

Методические принципы геофизического исследования оползневых территорий в условиях лесостепной зоны Украины

¹**ВЫЖВА Сергей Андреевич**, д.геол.н., профессор, зав. кафедрой, vsa@univ.kiev.ua,

¹**ОНИЩУК Виктор Иванович**, к.геол.н., доцент, vitus16@ukr.net,

¹**ОНИЩУК Иван Иванович**, к.геол.н., старший научный сотрудник, oivan1@ukr.net,

¹**РЕВА Николай Васильевич**, к.ф.-м.н., доцент, mvreva@gmail.com,

¹Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Институт геологии, Украина, 03022, Киев, ул. Васильковская, 90,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассмотрены особенности применения геофизических методов исследований при изучении оползневых территорий правобережья р. Днепр в пределах лесостепной зоны Украины. Приводятся геолого-геофизические модели оползневых участков. Выделены задачи, которые ставятся при специализированных исследованиях оползней и определены геофизические методы их решения. Выделены три этапа специализированных исследований оползневых процессов: рекогносцировочно-методический, детальный, мониторинговый и определены комплексы геофизических методов для этих этапов. Для примера приведены некоторые результаты геофизических исследований, выполненных в пределах правого берега р. Днепр на Трипольском участке вблизи Трипольской теплоэлектростанции. Отмечено, что рациональный комплекс геофизических методов при исследовании оползневых процессов определяется для каждой отдельной природной обстановки (отдельного участка), с учетом: возможности выполнения полевых исследований отдельным геофизическим методом на данном участке; наличия дифференциации пород по физическим свойствам, используемой конкретным геофизическим методом; экономической эффективности применения данного геофизического метода.

Ключевые слова: инженерная геофизика, оползни, исследования, электрическое сопротивление, зондирование, разрез, модель.

Введение

В последнее время населенные территории привлекают внимание в связи с необходимостью оценки риска проявления опасных природных и природно-техногенных явлений и процессов, представляющих угрозу для безопасного проживания человека и функционирования объектов хозяйственной инфраструктуры. При этом наиболее существенными природными процессами (относительно их опасности) являются как процессы эндогенной группы – современные медленные тектонические (вертикальные и горизонтальные) и сейсмические движения земной коры, активизация криповых движений по разломам, так и процессы экзогенной группы – гравитационные (оползни), эрозионные, суффозионно-просадочные и заболачивания.

Следует отметить, что среди экзогенных геологических явлений оползневые процессы относятся к категории наиболее опасных и широко распространенных. Вследствие цикличности активизации и катастрофичности проявлений

оползневые процессы создают постоянную угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного, природного и техногенно-природного характера. Изучать их – значит определять те последовательные изменения состава и свойств горных пород, выражающие некоторые объективные закономерности, без знания которых невозможно достижение главной цели – научного прогноза развития оползневых процессов. Региональное изучение оползневых процессов базируется на анализе инженерно-геологических условий территории, истории ее геологического развития, климатических условий, а также отдельных космических факторов – цикличности солнечной активности, взаимного местонахождения Земли, Луны и Солнца и т.п.

Геофизические методы применяются для изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий оползневого участка, влияния их на экологическую обстановку и объекты хозяйственной инфраструктуры. При этом изучаются закономерности изменений во времени различ-

ных геофизических полей и параметров среды, которые отражают особенности развития оползневых процессов. Объективная оценка оползневой опасности территорий требует решения целого ряда задач. Основными из них являются: определение строения склона, его состава, состояния, свойств, условий залегания и геометрических параметров отдельных толщ горных пород, их водонасыщения и режима подземных вод. Решение этих задач вместе с данными о климатических и гидрологических условиях района, материалами о техногенных нагрузках и истории развития оползня служат основой для проведения расчетов устойчивости склона.

Основное внимание при этом обращается на подробные экогеофизические исследования верхней части разреза (ВЧР) – приповерхностной части геологической среды мощностью в десятки, реже первые сотни метров. Она включает почвы, горные породы, поверхностные, грунтовые и подземные воды, экзогенные физико-геологические явления (оползни, карст и т.п.). ВЧР в наибольшей степени подвергается воздействию экзогенных (атмосферных, поверхностных) и техногенных (физико-химических, энергетических) процессов, а также эндогенных (внутриземных) факторов. ВЧР часто характеризуется экстремальным проявлением как природных процессов – резкой геологической и петрофизической неоднородностью среды в пространстве и времени, так и процессов техногенного характера – аномальным проявлением различных искусственных физических полей. Особенностью верхней части геологической среды, претерпевающей значительные техногенные нагрузки, является ярко выраженная зависимость всех ее характеристик от координат точек наблюдений, поскольку свойства и состояние почв и горных пород верхней части разреза заметно меняются от точки к точке как по латерали, так и по вертикали. Резко меняется в пространстве и времени также поведение различных геофизических полей.

Прогнозирование оползневых участков базируется на изучении микродинамики напряженных масс пород, что находит отражение в измеренных геофизических полях. Применение геофизических исследований позволяет обследовать большие площади при детальности наблюдений, которая недоступна для прямых методов инженерно-геологических изысканий с использованием бурения большого количества скважин. Они дешевле прямых методов и могут быть выполнены в более короткие сроки. Благодаря всестороннему анализу исследуемой системы и массовому характеру наблюдений геофизическая информация наиболее полно обеспечивает возможность моделирования, которое является необходимым элементом инженерно-геологического мониторинга оползневых процессов.

Мониторинговые инженерно-геофизические исследования при изучении оползней предназна-

чены для натурного наблюдения за изменениями геологической среды в зоне развития оползневых процессов [1, 2]. Полученные геофизические материалы используются для принятия научно-технических решений на проведение оптимальных защитных инженерно-технических мероприятий. Необходимость и обязательность специализированных геолого-геофизических исследований в районе оползневых территорий с целью прогнозирования возможных геоэкологических изменений окружающей среды следует из многочисленных просчетов в обосновании строительства и эксплуатации различных природно-техногенных систем.

Следует отметить, что пренебрежение организацией мониторинговых инженерно-геофизических и экогеофизических исследований оползнеопасных территорий повышает риски катастрофического развития ситуации. Значительное количество аварий, происшедших вследствие резкой активизации оползневых процессов, приводит к гибели людей и потере материальных ценностей.

