

УДК 551.131

Э. Кузьменко, д-р геол.-минералог. наук, проф.
E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Институт геологии и геофизики, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина
Е. Яковлев, д-р техн. наук, глав. науч. сотрудник

Л. Давыбда, канд. геол. наук
E-mail: davybida61085@gmail.com

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины
бул. Чоколовский, 13, г. Киев, 03186, Украина

А. Никиташ, начальник Киевской гидрогеологической экспедиции
E-mail: office@ukrgeol.com

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,
Институт геологии и геофизики, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

В. Зинченко, исполн. директор
E-mail: ipi-aratta@ukr.net

Институт прикладных исследований "Аратта"
ул. В. Шимановского, 2/1, офис 114-а, г. Киев, 02660, Украина

Л. Давыбда, канд. геол. наук
E-mail: davybida61085@gmail.com

ГП "Украинская геологическая компания", пер. Геофизиков, 10, г. Киев, 02088, Украина

СКВАЖИННЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭКЗОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СКЛОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

В качестве объекта исследований рассматривается территория урочища Межигорье на Правобережье Киевского водохранилища, для которой характерно развитие различных опасных экзогенных геологических процессов, в первую очередь – оползней и подтопления.

Целью исследований является обоснование способа искусственного снижения уровня грунтовых вод на подтопляемых объектах территории урочища Межигорье с соответствующим снижением риска оползневой активности.

В ходе исследований был проведен анализ общих и специфических факторов активизации оползнеобразования в урочище Межигорье, доказавший, что большинство этих факторов связаны с природными и техногенно-нарушенными гидрогеологическими условиями территории исследований.

Авторами определены источники техногенной подпитки, зоны повышенного увлажнения в пределах урочища, а также направления и структура транзита грунтовых вод на территорию Межигорья.

Выполненные исследования и их результаты подтверждают необходимость снижения насыщения водоносных горизонтов и, соответственно, экзогеодинамической активности горных пород. Техническое решение базировалось на бурении скважин вертикального дренажа, соединяющих четвертичный грунтовый водоносный горизонт и обуховско-межигорский горизонт-коллектор. Выполнены гидрогеологические расчеты объема воды суточного дренажа задействованных скважин, который должен был составить около 104 м³/сутки. Для контроля понижения пьезометрического уровня грунтовых вод были задействованы 3 наблюдательные скважины. Контрольные наблюдения уровней подземных вод подтвердили эффективность предложенной схемы, однако в период весеннего подъема 2013 года скважины вертикального дренажа не обеспечили полного перехвата фильтрационного потока. Возможной причиной авторы полагают возрастание гидродинамической нагрузки грунтового водоносного горизонта за счет орошения и утечки из озер.

На последующих этапах исследований представляется целесообразным картирование фильтрационных потоков. Данные, полученные в результате исследования, могут служить основанием для проектирования комплекса решений для осушения водоносного горизонта и противооползневых мероприятий на территории урочища Межигорье.

Ключевые слова: факторы активизации оползнеобразования, подтопление, снижение уровней грунтовых вод, внутрискважинный переток.

Актуальность вопроса. Анализ литературных данных. В теории и практике исследования экзогенных геологических процессов (ЭГП) доминирующую роль играет вопрос определения факторов, инициирующих ЭГП, и роли факторных природных и техногенных нагрузок в развитии экзогеодинамической активности. Факторы активизации ЭГП [1, 3, 6] традиционно делятся на постоянные (изменяются в течение сотен и более лет), медленно изменяющиеся (в течение десятков лет), быстроизменяющиеся (на протяжении года или нескольких лет). К числу первых относят в основном геологические и геоморфологические; ко второй группе – тектонические, ландшафтные, структурно-тектонические, геофизические, гидрогеологические; и к третьей – метеорологические, гидрологические, сейсмологические.

В работе [6] доказано, что наиболее объективным является комплексный подход к анализу и прогнозированию ЭГП, потому что в общем случае ни один из факторов не является доминантным. Вместе с тем следует заметить, что отдельные факторы, являются обязательными для учета при исследовании любого вида ЭГП. В данной статье речь идет о метеорологических, природных и техногенных гидрологических и гидрогеологических факторах. Комбинированное воздействие указанных факторов ведет к подтоплению территорий, что в

последнее время, особенно в свете глобального потепления, является распространенным явлением как в мировой практике, так и в Украине [2, 9, 10].

