

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЯ

**Назимко И.В.** (УкрНИИМИ, г. Донецк, Украина)

*За допомогою фізичного моделювання та натурних спостережень за розвитком оповзня було встановлено, що чисельне диференціювання зміщень і розподілення їхніх векторних полів дає цінну інформацію для розуміння того як розвивається оповзень. Прирости векторів зміщень мають тенденцію до формування кластерів масиву ґрунту, які взаємодіють між собою. Визначено, що кластерна мозаїка приймає нехарактерний вигляд перед тим як прискорюється розвиток оповзня або перед обвалом масиву.*

*A landslide of clayey seashore has been investigated by actual measurements in situ and in physical and computer models. It was discovered that numerical derivation of current displacements and their vector fields provides valuable information for understanding how the landslide develops. Incremental vectors of displacements tend to self-organize into clusters of ground that interact among themselves. It was discovered that cluster mosaic is unique immediately before landslide acceleration or before massive ground collapse. This feature is a reliable sign of imminent landslide occurrence.*

### ВВЕДЕНИЕ

При работе угольных шахт возникают сдвиги земной поверхности. При этом сдвиги протекают в разной форме (мульды, провалы вокруг ствола, оползни склонов и т.д). В данной работе рассматривается процесс сдвига земной поверхности в форме оползня, который может быть спровоцирован горными работами. Для того чтобы получить количественные характеристики оползня, необходимо производить мониторинг этих параметров в момент возникновения и развития оползня. Если происходит оползень скального массива, он протекает весьма быстро. В связи с этим рассматривается оползень глинистого

пластичного грунта, вызванный длительным влиянием осадков, и развивающийся длительный период (в течение месяца). Кроме того, сам механизм оползня глинистого пластичного материала, обусловленного водонасыщением, принципиально не отличается от оползня, спровоцированного горными работами [1].

Оползни подвергают людей опасности, причиняют ущерб окружающей среде и влекут за собой большие экономические потери. Землетрясения, длительные осадки, а также деятельность людей провоцируют оползни. В данной работе рассматривается типичный оползень, который инициирован интенсивными осадками. В работе представлены некоторые результаты натурных измерений подвижек грунта в области, которая склонна к оползням.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЯ С ПОМОЩЬЮ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Экспериментальный участок (указанный полой стрелкой) был расположен в поселке Мелекино возле города Мариуполь.



Рис. 1. Расположение места эксперимента

На рис. 2 показано типичное крутое морское побережье, которое подмывается морем. Морские волны вымывают, растворяют и поглощают разбавленную глину из прибрежной зоны, которая поддерживает основной массив берега, сложенного глинистыми породами. В конечном счете, эта зона утрачивает устойчивость и перемещается вниз к морю. Таким образом, возрастает вероятность возникновения оползней после длительного

периода вымывания берега, сложенного глинистыми породами (рис. 3).



Рис. 2. Общий вид оползня



Рис. 3. Фрагмент произошедшего оползня

Массивные оползни часто происходят в весенний период. Климат в исследуемой области сухой и оползни происходят раз в течение 5-10 лет. Полная высота берега обычно колеблется в пределах 20 – 30 м над уровнем моря. Средний наклон берега составляет  $20^\circ$ , но иногда достигает  $30^\circ$  и больше. Наклон плоскости скольжения составил приблизительно  $10-15^\circ$ . Исследуемая область представлялась мелкой однородной коричневой глиной, плотность которой была  $1850-2040 \text{ кг/м}^3$ . Как известно, глина становится хорошо пластичным материалом, когда насыщается водой. Предел прочности на одноосное сжатие сухого образца, который содержал 4% воды, был приблизительно 18 МПа, а разрушение образца

происходило при деформации равной 0,018. Цилиндрический образец глинистого грунта, содержащий 33% воды, имел предел прочности на одноосное сжатие 1 МПа, а максимальное сопротивление происходило при деформации 0,05. Приблизительно такой же уровень сопротивления удерживался вплоть до значения 0,2, что демонстрирует хорошие пластичные свойства глинистого грунта.

