

## **Метод прогнозирования динамики изменений породных отвалов на основе данных дистанционного зондирования Земли**

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"

Одним из важнейших экологических факторов, определяющих безопасность жизнедеятельности в угледобывающих регионах, является проблема устранения породных отвалов. Предложен метод получения прогнозных оценок динамики породных отвалов на основе совместного анализа космических снимков и данных контактных исследований. Разработана и представлена имитационная модель возникновения оползня. Показано, что применение разработанного метода получения прогнозных оценок позволяет не только определить тенденцию распространения породы, но и сформировать единую информационно-аналитическую модель мониторинга деформаций смещения на поверхности многочисленных породных отвалов угольных объединений.

**Ключевые слова:** породный отвал, оползень, имитационная модель, нечёткая логика, прогнозные оценки, продукционные решающие правила.

### **1. Введение и формулирование проблемы**

В последнее время все чаще возникают проблемы, связанные с ухудшением экологического состояния окружающей среды, вызванные тем, что отвалы угольных шахт горят, пылят и эродируют. В результате физического и химического выветривания порода разрушается, превращается в пыль и вместе с горючими газами и очагом горения становится одним из основных источников загрязнения атмосферы и ухудшения санитарного состояния городов и рабочих поселков вблизи угледобывающих шахт. В связи с этим возникает необходимость разработки новых методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций, являющихся следствием влияния породных отвалов для своевременного предупреждения вызванных ими последствий, и способов снижения негативного влияния породных отвалов на природную среду [1].

В основе таких методов должен лежать достаточно хорошо налаженный горноэкологический и химический мониторинг породных отвалов. Однако в настоящий момент регулярные наблюдения за характером деформаций смещения на поверхности многочисленных породных отвалов угольных объединений Донбасса не обобщены в единую информационно-аналитическую модель.

Таким образом, задачи, связанные с оперативным выявлением тенденций деформации породных отвалов, а также получением прогнозных оценок их динамики на основе комплексного анализа исходных данных, являются своевременными и актуальными. Использование при решении этих задач данных аэрокосмических исследований позволяет существенно повысить точность прогнозных оценок динамики породных отвалов.

Следует отметить, что для определения тенденции изменений породных отвалов при получении прогнозных оценок необходимыми являются этапы, связанные со сбором и анализом статистических данных об исследуемой местности, выбором и анализом основных факторов, влияющих на изменение

породных отвалов; анализом методов прогнозирования появления оползней породных отвалов; созданием имитационной модели возникновения оползня породных отвалов; созданием методики получения прогнозных оценок динамики породных отвалов по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

## 2. Создание имитационной модели возникновения оползня

Целью моделирования процесса возникновения оползня является прогнозирование вероятности его появления в зависимости от влияния совокупности разнообразных факторов с установлением корреляционной связи между ними. При построении модели оползень рассматривают как вероятность наступления данного события с учётом появления факторов влияния.

Факторы представляют собой усредненные статистические данные о количестве осадков за временной период 2012-2014 годы, о скорости ветра – за период 2012-2014 годы. Дополнительно при моделировании учитывали коэффициент, связанный с сезонностью проведения мониторинга.

Концептуальная модель созданной модели показана на рис. 1.