Существует ряд публикаций, посвященных применению методов геофизики для изучения оползневых процессов [1-5], однако их систематические специализированные геофизические исследования, а тем более геофизический мониторинг, практически проводятся достаточно редко. В основном, по возможности, используются материалы геофизических съемок, выполненных ранее на площади исследований с целью геологического картирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Следует отметить о незначительном количестве публикаций на эту тему с демонстрацией практических примеров применения геофизических методов для изучения оползней.

Статья посвящена анализу методических особенностей геофизических исследований при изучении оползней и приведены результаты комплексных геоэлектрических исследований верхней части разреза характерных оползневых участков в районе с. Гребени и Витачев Киевской области на правом берегу р. Днепр в условиях лесостепной зоны Украины. Следует отметить достаточно сложные геоэлектрические условия исследований, связанные с естественной обстановкой и в целом слабо дифференцированным геоэлектрическим разрезом, что требовало повышенной точности полевых измерений, применения статистических методов обработки и новых подходов к интерпретации полевых геофизических данных.

Геолого-геофизические модели оползневого массива

Геологическая обстановка, влияющая на возникновение оползней, определяется условиями залегания, свойствами и состоянием коренных пород и перекрывающих их более молодых обра-

зований. В первую очередь обращают внимание на выделение в пределах склонов геологических тел, которые по своим геотехническим показателям являются наиболее склонными к оползневым процессам. Это преимущественно глинистые породы с высокими коэффициентами пластичности, которые характеризуются электрическими сопротивлениями, не превышающими первых десятков Ом·м.

На развитие всех типов оползней значительное влияние оказывают особенности залегания и движения подземных вод. Водонасыщение пород способствует резкому снижению их электрического сопротивления. Поэтому необходимо изучать грунтовые, пластовые и трещинные воды, выклинивающиеся в пределах склонов. Особенно важным фактором, от которого зависит поступление воды к склоновым отложениям, является наличие и положение региональных водоупоров.

В процессе геолого-геофизического изучения оползневых массивов важно выяснить детали их строения. Необходимо иметь в виду, что для оползневых массивов характерно разнообразное сочетание той или иной степени контрастных различно ориентированных границ раздела с постепенным градиентным изменением физических свойств.

Следует отметить, что образование оползней – это динамический процесс, который на каждой стадии своего развития определяется совокупностью различных природных факторов, приводящих к нарушению устойчивости склонов.

Важнейшей особенностью геолого-геофизической модели (ГГМ) оползневого массива является наличие поверхности (зоны) скольжения. В этой зоне естественная структура породы испытывает наибольшие изменения. Нарушаются присущие горной породе связи, меняется ее структура, повышается содержание и минерализация поровой влаги. Эти изменения отражаются в изменении ряда геофизических параметров, в частности электрического сопротивления и скоростных характеристик пород. Установлено, например, что значение сопротивления проб воды в зоне скольжения в 1,5-2 раза ниже сопротивления, характерного для подземных вод исследуемого участка.

Повышение минерализации в данном случае – результат, главным образом, гидратации глинистых минералов, чему способствует перетирание и интенсивная механическая переработка пород. Наиболее существенно возрастает электропроводность материала, составляющего зону скольжения породы (типа аргиллитов, сланцев, глинистых песчаников) и в меньшей степени глины с высокими показателями пластичности. Также четко проявляется в этой зоне уменьшение скоростей продольных и поперечных волн и рост коэффициентов их поглощения. Каждое последующее перемещение оползневого массива нарушает нормальное состояние пород в зоне скольжения, соответственно приводит к изменению их элек-

трических и скоростных параметров. При этом образуется среда с градиентным, постепенным изменением физических свойств [1-5].

Также происходят интенсивные изменения пород, слагающих основное тело оползня. Смещаясь по склону, эти породы механически разрушаются и становятся менее устойчивыми, их электрическое сопротивление снижается. Существенно различаются значения электрических сопротивлений пород тела оползня и однотипных образований за его пределами.

Скорости распространения упругих волн в лессовых породах на деформированных склонах могут быть на 40-60% ниже, чем на устойчивых участках, расположенных за пределами смещения. Сложный характер движения оползня создает разнообразные сочетания зон сжатия и растяжения, которые наиболее четко проявляются в упругих параметрах. Оползневое тело отличается анизотропией всех геофизических параметров. Основу анизотропии составляет трещиноватость, которая является одной из наиболее характерных особенностей оползневых массивов. Четко проявляется анизотропия в молодых активных оползнях. Это явление эффективно изучается электрическими и сейсмоакустическими исследованиями.

Большинство оползней принадлежит к пластическим и структурным типам. Для первых характерно смещение масс горных пород в более или менее однородном их массиве по поверхности скольжения. Во втором – происходит сползание блоков пород по ослабленным контактам между наклонными слоями пород. В особую группу выделяются оползни в лессовых породах, которые широко развиты в степной и лесостепной зонах, в частности на правом берегу р. Днепр в пределах Киевской области [1, 3]. Оползневые явления в этих отложениях тесно связаны с резким уменьшением их механической прочности при размокании и дальнейшей дезинтеграции.

Пластические сдвиги образуются в однородных породах, отличающихся обычно сниженными электрическими сопротивлениями ($\rho = 5-60$ Ом·м) и скоростями распространения продольных и поперечных упругих волн ($V_p = 500-1700$ м/с, $V_s = 200-600$ м/с). Физические свойства самого оползня определяются степенью разрушенности пород его тела, наличием трещин и их заполнителем, напряженным состоянием пород, мощностью зоны аэрации, обводненностью отдельных частей оползня и некоторыми другими факторами.

Специфическими особенностями характеризуется приповерхностный слой оползневых массивов, находящийся под интенсивным воздействием процессов выветривания. Он отличается очень низкими значениями скоростей упругих волн и высоким коэффициентом их поглощения. Его удельное электрическое сопротивление на одном и том же участке может меняться от 5-10 Ом·м (в период дождей) до 100-200 Ом·м в засуш-

ливое время года. Выполненные исследования позволяют полагать, что физические свойства, в том числе упругие и электрические, в зонах интенсивного выветривания меняются с глубиной по закону, близкому к экспоненциальному.