Было установлено 65 реперов на площади поверхности, имеющей размеры 30 на 40 м. Среднее расстояние между соседними реперами составило 3 – 5 м. Все измерения движения реперов были сделаны относительно двух базовых реперов, которые были зафиксированы на бетонных столбах, которые находились за пределами влияния оползня. Было произведено две сессии натуральных измерений расстояний каждого репера от двух базовых реперов с помощью инварной проволоки. Кроме этого производилась нивелировка реперов с помощью водяного нивелира. Текущие координаты реперов вычисляли, используя результаты плановых и высотных измерений по известным тригонометрическим зависимостям [2].

Ранее было показано [3], что приращения необратимых сдвижений массива горных пород являются гораздо более информативными, чем суммарные сдвигения. Это обусловлено тем, что положительный или отрицательный знак либо поворот вектора сдвижений вправо или влево могут вычитаться друг от друга и таким образом, данные вектора исчезнут, что повлечет за собой существенную потерю информации. Именно поэтому было произведено дифференцирование результатов, а не интегрирование.

Приращение смещений реперов определялись как разница между предшествующим и последующим измерениями. Эти данные использовались для того, чтобы построить распределения векторов сдвижений (рис. 4). Область распределения смещений делится на сектора. Для того чтобы выделить эти сектора, были использованы различные типы линий для векторов, направленных вверх, вниз, вправо-вверх, вправо-вниз.