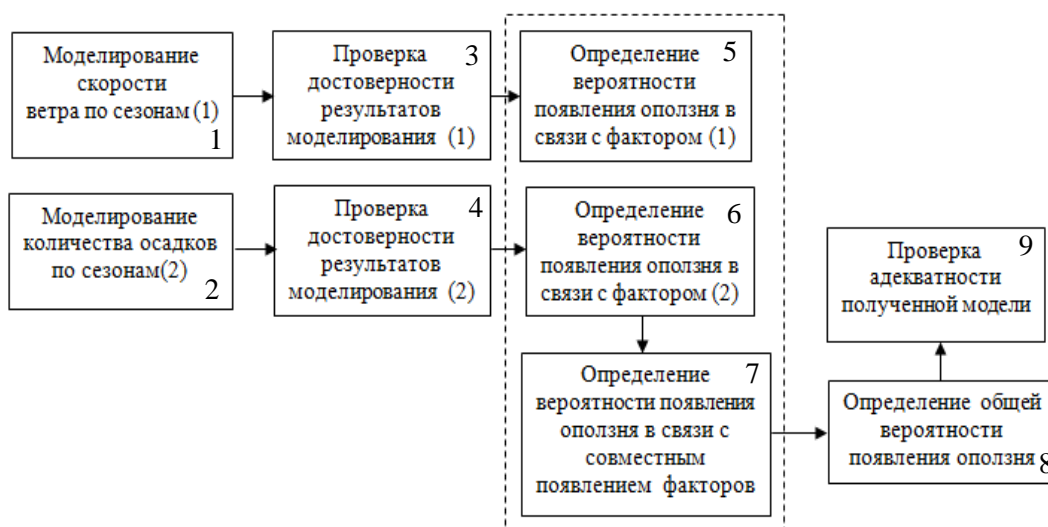


Рисунок 1 - Концептуальная модель созданной имитационной модели

Как показано на рис.1, на первом этапе создания имитационной модели, используя статистический анализ исходных данных и метод обратной функции, моделируют скорость ветра и количество осадков (блоки 1 и 2), с последующей проверкой достоверности полученных результатов (блоки 3 и 4). На следующем этапе определяют вероятности появления оползня в зависимости от факторов влияния (блоки 5 и 6), а также рассчитывают полную вероятность появления оползня (блоки 7 и 8). Для проверки адекватности полученной модели (блок 9) проводят сравнительный анализ результатов моделирования с априорно заданными реальными данными.

Результаты сравнительного анализа показали, что при увеличении значений факторов вероятность появления оползня увеличивается (рис. 2). Следовательно, полученная имитационная модель позволяет прогнозировать вероятность возникновения оползня с точностью, зависящей не только от

точности и количества входных данных, но и от установления функциональной взаимосвязи факторов влияния на процесс оползнеобразования.

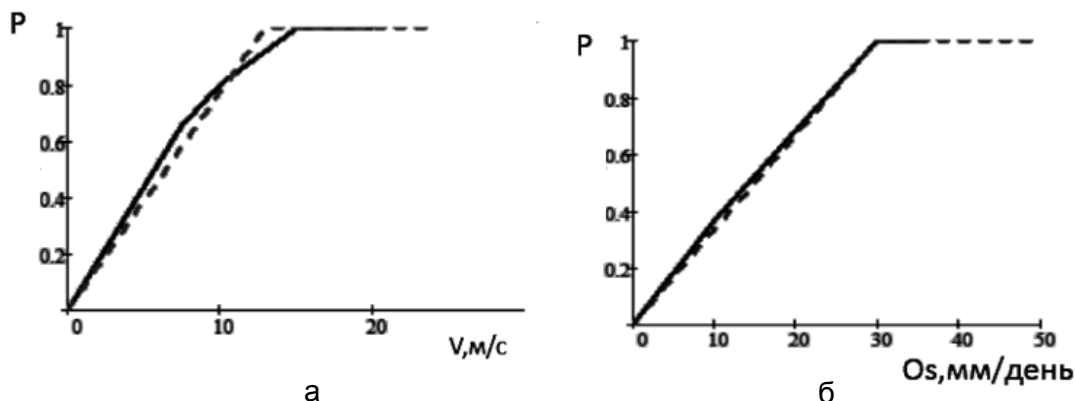


Рисунок 2 – График зависимости вероятности появления оползня (прямая линия) от скорости ветра (а), количества осадков (б) (пунктирная линия)

### 3. Метод получения прогнозных оценок динамики породных отвалов по данным ДЗЗ

В качестве исходных данных для визуализации результатов использования представленного метода получения прогнозных оценок динамики изменений породных отвалов являются космические снимки породного отвала шахты «Ореховская» г. Молодогвардейска, Луганской области за 2004, 2007, 2009 гг. На рис. 3 показаны зоны локализации пород, составляющих отвал шахты «Ореховская», полученные с помощью методов цифровой обработки изображений.