В зоне аэрации оползня значения электрических сопротивлений заметно превышают этот параметр тех же пород за пределами оползня и в редких случаях примерно равны им. Скорости сейсмических волн почти не отличаются от характерных для тех же пород в коренном залегании. Граница между зоной аэрации и полного водонасыщения обычно носит размытый характер, причем особенности изменения параметров здесь зависят от степени развития «капиллярной каймы».

Структурные оползни отличаются особенностями поверхностей скольжения, которые приурочены к ослабленным зонам на границах между геологическими телами. Эти поверхности могут быть плоскими, наклонно-ступенчатыми и в отдельных случаях волнистыми.

Повсеместно распространены оползни, возникающие в результате смещения делювия по наклонным поверхностям коренных пород. Особенно часто встречаются оползни такого типа в Карпатах. В большинстве случаев их можно успешно изучать геофизическими методами. В зоне аэрации в пределах толщи делювия поведение электрических и сейсмических параметров в целом аналогично характерным особенностям этих параметров в оползневых телах пластичных пород. Особенность данного вида оползней заключается в контрастном характере границы раздела между породами, которые смещаются, и породами коренного ложа. При этом скорости продольных V_p и поперечных V_s волн в коренных породах в основном имеют повышенные значения. Электрическое сопротивление возрастает, когда ложе сложено скальными слабо выветренными породами, в случае глинистых коренных пород – оно уменьшается. Для полускальных коренных пород соотношение сопротивлений зависит как от их состава, так и от состава, состояния и степени обводненности оползневых толщ.

Другой тип ГГМ структурных оползней встречается в моноклинально наклонных слоистых массивах коренных пород. Их сползание происходит в виде блоков по прослойкам пластических (чаще всего глинистых) пород, отличающихся низкими величинами скоростей упругих волн и электрических сопротивлений. Благодаря незначительной толщине подобные прослойки только в редких случаях отражаются в измеряемых на поверхности склона геофизических полях. В то же время на каротажных диаграммах (при наличии скважин) они четко фиксируются практически всеми регистрируемыми параметрами.

Анализ ГГМ оползневых массивов свидетельствует о том, что, используя какой-нибудь один геофизический параметр, далеко не всегда удается получить достоверную и достаточную инфор-

мацию. Поэтому для изучения оползней целесообразно применять комплекс геофизических методов и определять комплексные показатели, расчет которых предусматривает представление результатов всех отдельных методов в равнозначных безразмерных величинах показателей контрастности. Таким путем, в частности, удастся выделять маломощные увлажненные зоны в нижних слоях лессовых пород, а также зоны с низкой степенью нарушенности. Использование комплексной функции безразмерных параметров [3] способствует успешному изучению полей влажности и деформации в оползневых массивах, что повышает надежность и обоснованность их выделения.

Задачи и комплекс геофизических исследований оползней

Изучение оползневых процессов является одной из самых сложных задач для инженерной геофизики, поскольку исследования необходимо выполнять на достаточно крутых склонах, а зона сдвига характеризуется значительной изменчивостью геофизических параметров. Размеры исследуемого участка (поперечные размеры смещения) обычно небольшие, что затрудняет проведение наблюдений по стандартной методике.

Опыт геофизических исследований оползневых массивов показывает, что они крайне неоднородны по всем своим показателям как по площади, так и по глубине. Как отмечено выше тело оползня отличается анизотропией всех геофизических параметров. В основе этого явления лежит трещиноватость, которая служит одной из наиболее характерных особенностей оползневых массивов.

При изучении оползневых участков с помощью геофизических методов решаются следующие основные задачи.

1. Определение внешних границ оползня и границ отдельных его блоков.
2. Определение глубины залегания поверхности (зоны) смещения.
3. Расчленение тела оползня (в плане и разрезе) на отдельные комплексы пород, которые отличаются по литологическому составу, степени трещиноватости и напряженному состоянию.
4. Определение положения уровня грунтовых вод и верховодки, направления и скорости движения фильтрационного потока.
5. Оценка состояния оползневого склона, изучение водно-физических и физико-механических свойств пород тела оползня и коренного ложа.
6. Организация геофизического канала мониторинга оползневых процессов, изучение их динамики, прогнозирование развития негативных изменений и выдача рекомендаций для принятия защитных инженерно-технических мероприятий.
7. Наблюдение за эффективностью противооползневых инженерно-технических мероприятий, включающее оценку качества работы дренажных систем, подпорных стен, искусственного

закрепления грунтов и тому подобное.

Геофизическим исследованиям оползневых участков присущи следующие специфические особенности.

1. Объектом изучения служит верхняя часть разреза – геологическая среда, которая имеет свою структуру, вещественно-литологический состав, петрофизические и водно-физические особенности. При этом постоянно меняются ее физические свойства.

2. Информативные аномалии наблюдаются на фоне очень высокого уровня различных помех, что влечет за собой, с одной стороны, необходимость выполнения большого количества высокоточных измерений, а с другой – требует гибкого комплексирования геофизических методов с инженерно-геологическими и гидрогеологическими исследованиями.

3. Достаточно густая сеть наблюдений, которая соответствует масштабу 1:2000 – 1:5000 и определяется конкретной геолого-геофизической обстановкой района работ и поставленными задачами.

4. Наблюдения выполняются в максимально сжатые сроки, чтобы избежать ошибок, вызванных собственно оползневым процессом.

5. Наряду с наземными широко используются наблюдения во внутренних точках среды (каротажные методы). Особенно велика роль этих исследований в решении такой задачи, как определение поверхности (зоны) смещения сдвига и наблюдение за ее состоянием.

6. При мониторинговых исследованиях первый цикл наблюдений выполняется в период относительной стабилизации оползня, а последующие – в периоды активизации процесса. Для надежного прогнозирования развития оползневых процессов необходимо провести минимум три цикла наблюдений.

7. Необходимо выполнять комплексный анализ всей геолого-геофизической информации с тесной увязкой материалов различных геофизических методов.

Выделяют три этапа геофизических исследований оползней – рекогносцировочно-методический, детальный и мониторинговый. На рекогносцировочно-методическом этапе исследований выполняются дистанционные геофизические съемки (радиолокационная, радиотепловая и т.п.) и комплексные геофизические наблюдения на отдельных профилях. По материалам этих исследований определяются общие геофизические особенности района работ, оценивается эффективность отдельных геофизических методов и разрабатывается их рациональный комплекс для проведения детальных работ.