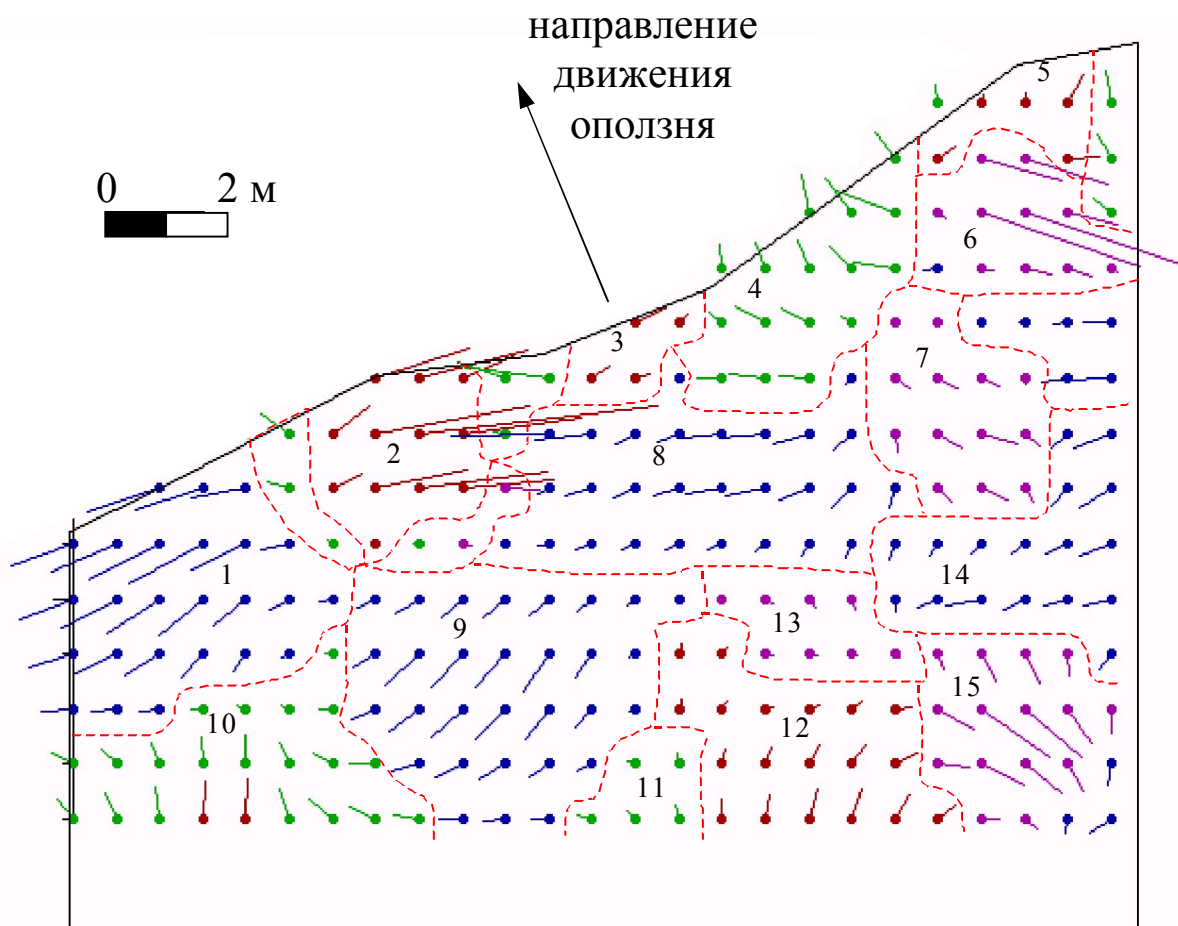


Рис. 4. Распределение перемещений векторов в горизонтальной плоскости в натуре (цифрами показаны номера кластеров)

Необратимое движение грунта в области оползня является следствием разделения почвы на секторы размерами 2-10 м, их асинхронного движения и вихревым движением групп секторов. Это поведение свидетельствует о том, что движение грунта в области оползня является сложным.

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЯ

В связи с тем, что натурный мониторинг параметров оползня является весьма трудоемкой задачей и требует длительного времени, в данной работе для более детального раскрытия механизма оползня было использовано физическое моделирование на эквивалентных материалах.

Оползень был смоделирован на физической модели в геометрическом масштабе 1:200. Размеры модели составляли: левая высота 8 см, правая высота 7 см, ширина 34 см и длина 20 см.

Динамический масштабный коэффициент вычислялся согласно формуле:

$$F_H/F_M = (200/1) \cdot (\gamma_H/\gamma_M) \quad (1)$$

где

$F_H$  и  $F_M$  являются физическими параметрами грунта в натуре и в модели, имеющие размерность силы, или напряжения;  
 $\gamma_H/\gamma_M$  плотность в натуре и в модели соответственно.

Моделируемый материал состоял из мелкого песка (размер зерна  $<0,8$  мм), цемента, серой глины и воды в пропорции 94:3:1:2. Эта смесь укладывается слоями в стенд, имеющий только боковые стенки. Плотность этой смеси после уплотнения составила  $1550 \text{ кг/м}^3$ . Чтобы соблюсти динамический масштабный коэффициент, прочность на одноосное сжатие моделируемого материала должна находиться в пределах  $0,072\text{-}0,004$  МПа. Тестирование образцов, вырезанных из слоев в модели, показало, что его прочность на одноосное сжатие составляет приблизительно  $0,1$  МПа в натуре, что является близким к указанному диапазону с учетом масштабного фактора.

Оседание моделируемой поверхности измерялось линейкой с точностью  $\pm 1,5$  мм (вдоль оси Z). Смещения в горизонтальной плоскости (X, Y) были зарегистрированы цифровым фотоаппаратом и обработаны специальным программным обеспечением. Один пиксель соответствовал  $0,56$  мм в модели. Точность регистрации смещений в направлении X и Y была  $\pm 2,35$  пикселя или  $\pm 0,32$  мм с доверительным интервалом 95%. Такая точность обеспечила достаточную достоверность для исследования поведения оползня в физической модели. Съемка проводилась каждый раз, когда происходили видимые изменения в модели. Эти изменения были названы как стадии развития оползня. Это помогло собрать максимальную информацию, касающуюся сложного поведения грунта в течение инициирования и развития оползня.

