

# ГЕОИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РАЙОНОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

В.И. Осипов, А.С. Викторов, Т.В. Орлов, О.Н. Трапезникова,  
М.В. Архипова, В.Н. Капралова  
ИГЭ РАН

Современные методы оценки состояния и изменений природной среды месторождений твердых полезных ископаемых часто строятся на прямом контроле компонентов ландшафта (К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, В.Г. Румынин, Е.И. Голубева и др.). Между тем такой подход к решению проблемы имеет следующие крупные недостатки:

- Невозможность охватить все компоненты природной среды во всем многообразии;
- Невозможность прямого наблюдения осредненных параметров состояния природной среды, которые необходимы для определения трендов эволюции территории разработки месторождений твердых полезных ископаемых;
- Существенные затраты средств и ресурсов для осуществления контроля;
- Трудность формирования интегральных оценок состояния природной среды и оценки рисков вследствие значительного разнообразия ландшафтных компонентов.

Перспективным направлением решения проблемы является использование легко наблюдаемых ландшафтных признаков — геоиндикаторов, — базирующееся на сложных взаимосвязях компонентов ландшафта (Викторов, 1966; Викторов, Чикишев, 1990, и др.). Наиболее инновационным и перспективным представляется использование геоиндикаторов совместно с математическими моделями. Широкое использование дистанционных методов контроля изменений окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых должно базироваться на подобных геоиндикаторах, хорошо отображаемых на аэро- и космических снимках (Orlov, 2011a).

Целью исследования являлась разработка теоретико-методической базы использования геоиндикаторов изменений окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых для контроля изменений характеристик природно-территориальных комплексов и оценки природных рисков.

Исследование было сосредоточено на решении следующих ключевых задач:

1. Выявление возможности и методов использования геоиндикаторов для оценки геоэкологических рисков.

2. Разработка научных основ технологии комплексной оценки и мониторинга состояния окружающей среды и оценки геоэкологических трендов районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых в районах интенсивного освоения недр на основе индикационного дешифрирования материалов дистанционных съемок и геоиндикационного картирования состояния окружающей среды.

3. Разработка теории и технологии использования ландшафтно-структурных геоиндикаторов состояния природно-территориальных комплексов на основе математического моделирования морфологических структур.

Апробирование разработанных теоретико-методических положений было выполнено на примере месторождений твердых полезных ископаемых, разрабатываемых в различных физико-географических условиях. месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова, месторождения железных руд (Лебединский ГОК), а также других крупных промышленных объектов.

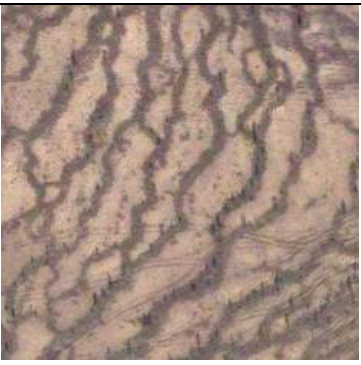
В рамках первой задачи исследование показало возможность выявления *геоиндикаторов степени геоэкологической опасности и риска*. В качестве таких геоиндикаторов в качественном выражении выступают ландшафтные признаки, указывающие на повышенную вероятность развития негативных процессов на тех или иных участках (Victorov, 2011). Методика включала дешифрирование материалов космических съемок высокого разрешения, полевые исследования, анализ материалов инженерно-геологических изысканий. Признаки установлены путем анализа механизма процессов и использования современных представлений об индикации процессов на основе ландшафтно-генетических рядов и экологических реликтов. Установлены конкретные геоиндикаторы и дешифровочные признаки участков повышенного риска для разного сочетания условий, в частности для рисков, связанных с развитием термокарстовых, оползневых процессов, с миграцией загрязнителей в грунтовых потоках с процессами переувлажнения и заболачивания (Orlov, 2011b), а также с развитием полигонально-жильных льдов.

Примеры таких геоиндикаторов и особенности их дешифрирования на материалах космической съемки высокого разрешения приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Типичные изображения геоиндикаторов геоэкологических рисков на материалах дистанционных съемок**

Типичное изображение геоиндикатора	Фактор риска	Геоиндикатор
	<p>Полигонально-жильные льды (потенциальные участки развития термокарста)</p>	<p>Болота с полигональной морфологической структурой</p>
	<p>Курумы</p>	<p>Сосновые леса с вытянутыми полосчатыми и дугообразными участками каменных развалов с лишайниковой растительностью</p>
	<p>Оползневые процессы</p>	<p>Склоны с различным растительным покровом с дугообразно-дендритовым ландшафтным рисунком</p>

	<p>Участки с начальными стадиями развития термокарста</p>	<p>Округлые понижения с гидрофильной растительностью и зеркалами воды</p>
	<p>Участки грунтовых потоков с риском развития подпора и подтопления</p>	<p>Грядово-мочажинные болота с параллельно-полосчатой морфологической структурой</p>

Результаты исследований внедрены на разных объектах, связанных с добычей полезных ископаемых, в частности на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова, кроме того, результаты внедрены при оценке развития негативных геоэкологических процессов по трассе нефтепровода ВСТО.

Другим принципиально новым аспектом проблемы явилось выявление геоиндикаторов *величины* геоэкологической опасности и риска. Задача разработки геоиндикационного принципа и метода оценки величины геоэкологической опасности и риска, то есть вероятности поражения сооружения и математического ожидания ущерба, ставится впервые. В основу решения было положено использование результатов нового, разработанного в рамках ИГЭ РАН направления – математической морфологии ландшафта (Викторов, 2006). Задача рассматривалась в двух постановках:

- оценка величины геоэкологической опасности и риска при однократном обследовании территории,
- оценка величины геоэкологической опасности и риска при повторном обследовании территории.