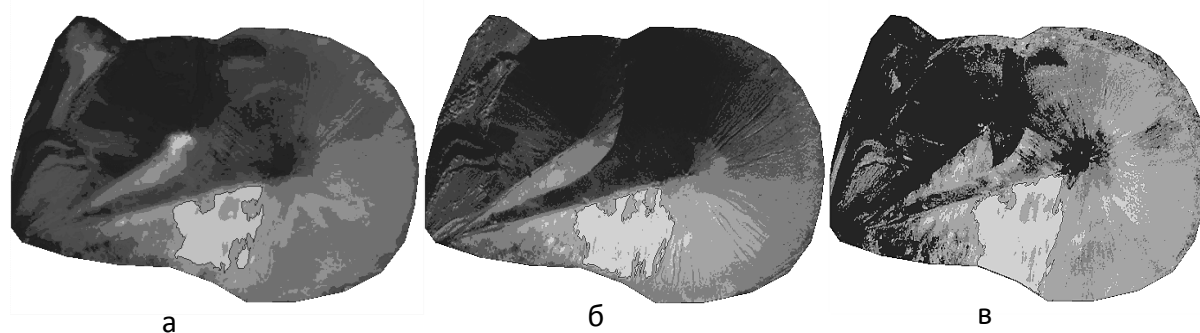


Рисунок 3 – Локализованные зоны пород, составляющих отвал на снимке за 2004 г. (а), 2007 г. (б), 2009 г. (в)

Для более точного определения тенденции распространения пород с оценкой их возможной динамики необходимо выделить и проанализировать однородные участки внутри ранее локализованных фрагментов изображений исследуемой местности [2].

Для выделения данных участков использовали алгоритм выделения краёв, а также метод, основанный на сравнении цветовых характеристик пикселей, в результате чего были определены гомогенные области внутри ранее выделенных участков.

Дальнейший анализ динамики изменения зон породного отвала проводили путем определения отношения количества пикселей гомогенной области к количеству пикселей всего поля снимка ( $S_p$ ) и разрывов в топологии выделенных объектов ( $k_T$ ).

Комплексный анализ полученных геометрических и топологических характеристик (табл. 1) с увеличением количества факторов оползнеобразования, непосредственно влияющих на отвал, таких, как количество осадков, скорость ветра, рельеф, состав грунтов, горение отвала, показал, что в естественных условиях факторы оползнеобразования взаимодействуют и увеличивают вероятность возникновения оползня.

Таблица 1 – Полученные значения площадей гомогенных областей и разрывов в топологии на космических снимках

Характеристики	Годы		
	2004 г	2007 г	2009 г
$S_p$ , пк	0,0989	0,0366	0,1063
$k_T$ , шт.	6	9	10

Наиболее удобным представлением связей между анализируемыми факторами возникновения оползней является ориентированный граф, веса дуг которого показывают значения экспертных оценок степени взаимного влияния факторов друг на друга либо непосредственно на объект. Шкалу оценивания рассматривали в диапазоне изменения весовых коэффициентов от 0 до 1 [3] (рис. 4).

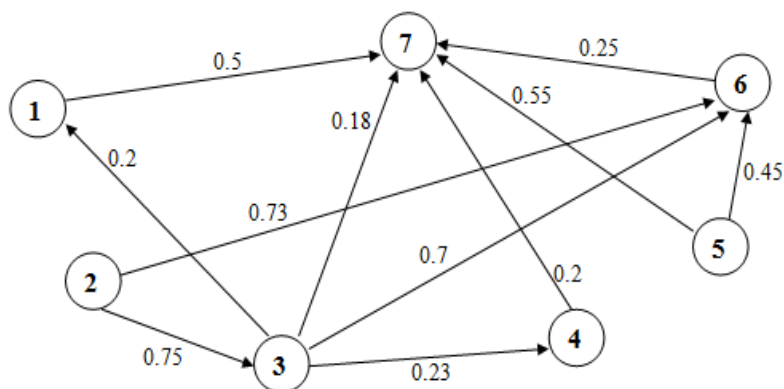


Рисунок 4 – Граф усиления влияния факторов оползнеобразования:  
1 - рельеф; 2 - сезонность; 3 - количество осадков; 4 - состав грунтов; 5 - скорость ветра; 6 - горение отвала; 7 - породный отвал

С учетом комбинаторных связей между факторами, показанных на графе влияния, и оценкой весовых коэффициентов (рис. 4) была построена матрица достижимости. В результате применения к матрице достижимости инвертированного алгоритма Флойда были определены факторы максимального влияния, а именно – количество осадков, сезонность и скорость ветра. Выбор

данных факторов основывался на сравнении весовых коэффициентов конечной матрицы достижимости, представленной в табл. 2, и их соответствии максимуму.