Необходимо отметить, что на локальных территориях, где развиты склоновые поверхности, подверженные оползневой опасности, подтопление приводит к активизации следующих факторов оползнеобразования: 1) увеличение веса оползневого тела за счет насыщения водой; 2) смачивание поверхности оползнеобразующего горизонта скольжения и уменьшение сцепления оползневых масс и подстилающих пород; 3) вовлечение в процесс оползнеобразования дополнительных грунтовых масс; 4) изменение угла наклона уровенной поверхности грунтовых вод; 5) снижение компрессионных, сдвиговых и других физико-механических свойств. Поэтому актуальным является вопрос искусственного снижения уровня грунтовых вод на подтопляемых объектах с соответствующим снижением риска экзогеодинамической (в том числе оползневой) активности.

Характеристика объекта исследований. Постановка задачи. В качестве объекта исследований рассматривается территория урочища Межигорье на Правобережье Киевского водохранилища (рис. 1), для которой характерно развитие различных ЭГП: оползней, подтопления, супфозии, локальных просадок.

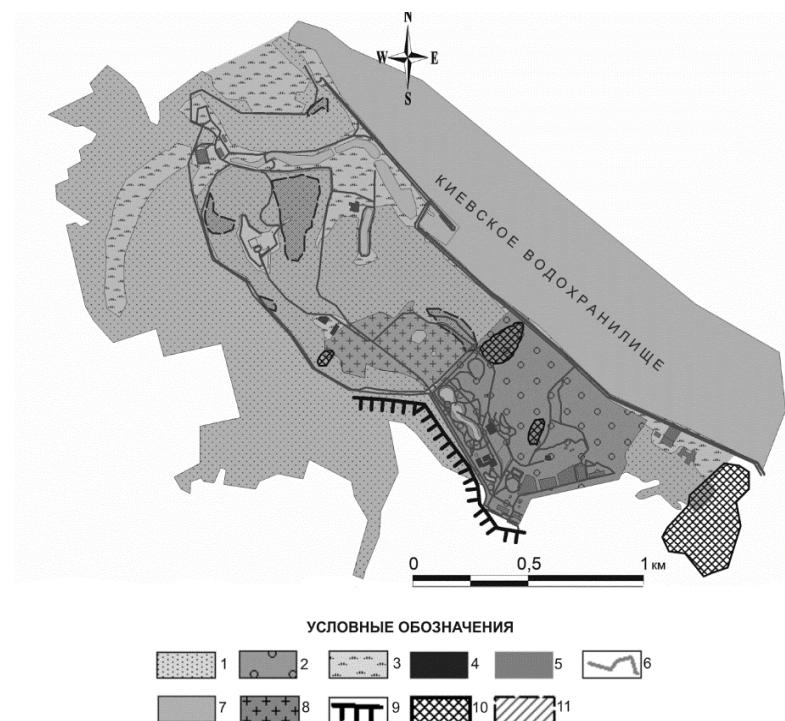


Рис. 1. Схематическая карта урочища Межигорье:

- 1 – лесопарковая зона, 2 – парковый комплекс, 3 – участки с преобладающей луговой растительностью, 4 – дороги, 5 – жилые и административные здания, 6 – хозяйственные здания и туристические объекты, 7 – природные и искусственные водоемы, 8 – гольф-поле, 9 – территория над погребенным оврагом, 10 – оползни, 11 – территории, представляющие историко-археологическую ценность

Район изысканий находится на территории Киевского Полесья. Урочище Межигорье находится в пределах Вышгородского выступа моренно-зандровой равнины в зоне сочленения северо-восточного склона Украинского щита и юго-западного борта Днепровско-Донецкой впадины, границей между ними является Киевский разлом Днепровской разломной зоны. Правый берег Киевского водохранилища на участке Вышгородского выступа расчленен глубокими оврагами и балками. Тут имеют место двухъярусные оползни, что усложняет геомеханическую и инженерно-геологическую структуру. В гидрогеологическом плане территории исследований

расположена в пределах северо-западной части Днепровского артезианского бассейна, для которого типичным является этажное развитие водоносных горизонтов, разделенных водоупорными слоями.

