

УДК 550.83:551.435.62

Э. Д. КУЗЬМЕНКО<sup>1</sup>, И. В. КРИВЮК<sup>1\*</sup>, И. В. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, В. П. ЗИНЧЕНКО<sup>3</sup><sup>1</sup> Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел. +38(0342)504761, эл. почта: kuzmenko-eduard@rambler.ru, i\_krivyuk@mail.ru<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт гидрогеологии, инженерной геологии и экогеологии, ул. С. Бандеры, 7а/5, Ивано-Франковск, Украина, 76014<sup>3</sup> ООО Институт прикладных исследований "АРАТТА", ул. Виталия Шимановского, 2/1, офис 114-А, Киев, Украина, 02660

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СКЛОНАХ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Цель.** Демонстрация эффективности геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в наземно-скважинном варианте с реализацией режимных наблюдений и увязкой полученных результатов с инженерно-геологическими исследованиями оползней на примере территории, расположенной на правом берегу водохранилища Киевской гидроэлектростанции. **Методика.** Работы проведены в 2009, 2011 и 2013 годах в площадном варианте и в 2013 – в скважинном. В площадном варианте измерения выполнены по серии профилей на площади до 10<sup>5</sup> м<sup>2</sup>. Измерения в инженерно-геологических скважинах проводились с помощью датчика-зонда, соединенного с индикатором кабелем. **Результаты.** По результатам поверхностных измерений построены графики по отдельным профилям и карты распределения интенсивности электромагнитного поля. На данных картах выделены зоны с аномальным напряженно-деформируемым состоянием пород, которые полностью согласуются как с динамикой развития оползня на участке, так и с данными инженерно-геологических исследований. На основе анализа этих карт и графиков представилось возможным спрогнозировать вероятные границы дальнейшего развития оползня в глубь еще незатронутой территории. В результате зондирования скважин были получены графики распределения электромагнитного поля с глубиной, по аномальным проявлениям которых определены глубины напряженных поверхностей и зон. В оползнеопасном массиве пород в преобладающем большинстве прозондированных инженерно-геологических скважин обнаружены два уровня концентрации напряжений. **Научная новизна.** Продемонстрирована эффективность метода ЕИЭМПЗ в наземно-скважинном варианте при изучении оползневых процессов. Полученные результаты полностью согласованы как с данными инженерно-геологических исследований, так и с динамикой развития оползня на рассматриваемом участке. **Практическая значимость.** Исходя из представленных материалов, метод ЕИЭМПЗ безусловно является эффективным при исследовании оползневых процессов как на стадии их образования, так и в процессе мониторинга. Применение исследований методом ЕИЭМПЗ в скважинах, в совокупности с площадным вариантом, дает возможность не только оценить напряженно-деформируемое состояние горных пород в пространстве, но и проследить его распределение с глубиной. Поэтому, по возможности, данный метод должен быть включен в основной комплекс геофизических методов исследования оползней. При этом целесообразно проводить предварительные исследования на оползневых или оползнеопасных участках методом ЕИЭМПЗ с целью получения общей картины состояния участка.

**Ключевые слова:** геофизические методы исследования; метод ЕИЭМПЗ; электромагнитная эмиссия; оползни; оползневая опасность; мониторинг оползневых процессов; прогнозирование оползневых процессов.

### 1.1. Введение

Оползни являются самым распространенным геологическим явлением в ряду экзогенных геологических процессов. Возникновение оползня обусловлено нарушением равновесия массива горных пород и деформированием его на качественно ином уровне. Средства массовой информации, время от времени, сообщают о катастрофических оползневых явлениях в разных странах, например, 2013 г. – Италия, США; 2014 г. – Афганистан, Япония; 2015 г. – Китай, Перу.

Вопросы изучения оползневой опасности, методики их исследования и предупреждения находятся в центре внимания мировых симпозиумов и конференций [Materials of..., 2008; Kyoji S. et al., 2014]. В Украине, согласно [Національна доповідь..., 2014], по состоянию на конец 2014 г. насчитывалось более 20 тыс. оползней, из них 1777 активных. Поэтому актуальной задачей следует считать разработку методов и систем прогнозирования оползневой опасности как на региональном, так и локальном уровне. В силу затратности буровых работ с отбором керна и

последующими лабораторными испытаниями образцов горных пород для определения расчетным путем устойчивости склонов, целесообразными представляются опережающие геофизические исследования потенциально оползневых массивов.

### 1.2. Цель

Целью предлагаемой статьи является демонстрация эффективности геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в наземно-скважинном варианте с реализацией режимных наблюдений и увязкой полученных результатов с инженерно-геологическими исследованиями оползней на примере территории урочища Межигорье, расположенного на правом берегу водохранилища Киевской гидроэлектростанции.

### 1.3. Методика

**Анализ литературных данных.** Задача изучения оползней с использованием комплекса геофизических методов рассматривалась в последние десятилетия для различных оползнеопасных территорий с учетом классификационной специфики оползневых процессов. Результаты этих исследований приведены в многочисленных публикациях (статьях, монографиях, материалах научных конференций) и обобщены в диссертационных работах по этой тематике [Чебан В., 2002; Бессмертный, 2004; Крив'юк У., 2012]. Из публикаций украинских ученых основополагающей следует считать монографию [Кузьменко Е. та ін., 2009], в которой предложены вероятностные критерии прогнозной оценки оползневой опасности и рассмотрена возможность использования геофизических методов при расчете устойчивости оползневых склонов.

Наряду с комплексным подходом к изучению и прогнозированию оползней, возникает вопрос: а нельзя ли задействовать на первоначальной стадии, в качестве экспресс-метода, оперативный в исполнении и рентабельный экономически метод для предварительной оценки оползневой опасности, с последующей детализацией комплексом геофизических методов и заверкой бурением с расчетом устойчивости склонов. Вопрос этот решен положительно: такой метод есть – это ранее упомянутый метод ЕИЭМПЗ.

Современные представления об излучении электромагнитной энергии минералами и горными породами были разработаны А. А. Воробьевым в 50–70-х годах минувшего столетия и обобщены в известной монографии “Равновесие и преобразование видов энергии в недрах”, 1980. Им была сформулирована гипотеза о том, что часть наблюдаемых в земной коре и атмосфере электрических, магнитных и электромагнитных полей обусловлена преобразованием энергии. Механоэлектрические

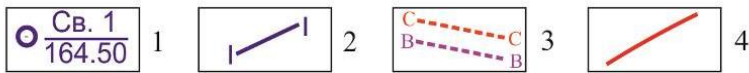
преобразования могут возникать при упругой или пластической деформациях и разрушении. При действии механических напряжений на горные породы генерируются электромагнитные импульсы. Именно на исследовании этих импульсов базируется метод ЕИЭМПЗ. Величину механических напряжений в толще пород оценивают с помощью измерений интенсивности электромагнитного поля или, иначе говоря, электромагнитной эмиссии импульсов поля – ЭМИ (количество импульсов в единицу времени) в заданном частотном диапазоне. Информационными параметрами, кроме скорости следования импульсов, является доминирующая частота и амплитуда сигнала, его энергия, спектральная плотность.

В силу вышесказанного, метод ЕИЭМПЗ с успехом может использоваться для решения инженерно-геологических задач, связанных сугубо с изучением оползней [Ерыш И., 1999; Чебан, 2002; Бессмертный А., 2004]. В качестве методического руководства для практического использования наиболее приемлемой, на наш взгляд, является монография [Ковальчук С., 2003]. В указанной работе приведены конкретные примеры исследований на оползневых участках в г. Одессе и Одесской области с детальным пояснением природы аномалий и согласования их с геологическими разрезами. Согласно [Ковальчук, 2003], графики ЭМИ на оползневом склоне не только отображают в целом оползневую активность, но и подлежат расчленению на участки, соответствующие оползневым ступеням, с пиками аномалий на местах наблюдаемых, погребенных или прогнозируемых стенок срыва. Вместе с тем, информация о распределении ЭМИ и соответственно механических напряжений горных пород в глубине массива остается закрытой – для ее извлечения дополнительно нужны скважинные измерения.