На этапе детальных исследований проводятся комплексные наземные и каротажные наблюдения по системе профилей. По материалам этих исследований решаются задачи, поставленные в техническом задании, определяются геофизические параметры и геолого-геофизические моде-

ли оползневых участков, даются рекомендации по принятию защитных инженерно-технических решений. Анализ этих данных позволяет сделать также выбор соответствующих (ключевых) профилей и точек для организации мониторинговых наблюдений.

На этапе мониторинговых исследований выполняются режимные геофизические наблюдения за изменениями геофизических полей во времени, которые связаны с динамикой развития оползневых процессов. Кроме того, контролируется эффективность противооползневых инженерно-технических мероприятий. Исследования проводятся комплексом геофизических методов на предварительно выбранных ключевых профилях. Частота циклов геофизических измерений определяется скоростью развития оползневых процессов, конкретной геолого-геофизической обстановкой района исследований. Анализ материалов мониторинговых наблюдений позволяет сделать прогноз развития оползневых процессов, вносить коррективы в ходе выполнения защитных инженерно-технических мероприятий и контролировать их эффективность.

Как отмечалось, оползневые массивы являются крайне неоднородными средами по всем своим показателям как по площади, так и по глубине. Аномалии, вызванные оползневыми процессами, наблюдаются обычно на фоне очень высокого уровня различных помех, что побуждает, с одной стороны, к необходимости получения большого количества высокоточных данных, а с другой – требует гибкого сочетания геофизических методов с инженерно-геологическими и гидрогеологическими способами исследований. В этих условиях выполнение дискретных геофизических наблюдений недостаточной густоты не дает надежных результатов. Кроме того, нерегулярная сеть наблюдений на оползнях может привести к неэффективности исследований. Если по экономическим и техническим соображениям невозможно создать на всей исследуемой площади оползня равномерную густую сеть наблюдений, геофизические исследования выполняются по системам профилей. При этом рекомендуется не менее трех профилей ориентировать сверху вниз вдоль тела оползня. Затем, исходя из размеров оползня, разбивают ряд профилей поперек его тела. Профили геофизических исследований должны выходить за пределы оползня с тем, чтобы дать возможность сравнить параметры устойчивого склона и смещенных оползневых масс.

Для решения задач, связанных с изучением оползневых процессов, комплекс геофизических методов включает дистанционные (аэрометоды), электрометрические, сейсмометрические, эманационные, гравиметрические, магнитометрические, термометрические и каротажные исследования [1, 5]. Следует отметить, что рациональный комплекс геофизических методов разрабатывается с учетом геолого-геофизических и

геоморфологических условий каждого конкретного оползневого участка, а также экономической эффективности исследований.

Дистанционные методы включают радиолокационную и радиотепловую съемки и выполняются на рекогносцировочном этапе. В зависимости от поставленных задач они позволяют осуществить или обобщенное интегральное обследование местности и анализ проявления региональных факторов, или детализацию отдельных участков с целью определения зон развития оползневых процессов. На основе дистанционных съемок и ретроспективной информации по исследуемой территории создается первая приближенная модель массива оползня, которая в дальнейшем конкретизируется и уточняется наземными и скважинными геофизическими методами.

Комплекс электрометрических методов включает: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) в модификации микроэлектронзондирования (МЭЗ); МЭЗ способом вызванной поляризации; электропрофилирование (симметричное, комбинированное, дипольное); метод естественного электрического поля (ЕЭП); азимутальное структурно-геодинамическое картирование (СГДК-А); метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ); метод заряженного тела (МЗТ). С помощью электрометрических исследований решается большинство приведенных выше задач. Основной

объем информации при изучении оползней получают по данным электрических зондирований и электропрофилирований.

Методом МЭЗ при благоприятных условиях изучаются пространственные параметры оползня, определяются системы трещиноватости пород тела оползня (рисунок 1). Лучших результатов методом МЭЗ достигают при изучении оползней выдавливания, срезки и скольжения, где обычно существует четко выраженная поверхность скольжения в глинистых породах, а тело оползня сложено породами, отличающимися повышенной дезинтеграцией.

При решении задач картирования оползневых массивов широко используется электропрофилирование, которое выполняется по направлениям, соединяющим точки электронзондирования, а также заполняет участки между ними. Электропрофилирование выполняется установками, обеспечивающими исследования на двух глубинах – на глубине, соответствующей зеркалу смещения, и на уровне, характеризующему верхнюю часть разреза (главным образом зону аэрации). Оптимальные разносы выбирают по данным предварительно выполненных одиночных зондирований. Целесообразно использовать трехэлектродные или дипольные установки, позволяющие выделять узлолокализованные тела и, в частности, трещиноватые зоны. Наиболее полную объемную геоэлектрическую картину оползневого массива

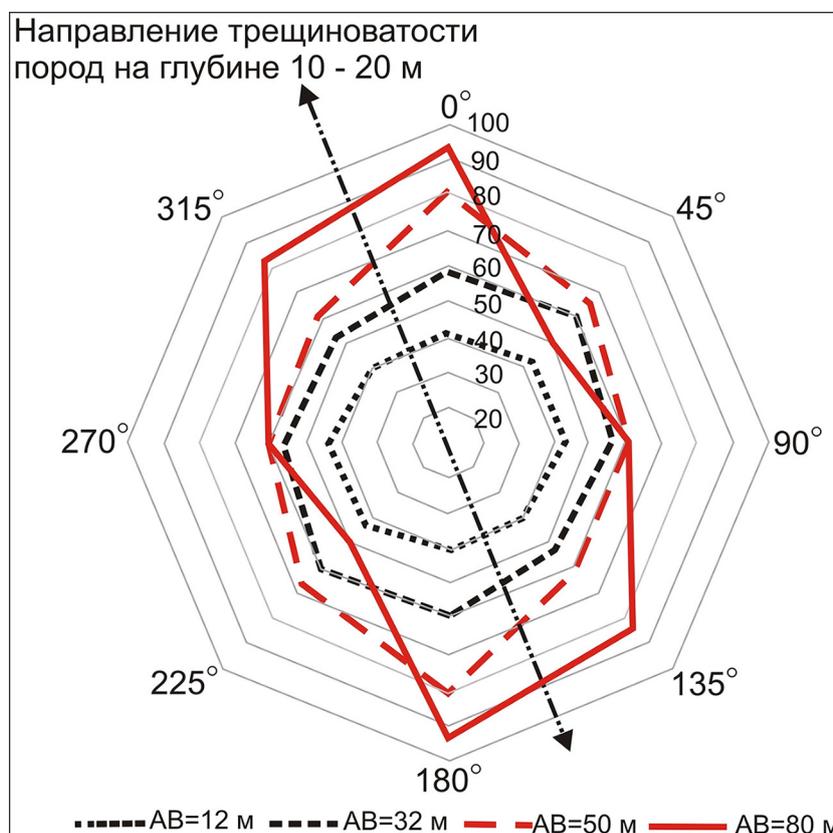


Рисунок 1 – Пример определения трещиноватости оползневых пород с помощью круговых МЭЗ