Детали геологического строения и гидрогеологические условия территории Межигорья достаточно подробно описаны [1, 3–5], поэтому для их характеристики ограничимся представлением геолого-гидрогеологического разреза по участку охватывающему прислоновую часть плато и начало оползневого склона, заимствованного из работы [3], (рис. 2). Расположение профиля указано на рис. 3, который будет описан далее.

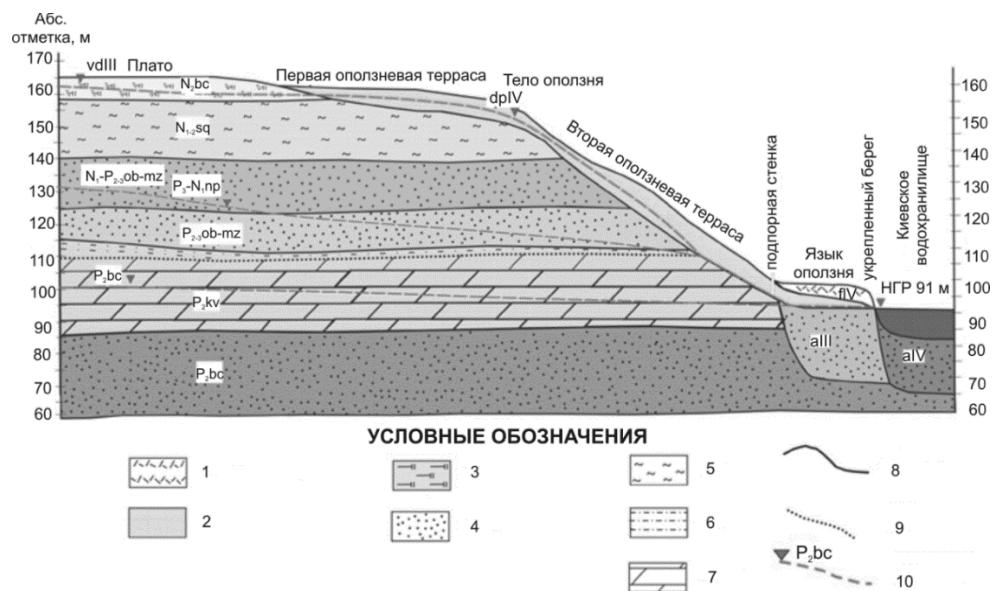


Рис. 2. Типовой геолого-гидрогеологический разрез для исследуемой территории:

- 1 – техногенные грунты, 2 – оползневые почвы, 3 – суглинки, 4 – пески разнозернистые, 5 – глина, 6 – алеврит, 7 – мергель, 8 – стратиграфические пределы, 9 – литологические пределы, 10 – уровни грунтовых и подземных вод и индексы соответствующих водоносных горизонтов

В соответствие с рис. 2, в верхней части разреза присутствуют водоносный горизонт в ледниковых подморенных флювиогляциональных песках четвертичного возраста, имеющий безнапорный режим и активное питание атмосферными осадками и техногенными водами, и водоносный горизонт в песках палеогена, имеющий местами напорный режим. Между ними находится водоупорный горизонт пестроцветных и красно-бурых неогеновых глин, которые при растрескивании могут быть обводнены. По водоносному горизонту четвертичных песков осуществляется в основном транзит грунтовых вод в сторону склона водохранилища с разгрузкой на отметках 156–162 м. Горизонт палеогеновых песков разгружаются на склоне выше отметок киевских водоупорных мергелей, их подстилающих (111–115 м).