Исследования проводились на примере территорий с развитием термокарстовых, карстовых и просадочно-суффозионных процессов. Задача решалась для разных типов сооружений, входящих в инфраструктуру территории отработки месторождений твердых полезных ископаемых.

В основу решения были положены модели морфологической структуры территории соответствующего генетического типа (Викторов, 2006; Kapralova, 2010) в предположениях линейного роста плотности очагов, среднего диаметра и его дисперсии.

$$\gamma(t) = \lambda t, \quad d(t) = d_0 t, \quad D(t) = \sigma_0^2 t \quad (1)$$

Основные предположения моделей позволяют определить главные зависимости, описывающие динамику очагов названных процессов (Викторов, 2006):

- пуассоновское распределение размещения очагов (пуассоновский случайный процесс генерации очагов),
- логнормальное распределение размеров очагов (винеровский случайный процесс по отношению к логарифмам размеров).

Созданные математические модели позволили решить задачу о поражении рассматриваемым опасным процессом объекта в однородных физико-географических условиях (Викторов, Капралова, 2010):

- вероятность поражения точечного сооружения малых размеров (пораженность) равна

$$P_d(t) = 1 - e^{-\gamma(t)s(t)} \quad (2)$$

- вероятность поражения линейного объекта хотя бы одним очагом и риск равны

$$P_{dl}(L) = 1 - e^{-\gamma(t)\bar{d}(t)L}, \quad (3)$$

$$R_l(L) = [1 - e^{-\gamma(t)s(t)}]L \quad (4)$$

- вероятность поражения площадного (кругового) объекта и риск равны

$$P_{ds}(l) = 1 - e^{-\pi\gamma(t)[(\bar{r}(t)+l)^2 + \sigma^2(t)]}, \quad (5)$$

$$R_s(S) = [1 - e^{-\gamma(t)s(t)}]S \quad (6)$$

где  $\bar{r}(t)$ ,  $\bar{d}(t)$ ,  $s(t)$  - средний радиус; диаметр и средняя площадь очага в момент времени  $t$ ;  $\sigma(t)$  - стандарт радиуса.  $\gamma(t)$  - средняя плотность расположения очагов;  $L$  - длина линейного объекта;  $l$ ;  $S$  - соответственно радиус и площадь кругового площадного объекта.

В процессе исследований на ряде участков была проведена проверка полученных теоретических выводов, в частности для линейных сооружений.

В основу проверки выражения для оценки вероятности поражения линейного объекта была положена следующая логика. Предположим, что мы находимся на рассматриваемом участке перед началом термокарстового процесса. Так как участок однороден, то у нас нет оснований предпочесть для размещения линейного объекта какое-либо конкретное место, и он с равной вероятностью мог быть размещен в любой точке участка. Развившиеся впоследствии очаги процесса, которые в настоящее время мы наблюдаем на снимке, могли бы поразить или не поразить линейное сооружение. С учетом выше сказанного реальное развитие событий может быть смоделировано следующим образом: программными средствами с помощью генератора случайных чисел мы размещаем линейный объект (разной длины) случайным образом в пределах выбранного участка (с уже существующими очагами) и затем подсчитываем количество линий, не пораженных очагом процесса.

В соответствии с изложенным, проверка осуществлялась в специально разработанной программе «Векторизатор» в полуавтоматическом режиме. Результаты сравнений приведены на рис. 1.

Одним из ведущих направлений работ на рассматриваемом этапе была разработка теоретико-методических положений методов **использования геоиндикаторов при мониторинге изменений окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых, в частности для оценки долговременных геоэкологических тенденций (геоэкологических трендов)** эволюции окружающей среды районов разработки. Эта задача является одной из важнейших, так как позволяет оценить общую направленность эволюции территории под влиянием техногенеза. В то же время именно индикационные методы представляются в этой задаче наиболее перспективными, так как стационарные наблюдения требуют больших затрат имеющихся ресурсов (Orlov, 2009).

Решение задач проводилось на примере эталонных площадей, районах работ Лебединского ГОК и ГОК месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова.

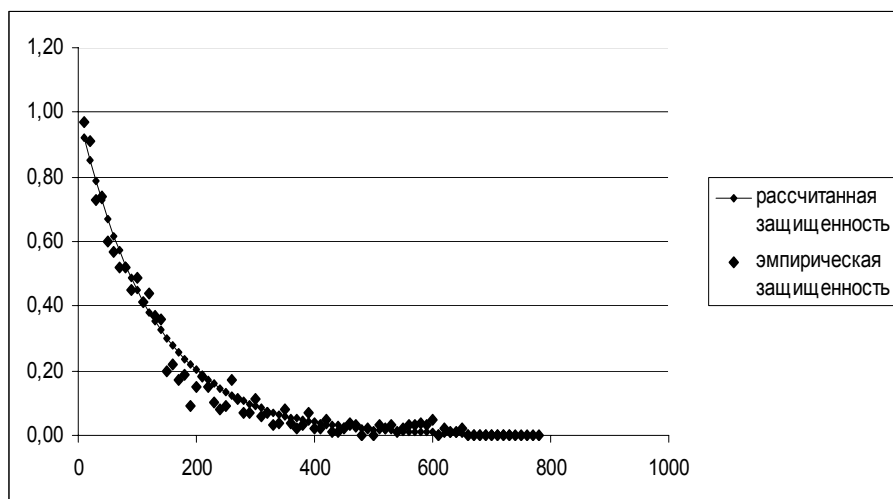


Рис. 1. Сопоставление теоретических и эмпирических значений защищенности от термокарстовых процессов для линейного объекта разной протяженности (протяженность – ось абсцисс, защищенность – ось ординат) для пробного участка на Западно-Сибирской равнине, в районе реки Пякупур.

Месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова, включающее трубку Архангельская, расположено на территории Приморского района Архангельской области, в 90 км к северо-востоку от г. Архангельска, в пределах западной части Беломоро-Кулойского плато и представляет собой заболоченную и залесенную холмисто-грядовую вытянутую равнину с общим уклоном в юго-восточном направлении с абсолютными отметками в основном 90—150 метров. Алмазоносные трубообразные тела сложены кимберлитами – вулканогенно-осадочными породами позднедевонского – раннекарбонового возраста. Мощность зон выветривания не превышает 15 метров. Комплекс перекрывающих пород, суммарной мощностью 28.4 м, представлен среднекарбовыми и неоген-четвертичными отложениями. Лебединский ГОК ведет отработку железорудного месторождения.

Исследования базировались на следующих материалах дистанционных съемок:

- материалы космической съемки (мультиспектральное (iRRGB) изображение с разрешением на местности 2,44 м и панхроматическое – 1 м), полученные спутниками IKONOS 2007 и 2009 гг. и QuickBird 2004, 2005, 2006 гг.;
- спутниковое спектрональное фотоизображение района, выполненное спутником Lansat-7, 2000 г. и панхроматические аэрофотоснимки района месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова, 2000 г.

Для дистанционной оценки современного состояния и изменения природной среды использовались программные средства, в наибольшей степени отвечающие целям

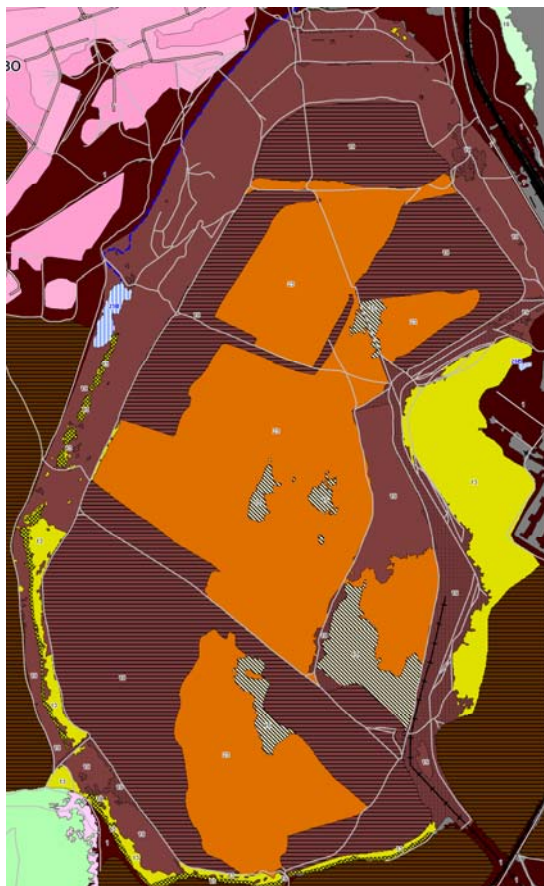
исследования (ENVI 4,7, ERDAS, геоинформационная система Mapinfo 10). В основу интерпретации было положено сочетание прямых дешифровочных признаков и индикационного дешифрирования.

Изучение состояния природной среды и предварительное определение индикационных и дешифровочных признаков проводились путем анализа материалов по исследуемой территории и смежным участкам, включающих: материалы работ по дистанционному мониторингу за 2005—2009 гг.; материалы инженерно-геологических изысканий; материалы работ по предстроительному мониторингу природной среды; анализ космических снимков 2000-2004 гг.; материалы полевых работ 2004 - 2010 гг. При наземном описании фиксировались следующие основные характеристики: координаты точки описания, общий вид местности, включая макро-, мезо- и микроформы рельефа, описание почвенного профиля и отбор почвенных проб, описание растительного покрова, описание антропогенных нарушений природной среды, описание опасных геоэкологических процессов (подтопление, оползни и т.п.).

Одним из основных результатов работ было установление индикаторов, характеризующих состояние природной среды территории, и их дешифровочных признаков на материалах дистанционных съемок.

Для установления индикаторов и дешифровочных признаков, был проведен выборочный анализ материалов ранее проведенной аэро- и космической съемки данной территории совместно с анализом наземных данных по изучаемой территории, включая описания внешнего облика территории (рельеф, растительность), труднонаблюдаемых компонентов (грунты, глубина залегания уровня грунтовых вод) и результатов химических анализов (Orlov 2007, 2011a,б). Это позволило предварительно выделить дешифровочные эталоны и наиболее результативные дешифровочные признаки для получения информации о состоянии и изменении компонентов природной среды. В процессе исследований были развиты основные элементы методики индикационного дешифрирования изменений окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых на базе использования автоматизированной классификации; выполнено опытное применение автоматизированного дешифрирования материалов космической съемки для контроля состояния окружающей среды районов разработки железорудных месторождений (рис. 2).