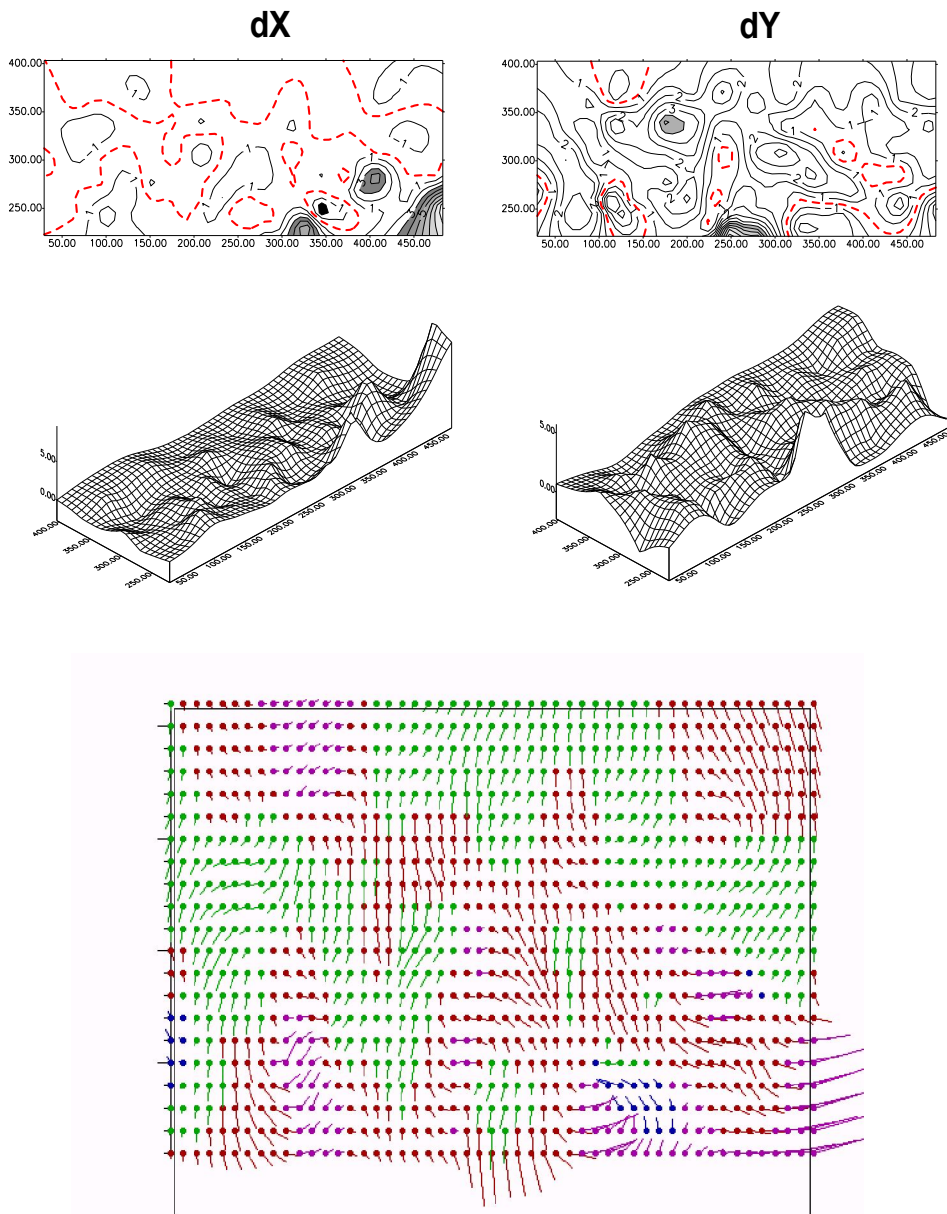


Рис. 5. Распределение смещений на стадии 7



Для сохранения максимальной информации были вычислены приращения между соседними стадиями оползня. Стадии от 1 до 8 находятся в периоде инкубации, который характеризуется аккумуляцией напряжений и подготовкой к разделению грунта. Рис. 5 демонстрирует типичный пример распределения приращений движения грунта. Эти движения создают вихревые направления, которые регистрировались в ходе натурных измерений. Видно, что грунт организует себя в отдельные кластеры, которые взаимодействуют и реорганизуются между собой в процессе развития оползня.