В статьях [3, 4] определены источники питания и распределения природной и техногенной составляющих питания грунтового водоносного горизонта в течение периода 2009–2013 гг. Известно, что формирование режима грунтовых вод на территории урочища Межигорье в основном осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод природного и техногенного происхождения непосредственно на объекте исследований, а также инфильтрации их на прилегающих площадях с последующим транзитом на территорию объекта. В частности установлено, что за один год территории Межигорья получала 1632 мм поверхностных вод, из них 650 мм –

природные осадки, 982 мм – техногенные воды (полив, утечки из озер). Основным периодом подтопления является период полива, в течении которого (за полгода) территория получает 1186 мм поверхностных вод, т. е. всего 314 % полугодовой нормы осадков. Оценка величины инфильтрации поверхностных вод за год дает значение 125 мм (при норме для г. Киева и окрестностей обычно 32–45 мм), причем 44 мм приходится на природную составляющую и 81 мм – на техногенную, в том числе 53 мм – за счет полива, а 28 мм – за счет утечки из озер.

В последующие годы условия поверхностного водного питания в основном сохранились, что привело к устойчивому подъему уровней грунтовых вод и подтоплению, а главное – значительному снижению оползнеустойчивости склонов. Например, для участка самого крупного оползня в районе смотровой площадки (рис. 3) расчетное значение коэффициента устойчивости склона снизилось с 1,7 до 0,9, что привело к активизации оползня весной 2013 г. Очередная массовая активизация оползней на Правобережье Киевского водохранилища с учетом гидрометеорологических и техногенных факторов прогнозируется в 2018–2019 гг. [3].

Задачей приведенных исследований является обоснование оригинального способа снижения уровней грунтовых вод и демонстрация реализации принятых решений на территории урочища Межигорье с учетом детального геологического и гидрогеологического анализа.