**Геология участка исследований и оползневая опасность.** Расположение урочища Межигорье на Правобережьи Киевского водохранилища в настоящее время изображено на туристических картах и схемах. На территории урочища Межигорье присутствуют несколько оползней. В данной статье мы ограничимся схемой оползня и фрагментом геологического разреза по одному из геологических профилей на участке исследований “Смотровая площадка”. (рис. 1, 2). Оползень имеет овальную форму длиной порядка 200 м при максимальной ширине в верхней части около 75 м с сужением в нижней части оврага примерно до 25 м.

Предполагаемые плоскости скольжения на рис. 2 подобраны исходя из результатов поиска минимума устойчивости для круглоцилиндрических поверхностей с учетом зафиксированных плоскостей сдвига и субгоризонтальной трещиноватости в керне скважины 2, а также итогов изучения оползневого склона методом сейсмоакустического резонанса. Расчет коэффициентов

расстоянии 25–30 м от бровки оползня. Как видно из рис. 1, эта буферная зона за 24 года (с 1985 по 2009) почти полностью сползла в результате постепенных подвижек. В 2012 г сошел оползень по линии ВВ от свай до контакта ранее образованных оползневых грунтов и далее по этому контакту. При этом наполовину были обнажены сваи от центральной части до левой консоли. Объем оползневых масс –  $(35\text{--}40) \cdot 10^3 \text{ м}^3$ , то есть с учетом размеров и объема, оползень относится к большим.

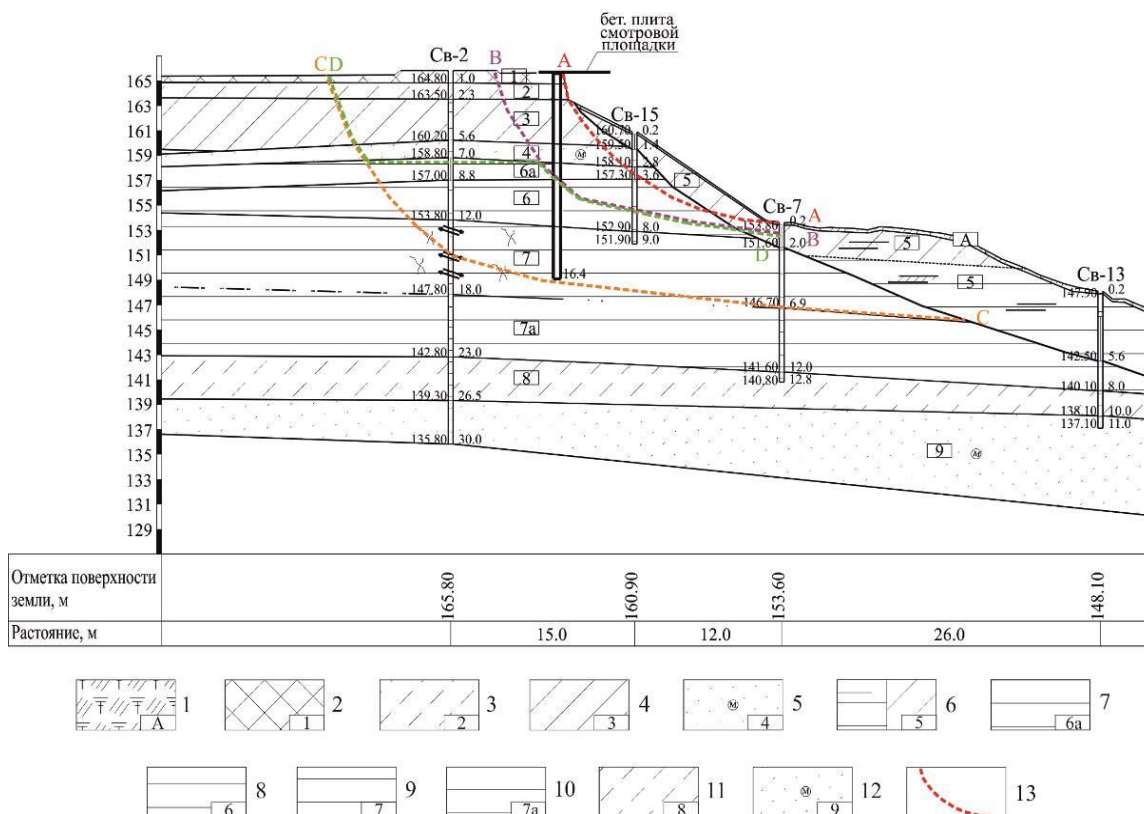


**Fig. 1. General arrangement of the “Viewing platform” region:**  
*1 – earth well, its number, ground level; 2 – line of geological section;  
 3 – forecasting crown cracks; 4 – landslide flanks*

варианте измерения выполнены по серии профилей на площади до  $10^5 \text{ м}^2$ . Сеть наблюдений: расстояние между профилями 10-20 м, расстояние

между точками по профилю – 5 м, при детализации аномалий – 1–2 м. С учетом сети на местности 20×5 м и соответственно на карте 2×0,5 см съемка соответствовала масштабу 1:1000. При протяженности аномалий вкrest профилей порядка 50 м и вдоль профилей порядка 10 м, такая сеть наблюдений и масштаб съемки представляются обоснованными. Профили ориентировались вкrest уступа склона и соответственно перпендикулярно берегу Киевского водохранилища с преобладающим направлением юго-запад – северо-восток. Наряду с площадными работами проводилась регистрация вариаций природного фона ЕИЭМПЗ. Такой методический прием позволяет при анализе результатов съемки выявлять и исключать ложные аномалии ЭМИ и выделять полезную составляющую поля [Чебан В.,

2002]. Аппаратура: аппаратно-программный комплекс (АПК) “Симеиз” (2009, 2013), радиоволновой индикатор напряженно-деформированного состояния РВИНДС (2011). Приборы обладают встроенным микропроцессором, дисплеем и оперативной памятью. Измеряемый параметр: скорость электромагнитной эмиссии (импульсы в секунду) – вертикальная составляющая для “Симеиз” и составляющие x, y, z для РВИНДС. Измерения в скважинах проводились с применением “Симеиза” с помощью датчика-зонда, соединенного с индикатором кабелем. Положение зонда всегда субвертикально. Шаг измерений составлял 0,2 м, что позволило с достаточной степенью точности проследить аномалии ЭМИ, которые далее локализованы в зоны различной мощности.



**Рис. 2.** Фрагмент геологического разреза:

- 1 – грунтово-растительный слой; 2 – насыпной грунт; 3 – супесь;  
 4 – суглинок; 5 – песок мелкий; 6 – переотложенные грунты (остатки оползневых грунтов);  
 7, 8 – глина темно-серая; 9, 10 – глина пестроцветная; 11 – супесь; 12 – песок мелкий;  
 13 – прогнозные поверхности скольжения

**Fig. 2.** Part of geological section:

- 1 – soil; 2 – fill-up ground; 3 – sandy loam; 4 – clay loam; 5 – fine sand;  
 6 – resedimented subsoil (screenings of landslides subsoil); 7, 8 – dark gray clay;  
 9, 10 – mottled clay; 11 – sandy loam; 12 – fine sand; 13 – forecasting surfaces of rupture

#### 1.4. Результаты

**Результаты площадных исследований ЕИЭМПЗ.** При анализе результатов исследований оползневых участков следует иметь в виду, что наличие уступа горных пород всегда ведет к

