаивания (режелации). Наиболее активна на склонах средней крутизны (8–15°). При техногенном воздействии солифлюкция активизируется, переходя из медленной формы в быструю. Проектирование и строительство сооружений на склонах требует специального изучения условий развития солифлюкции	
2	Оползание (сплывание)	Перемещение по разжиженным грунтам вниз по склону целых участков поверхностного слоя, в результате чего образуются специфические формы с разрывами сплошности поверхностного слоя и с аккумулятивными валами ниже этих разрывов	
<b>Водно-денудационные процессы</b>			
3	Ручейковая и плоскостная эрозия	Тип водной эрозии почвы, выражающийся в сравнительно равномерном ее смыве мелкими струями талых и дождевых вод (струйчатая, ручейковая эрозия почв)	
4	Речная эрозия (четковидные долины)	Процесс формирования чередующихся округлых озеровидных расширений и участков сужения русла. Такое строение русел объясняется более интенсивным вытаиванием жильного льда в узлах решетки полигональных трещин, которое приводит к формированию в русле глубоких и широких термокарстовых котловин	
5	Эрозия временных и постоянных водотоков	Процесс формирования речных долин и долинообразных понижений в результате эрозионной деятельности воды	
6	Овражная эрозия	Процесс линейного размыва временными водными потоками поверхности склонов, днищ балок и суходолов, берегов рек, приводящий к образованию и развитию оврагов и расчленению ими территории	

>> продолжение таблицы...



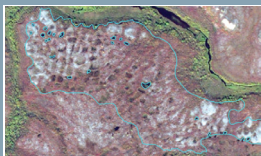
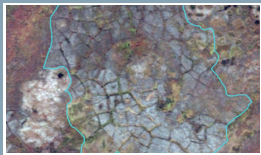
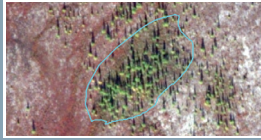

7	Береговая эрозия озер	Процесс механического разрушения волнами и течениями коренных пород. Особенно интенсивно абразия проявляется у самого берега под действием прибоев	
<b>Мерзлотные процессы</b>			
8	Термоэрозия (комплексное воздействие)	Тепловое и механическое воздействие на мерзлые горные породы и лед, в результате чего происходит вытаивание ледяных жил и формирование полигональных термоостанцов. Термоостанцы обычно приурочены к возвышенным местам и водоразделам, территория в результате термоэрозии приобретает характер пологоувалистой. Разрушаемые склоны со временем подвергаются процессам медленной солифлюкции	
9	Термокарст	Процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда; просадки земной поверхности, образующиеся при протаивании льдистых пород и вытаивании подземного льда. В результате образуются воронки, провалы, аласы, напоминающие карстовые формы рельефа	
10	Морозобойное растрескивание	Образование и рост трещин в породах при понижении температуры пород ниже 0 °С. Развито практически повсеместно в районах с глубоким сезонным промерзанием пород и особенно в области распространения вечномерзлых пород. Приводит к образованию характерного полигонального рельефа («полигональные тундры»)	
11	Аласовидные понижения	Плоские округлые понижения (зачастую с озерами на дне) в районах распространения многолетнемерзлых горных пород, образующиеся в результате термокарста. Площадь аласов — от десятков и сотен кв. м до нескольких кв. км, глубина — 15–30 м. В пределах модельного участка на пологих склонах и водоразделах формируются аласовидные понижения	
<b>Аккумулятивные процессы</b>			
12	Участки торфонакопления	Процесс формирования болот (преимущественно верховых) при застаивании поверхностных вод на плоских понижениях водоразделов, подстилаемых водонепроницаемыми мерзлыми породами	
<b>Процессы ветровой эрозии</b>			
13	Дефляция	Процесс эрозии горных пород и почв минеральными частицами, приносимыми ветром. Дефляция широко развита в северных районах на песчаных водоразделах и дренированных участках террас. В результате дефляции формируются котловины выдувания, достигающие в диаметре нескольких сотен метров	

Табл. 1. Характеристика выявленных видов мерзлотных и эрозионных процессов

Непосредственно составление карты термо-эрозионной опасности, согласно разработанной методике, включает в себя несколько этапов.