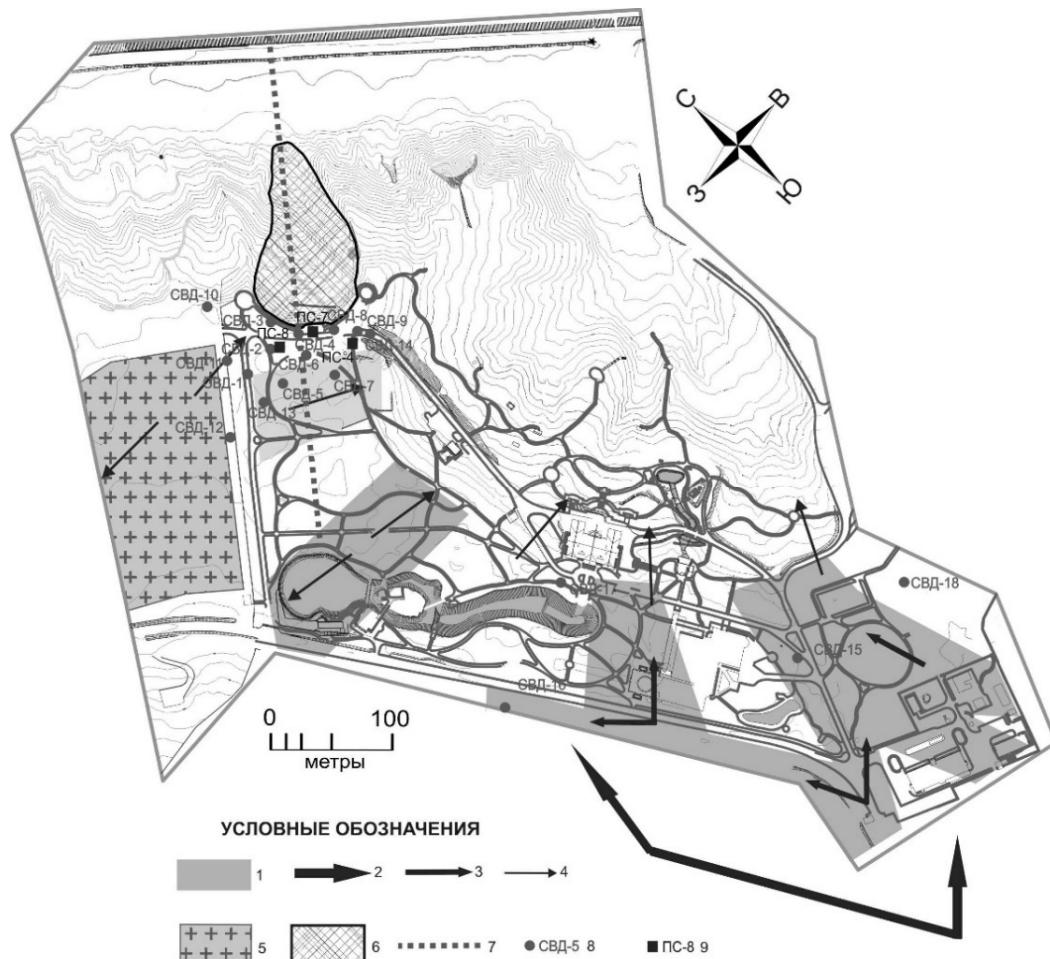


Рис. 3. Схема транзита грунтовых вод для исследуемой территории, а также расположение скважин вертикального дренажа и наблюдательных скважин:

1 – зоны повышенного увлажнения, 2 – направление регионального потока грунтовых вод на территорию Межигорья с периферии (транзит 1-го порядка), 3 – пути транзита грунтовых вод 2-го порядка, 4 – пути транзита грунтовых вод 3-го порядка, 5 – гольф-поле, 6 – оползень, сошедший весной 2013 г. в районе "Смотровой площадки", 7 – линия гидрогеологического разреза, 8 – скважины вертикального дренажа (2012 г.), 9 – пьезометрические скважины (2012 г.).

Факторы изменения гидродинамических и инженерно-геологических условий как основа природно-техногенной экзогеодинамической активизации. Сложный комплекс геологических и гидрогеологических условий территории урочища Межигорье формирует факторы нестабильности водно-физических параметров и соответственно уменьшения устойчивости породного массива как в природных, так и техногенных (строительство, планирование и т. п.) условиях.

Повышенная способность к оползнеобразованию в природных и техногенных условиях территории исследований связана с действием ряда общих и специфических факторов.

Факторы природных условий:

- 1) наличие склоновых форм с критической крутизной откосов ($>18^\circ$) в покровных рыхлых породах флювиогляциального происхождения;
- 2) повышенная пораженность склонов эрозионными процессами;
- 3) значительная неоднородность механического состава и водно-физических свойств пород, которые слагают склоновые поверхности.

Факторы техногенных условий:

- 1) дополнительная геомеханическая нагрузка на головную часть оползня и прилегающую прислоновую территорию вследствие застройки без учета текущих и долгосрочных изменений напряженно-деформированного состояния;
- 2) замедление поверхностного стока вследствие планирования территорий и барьера влияния сооружений;
- 3) уменьшение испарения влаги из зоны аэрации при асфальтировании, под сооружениями, при поливах и др.;
- 4) увеличение питания грунтового водоносного горизонта и увлажнение глинисто-супесчано-песчаных пород зоны аэрации вследствие полива территории, утраты воды из водопроводно-канализационных и теплоэнергетических коммуникаций, а также утечек из поверхностных водоемов;
- 5) увеличение гидродинамического давления на склоновые поверхности вследствие техногенного подъема уровня грунтовых вод;
- 6) активизация процессов механической и химической суффозии с последующим уменьшением плотности породного массива и его противооползневой стойкости.

Приведенные факты и гипотезы еще раз подтверждают необходимость поисков решения о снижении насыщения водоносных горизонтов и соответственно экзогеодинамической активности горных пород на территории Межигорья.

Площадная дифференциация обводненности лесово-суглинкового плато Межигорья. Детальное изучение верхней части разреза территории урочища Межигорье позволяет судить о его вертикальной и горизонтальной неоднородности. Для водоносного горизонта грунтовых вод эта неоднородность проявляется как в литологической дифференциации (частичный переход песков в супеси и суглинки), так и в изменении его мощности от первых метров до более чем десяти метров. В связи с этим зоны повышенного увлажнения играют роль транзитных.