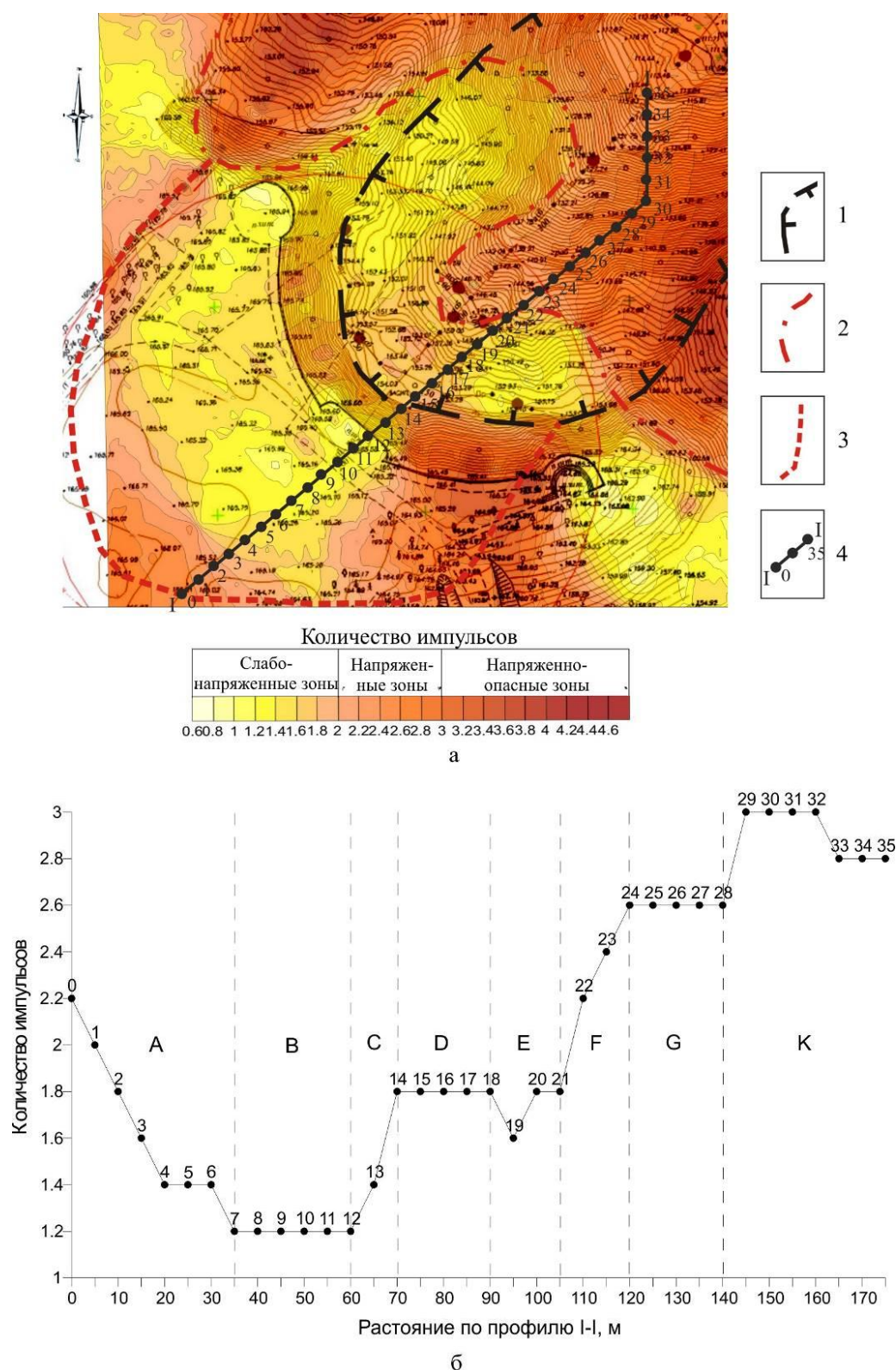
повышению механических напряжений. Однако, как подсказывает опыт, это вовсе не означает, что здесь в обязательном порядке должна присутствовать аномалия ЕИЭМПЗ. При достаточной устойчивости склона, достигнутой в течении

многих лет при его формировании, аномалия механических напряжений не обязательно должна обозначать грядущую оползневую активизацию. Только изменение механических характеристик во времени ведет к механоэлектрическим преобразованиям и электромагнитной эмиссии, что соответствует началу или продолжению развития оползня. Дополнительными критериями оползневой активности являются осложнения аномалий электромагнитного поля пиками и ступенями, ее изрезанность, а также изменения во времени.

Первый этап метода ЕИЭМПЗ реализован в 2009 г (рис. 3). Оползневая зона на участке исследований, судя по рис. 2, состоит из двух основных морфологических элементов: плато, где существует потенциальная оползнеопасность, и оползневого склона, в пределах которого развиваются современные активные оползневые деформации. Аномально напряженное состояние массива пород зафиксировано в пределах правого и левого бортов оползня. На местности эти борты представляют собой ярко выраженные контрфорсы, разделяющие оползневые долины. Породы этих контрфорсов имеют более высокие прочностные характеристики и с оползнями физически не могут быть связаны. Аномалии ЭМИ здесь – это аномалии рельефа и уступов склона. Отчасти аномалией уступа является зона высоких значений ЭМИ (С-D на рис. 3 б), прилегающая снизу к контуру смотровой площадки. Поскольку она представляет собой ступень, ограниченную по профилю аномалиями разного уровня интенсивности ЭМИ, то эта аномалия несет информацию об оползневой активности. Последнее подтверждается вывалом пород из под смотровой площадки. Эти вывалы развиваются влево (к северу) от центра смотровой, возможно, с этим фактом связано наличие зоны низких значений ЭМИ (участок В графика) как зоны разгрузки. Мы не склонны связывать аномалию в левом нижнем углу планшета (участок А) с возможным оползнем – это противоречит и рельефу, и результатам бурения. Вероятнее всего, это аномалия литологии, ибо в этом направлении песчаные породы замещаются глинистыми. В этом же направлении отмечается повышение уровней подземных вод. Наш опыт свидетельствует, что глинистые, а тем более увлажненные фракции в приповерхностной части разреза, уверенно картируются как аномалии ЕИЭМПЗ. Поэтому положение элемента 3 на рис. 3 (граница развития оползня на плато) вряд ли достоверно. В напряженном состоянии находится центральная часть оползневого склона, приуроченная к зоне повышенной крутизны, находящаяся, очевидно, в стадии медленных скрытых деформаций ползучести (ступени графика F, G, K). В целом ярко выраженный ступенчатый характер аномалий и их расположение согласуются с поверхностью скольжения АА на рис. 2 и дополнительно “сигнализируют” о том, что оползень не стабилизирован.

Следующий второй этап исследований реализован в сентябре 2011 года. Площадь работ – участок плато, тот же, что и на первом этапе. Принципиальное отличие от работ 2009 года заключалось в применении аппаратуры РВИНДС. Дело в том, что АПК “Симеиз” настроен на измерения только вертикальной составляющей поля, в то время, как при исследовании оползневых склонов более ярко выражены горизонтальные составляющие, соответствующие зонам растяжения и сжатия. Поэтому вполне логично, что на втором этапе исследований по нескольким отдельным профилям вкрест смотровой площадки были зарегистрированы абсолютно идентичные аномалии от бровки склона к плато. Благодаря очень низкому фону контрастность аномалий (отношение аномального сигнала к фону) составила два порядка. Аномалии ярко выражены, имеют линейный характер и занимают на плато полосу шириной 20–30 м. Это согласуется с предполагаемым расположением прогнозных трещин закола на расстояниях 9 и 20 м от бровки главного уступа (рис. 2).

На третьем этапе (ноябрь 2011 года) рассматривалась задача определения оползнеопасности на участке плато вдоль бровки склона, примыкающего с северо-запада к участку этапа № 1. По результатам комплексной интерпретации данных геофизических исследований, результатов бурения и статического зондирования определена значительная по размерам потенциально оползневая территория (рис. 4), которая характеризуется: 1) аномальной зоной интенсивности ЭМИ, согласованной с напряженно-деформируемым состоянием горных пород; 2) зонами обводнения, трещиноватости и снижения прочности горных пород; 3) наличием прогнозируемых трещин закола при образовании оползней; 4) низкими расчетными значениями коэффициентов устойчивости склона (от 1.27 для пород в природном состоянии на момент исследований, до 0.99 при увлажнении верхней части разреза). При анализе материалов подтвердилась гипотеза о наличии аномалий ЕИЭМПЗ в присклоновой части только при изменении во времени напряженно-деформированного состояния, – например, для некоторых профилей аномалии в районе уступа отсутствуют. На рис. 5 представлены результаты наблюдений по трем профилям, прилегающим к участку “Смотровая площадка”. На этих графиках выделяются: 1) зоны повышенных в целом значений интенсивности ЭМИ, прилегающие к бровке склона, например, на профиле 0 (0–40 м); 2) аномалии нестабильного уступа (отчетливо видны на кривых z) – 0–20 м; 3) пики прогнозируемых первых трещин закола, замыкающих аномалию уступа – 10–15–20 м; 4) пики последующих трещин закола (аналог трещин для поверхности DD на рис. 2) – 25–40 м. Здесь следует отметить, что разница в значениях ЕИЭМПЗ на рис. 3 и 5 объясняется тем, что для АПК “Симеиз” наблюдаемые данные нормировались по минимальному значению.