Таблица 2

Матрица максимального влияния факторов

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
1	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0,5
2	$\infty$	0	0,25	$\infty$	$\infty$	0,27	0,93
3	0,8	$\infty$	0	0,25	$\infty$	0,3	0,82
4	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	$\infty$	$\infty$	0,4
5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0,45	0,55
6	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0	0,35
7	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0

Заключительным этапом прогнозирования динамики изменений породных отвалов на основе данных дистанционного зондирования Земли является формирование продукционных правил, учитывающих не только изменение отношения количества пикселей гомогенной области к количеству пикселей всего поля снимка, но и все возможные изменения топологии объектов под воздействием факторов максимального влияния [4].

Для приведенного в статье примера по представленному методу была рассчитана прогнозная оценка динамики породного отвала, которая составляет 64%, что свидетельствует о достаточно большом риске возникновения оползня, следовательно, необходимо проводить постоянный мониторинг отвала, а также его последующую рекультивацию.

### Выводы

Для получения более точных оценок вероятности появления оползней, а также оперативного принятия решений, связанных с предупреждением негативных последствий, вызванных рассматриваемыми процессами, методы и модели получения прогнозных оценок динамики породных отвалов должны быть основаны на комплексном подходе к формированию эталонов моделируемых ситуаций и построению продукционных правил, посредством совместного использования статистических данных и космических снимков.

Несмотря на недостаточность априорных данных, разработанные метод и модель позволяют определить тенденцию распространения породы и являются важным звеном в формировании единой информационно-аналитической модели мониторинга деформаций смещения на поверхности многочисленных породных отвалов угольных объединений.

Следует отметить то, что метод получения оценки динамики породного отвала и имитационная модель могут быть использованы службами МЧС, органами местного самоуправления, экологами, землеустроителями и специалистами в области рекультивации земель для решения широкого круга практических задач и предотвращения вероятности возникновения оползня.

### Список литературы

1. Зубова, Л. Г. Исследование объёмной плотности породы и почвогрунта породного отвала [Текст] / Л. Г. Зубова, Ю. И. Макаришина // Сборник научных трудов Дон ГТУ. – 2013. – № 40. – С. 38 – 45.
2. Бутенко, О.С. Анализ данных космического мониторинга при прогнозировании распространения выявленных аномалий [Текст] / О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць Ін-ту телекомунікацій і глобал. інформ. простору НАН У і Київськ. Нац. ун-та буд-ва і арх. — Вып. 2. – К., 2009. — С. 23 — 41.
3. Бутенко, О. С. Методика определения экспертных оценок для выявления зон возможных подтоплений [Электронный ресурс] / Бутенко О. С., Горелик С. И. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 2. – С. 59–64. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/recs\\_2014\\_2\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/recs_2014_2_9.pdf).
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.

Поступила в редакцию 16.11.2015

### Метод прогнозування динаміки змін породних відвалів на основі даних дистанційного зондування Землі

Одним із найважливіших екологічних чинників, що визначають безпеку життєдіяльності у вуглевидобувних регіонах, є проблема породних відвалів. На основі аналізу космічних знімків і даних контактних методів було розроблено методику отримання прогнозних оцінок динаміки породних відвалів та імітаційну модель виникнення зсуву. Створені методики дозволяють визначити тенденцію поширення породи і є важливою ланкою у формуванні єдиної інформаційно-аналітичної моделі моніторингу деформацій зсуву на поверхні численних породних відвалів вугільних об'єднань.

**Ключові слова:** породний відвал, зсув, імітаційна модель, нечітка логіка, прогнозні оцінки, продукційні вирішальні правила.

### Method of Predicting the Dynamics of Changes in Spoil Heaps on the Basis of Remote Sensing Data

The issue of spoil heaps is one of the most important environmental factors determining the safety of the life in the coal-mining regions. Consequently, the problem associated with obtaining the predictive estimates of the dynamics of the spoil heaps are relevant. Problem solving is carried out in two stages: first - the creation of a simulation model of landslides in MathCAD, in the second - the creation of a method of obtaining predictive estimates of the dynamics of spoil heaps using fuzzy logic operations. In the result, these methods can determine the trend of the breed spread and are an important link in the formation of a unified information-analytical model of deformation monitoring the displacement of the spoil heaps.

**Keywords:** spoil heap, landslide, simulation model, fuzzy logic, production decision rules, predictive estimates.