1. Разбиение территории на элементарные участки с преобладающим типом эрозии. Выявление объектов выполняется с помощью методов экспертного визуального дешифрирования. Помимо основных космических снимков и эталонных признаков, используются дополнительные материалы — топографическая основа и ретроспективная съемка меньшего разрешения, цифровая модель рельефа, индексные изображения. Это позволяет минимизировать возможные ошибки классификации.

Для каждого объекта в качестве атрибутивной информации присваивается не только тип ведущего процесса, но и значение потенциальной активности по шкале от 0 до 5 (табл. 2). Наименее активны участки торфонакопления и водораздельные пространства без признаков эрозии. Наибольшей активностью характеризуется овражная эрозия. Результатом работ на данном этапе является карта преобладающих типов экзогенных процессов (рис. 6). Полученное контурное покрытие отражает максимально дробную пространственную дифференциацию территории, и на следующих этапах изменения будут происходить только в сторону укрупнения объектов.

2. На втором этапе проводилось разбиение территории на структурные элементы рельефа. При этом каждому элементу присваивалось значение эрозионного потенциала (по шкале

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

Табл. 2. Потенциальная активность мерзлотных и эрозионных процессов

от 1 до 5), которое основано на величине уклона поверхности (табл. 3). Соответственно наиболее высоким потенциалом характеризуются крутые склоны (более 15°), а минимальным потенциалом — пойменные участки. Результатом второго этапа является карта структурных элементов рельефа заданной территории (рис. 7).

3. Следующий этап состоит в том, что для выявленных участков склонов на основе цифровой модели рельефа определялась

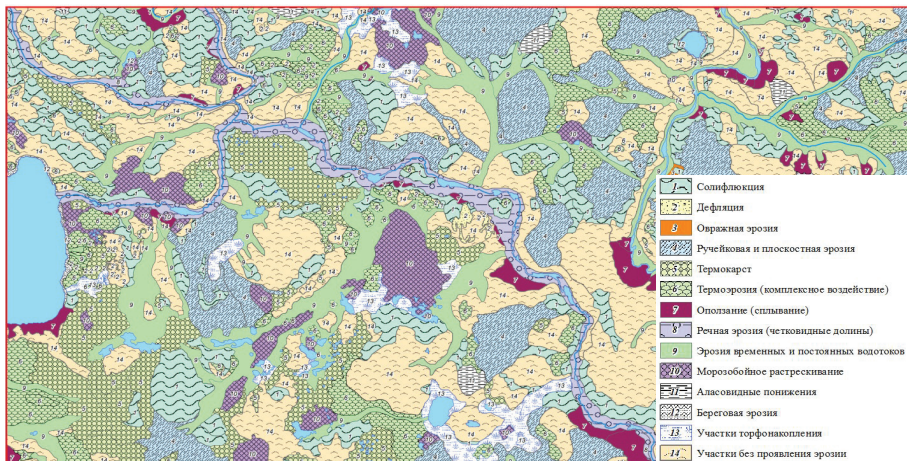


Рис. 6. Карта преобладающих экзогенных процессов

преобладающая экспозиция (рис. 8). При этом склонам южной экспозиции, как наиболее подверженным процессам термоэрозии в условиях изменения климатических показателей, присваивался дополнительный балл опасности, а для склонов остальных экспозиций значение не менялось.

4. На заключительном этапе для каждого элементарного участка проводилось суммирование полученных ранее баллов. По результатам суммирования формируются итоговая карта и сводная таблица термоэрозионной опасности (рис. 9). При этом значения в баллах изменяются от 1 до 10.