Под кластером грунта или массива горных пород понимают его блок, в пределах которого все частицы движутся согласованно, а сам блок движется как единое целое, причем это движение можно разложить на поступательно-вращательные компоненты. Экспериментальная область была разделена примерно на два десятка кластеров, что близко соответствует результатам эксперимента в натуре.

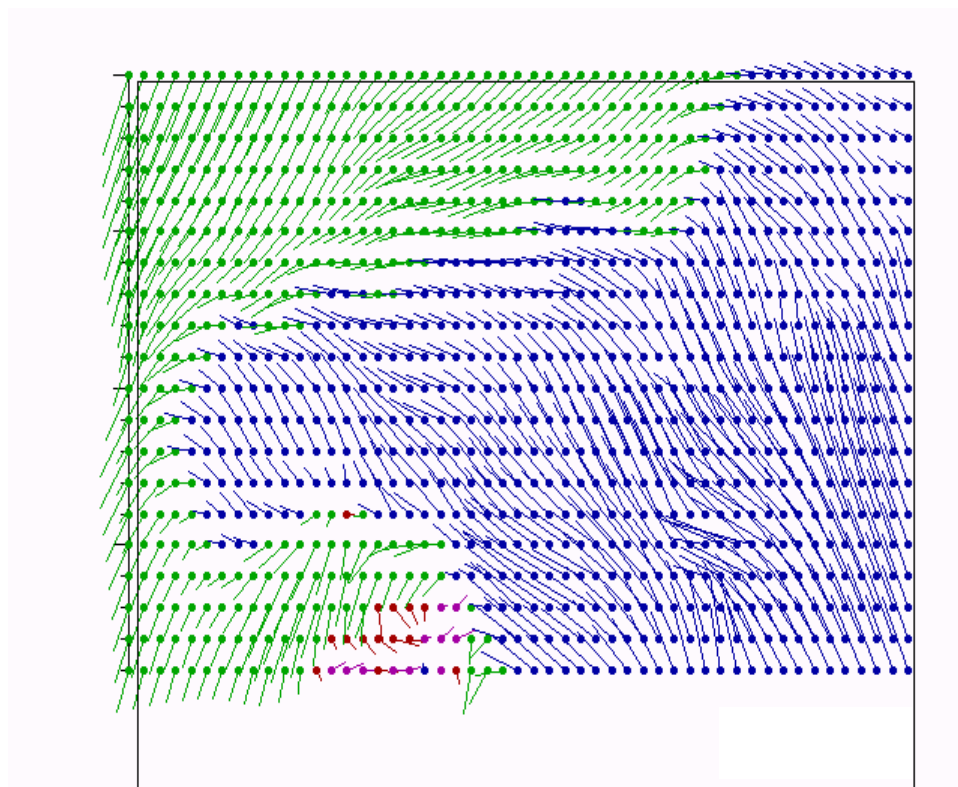


Рис. 6. Распределение перемещений на стадии 9



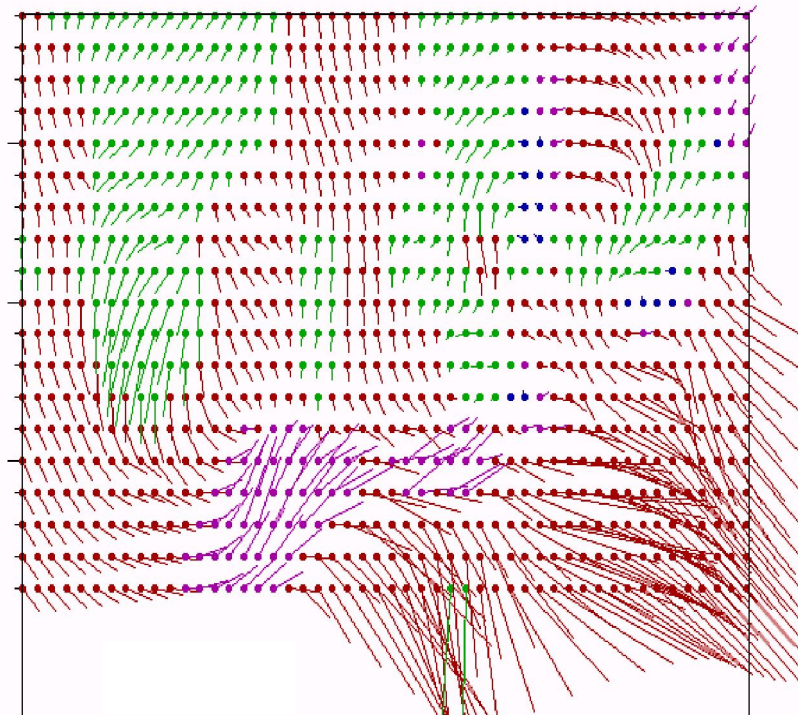


Рис. 7. Перераспределение смещений на стадии 10

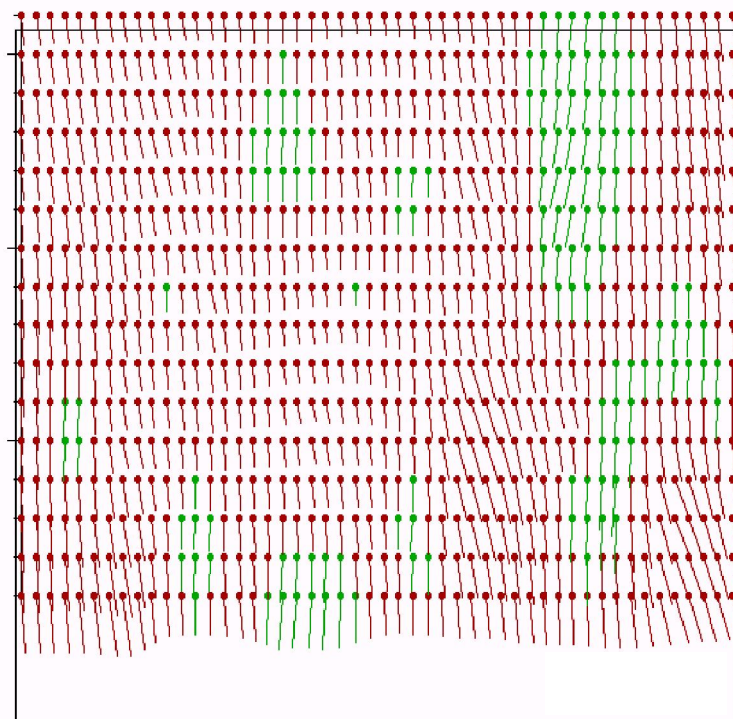


Рис. 8. Распределение горизонтальных смещений на стадии 11

На стадии 9 было зафиксировано существенное скачкообразное изменение распределения смещений векторов (рис.

б). Половина поверхности грунта изменила направление смещений против движения оползня. Кроме того, перестроилось распределение кластерной мозаики. Такое специфичное поведение является предвестником разделения грунта, что было подтверждено на стадии 10 (рис. 7). Существенная часть правой передней секции поверхности грунта отделилась и переместилась вниз по направлению оползня, что видно на рис. 3.

Дальнейшее скольжение грунта не сопровождалось видимой кластерной реорганизацией и изменением направления движения (рис. 8). Общая картина скольжения грунта соответствовала нисходящему движению. Вихревые образования практически отсутствуют на этих стадиях. Упрощение кластерной мозаики может быть объяснено аккумуляцией степеней свободы в массе грунта. В начальной стадии генерации скольжения масса грунта плотная и не может перемещаться как целое тело, потому что существуют условия ограничения степеней свободы или подвижности грунта. Любой оползень происходит как местное явление. Для того чтобы отделиться от остальной массы грунта, скользящая часть грунта должна накопить степени свободы от трещин, зон напряжения и среза. Любая такая зона должна расширяться, так как расширение - это необходимое условие для отделения грунта от основной массы массива.