**Естественные почвы**

- 1 Аккумулятивно-гумусовые черноземы
- 2 Аккумулятивно-гумусовые агрочерноземы
- 3 Текстурно-дифференцированные серые типичные
- 4 Органо-аккумулятивные темногумусовые
- 5 Органо-аккумулятивные темногумусовые остаточно-карбонатные
- 6 Агрогумусово-гидрометаморфические типичные
- 7 Гумусово-гидрометаморфические типичные
- 8 Перегнойно-гидрометаморфические типичные
- 9 Аллювиальные агрогумусовые типичные
- 10 Аллювиальные перегнойно-глеевые типичные
- 11 Сочетание аккумулятивно-гумусовых черноземов и гумусово-гидрометаморфических
- 12 Сочетания аллювиально-темногумусовых типичных и гидрометаморфических

**Техногенные почвы**

- 13 Карболитоземы темногумусовые
- 14 Слаборазвитые карбо-петроземы гумусовые типичные
- 15 Слаборазвитые пелоземы гумусовые типичные
- 16 Слаборазвитые петроземы гумусовые
- 17 Слаборазвитые псаммоземы гумусовые типичные
- 18 Аброземы аккумулятивно-карбонатные
- 19 Насыпные черноземы
- 20 Сочетания карбо-петроземов гумусовых, литоземов и агроземов
- 21 Сочетания слаборазвитых гумусовых типичных пелоземов и карбо-петроземов
- 22 Сочетания слаборазвитых петроземов гумусовых и скальных участков
- 23 Сочетания насыпных черноземов и карбо-петроземов
- 24 Сочетания карбо-петроземов гумусовых типичных и литоземов светлогумусовых

**Антропогенные нарушения почв**

- нарушения транспортом (переуплотнение, нарушение верхнего горизонта)
- нарушены оползнем
- периодическое переувлажнение
- переувлажнение
- распашка

Рис. 2. Фрагмент карты состояния почвенного покрова для участка старого гидроотвала «Березовый лог» (район отработки железорудного месторождения, Лебединский ГОК)

Использование установленных индикаторов и их дешифровочных признаков позволяет построить карту состояния природной среды за тот или иной срок. На рис. 3 (см. Приложение в конце статьи) приведен построенный в рамках настоящих исследований фрагмент карты состояния природной среды территории месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова на 2005 г..

Использование установленных индикаторов и их дешифровочных признаков позволило подойти к оценке геоэкологических трендов – долговременных изменений природной среды территорий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Так использование индикаторов дало возможность построить карту состояния природной среды за удаленные сроки. На рис. 3-5 (см Приложение в конце статьи) приведены построенные в рамках настоящих исследований карты состояния природной среды территории месторождения алмазов на 2005 и 2009 гг. и легенда к ним.

Сопоставление карт за различные сроки с использованием геоинформационных систем может быть положено в основу создания карты изменений природной среды. Сопоставление карт за различные значительно удаленные сроки на основе оверлейных технологий было положено в основу оценки долговременных тенденций изменения геоэкологического состояния природной среды месторождения – геоэкологических трендов (Orlov 2007, 2011a,б).

Так, основными для эволюции рассматриваемой территории являются следующие геоэкологические тренды:

- увеличение степени увлажненности почв в западной и северо-западной частях территории месторождения;
- уменьшение степени увлажненности почв в пределах долин водотоков, отчужденных в результате строительства руслоотводного канала;
- широкое развитие процессов аккумуляции глинистого материала, объясняемое выносом из вскрышных пород, извлеченных в результате горнодобывающих работ (из карьера и отвала);
- изменение ландшафтов болотных массивов.

Таким образом, авторами получены следующие основные результаты:

- показана возможность оценки в процессе мониторинга геоэкологического тренда изменения состояния территории отработки месторождения на основе геоиндикаторов;

- определены и апробированы основные элементы методики мониторинга геоэкологических трендов окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых на основе использования геоиндикаторов и материалов дистанционных съемок.

В рамках проекта были проведены исследования по развитию **теории ландшафтно-структурных геоиндикаторов состояния и изменения природной среды на основе математического моделирования**. Исследования были сосредоточены на неклассических индикаторах — количественных характеристиках морфологических структур ландшафтов — и посвящены двум фундаментальным проблемам:

- существование «идеальных индикаторов»;
- индикация динамических количественных характеристик процессов.

Одной из актуальных задач является уточнение по материалам дистанционных съемок условий развития индицируемых процессов на территориях добычи твердых полезных ископаемых – состава поверхностных отложений, структурно-геологических условий и др. Эта задача решается в классических индикационных исследованиях, на основе традиционных индикаторов. Как правило, в процессе географических индикационных исследований, возникает вопрос о взаимокompенсации межкомпонентных взаимосвязей. В результате индикатор, находясь под влиянием всей совокупности факторов, одновременно оказывается слабее связанным с интересующими исследователя условиями. Например, появление индикатора близко залегающих высокоминерализованных грунтовых вод может быть вызвано не высокой минерализацией вод, а высоким засолением грунтов. Поэтому крайне актуальной задачей является разработка новых подходов к созданию своего рода «идеальных индикаторов», зависящих только от интересующих исследователя условий и игнорирующих воздействие других факторов.

В рамках работ по проекту был развит путь решения проблемы «идеальных индикаторов» на основе использования представлений об инвариантных характеристиках (инвариантах) морфологических структур ландшафтов. Инвариантами ландшафтных рисунков относительно какого-либо фактора (или группы факторов) мы называем количественные параметры ландшафтных мозаик, не меняющиеся при изменении этого фактора (Викторов, 2006). В качестве подобных факторов могут выступать возраст,

вещественный состав поверхностных отложений, тектонические условия, климатические факторы и т.д.