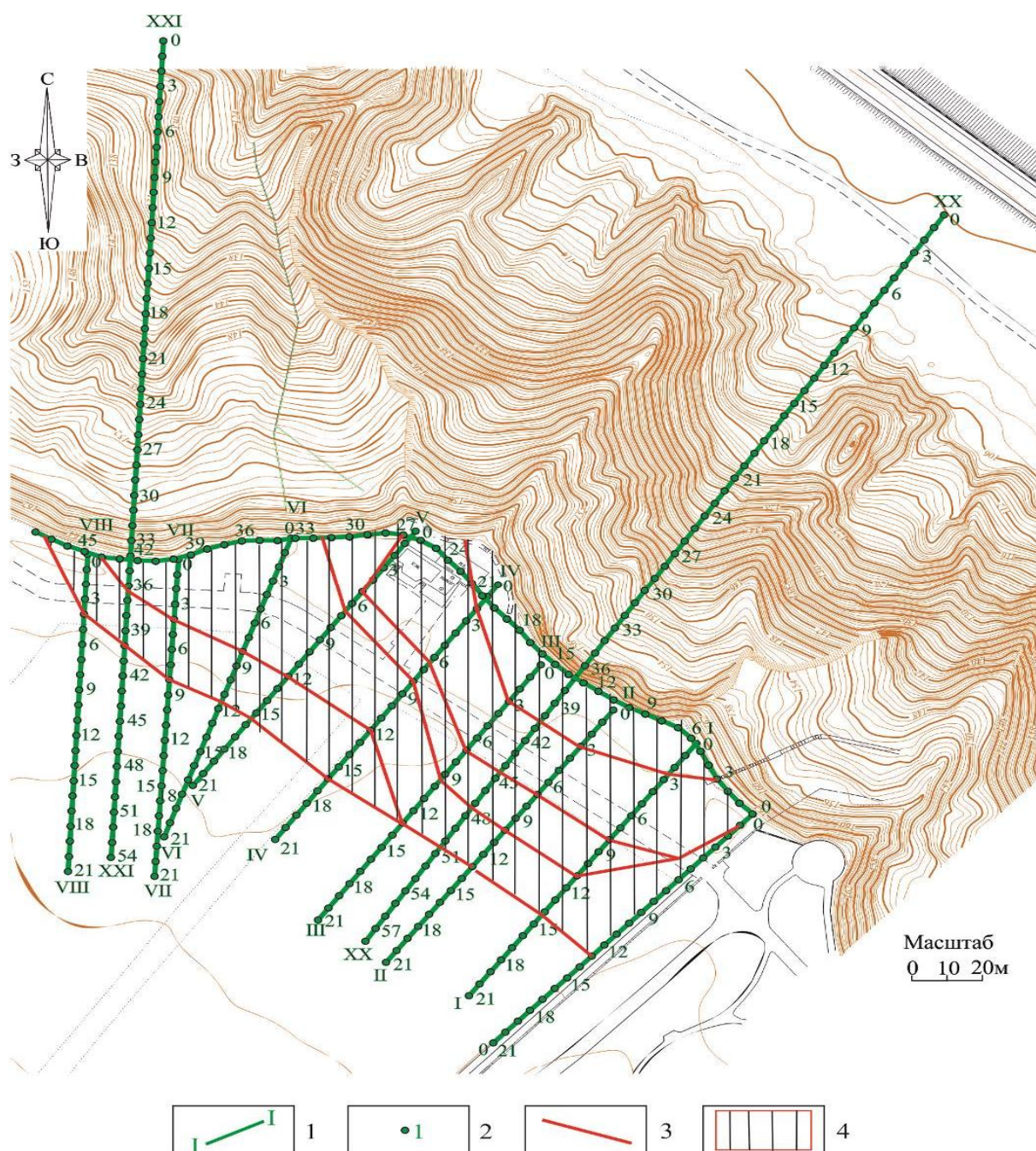


**Рис. 3.** Карта (а) и график по профилю I-I (б) интенсивности ЕИЭМПЗ:

1 – современные границы активной части оползня; 2 – границы современной оползнеопасной зоны в пределах склона (по данным ЕИЭМПЗ); 3 – границы прогнозируемого развития оползня на плато (по данным ЕИЭМПЗ); 4 – профиль для построения графика

**Fig. 3.** Map (а) and profile I-I diagram (б) of the NIEMFE intensity:

1 – current boundaries of the landslide active part; 2 – current borders of the landslide hazardous area within the slope (based on NIEMFE data); 3 – the boundaries of the forecasted landslide advancing to the upland (based on NIEMFE data); 4 – profile for the diagram



**Рис. 4.** Результативная карта комплексной интерпретации геолого-геофизических данных:  
 1 – профили исследований методом ЕИЭМПЗ; 2 – пикет и его номер;  
 3 – контуры аномальных зон за данными метода ЕИЭМПЗ; 4 – оползнеопасные зоны  
**Fig. 4.** Map of integral interpretation of geological and geophysical data:  
 1 – profiles of the NIEMFE research; 2 – measurement point and its number;  
 3 – contours of anomalous areas based on NIEMFE data; 4 – landslides hazardous areas

На четвертом этапе (июнь 2013 года) геофизические измерения методом ЕИЭМПЗ вновь осуществлялись в пределах территории, примыкающей к смотровой площадки. По результатам поверхностных измерений ЭМИ построена карта распределения полей напряжений (рис. 6), на которой показаны: напряжённые зоны в приоровочной части оползня, зона фильтрации и разгрузки подземного водного потока, а также

прогнозные границы дальнейшего развития оползневых деформаций. Из анализа полученной карты следует, что высоконапряжённая зона, сформированная в данном виде после весенней активизации оползня в 2013 г., приурочена, прежде всего, к приоровочной части и захватывает породный массив, прилегающий к головному срыву. Ширина этой зоны в северной, северо-западной части участка (от

крайней северной смотровой площадки до центральной смотровой площадки) – минимальная и составляет от 5 до 15 м. Далее, на юго-восток зона высоких напряжений расширяется и в створе с правым бортом оползня достигает максимальной ширины – до 50 м в крайней южной своей части. По контуру выявленной

зоны высоких напряжений проведена внутренняя прогнозная граница возможного дальнейшего развития оползневых деформаций в зоне краевых неуравновешенных напряжений. Исходя из полученных данных, на последующем этапе активизация оползня наиболее вероятна в правом борту.