В статье [4] определены направления и структура регионального транзита грунтовых вод на территорию Межигорья с периферии (транзит 1-го порядка). Под транзитом 2-го порядка следует понимать локальные деформации движения подземных вод, на которые разделяется региональный поток 1-го порядка доминирующего северного направления. Его составляющими являются грунтовые потоки 2-го порядка по породам погребенных оврагов

северо-западного и северо-восточного направления, а также по ложу углубления в кровле неогеновых глин с разгрузкой северо-западнее административно-жилого здания (рис. 3) на склонах и в тальвеге засыпанного оврага, как локальной дрены. Потоки 3-го порядка формируются на гольф-поле и в парковой зоне в полосе между каскадом верхнего и нижнего озер и склоном Киевского водохранилища за счет инфильтрации поверхностных вод природных осадков и полива, за счет утечек из озер на территории гольф- поля и парковой зоны, а также (в некоторой степени) за счет вод потоков 2-го порядка.

Скважинный вертикальный дренаж. В связи с избыточным увлажнением территории урочища Межигорье и соответствующей активизацией ее природно-техногенного подтопления была поставлена задача выбора мероприятий по снижению уровней грунтовых вод. Оптимальной была признана идея организации скважинного вертикального дренажа. Опыт использования подобной схемы для гидрогеологических разрезов изложен в работах [7, 8].

Для конкретных условий территории исследований схема перетока изображена на рис. 4. Рис. 4, а отображает схематический гидрогеологический разрез с обозначением уровней подземных вод. На рис. 4, б приведена расходограмма, а на рис. 4, в – распределение уровней подземных вод и депрессионных воронок во время природного процесса "откачки" из верхнего горизонта и "налива" в нижний.

В условиях установившегося гидрогеологического режима для каждого водоносного горизонта справедливы классические формулы Дюпюи для совершенных скважин:

$$(km)_1 = 0,366Q_1 \lg \left(\frac{R_1}{r_1} \right) \frac{1}{S_1}, \quad (1)$$

$$(km)_2 = 0,366Q_2 \lg \left(\frac{R_2}{r_2} \right) \frac{1}{S_2}, \quad (2)$$

где $(km)_1$ и $(km)_2$ – водопроводимость для I и II горизонтов, $Q_1 = Q_2$ – дебит перетока; R_1 – радиус влияния (депрессии), r_1 и r_2 – радиус скважины напротив I и II "взаимодействующих горизонтов", S_1 и S_2 – понижение (повышение) уровня для I и II пласта (показано на рис. 4).

В нашем варианте $r_1 = r_2 = r$. Часто принимают $\lg \left(\frac{R_1}{r} \right) \approx \lg \left(\frac{R_2}{r} \right)$ тогда при делении формул одна на другую получим

$$\frac{(km)_1}{(km)_2} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (3)$$

Гидрогеофильтрационный расчет дренажного узла осуществлен в соответствии с нижеследующим алгоритмом:

1. Средневзвешенная величина коэффициента фильтрации мелкозернистых песков низкой степени водонасыщения (физическая основа грунтового водоносного горизонта (ГрВГ) и плоской дрены вышележащих суглинков) $K_{tp} = 0,5$ м/сутки .

2. Мощность (толщина) слоя увлажнения мелкозернистых песков m_{ep} вместе с капилярной каймой h_{kan} составит $H = m_{ep} + h_{kan} = 2,0 + 2,0 = 4,0$ м .

3. Ориентировочное значение радиуса влияния радиальной дрены R_{dp} при полном осушении песчано-суглинистой зоны водонасыщения ГрВД (по зависимости И. Кусакина или Г. Каменского) равно

$$R_{op} = 2H \sqrt{K_{cp} \cdot m_{cp}}. \quad (4)$$

Численные расчеты дают: $R_{op} = 8$ м.

Контрольный расчет влияния радиальной дрены (расчет радиуса питания R_n) осуществлен из условия обеспечения дренажного стока инфильтрационного питания через весьма слабопроницаемую толщу покровных (перекрывающих) песчано-суглинистых пород:

$$R_n = \frac{m_{cp}}{\sqrt{W_{cp}/K_{cp+c}}}, \quad (5)$$

где W_{cp} – инфильтрационное питание ГрВГ в техногенных условиях (полив площадей, утечки из системы и т. п.), K_{cp+c} – среднее значение коэффициента фильтрации слабопроницаемой грунтовой перекрывающей толщи.