В рамках работы были исследованы *возможности существования инвариантов относительно различных геологических условий* территории. Основой решения служит использование математических моделей морфологических структур ландшафтов (Викторов, 2006).

Использование математических моделей морфологических структур ландшафтов позволило предложить весьма перспективную систему количественных показателей индикационного и дешифровочного анализа морфологической структуры территорий с развитием просадочно-суффозионных процессов. Особенностью этой системы является то, что каждый количественный показатель связан не со всеми факторами формирования морфологической структуры, а с весьма ограниченным их числом; соответственно содержащаяся в них индикационная информация является значительно более определенной:

$\mu_1 = M(\ln \xi)$  зависит от возраста, вещественного состава, неоднородностей, в частности, структурно-геологических условий; инвариантом не является.

$\eta_1 = \frac{M(\ln \xi)}{Mv}$  зависит от вещественного состава отложений, неоднородностей, в частности, структурно-геологических условий; инвариант относительно возраста.

$\mu_2 = \frac{M(\ln \xi)}{M(\ln \xi)^2 - [M(\ln \xi)]^2}$  зависит от вещественного состава отложений, неоднородностей, в частности структурно-геологических условий; инвариант относительно возраста.

$\eta_k = \frac{Mv^k}{Mv \sum_{j=1}^{r-1} C_{k-1}^j Mv^j}$  зависит от неоднородностей, в частности, структурно-геологических условий; инвариант относительно вещественного состава отложений, возраста.

$$\mu_k = \frac{M(\ln \xi)^k}{M(\ln \xi)M(\ln \xi)^{k-1} + (k-1)[M(\ln \xi)^2 - [M(\ln \xi)]^2]M(\ln \xi)^{k-2}}, \quad k > 2$$

индикационными свойствами не обладает; инвариант относительно возраста, вещественного состава, неоднородностей, в частности структурно-геологических условий.

где  $\xi$  - площадь контура очага процесса,  $\nu$  - плотность расположения очагов,  $M(\xi)$  - математическое ожидание соответствующей случайной величины.

Таким образом, предложенные показатели делятся на четыре группы:

- показатель, зависящий от всего комплекса условий, в том числе от возраста;
- два показателя, несущих индикационную информацию только о вещественном составе отложений и структурно-геологических условиях;
- показатель несущий индикационную информацию только о неоднородностях, в частности, о структурно-геологических условиях;
- абсолютные инварианты<sup>1</sup>, не несущие индикационной информации.

Одним из весьма перспективных направлений проведенных исследований является *индикация динамических характеристик природных процессов*.

При решении ряда научных и практических задач исследователь сталкивается с необходимостью оценить, насколько связаны характеристики территории, которые могут быть получены в результате однократных наблюдений («временной срез»), с характеристиками, описывающими динамику территории во времени. В первую очередь, такая задача встает при использовании материалов дистанционных съемок и при индикации природных процессов. Иначе говоря, речь идет о том, возможно ли при *однократном* исследовании территории получить *информацию о ее динамических характеристиках*.

Практический смысл задачи очевиден – заменить дорогостоящие стационарные инженерно-геологические и комплексные мониторинговые работы однократными или двукратными.

Исследование было сосредоточено на двух группах природных процессов (и, соответственно, на двух генетических типах территорий): термокарстовый процесс, аллювиальный процесс.

В основу решения задачи было положено использование подходов математической морфологии ландшафта. В результате проведенных исследований:

- доказана принципиальная возможность получения информации о динамических количественных характеристиках процессов на основе однократного изучения;

---

<sup>1</sup> Абсолютные только для данного типа морфологических структур.

- показано, что основным инструментом получения информации о динамических параметрах экзогенных геологических процессов являются модели математической морфологии ландшафта;

- определены конкретные способы получения таких характеристик для ряда генетических типов территорий;

Так, например, получены динамические характеристики

1. озерно-термокарстовых равнин:

- соотношение скорости роста размеров очагов (логарифмов, гнерации очагов и разброса размеров)

$$\varepsilon_1 = \frac{D_{\ln \xi}(t)}{M_{\ln \xi}(t)}, \varepsilon_2 = \frac{\gamma(t)}{M_{\ln \xi}(t)}, \quad (7)$$

где  $M_{\ln \xi}(t)$  - математическое ожидание логарифма диаметра термокарстового озера,  $D_{\ln \xi}(t)$  - дисперсия логарифма диаметра озера,  $\gamma(t)$  - плотность расположения озер;

2. эрозионно-термокарстовых равнин

- - соотношение между скоростью генерации термокарстовых понижений и скоростью их роста,

$$\varepsilon_3 = -\frac{\gamma(\infty)[1 - P_d^*]}{Ei(-\pi\varepsilon)} \quad (8)$$

где  $P_d^*$  - заозеренность,  $\varepsilon$  - плотность расположения истоков эрозионных форм,  $\gamma(\infty)$  - плотность расположения озер;

3. аллювиальных равнин

- - соотношение периода спрямления излучин и периода формирования гривы

$$\varepsilon_4 = \ln\left(1 + \frac{1}{\bar{v}}\right) \quad (9)$$

где  $\bar{v}$  - среднее число грев в пакете,

- - соотношение периода спрямления излучин и скорости изменения угла разворота излучины

$$\varepsilon_5 = \frac{2\pi - \bar{\alpha}}{\bar{\alpha}} \quad (10)$$

$\bar{\alpha}$  - среднее значение угла разворота излучины.