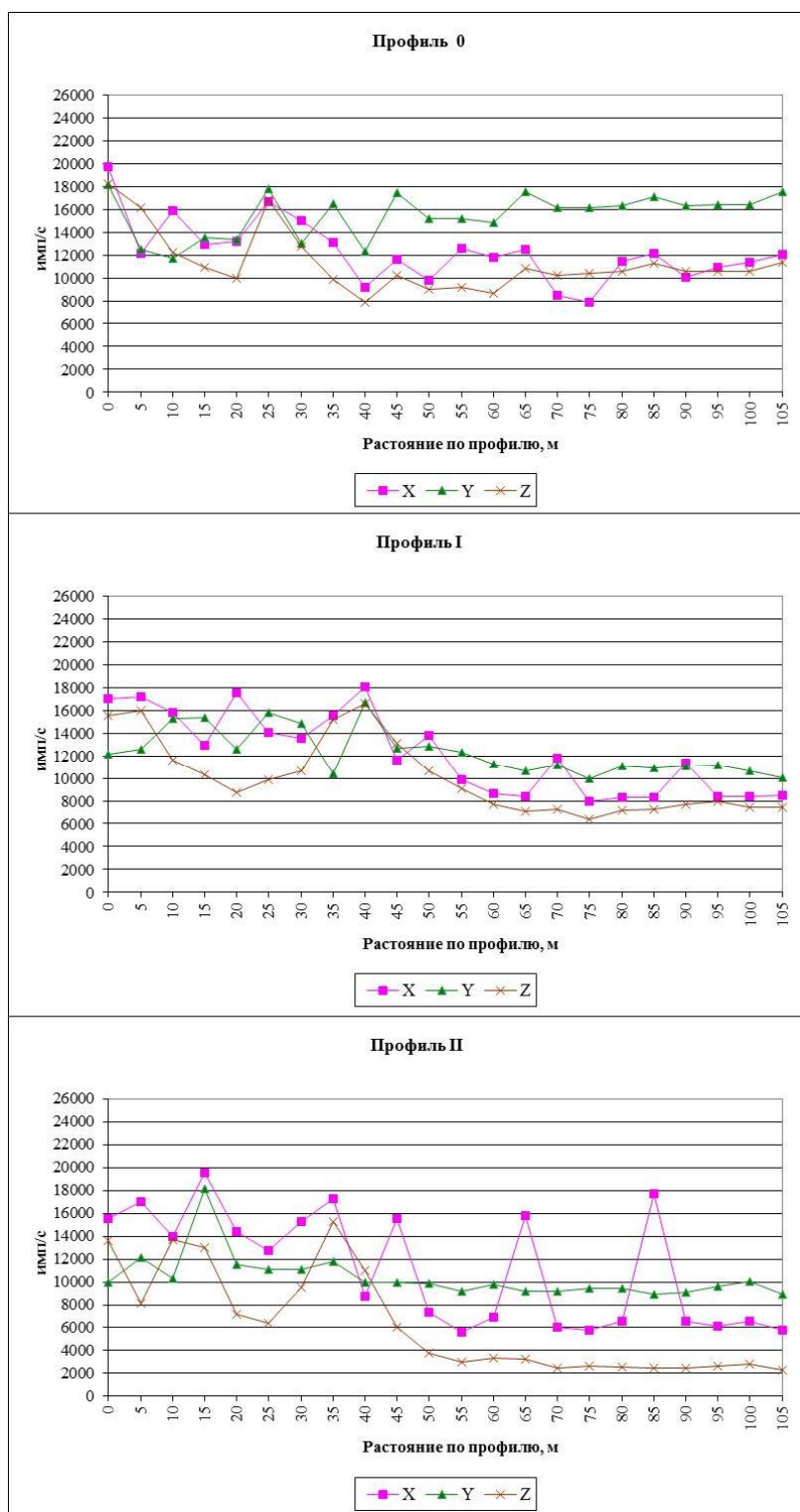
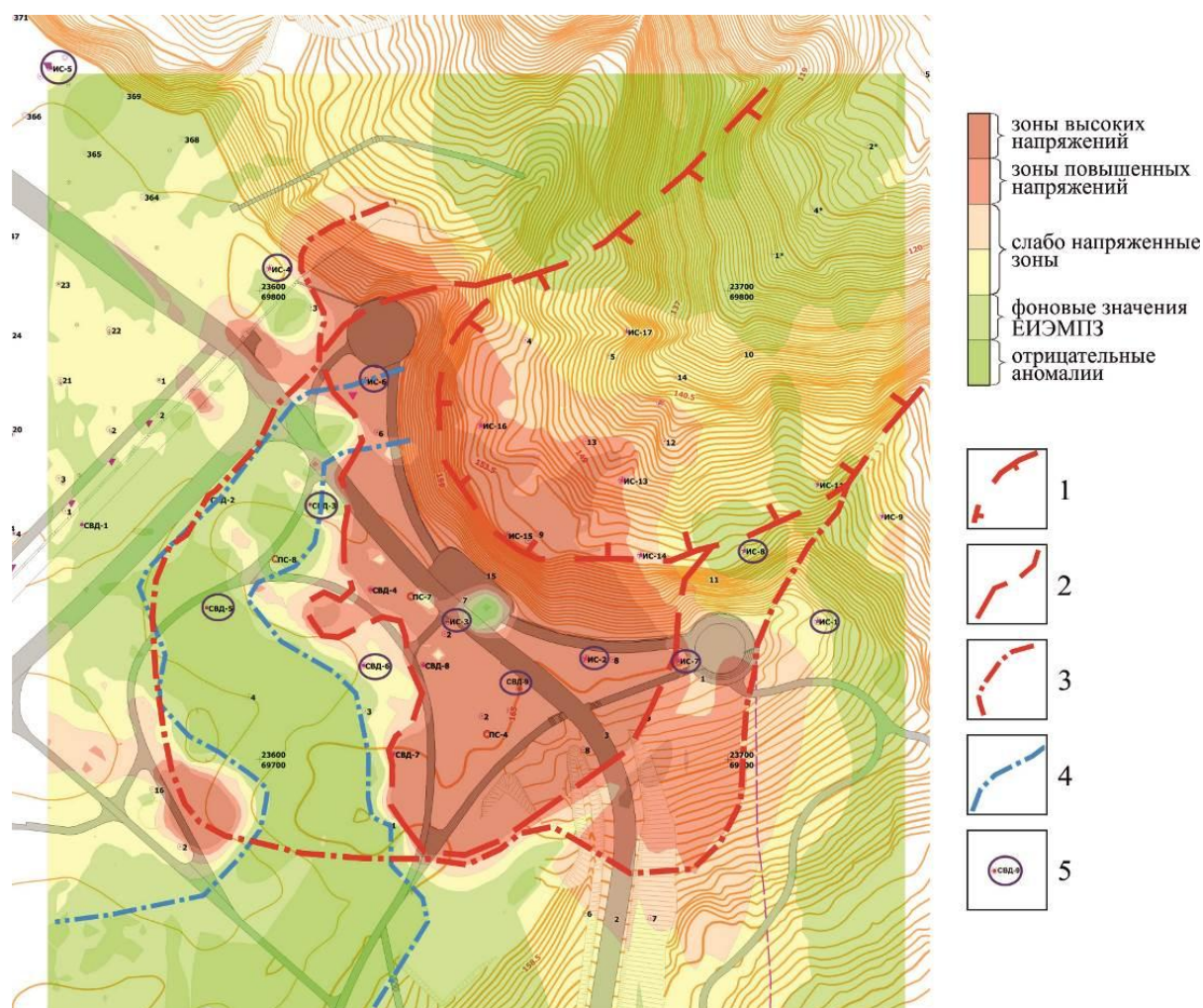


Рис. 5. Графики ЕИЭМПЗ  
Fig. 5. Diagrams of the NIEMFE intensity



**Рис. 6.** Карта распределения оползневых полей напряжений (по данным ЕИЭМПЗ): 1 – современная активная часть оползня; 2 – прогнозируемая граница дальнейшего развития оползневых деформаций в зоне краевых оползневых напряжений; 3 – прогнозируемая граница наиболее вероятного развития максимально возможных оползневых деформаций; 4 – переувлажненные породы в зоне фильтрации подземного водного потока; 5 – прозондированные скважины

**Fig. 6.** Map of landslide stresses fields distribution (based on NIEMFE data):

1 – modern active part of the landslide; 2 – forecasted boundaries of further landslide strains development in the within the area of boundary landslide stresses; 3 – forecasted border of the most probability of maximum permissible landslide strains development; 4 – waterlogged rocks in the area of underground stream water; 5 – explored earth bores