дают наблюдения, осуществляемые установками, которые представляют собой комбинацию зондирования и профилирования (многоэлектродные электротомографические установки [7]).

Кроме наблюдений с использованием искусственных электрических полей, на оползневых массивах проводят исследования методом естественного электрического поля, характеризующие поведение геофильтрационных процессов. Как правило, методом ЕЭП оконтуривают породы разного литологического состава или структуры, зоны инфильтрации поверхностных вод и атмосферных осадков и зоны разгрузки подземных вод, благодаря чему этим методом могут осуществляться режимные наблюдения за развитием оползневых процессов.

Методами ЕЭП и МЗТ ведут изучение гидрогеологических особенностей оползня, используя корреляционные связи между электрическими параметрами пород и коэффициентами фильтрации.

Режимными съемками комплексом методов МЭЗ, ЕЭП, МЗТ изучают динамику оползневого массива и отдельных его участков.

Электрометрические методы радиолокационного подповерхностного зондирования (РЛЗ) и естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) [2], которые в последнее время стали применять для изучения оползней, основаны на измерении характеристик переменных электромагнитных полей искусственного и естественного происхождения. По сравнению с другими геофизическими методами радиолокационный метод имеет высокое разрешение по вертикали, которое определяется длиной (продолжительностью) зондирующего сигнала. Чем короче сигнал, тем выше разрешающая способность метода. В основе метода ЕИЭМПЗ лежит эффект генерации электромагнитных импульсов горными породами при воздействии на них механических напряжений.

Электрометрические методы по значительным объемам решаемых специфических задач, экспрессностью и возможностью их выполнения в сложных геоморфологических условиях являются наиболее универсальными и эффективными при детальном изучении оползневых участков.

Сейсмометрические исследования выполняются корреляционным методом преломленных волн (КМПВ) с использованием как продольных, так и поперечных волн. Метод КМПВ основывается на регистрации и прослеживании (корреляции) первых и последующих вступлений продольных, а также поперечных преломленных волн. С помощью этого метода решаются задачи, связанные с изучением строения оползня: определение его внешних границ, даже в тех случаях, когда они явно не выделяются по геоморфологическим признакам, глубины залегания поверхности смещения, а также дается оценка состояния и свойств горных пород. Поверхность скольжения

оползня уверенно картируется сейсмическим методом при наиболее благоприятной ситуации, когда смещение происходит по контакту различных пород. Переход от устойчивой части склона к нарушенному массиву сопровождается существенными изменениями сейсмических характеристик: уменьшением скоростей упругих волн, ростом коэффициентов сейсмической анизотропии за счет ориентированной трещиноватости и особенностей распределения напряжений внутри оползневого массива.

На изучении закономерностей временных изменений состояния и свойств пород основывается принципиальная возможность расчета абсолютных изменений коэффициента устойчивости склона на основе рассчитанных (по определенной сейсморазведкой скоростям продольных V_p и поперечных V_s волн) значений упругих параметров – динамического модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Современный уровень систем сбора и регистрации сейсмических данных, а также их обработки и интерпретации позволяют применять для изучения оползневых склонов пространственную или трехмерную съемку.

Высокоточные микромагнитная и гравиметрическая съемки способствуют оперативному картированию границ отдельных оползневых блоков, изучению динамики оползневых процессов. Эманационная съемка в комплексе с азимутальным структурно-геодинамическим картированием (СГДК-А) позволяет выделять и прослеживать зоны трещиноватости (геодинамические зоны). Малоглубинная термометрия дополняет метод естественного электрического поля при изучении гидрогеологических условий участка исследований.

Возможности геофизических методов существенно повышаются при использовании скважинных наблюдений. Применяются методы сопротивления, природного электрического поля, вертикального сейсмического профилирования, межскважинного сейсмического просвечивания, точечный акустический каротаж, гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж, термокаротаж. При этом особенно высокую эффективность имеют сейсмоакустические методы. Геофизическая информация скважинных исследований позволяет определить точные геометрические параметры геологического разреза, физические свойства пород и подземных вод. На основе этих данных устанавливаются корреляционные связи между геофизическими и инженерно-геологическими параметрами.

Следует отметить, что рациональный комплекс геофизических методов при исследовании оползневых процессов определяется для каждой отдельной природной обстановки (отдельного участка). При этом учитывается: возможность выполнения полевых исследований отдельным геофизическим методом с точки зрения рельефа

дневной поверхности участка; наличие дифференциации пород по физическим свойствам, используемым конкретным геофизическим методом; экономическая эффективность применения отдельного геофизического метода и важность решаемых им задач.

Экспериментальные исследования

Для примера приведем некоторые результаты геофизических исследований, выполненных в рамках правого берега р. Днепр на Трипольском участке (район с. Витачев и с. Гребени) вблизи Трипольской теплоэлектростанции.

В результате воздействия водохранилищ активизируются оползневые процессы на правом высоком берегу р. Днепр. На Трипольском участке оползни характеризуются двухэтажным строением – наличием двух террас смещения. Верхняя терраса сложена, главным образом, лессовидными суглинками. Кроме этих суглинков, оползневые почвы представлены также погребенными почвами, флювио-гляциальными песками, моренными суглинками, бурыми глинами. В пределах нижней оползневой террасы оползневые массы во впадинах представлены глинистыми почвами (бурые и пестрые глины), на гребнях – полтавскими и харьковскими песками, наглинком. Поверхность коренного ложа составлена мергелем, глинистым мергелем и наглинком Киевской свиты.