В целом выполненный этап исследования по развитию теории ландшафтно-структурных геоиндикаторов состояния и изменения природной среды территорий добычи твердых полезных ископаемых на основе математического моделирования позволил сделать следующие выводы:

- получение геоиндикационной информации о динамических параметрах экзогенных геологических процессов без стационарных наблюдений возможно,
- они позволяют выявить геоиндикаторы динамических параметров в виде ряда специальных количественных характеристик ландшафтных рисунков (например, для озерно-термокарстовых, термокарстово-эрозионных и аллювиальных равнин).

Таким образом, выполненный цикл исследований по разработке геоиндикаторов **изменений окружающей среды районов разработки месторождений твердых полезных ископаемых позволил:**

- выявить геоиндикаторы степени геоэкологической опасности и риска, в том числе в виде количественных оценок;
- развить новые методы мониторинга изменения состояния территории отработки месторождений твердых полезных ископаемых и геоэкологических трендов окружающей среды районов разработки;
- разработать новые принципы и методы использования неклассических ландшафтно-структурных геоиндикаторов состояния и изменения природной среды на основе математической морфологии ландшафта, в частности, получить решение задач существования «идеальных индикаторов», и индикации динамических количественных характеристик процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

*Викторов С.В.* Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., 1966. 120 с.

*Викторов С.В., Чикишев А.Г.* Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М.: Изд-во МГУ, 1990, 200 с.

*Викторов А.С., Капралова В.Н.* Применение методов математической морфологии ландшафта для оценки риска поражения линейных инженерных сооружений опасными экзогенными процессами // Геоэкология, 2011, №2, с. 165-174.

*Викторов А.С.* Модели математической морфологии ландшафта в решении задач геоэкологии // Моделирование при решении геоэкологических задач. Сергеевские чтения. М., Вып.11, 2009, с. 154-160.

*Викторов А.С., Капралова В.Н.* Применение методов математической морфологии ландшафта для оценки риска поражения линейных инженерных сооружений опасными экзогенными процессами. // Геоэкология, 2011, №2, с. 165-174.

*Kapralova V.* Modeling the morphological structure and studying the spatial dynamics of thermokars lake plans // Proceedings of the 14th Annual conference of the International Association for Mathematical Geosciences, WECOTravel Ltd. 2010.

*Orlov T.V.* Integrated remote sensing monitoring for environmental changes of a solid mineral deposit area (Diamond deposit. Arkhangelsk district. Russia) // Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G, Hojas L. and Weel S. (Eds). 25 years of landscape ecology: scientific principles in practice. Proc. 7th IALE World Congress. Wageningen, The Netherlands, July 2007.

*Orlov T.V.* Measuring frequency optimization for environmental monitoring // Proc. International Conference StatGIS09: "GeoInformatics for Environmental Surveillance", 2009, 5p.

*Orlov T.V.* Indication of forest and bog landscape changes using remote sensing data for solid mineral deposit development. Proceedings of Four Dimensions of Landscape Conference. University of Warsaw. Warsaw, 2011a, p 5.

*Orlov T.V.* Indication and estimation of underflooding and swamping using remote sensing data for solid mineral deposit development (case study of Lomonosov diamond deposit)// Environmental geosciences and engineering survey for territory protection and population safety (EngeoPro-2011) // Abstracts to Proceedings – Moscow, 2011б, p. 151 - 152.

*Victorov A.* Landscape metrics as a reflection of landscape dynamics: mathematical models. Proc. of Four Dimensions of Landscape Conference. University of Warsaw. Warsaw, 2011, p 5.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