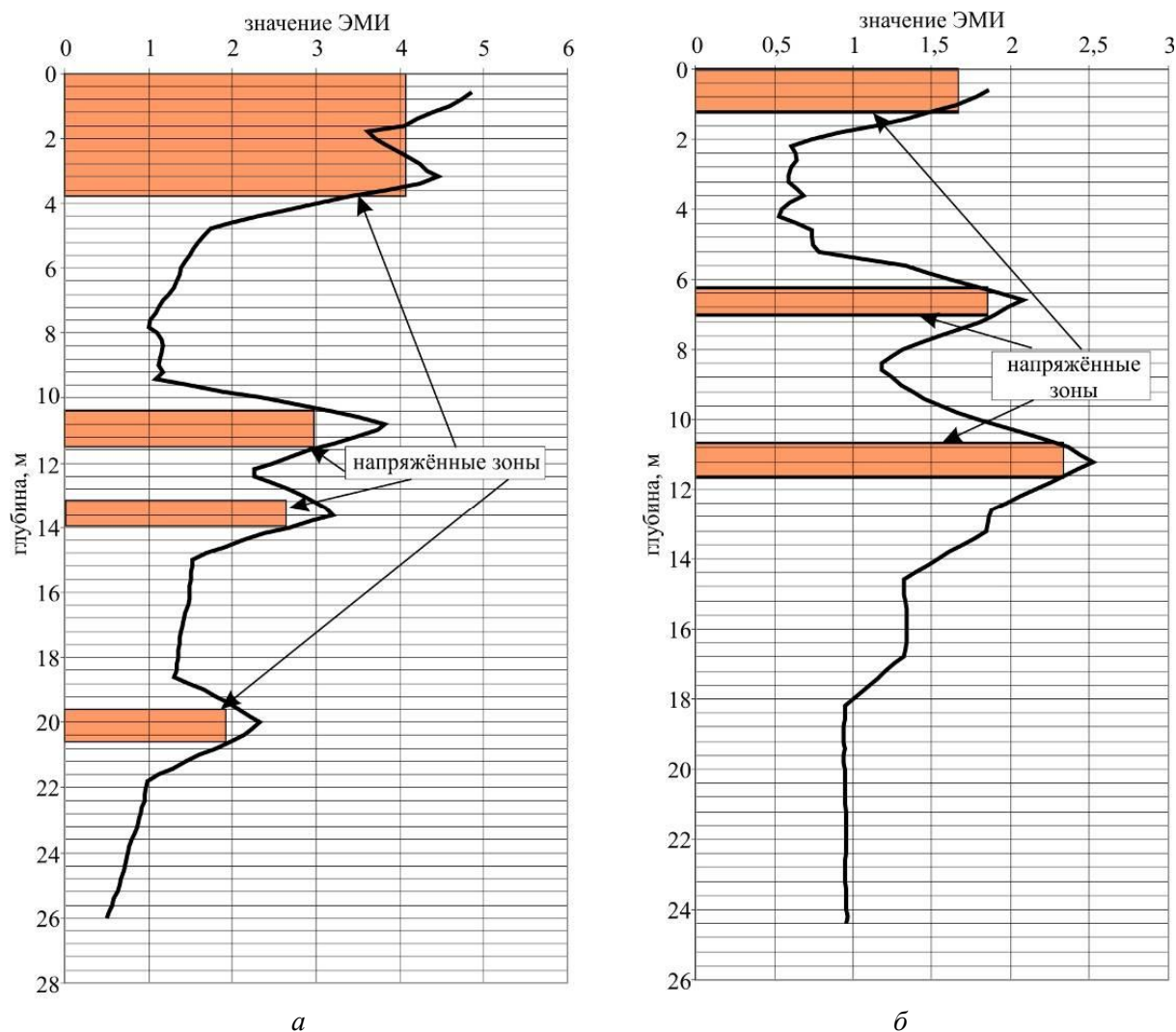
Внешняя прогнозируемая на длительный период времени граница вероятного развития максимально возможных оползневых деформаций в пределах “плато” прослеживается вглубь массива на 70–75 м. от бровки главного уступа, который находится под центром смотровой площадки. Пространственное положение этой границы определяется как контурами аномально-напряжённой зоны, так и контурами выявленной зоны фильтрации и разгрузки подземного водного потока, которую необходимо рассматривать как крупную механически ослабленную зону в массиве пород.

**Результаты скважинных исследований ЕИЭМПЗ.** На четвертом этапе также проведены измерения ЭМИ в скважинном варианте с целью выявления напряжённых зон по глубине. Зонди-

рование осуществлялось в инклинометрических и дренажных инженерно-геологических скважинах. При интерпретации полученных результатов зондирования скважин необходимо учитывать то, что получаемые формы кривых изменения ЭМИ по глубине обусловлены типами деформационного поведения пород, которые по классическим определениям инженерной геомеханики могут быть следующих видов: поверхностная ползучесть; глубинная ползучесть; контактная ползучесть; скольжение; комбинирование в массиве пород одновременно нескольких типов деформаций. Вышеперечисленные типы деформаций как способ перемещения геологических тел, зависят, прежде всего, от литологии пород, структурного строения оползневого или оползнеопасного

массива, наличия в нём механически ослабленных поверхностей. Всё это в целом определяет механизм развития оползневой процесса. В результате зондирования были получены графики распределения ЭМИ (пример двух из них изображен на рис. 7), по аномальным проявлениям которых определены глубины напряжённых поверхностей и зон. В оползнеопасном массиве пород, непосредственно

в пределах смотровой площадки, в преобладающем большинстве прозондированных инженерно-геологических скважин обнаружены два уровня концентрации напряжений: первый – в интервале глубин от 9 м до 11 м; второй – от 19 м до 21 м (за исключением одной скважины, где вторая напряжённая зона фиксируется в двух интервалах глубин: 17,5 – 18 м и 23 – 24 м).



**Рис. 7.** Графики распределения параметра ЭМИ по результатам зондирования скважины № ИС-6 (а) и № ИС-7 (б)  
**Fig. 7.** Diagrams of the NIEMFE intensity based on the results of the earth wells no. 6 (a) and no. 7 (b) explored

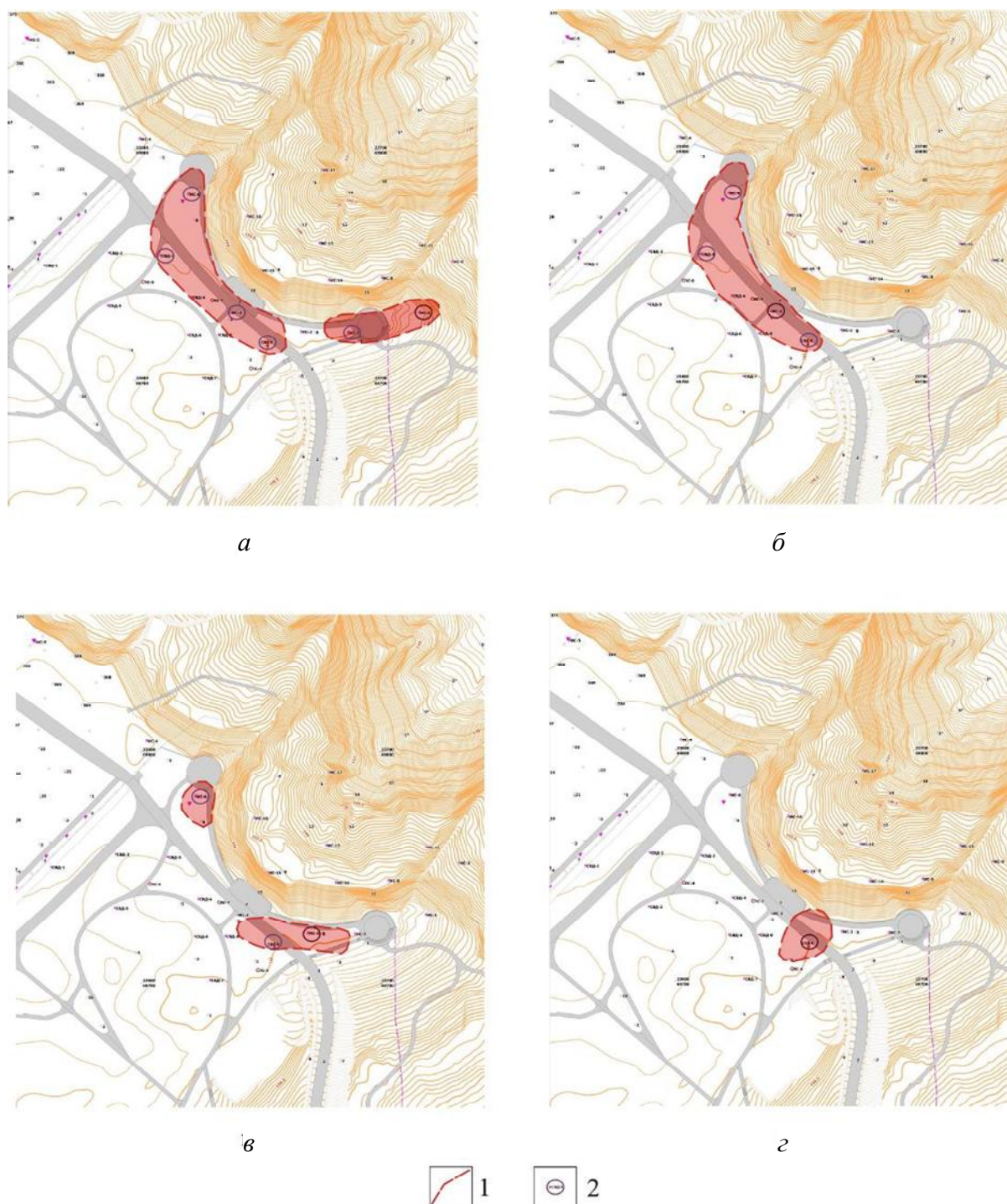
Наиболее типичными кривыми изменения параметра ЕИЭМПЗ, отражающими распределение напряжений по глубине разреза, являются результаты, полученные в скважинах: № ИС-6 и № ИС-7 (рис. 7), в которых выявлены глубинные напряжённые зоны. В скважине № ИС-6 концентрация напряжений происходит на двух уровнях: в интервале от 11 м до 14 м, а также в интервале 19–21 м. В скважине № ИС-7 “работает” только первый уровень концентрации напряжений – на глубинах 6,5 м и 11 м с явно выраженными