Критическая величина расширения не может набраться мгновенно и синхронно через все границы между скользящим телом и основной покоящейся массы. Следовательно, расширение может быть аккумулировано последовательно, маленькими частями в пространстве и во времени. Эти части создаются вследствие локальных разделений и разрывов относительно маленьких блоков грунта. По мере того как эти блоки разделяются, они должны переместиться, чтобы освободить пустое пространство для разделения следующих частей. Даже после того, как произошло достаточное разделение, блоки грунта должны приспособить свое взаимное движение, вращение, изменение скорости движения и даже направление. Поэтому сложная кластерная организация, вихри и «странное» поведение блоков грунта регистрировались как в натуре, так и в модели. Такое сложное поведение происходит на начальных стадиях развития оползня, когда отсутствует достаточное пространство для перемещения.

Стоит подчеркнуть, что кластерная организация доказана не только взаимным согласованием движения, но и наличием иерархии кластеров. Чтобы продолжать процесс скольжения, кластеры в стадии 7 должны разделиться и предоставить возможность образования новым кластерам на стадии 8. Кроме того, некоторые кластеры, существующие на стадии 7, должны сливаться на стадии 8. Большинство кластеров, упомянутых выше, должно сливаться, чтобы создать два кластера в 9-ой стадии скольжения оползня. Именно такой процесс слияния/разделения кластеров отражает их иерархию.

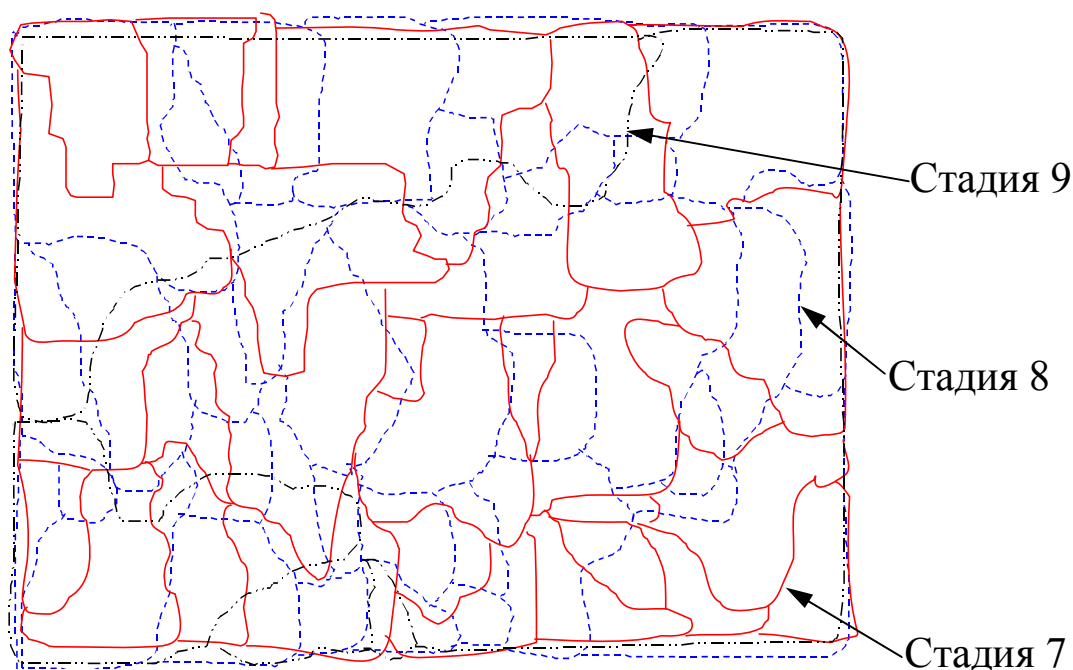


Рис. 9. Наложение распределения кластеров стадий 7, 8, 9

Реорганизация кластеров сопровождается дезинтеграцией грунта, потому что граница старого кластера может не совпадать с границей новообразующего кластера. Рис. 9 иллюстрирует это заключение, на котором представлено наложение распределения кластеров в стадиях 7, 8 и 9. Фактически, природа выбирает такой путь развития оползня, при котором затрачиваемая энергия была бы минимальна. Если процесс разделения кластеров «по живому» преобладает, значит, это сопровождается минимизацией рассеяния энергии горного давления. В том случае, когда снижению рассеяния энергии сопутствует объединение кластеров, происходит процесс их слияния.