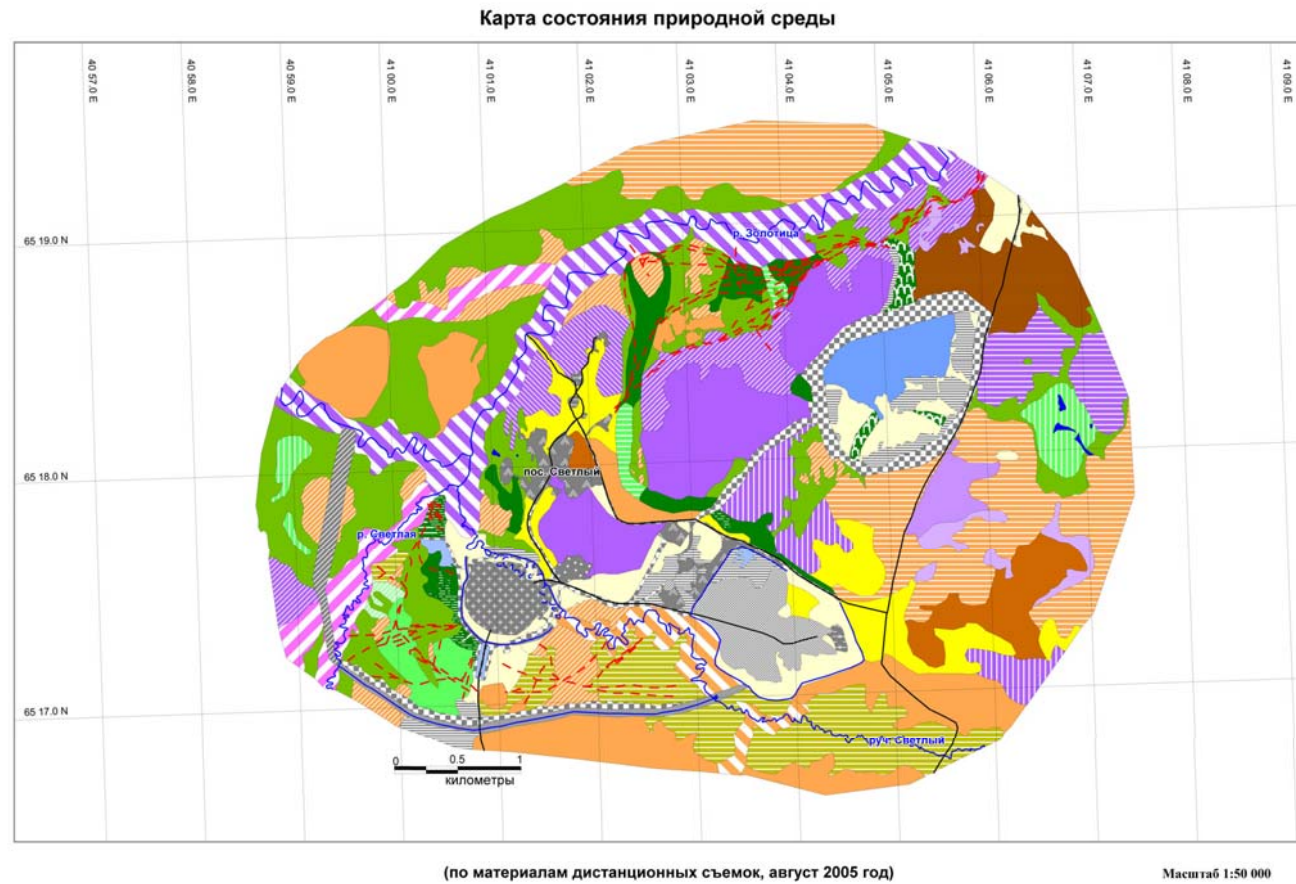
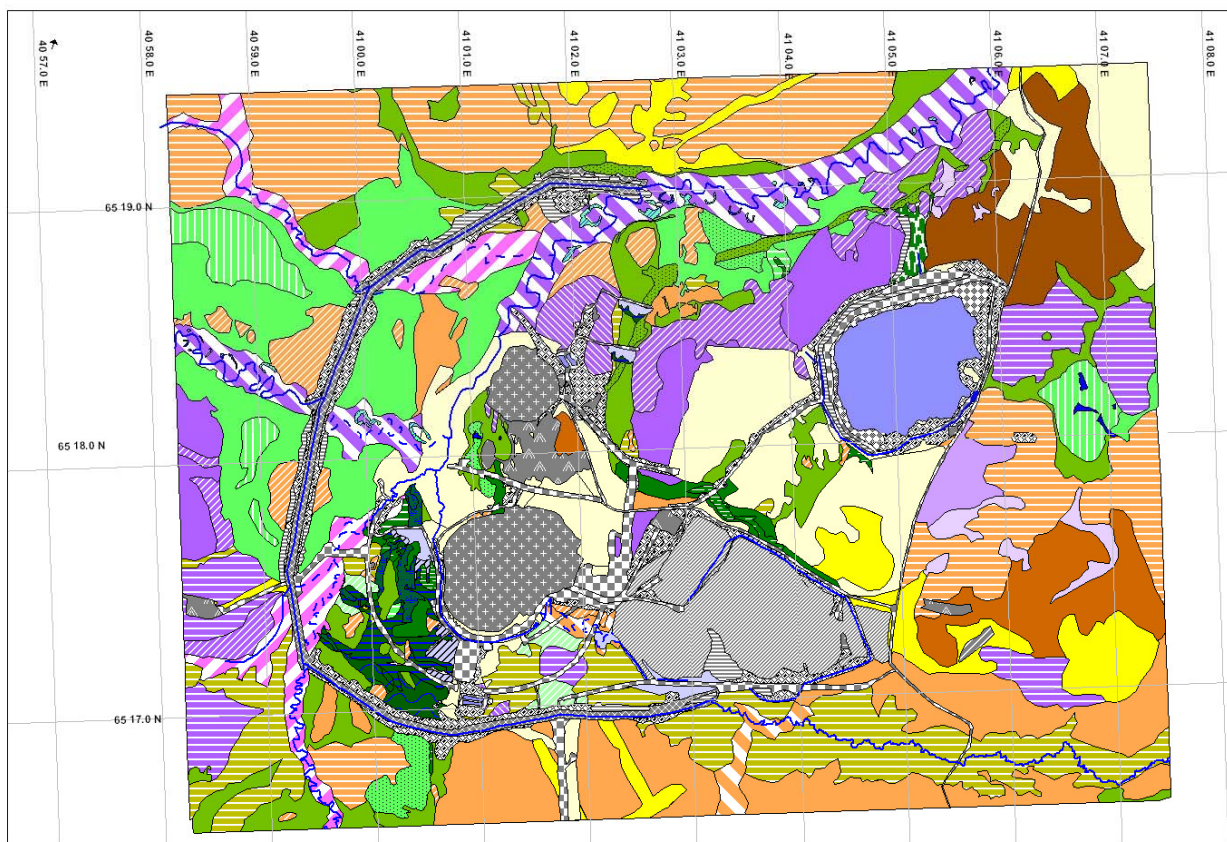


Рис. 3. Фрагмент карты состояния природной среды участка территории ГОК месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова за 2005 г.

Карта состояния природной среды



(по материалам дистанционных съемок, август 2009 год)

Масштаб 1:50 000

Рис. 4. Фрагмент карты состояния природной среды участка территории ГОК месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова за 2009 г.