формирующимися напряжёнными поверхностями. Кроме того, в скважине № ИС-6 аномальные значения параметра ЭМИ зафиксированы непосредственно в верхней части разреза и форма кривой здесь отражает напряжённое состояние поверхностных отложений, в которых может развиваться невидимый на макроуровне процесс нелинейной затухающей ползучести.

По результатам исследований напряжённого состояния оползнеопасного массива в приборочной части оползня выполнены глубинные срезы в виде

карт напряженого состояния пластов пород в пределах выявленных напряженных глубинных зон (рис. 8). Срезы даются для различных глубин: 10–11 м; 19–20 м; 20–21 м и 23–24 м. Из представленных карт видно, что аномально-напряженные

зоны концентрируются в прибрежной части оползня. Закономерность изменения напряженного состояния массива пород в прибрежной части с глубиной заключается, прежде всего, в том, что размеры зон концентрации напряжений с глубиной уменьшаются.



**Рис. 8.** Карта-схема глубинного среза напряженного состояния пласта пород в интервале 10–11 м (*а*), 19–20 м (*б*), 20–21 м (*в*) и 23–24 м (*г*) по данным измерений в скважинах:  
1 – схематические контуры глубинных очагов концентрации напряжений;  
2 – прозондированные скважины

**Fig. 8.** Sketch map of the deep section of stressed state of the rock stratum in interval of 10–11 m (*a*), 19–20 m (*б*), 20–21 m (*в*) and 23–24 m (*г*) based on earth wells measurement:  
1 – contours of the deep centers of the stresses concentration; 2 – explored earth wells

На глубинах первого уровня концентрации напряжений прослеживаются сплошная дугообразная зона шириной до 20 м и длиной около 120 м, которая примыкает со стороны плато к активной склоновой части оползня. Аналогичная по форме и размерам аномальная зона повторяется в интервале второго уровня глубин 19–21 м, распадаясь на две части: северо-западная большая часть соответствует интервалу 19–20 м, а восточная, меньшая, соответствует интервалу глубин 20–21 м. По одной из скважин отмечается зона напряжений в интервале 23–24 м.

Таким образом, по данным скважинных зондирований можно утверждать, что оползневые процессы развиваются одновременно по двум плоскостям скольжения, которые соответствуют уровням глубин на плато 9–11 и 19–21 метр. Литологически эти уровни отвечают: первый – глинам темно-серым, второй – глинам бурым, пестроцветным неогенового возраста.

### 1.5. Научная новизна

Продемонстрирована эффективность метода ЕИЭМПЗ в наземно-скважинном варианте при изучении оползневых процессов. Полученные результаты полностью согласованы как с данными инженерно-геологических исследований, так и с динамикой развития оползня на рассматриваемом участке.

### 1.6. Практическая значимость

Исходя из представленных материалов, метод ЕИЭМПЗ безусловно является эффективным при исследовании оползневых процессов как на стадии их образования, так и в процессе мониторинга. Применение исследований методом ЕИЭМПЗ в скважинах, в совокупности с площадным вариантом, дает возможность не только оценить напряженно-деформируемое состояние горных пород в пространстве, но и проследить его распределение с глубиной. Поэтому, по возможности, данный метод должен быть включен в основной комплекс геофизических методов исследования оползней. При этом целесообразно проводить предварительные исследования на оползневых или оползнеопасных участках методом ЕИЭМПЗ с целью получения общей картины состояния участка.

### 1.7. Выводы

На основе анализа карт и графиков распределения интенсивности ЕИЭМПЗ на исследуемом участке представилось возможным: 1) оценить напряженно-деформируемое состояние горных пород как в пространстве, так и проследить его распределение с глубиной; 2) определить контуры глубинных очагов концентрации напряжений; 3) спрогнозировать вероятные границы дальнейшего развития оползня в глубь еще незатронутой территории; 4) спрогнозировать границу наиболее

вероятного развития максимально возможных оползневых деформаций.

### Литература

- Бессмертный А. Ф. Комплексные геофизические исследования оползней и построение прогнозных моделей их активности (на примере Южного берега Крыма) : дис. канд. геол. наук: 01.04.12 / Бессмертный Андрей Филимонович. – К., 2004. – 177 с.
- Билеуш А. И. Оползни и противооползневые мероприятия / А. И. Билеуш. – К. : Наукова думка, 2009. – 560 с.
- Дослідження зсувних процесів геофізичними методами : [монографія] / [Е. Д. Кузьменко, А. Ф. Безсмертний, О. П. Вдовина, І. В. Крив'юк, В. Д. Чебан, Л. В. Штогрин ; за ред. Е. Д. Кузьменка]. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
- Ерыш И. Ф. Оползни Крыма. Часть 1. История отечественного оползневедения / И. Ф. Ерыш, В. Н. Саломатин. – Симферополь : Апостроф, 1999. – 249 с.
- Картирование оползневых участков и зон повышенного обводнения грунтов комплексом геофизических методов на склоне р. Днепр в г. Киев / В. П. Боковой, С. П. Левашов, Н. А. Якимчук, И. Н. Корчагин // Доп. НАН України. – 2003. – № 11. – С. 96–103.
- Ковальчук С. П. Поставь свой дом правильно (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ) / С. П. Ковальчук. – Одесса : Черноморье, 2003. – 112 с.
- Крив'юк І. В. Визначення зсувної небезпеки локального рівня з використанням геофізичних методів : дис. канд. геол. наук : 04.00.05 / Крив'юк Ігор Васильович. – К., 2012. – 170 с.
- Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році – К. : ДП “Агенство Чорнобильінформ”, 2015. – 365 с.
- Чебан В. Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття : дис. канд. геол. наук : 04.00.22 / Чебан Василь Дмитрович. – Івано-Франківськ, 2002. – 183 с.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 1: The International Programme on Landslides (IPL). SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 493 p.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 2: Methods of Landslide Studies. SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 851 p.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Vol. 3: Targeted Landslides. SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 717 p.
- Materials of proceedings 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway 6–14<sup>th</sup> August 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Е. Д. КУЗЬМЕНКО<sup>1</sup>, І. В. КРИВ'ЮК<sup>1\*</sup>, І. В. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, В. П. ЗІНЧЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел. +38(0342)504761, ел. пошта: kuzmenko-eduard@rambler.ru, i\_krivyuk@mail.ru

<sup>2</sup> Науково-дослідний інститут гідрогеології, інженерної геології та екогеології, вул. С. Бандери, 7а/15, Івано-Франківськ, Україна, 76014

<sup>3</sup> ТОВ Інститут прикладних досліджень "АРАТТА", вул. В. Шимановського, 2/1, офіс 114-А, Київ, Україна, 02660

#### ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ ПРИРОДНОГО ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ В ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА СХИЛАХ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