Таким образом, полученная карта содержит интегральное значение термоэрозионной опасности, которая определяется активностью и эрозионным потенциалом основных экзогенных

процессов, а также экспозицией склонов.

Развитие предложенной методики возможно в направлении комплексного анализа дистанционных данных 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. Использование полученной тематической информации при проектировании 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. Совмещение же результатов точечных полевых работ с дистанционными данными 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. Использование полученной тематической информации при проведении экологического

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

Табл. 3. Эрозионный потенциал эрозионных форм рельефа

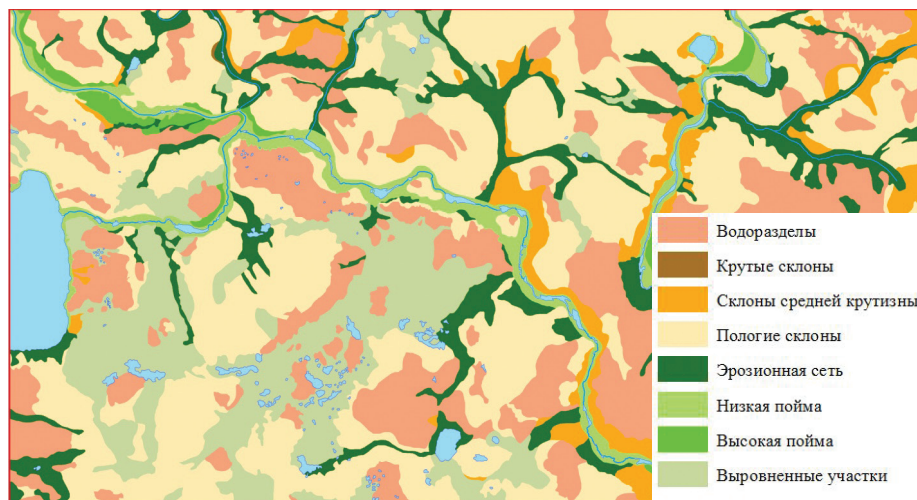


Рис. 7. Карта структурных элементов рельефа





Рис. 8. Карта выявления склонов южной экспозиции

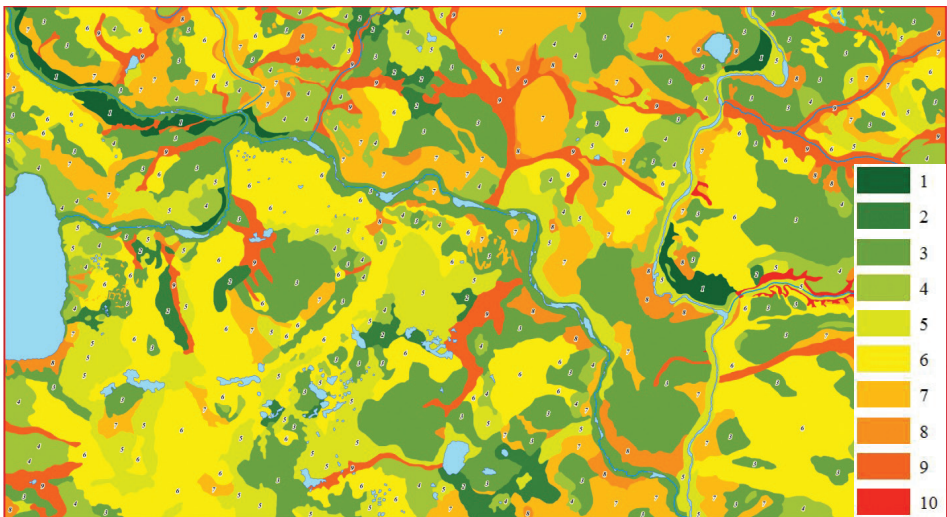


Рис. 9. Итоговая карта термоэрозионной опасности

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.