## Условные обозначения к карте состояния природной среды































<b>Ненарушенные и слабонарушенные природные комплексы</b>	
<i>Лесные природные комплексы</i>	
	Возвышенные ровные, слабобугристые и волнистые поверхности холмов с лиственнично-еловыми, иногда сосново-еловыми или елово-сосново-лиственничными лесами
	Слабонаклонные поверхности с еловыми, березово-еловыми сфагновыми лесами
	Ровные волнистые и слабонаклонные поверхности с березово-сосново-еловыми, иногда с березово-еловыми лесами
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности с березово-елово-лиственнично-сосновыми лесами, частично сведенными
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности с сосново-еловыми лесами
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности со старыми вырубками с березово-лиственнично-еловыми лесами
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности со старыми вырубками с редкостойными березово-лиственнично-еловыми лесами
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности с вырубками, иногда с сосновым или березово-сосновым подростом
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности со старыми вырубками с сосново-елово-лиственничными лесами
	Возвышенные ровные и слабонаклонные поверхности с сосново-елово-лиственничными лесами
	Ровные и слабонаклонные поверхности с сосновыми, местами елово-сосновыми лесами, иногда с участком березы и лиственницы
	Пониженные кочковатые, западинные поверхности с елово-березовыми заболоченными лесами
	Пониженные ровные, кочковатые и западинные поверхности с сосновыми, местами березово-сосновыми, сфагновыми лесами
	Пониженные ровные, кочковатые и западинные поверхности, занятые сосновыми, местами березово-сосновыми, переувлажненными сфагновыми лесами
<i>Болотные природные комплексы</i>	
	Пониженные ровные поверхности, занятые верховыми сфагновыми плоскими переувлажненными болотами с участием сосны
	Пониженные ровные и слабоогнутые поверхности с верховыми сфагновыми сосновыми болотами и болотами с редкостойной сосной
	Пониженные слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми крупногрядово-мочажинными болотами
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми плоскими и кочковатыми, местами грядово-западинными, болотами
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми грядово-западинными болотами
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми грядово-мочажинными болотами
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми плоскими переувлажненными болотами с участием вахты
	Пониженные ровные поверхности, занятые верховыми сфагновыми плоскими переувлажненными болотами
	Пониженные ровные поверхности, занятые верховыми сфагновыми и сфагново-осоковыми сильнопереувлажненными болотами
	Пониженные ровные поверхности занятые переходными болотами с ивняками с доминированием осок и вейника серого
	Пониженные ровные поверхности занятые верховыми сфагновыми плоскими переувлажненными болотами с редким участием сухоты сосны
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми крупно-грядово-западинными болотами
	Пониженные ровные поверхности, занятые верховыми сфагновыми плоскими и кочковатыми болотами, частично залитыми водой
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности, занятые верховыми сфагновыми грядово-западинными болотами, частично залитыми водой
	Пониженные ровные и слабовыпуклые поверхности занятые верховыми сфагновыми и сфагново-осоковыми плоскими и кочковатыми болотами
<i>Долинные природные комплексы</i>	
	Долины, занятые еловыми лесами с богатым разнотравьем, осложненные занятыми сосновыми лесами прирусловыми валами
	Долины, занятые еловыми сфагновыми лесами, местами сосновыми сфагновыми лесами
	Заболоченные долины, занятые редкостойными сосняками, местами редкостойными ельниками с болотным разнотравьем
	Старичные понижения, занятые переходными сфагново-осоковыми болотами
	Старичные понижения
<b>Сильнонарушенные природные комплексы</b>	
<i>Техногенные территориальные комплексы</i>	
	Ровные поверхности, лишенные почвенно-растительного покрова, местами занятые строениями (поселок, промплощадка)
	Сильно возвышенные неровные поверхности, сложенные насыпными грунтами и лишенные почвенно-растительного покрова
	Возвышенные бугристые поверхности, лишенные почвенно-растительного покрова, занятые торфом, органическими остатками
	Ровные и слабонаклонные поверхности со сведенной древесной и древесно-кустарниковой растительностью, занятые строительным и металлическим мусором (свалки)
	Ровные и слабонаклонные поверхности со сведенной древесной и древесно-кустарниковой растительностью
	Насыпные линейные повышения, сложенные песчано-гравийным грунтом, лишенные растительности (дамбы, дороги, пульпопровод)
	Концентрические террасированные понижения, лишенные почвенно-растительного покрова (карьер)
	Понижения, сложенные песками и щебнем карбонатных пород, лишенные почвенно-растительного покрова (карьеры строительных материалов)
	Линейные понижения с бортами, сложенными песками и щебнем карбонатных пород и лишенными растительности, с проточной водой (руслотвод, нагорные каналы)
	Переувлажненные зоны линейных понижений на болотах (следы движения автотранспорта) со сведенным растительным и моховым покровом
	Возвышенные бугристые поверхности, лишенные почвенно-растительного покрова, занятые насыпным грунтом
	Возвышенные бугристые поверхности, лишенные почвенно-растительного покрова, занятые намытым грунтом
	Ровные и слабонаклонные поверхности со сведенной древесной и древесно-кустарниковой и мохово-лишайниковой растительностью и почвенным покровом
<i>Техногенные аквальные комплексы</i>	
	Водоемые искусственные с повышениями, занятыми болотной растительностью и затопленной древесной растительностью
	Водоемы искусственные
	Водоемы искусственные
<b>Прочие объекты</b>	
	Водоемы естественные
	Водотоки
	Фрагментарно сохранившиеся и погребенные русла водотоков
	Дороги
	Переувлажненные полосы линейных понижений на болотах (следы движения автотранспорта)

Рис. 5. Легенда к картам состояния природной среды