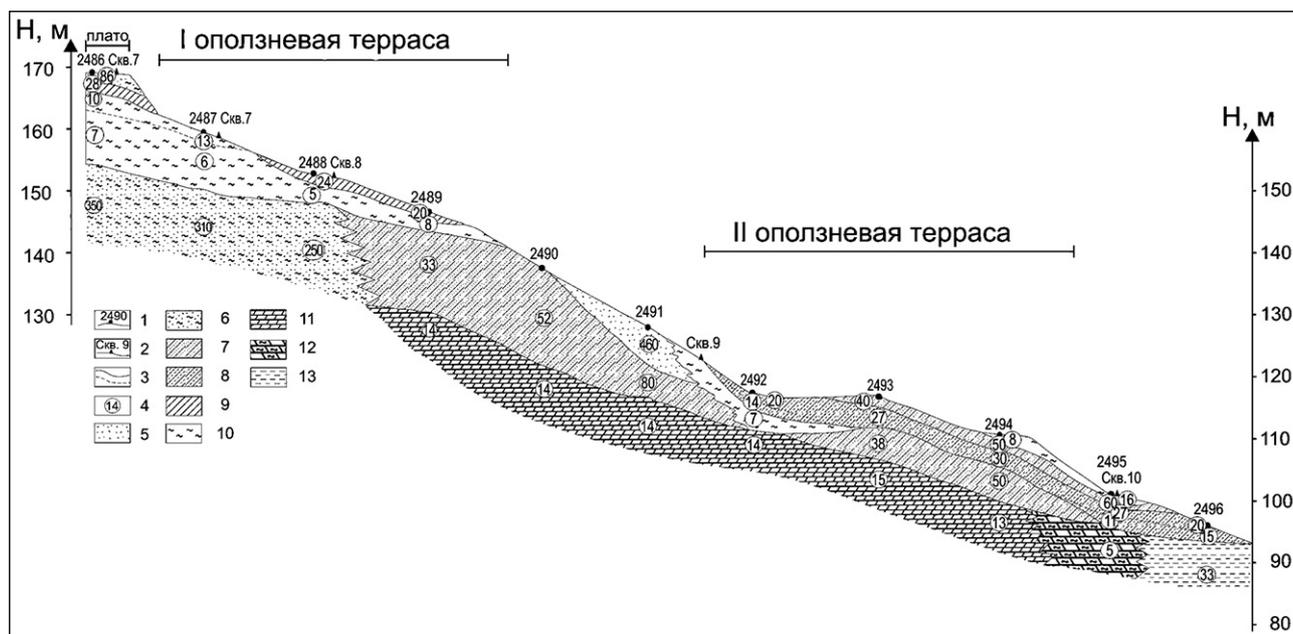
На исследованной территории выделяются несколько водоносных горизонтов: в лессовых от-

ложениях («верховодка»); в слабопроницаемых суглинках и делювий-гляциальных отложениях, залегающих на бурых глинах; в песках харьковской свиты, залегающих на киевских мергелях; оползневых грунтах, имеющих локальное развитие.

Учитывая сложный рельеф местности и экономическую целесообразность, для изучения оползневых тел применялся комплекс геоэлектрических исследований методами микроэлектрондирования (МЭЗ) с шагом 25 м и природного электрического поля (ПЭП) с шагом 10 м на отдельных профилях-створах. По результатам этих исследований составлены геоэлектрические модели оползневых участков по отдельным профилям-створам.

Сопоставление геоэлектрических моделей и геологических разрезов по створам, пересекающим оползневой участок, позволяет сделать вывод о возможности решения следующих задач: изучение строения коренного ложа оползня; определение мощности, состава и фильтрационных свойств оползневых грунтов; выделения водоносных горизонтов (водонасыщенных пород).

На предварительных геологических разрезах, составленных по результатам бурения, показана горизонтально расположенная поверхность киевского мергеля, которая является ложем оползней. Результаты геофизических исследований показали, что поверхность пород киевской свиты не плоская и не горизонтальная (рисунок 2). Притом фиксируется значительная их дифференциация



1 – точки МЭЗ и их номера; 2 – геологические скважины и их номера; 3 – границы геоэлектрических горизонтов; 4 – удельное электрическое сопротивление (ρ), Ом·м; 5 – пески разноразмерные ($\rho > 200$ Ом·м); 6 – пески глинистые и супеси ($\rho = 60-200$ Ом·м); 7 – суглинок легкий с прослойками супеси и суглинка среднего ($\rho = 25-60$ Ом·м); 8 – суглинок средний ($\rho = 15-30$ Ом·м); 9 – суглинок тяжелый ($\rho = 12-15$ Ом·м); 10 – глина ($\rho < 12$ Ом·м); породы киевской свиты: 11 – мергель ($\rho = 12-20$ Ом·м); 12 – глинистый мергель ($\rho < 12$ Ом·м); 13 – наглинок ($\rho = 25-60$ Ом·м)

Рисунок 2 – Геоэлектрическая модель оползня в районе с. Витачев

по электрическому сопротивлению, что свидетельствует о литологической неоднородности пород киевской свиты. Наряду с широко распространенными на участке мергелями, сопротивление которых составляет преимущественно 12-20 Ом·м, встречаются еще две разновидности пород: породы с пониженным удельным электрическим сопротивлением (менее 12 Ом·м) – глинистый мергель; породы с повышенным удельным электрическим сопротивлением (25-60 Ом·м) – наглинок.

В результате интерпретации МЭЗ с достаточной точностью определяется мощность осадочных отложений, склонных к оползневым процессам. По данным геоэлектрических исследований оползневые почвы (породы), залегающие на коренном ложе, весьма не выдержаны по литологическому составу, что достаточно контрастно выражается на геоэлектрических моделях. Существенно преобладают суглинки средние, встречаются мелкозернистые пески глинистые, электрическое сопротивление которых составляет преимущественно от 12 до 30 Ом·м.

Наряду с этим установлены участки распространения песков и глин. Пески и песчаные отложения отличаются повышенным значением электрического сопротивления (50-80 Ом·м). При этом достаточно высокие значения сопротивления характерны для неводонасыщенных песков (сотни Ом·м). Глинистые отложения и глины отличаются сниженными и низкими электрическими сопротивлениями (15-20 Ом·м).