Это означает, что процесс скольжения грунта комбинирует разделение блоков массива и реорганизацию кластеров во времени и в пространстве, чтобы минимизировать энергию, затрачиваемую этим процессом. Эта точка зрения совпадает с выводом, который сделан в процессе исследования кластерной организации в процессе провалов поверхности при подземной разработке [4].

Предложенный в данной работе критерий оценки момента активизации оползня является перспективным с точки зрения повышения достоверности прогноза оползневой опасности [5-8], а также обоснования методов ее предотвращения [9-10]. Для обеспечения возможности применения нового критерия устойчивости склонов необходимо определить количественные параметры кластерного образа земной поверхности и массива горных пород, при возникновении которого опасность развития оползневого процесса существенно возрастает.

## **ВЫВОДЫ**

Подведя итоги результатов натурных инструментальных измерений и физического моделирования, можно сделать некоторые предварительные заключения. Скольжение грунта в процессе зарождения и развития оползня происходит из-за локальных разделений и разрушений блоков массива. Скольжение развивается, только если разделенные блоки приспособят их взаимное движение, вращение, изменение скорости и направления скольжения и сгруппируются в кластеры блоков. Эти кластеры повинуются иерархии, которая требует их воссоединения и разделения в течение скольжения. Границы этих кластеров могут создаваться за счет дезинтеграции блоков массива, которые находятся в кластерной мозаике. Кластерное распределение перед активизацией оползня необычно и отличается от предыдущих распределений, которые имели место при стабильном процессе скольжения. Такое поведение соответствует принципу механики минимизации энергии при развитии оползня и может быть использовано в качестве предвестника катастрофического развития оползня.

Дальнейшими исследованиями предусматривается математическое моделирование процесса кластерной эволюции

тела оползня и установление закономерностей его зарождения и развития.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. – Л.: ВНИМИ, 1973. – 58 с.
2. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М.: Наука, 1972. – 416 с.: ил., табл.
3. Бокий Б.В., Александров С.Н., Назимко И.В. Кластерный механизм динамики сдвижения подрабатываемого движущейся лавой массива горных пород // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2007». – Д: Національний гірничий університет, 2007. – С. 55-59.
4. Nazimko V.V., Sazhnev V.P., Peng S.S., Zacharov V.S., Gryaznov V.S. // Investigation of a roof fall as an irreversible process of rock mass self-organization. Проблеми гірського тиску. – Донецк: ДонНТУ. – 2001. - № 5. - С. 48-71.
5. Демчишин М.Г. Прогноз и предупреждение оползневых явлений на территории Украины. (Препринт. / АН УССР Институт геологических наук; 82 – 18). – К., – 1982.
6. Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебн. / Под ред. В.Т. Трофимова. – М., – 1995.
7. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР и их региональный прогноз. – М., – 1980.
8. Рудько Г. І., Ковальчук І.П., Польовецький В. Геоекологічні умови катастрофічної активізації зсувів у містах Карпатського регіону // „Економіко-, соціально- і екологогеографічні проблеми західноукраїнського прикордоння”. – Львів, - 1997. – С. 202 – 216.
9. Дранников А.М. Оползни Украины и опыт борьбы с ними // Тр. первого Укр. гидрогеол. совещ. – К., 1961. – Т.2. – С. 17 – 28.
10. Оползни. Исследование и укрепление / Под ред. Р. Шустера и Р. Кризека / Пер. с англ. А.А. Варги и Р.Р. Тизделя. – М., –1981.

*Здано до редакції 3.09.2008*

Рекомендував до друку д.т.н. Піталенко Е.І..