**Мета.** Демонстрація ефективності геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) у наземно-свердловинному варіанті з реалізацією режимних спостережень та ув'язкою одержаних результатів з інженерно-геологічними дослідженнями зсувів на прикладі території, розташованої на правому березі водосховища Київської гідроелектростанції. **Методика.** Роботи проведені в 2009, 2011 та 2013 роках в площинному варіанті та в 2013 – в свердловинному. В площинному варіанті вимірювання виконані по серії профілів на площі до 10<sup>5</sup> м<sup>2</sup>. Вимірювання в інженерно-геологічних свердловинах проводились за допомогою датчика-зонда, з'єднаного з індикатором кабелем. **Результати.** За результатами поверхневих вимірів побудовані графіки по окремим профілям і карти розподілу інтенсивності електромагнітного поля. На даних картах виділено зони з аномальним напружено-деформованим станом порід, які повністю узгоджуються як з динамікою розвитку зсуву на ділянці, так і з даними інженерно-геологічних досліджень. На основі аналізу даних карт та графіків стало можливим спрогнозувати ймовірнісні границі подальшого розвитку зсуву в глибину ще не ураженої території. У результаті зондування свердловин одержані графіки розподілу електромагнітного поля з глибиною, за аномальними проявами яких визначені глибини напружених поверхонь і зон. У зсувонебезпечному масиві порід в більшості прозондованих інженерно-геологічних свердловин виявлено два рівні концентрації напружень. **Наукова новизна.** Продемонстрована ефективність методу ПЕМПЗ в наземно-свердловинному варіанті при дослідженні зсувних процесів. Одержані результати повністю узгоджуються як з даними інженерно-геологічних досліджень, так і з динамікою розвитку зсуву на ділянці вишукувань. **Практична значущість.** Враховуючи представлені матеріали, метод ПЕМПЗ безумовно є ефективним під час дослідження зсувних процесів як на стадії їх утворення, так і під час моніторингу. Дослідження методом ПЕМПЗ у свердловинах, у сукупності із площинним варіантом, дають можливість не тільки оцінити напружено-деформований стан гірських порід в просторі, але й простежити його розподіл із глибиною. Тому, по можливості, цей метод потрібно додати до основного комплексу геофізичних методів дослідження зсувів. До того ж доцільно проводити попередні дослідження на зсувних та зсувонебезпечних ділянках методом ПЕМПЗ з метою одержання загальної картини стану ділянки.

**Ключові слова:** геофізичні методи дослідження; метод ПЕМПЗ; електромагнітна емісія; зсуви; зсувна небезпека; моніторинг зсувних процесів; прогнозування зсувних процесів.

Е. КУЗМЕНКО<sup>1</sup>, І. КРИВ'ЮК<sup>1\*</sup>, І. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, В. ЗІНЧЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, +38(0342)504761, kuzmenko-eduard@rambler.ru, i\_krivyuk@mail.ru

<sup>2</sup> Hydrogeology, Engineering Geology and Ecogeology Research Institute, 7a/5, S. Bandera str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76014

<sup>3</sup> Institute of Applied Research "ARATTA", LLC, office, 2/1, 114-A, Vitaly Szymanowski str., Kyiv, Ukraine, 02660

#### EFFICIENCY OF THE NATURAL IMPULSE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH METHOD FOR MONITORING OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE KYIV RESERVOIR SLOPES

**Purpose.** To demonstrate the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NIEMFE) method efficiency in areal and wells options with monitoring investigations realization and leveling the obtained results with engineering and geological research of landslides, using the area of the right bank of the Kyiv hydroelectric power station reservoir as an example. **Methodology.** The works were done in 2009, 2011 and 2013 in areal option and in 2013 – in wells option. In the areal option the measurements were done by a series of profiles on the area of up to 105 m<sup>2</sup>. The measurements in the wells were done with special transducer connected by a cable with an indicator unit. **Results.** The diagrams on individual profiles and maps of the NIEMFE intensity distribution were built based on the areal measurements results. The areas with abnormal stress-strain state of rock mass were determinated on this maps. These areas were fully agreed with the dynamics of landslide development in this region and with the engineering and geological research data. Probable boundaries of farther

landslide advance into the depth of a still unaffected region were forecasted based on the analysis of these diagrams and maps. Diagrams of the NIEMFE intensity distribution with depth were given and the level of stressed surfaces and areas was detected as a result of earth wells sounding. Two levels of stress concentration were detected in the landslide rock mass in the mostly sounded earth wells. **Originality.** The NIEMFE method efficiency in areal and earth wells options for landslide processes study was demonstrated. The obtained results fully agreed with the engineering and geological researches data and with the dynamics of landslide development in this region. **Practical significance.** According to the demonstrated result, the NIEMFE method is obviously very effective in the studies of landslide processes at the moment of their starting as well as for their monitoring. Using the NIEMFE method with both areal and earth wells options gives us an opportunity to not only estimate the stress-strain state of the rock mass over the area but also monitor the depth of its distribution. That is why the NIEMFE method should be included as far as possible into the basic complex of geophysical methods of landslide processes studies. Herewith, it is reasonable to provide a preliminary research using the NIEMFE method for the landslide regions with an aim to get a general view of the region state.

**Key words:** geophysical methods of research; NIEMFE method; electromagnetic emission; landslides, landslide hazard; monitoring of landslide processes; forecasting of landslide processes.

#### REFERENCES

- Bessmertnyy A. F. *Kompleksnye geofizicheskie issledovaniya opolzney i postroyeniye prognoznnykh modeley ikh aktivnosti (na primere Yuzhnogo berega Kryma): dis. kand. geol. nauk* [Complex factoring and signing investigating of the landslides and construction models for presage them activity (on example of South Crimea bank ): PhD in Geology thesis]. Kyiv, 2004, 177 p.
- Bileush A. I. *Opolzni i protivopolznevyye meropriyatiya* [Landslides and landslide control]. Kyiv : *Naukova dumka* [Scientific thought], 2009, 560 p.
- E. D. Kuz'menko, A. F. Bezsmertnij, O. P. Vdovina, I. V. Kriv'juk, V. D. Cheban, L. V. Shtogrin; za red. E. D. Kuz'menka *Doslidzhennya zsumnih procesiv geofizichnimi metodami* [Investigation of landslides processes by geophysical methods], Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2009, 294 p.
- Yerysh I. F. Salomatin V. N. *Opolzni Kryma. Chast 1. Istoriya otechestvennogo opolznevedeniya* [Landslides of the Crimea. Vol. 1. The history of native landslide science]. Simferopol: *Apostrof* [Apostrophe], 1999, 249 p.
- Bokovoy V. P., Levashov S. P., Yakimchuk N. A., Korchagin I. N. *Kartirovaniye opolznevykh uchastkov i zon povyshennogo obvodneniya gruntov kompleksom geofizicheskikh metodov na sklone r. Dnepr v g. Kiev* [Mapping the landslide areas and water-flooded rock areas by the complex of geophysical methods on the Dnepr's river slopes in the Kyiv]. *Dop. NAN Ukraini* [NAS of Ukraine reports]. 2003, no. 11, pp. 96–103.
- Koval'chuk S. P. *Postav' svoj dom pravil'no, (praktika geofizicheskogo metoda EIJeMPZ)* [Put your house properly (practice of MNIMFE geophysical method)], Odessa: *Chernomorec*, 2003, 112 p.
- Kry'vyuk I. V. *Vyznachennya zsumnoyi nebezpeky lokal'nogo rivnya z vy'kory'stanniam geofizichny'x metodiv: dy's. kand. geol. nauk* [The determination of landslide hazard of a local level using geophysical methods: PhD in Geology thesis]. Kyiv, 2012, 170 p.
- Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini u 2014 rotsi* [National Report on the State of Techno and Natural Safety in Ukraine in 2014]. Kyiv: *DP "Ahenstvo Chornobylinform"*, 2015, 365 p.
- Cheban V. D. *Kompleks heofizichnykh metodiv prohnouzuvannya zsumiv na prykladi Zakarpattya* [Complex of geophysical methods of landslide forecasting, based on the Trans Carpathian region: PhD in Geology thesis]. Ivano-Frankivsk, 2002, 183 p.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 1: The International Programme on Landslides (IPL)*. SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 493 p.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Vol. 2: Methods of Landslide Studies*. SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 851 p.
- Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Vol. 3: Targeted Landslides*. SpringerLink: Bücher, Springer, 2014, 717 p.
- Materials of proceedings 33rd International Geological Congress*, Oslo, Norway 6-14<sup>th</sup> August 2008. CD-ROM.

Надійшла 12.10.2016 p.