На оползневом участке в районе с. Витачев глины с низким электрическим сопротивлением и низкими фильтрационными свойствами распространены на верхней оползневой террасе и практически отсутствуют на нижней (рисунок 2). На оползневом участке в районе с. Гребени вы-

сокопластичные глины составляют небольшие впадины на теле оползня, как на нижней, так и на верхней террасах (рисунок 3). В целом, на основе геофизических данных установлено преобладание слабопроницаемых отложений. В нижней части они обводненные.

Как отмечалось, водоносные горизонты в оползневых породах имеют локальное, пестрое распространение, что обуславливает развитие водонасыщенных пород, которые отличаются повышенной проницаемостью и играют существенную роль в развитии оползневых процессов.

Согласно геофизическим данным, на оползневом участке с. Витачев распространены преимущественно глины и глинистые породы, а на участке с. Гребени – пески и песчаные породы. В пределах нижней террасы они образуют полосу, которая ориентирована вдоль берега Каневского водохранилища.

По материалам исследований методом ЕЭП определены зоны разгрузки грунтовых вод, которые фиксируются полосовыми отрицательными аномалиями естественного электрического поля интенсивностью до минус 40 мВ.

Выводы. Подытоживая сказанное, следует отметить, что:

1. В общем случае при изучении оползневых процессов комплекс геофизических методов, в зависимости от задач и этапа исследований, включает дистанционные, электрометрические, сейсмометрические, эманационные, гравиметрические, магнитометрические, термометрические и каротажные исследования. Следует отметить, что наиболее универсальными и эффективными по значительному объему решаемых специфических задач при изучении оползневых участков являются электрометрические методы. Выделяют

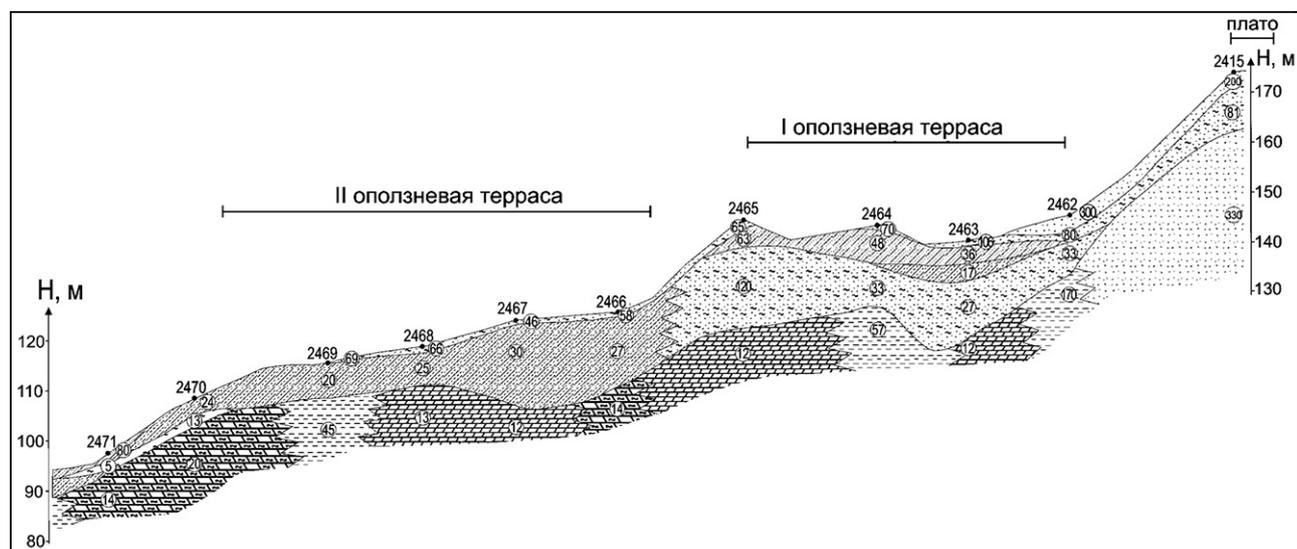


Рисунок 3 – Геоэлектрическая модель оползня в районе с. Гребени (условные обозначения см. на рисунке 2)

три этапа исследований: рекогносцировочно-методический, детальный и мониторинговый. На каждом из этих этапов применяется специализированный комплекс геофизических методов.

2. Целесообразность использования геофизических методов для изучения оползней не вызывает сомнения. Однако следует учитывать то, что рациональный комплекс геофизических методов при исследовании оползневых процессов определяется для каждой отдельной природной обстановки (отдельного участка) с учетом: возможности выполнения полевых исследований отдельным геофизическим методом на данном участке; наличии дифференциации пород по физическим свойствам, используемым конкретным геофизическим методом; экономической эффективности применения данного геофизического метода. В дальнейшем, по мере накопления опыта исследований, возникают более сложные задачи – геофизического изучения динамики оползней.

3. На Трипольском оползневом участке, учитывая сложный рельеф местности и экономическую целесообразность, для изучения оползневых тел применялся комплекс геоэлектрических исследований методами микроэлектронзондирования с шагом 25 м и природного электрического поля с шагом 10 м на отдельных профилях-створах. Геоэлектрические исследования показали высокую эффективность. По результатам этих исследований составлены геоэлектрические модели оползневых участков по отдельным профилям-створам.

4. Применение рационального комплекса геофизических исследований и организация геофизического канала мониторинга оползневых участков является необходимым и экономически оправданным средством для эффективного планирования и выполнения защитных противоползневых инженерно-технических мероприятий с целью избежания экологических аварий и катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вижва С.А., Онищук В.І., Онищук І.І., Рева М.В. Інженерна геофізика. Підручник. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2018.
2. Кузьменко Е.Д., Блінов П.В., Вдовіна О.П. та ін. Прогнозування зсувів. Монографія. – Івано-Франківськ: Видавництво ІНФТУНГ, 2015.
3. Кузьменко Е.Д., Безсмертний А.Ф., Вдовіна О.П. та ін. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами. Монографія. – Івано-Франківськ: Видавництво ІНФТУНГ, 2009.
4. Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О. Геофізичні дослідження підтоплення територій міських агломерацій. Вісник Київського університету. Геологія, 2020. – № 4 (91). – С. 6-15.
5. Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabaturo O. Application of geophysical methods in the study of landslides. – 18th International Conference; Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2019, May 13-16, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902066>.
6. Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabaturo O. The mapping of submerged (flooding) lands by geophysical methods. XIII International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environmen. 2019, November 12-15, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903225>.
7. Хоменко Р.В., Бондар К.М., Попов С.А. Малоглубинная многоэлектродная электроразведочная установка. Характеристики и результаты опробования // 12-я международная конференция EAGE по геоинформатике. Теоретические и прикладные аспекты. Май 2013, Киев, Украина, [https:// DOI:10.3997/2214-4609.20142422](https://DOI:10.3997/2214-4609.20142422).

Украинаның орманды дала зонасы жағдайындағы көшкін аумақтарын геофизикалық зерттеудің әдістемелік принциптері

¹***ВЫЖВА Сергей Андреевич**, геол.ф.д., профессор, кафедра меңгерушісі, vsa@univ.kiev.ua,

¹**ОНИЩУК Виктор Иванович**, геол.ф.к., доцент, vitus16@ukr.net,

¹**ОНИЩУК Иван Иванович**, геол.ф.к., аға ғылыми қызметкер, oivan1@ukr.net,

¹**РЕВА Николай Васильевич**, ф.-м.ф.к., доцент, mvreva@gmail.com,

¹Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Геология институты, Украина, 03022, Киев, Васильковская көшесі, 90,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Өзеннің оң жағалауындағы көшкін аумақтарын зерттеуде геофизикалық зерттеу әдістерін қолдану ерекшеліктері қарастырылады. Днепр Украинаның орманды далалы аймағында. Көшкінді мамандандырылған зерттеулер кезінде геологиялық және геофизикалық модельдері ұсынылған. Көшкінді мамандандырылған зерттеулер кезінде қойылған міндеттер бөлініп, оларды шешудің геофизикалық әдістері анықталды. Жер сілкіну процестерін мамандандырылған зерттеулердің үш кезеңі анықталды: барлау-әдістемелік, егжей-тегжейлі, бақылау және осы кезеңдер үшін геофизикалық әдістердің кешендері анықталды. Мысал ретінде өзеннің оң жағалауында жүргізілген геофизикалық зерттеулердің кейбір нәтижелері келтірілген. Трипольский жылу электр орталығының жанындағы Трипольский учаскесінде Днепр. Жер сілкінісі процестерін зерттеудегі геофизикалық әдістердің ұтымды кешені әрбір жеке табиғи ортаға (жекелеген ауданға) сәйкес анықталатыны ескерілді:

осы аймақта жеке геофизикалық әдісті қолданып далалық зерттеулерді жүргізу мүмкіндігі; нақты геофизикалық әдіспен қолданылатын физикалық қасиеттері бойынша тау жыныстарының дифференциациясының болуы; осы геофизикалық әдісті қолданудың экономикалық тиімділігі.

Кілт сөздер: инженерлік геофизика, көшкін, зерттеу, электр кедергісі, сынау, кесу, модель.

Methodological Principles of Geophysical Research of Landslide Territories in the Conditions of the Forest-Steppe Zone of Ukraine

¹***VYZHVA Sergey**, Dr. Geol. Sci., Professor, Head of Department, vsa@univ.kiev.ua,

¹**ONYSHCHUK Victor**, Cand. Geol. Sci., Associate Professor, vitus16@ukr.net,

¹**ONYSHCHUK Ivan**, Cand. Geol. Sci., Senior Researcher, oivan1@ukr.net,

¹**REVA Nikolay**, Cand. Phys. and Math. Sci., Associate Professor, mvreva@gmail.com,

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Ukraine, 03022, Kyiv, Vasylykivska Street, 90,

*corresponding author.

Abstract. The features of the application of geophysical research methods in the study of the landslide areas of the right bank of the Dnieper river within the forest-steppe zone of Ukraine. Geological-geophysical models of landslides are given. The tasks that are posed in studies of landslides were highlighted. There are three stages of specialized studies of landslides were defined: reconnaissance-methodological, detailed and monitoring. Also, sets of geophysical methods for these stages were defined. As an example, we described some of the results of geophysical studies, which were carried out within the right bank of the Dnieper river on the Trypillya site near the Trypillia thermal power plant. It is emphasized that the rational set of geophysical methods in the study of landslide processes is determined for each individual natural environment, taking into account: the possibility of performing field studies by a specific geophysical method on the area; the presence of differentiation of rocks by physical properties, that are used by the specific geophysical method; economic efficiency of application of the geophysical method.

Keywords: engineering geophysics, landslides, research, electrical resistance, probing, cut, model.

REFERENCES

1. Vyzhva S.A., Onyshchuk V.I., Onyshchuk I.I., Reva, M.V. Engineering geophysics. – Kyiv: Bulletin of Kiev University. Geology, 2018, [in Ukrainian].
2. Kuzmenko E.D., Bezsmertnyi A.F., Vdovina O.P. et al. Investigation of landslides by geophysical methods. Monograph. – Ivano-Frankivsk: IFNTUOG Publishing, 2009, [in Ukrainian].
3. Kuzmenko E.D., Blinov P.V., Vdovina O.P. et al. Forecasting of landslides. Monograph. – Ivano-Frankivsk: IFNTUOG Publishing, 2015, [in Ukrainian].
4. Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabaturo O. Geophysical research of flooding of territories of urban agglomerations. Bulletin of Kiev University. Geology, 2020. – No. 4 (91). – pp. 6-15. [in Ukrainian].
5. Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabaturo O. Application of geophysical methods in the study of landslides. – 18th EAGE International Conference on Geoinformatics.Theoretical and Applied Aspects, 2019, May 1316, Kyiv, Ukraine. – <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902066>.
6. Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabaturo O. The mapping of submerged (flooding) lands by geophysical methods. XIII International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environmen. 2019, November 12-15, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903225>.
7. Khomenko R.V., Bondar K.M., Popov S.A. Multi-Multinal Multielectrode Electrical exploration. Characteristics and test results. // 12th EAGE International Conference on Geoinformatics.Theoretical and Applied Aspects, 13-16 May 2013, Kyiv, Ukraine, [https://DOI: 10.3997/2214-4609.20142422](https://doi.org/10.3997/2214-4609.20142422).