4. В соответствии с приведенными ранее данными $W_{cp} \approx 81$ мм/год $\approx 2,7 \cdot 10^{-4}$ м/сутки. Значение принимаем равным $5 \cdot 10^{-2}$ м/сутки. Тогда радиус влияния дренирующего контура в ГрВГ $R_n \approx 27$ м. Поскольку R_n превышает R_{op} , то это свидетельствует о стабильном режиме функционирования дренажной депрессии.

Условный дебит высачивания воды из дренирующего контура водопонижающей зоны скважины

$$Q_{op} = 1,36 \cdot K_{cp} H^2 / \lg \frac{R_{op}}{r_{op}}. \quad (6)$$

Рассчитанное значение $Q_{op} \approx 6,8$ м³/сутки. При расчетах принято $r_{op} = 0,2$ м – радиус дренажного контура скважины в соответствии с ее конструкцией.

5. Условная поглощающая способность слабопроницаемого горизонта обуховско-межигорского водоносного комплекса (без учета влияния гидравлического сопротивления на границе с несовершенным водоупором) с коэффициентом фильтрации $K = 2$ м/сутки с мощностью $m_{nan} = 10$ м

$$Q_{noga} \approx (2,73 \cdot K \cdot m_{nan} \cdot S^+) / \lg \left(\frac{R^+}{r_n} \right), \quad (7)$$

где $R^+ \approx 1,5\sqrt{a \cdot t}$, S^+ – прогнозное повышение уровня в интервале поглощения, R^+ – прогнозный радиус депрессии в поглощающем горизонте, r_n – радиус фильтра в интервале поглощения, a – коэффициент пьезопроводности слабонапорного поглощающего горизонта, t – время стабилизации формирования депрессионного купола.

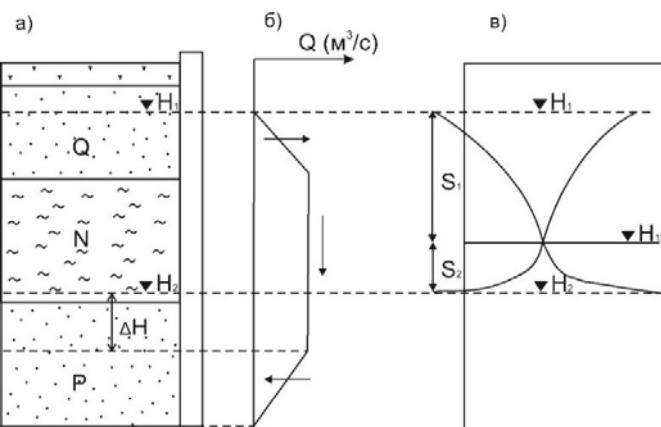


Рис. 4. Схема природного перетока в скважине:

а – схематический гидрогеологический разрез (H_1 – уровень подземных вод четвертичного грунтового водоносного горизонта, H_2 – уровень подземных вод обуховско-межигорского водоносного горизонта, ΔH – разница между уровнями подземных вод до и после вскрытия водоносного горизонта); б – расхододограмма (Q – дебит перетока); в – распределение уровней подземных вод и депрессионных воронок при перетоке (S_1 – понижение уровня для I-го пласта, S_2 – повышение уровня для II-го пласта, H_{12} – отметка установившегося при перетоке уровня)

Из формулы (7)

$$S^+ \approx 0,366 \cdot Q_{noga} \cdot \lg \left(\frac{R^+}{r_n} \right) / K \cdot m_{nan}. \quad (8)$$

По фондовым и экспериментальным данным: $a = 10^3$ м²/сутки, $t=1$ сутки, тогда соответственно $R^+ = 50$ м. Из формулы (8) следует: $S^+ \approx 0,3$ м.

6. Учитывая несовершенный характер проницаемого горизонта в кровле обуховско-межигорского комплекса, по эмпирическим данным наливов его подпор составит 0,3 собственного напора, то есть $0,3 \cdot 8 = 2,4$ м. Таким образом, суммарное повышение уровня в зоне обуховско-межигорского горизонта-коллектора составит $S=0,4+2,4=2,8$ м.

В итоге можно сделать вывод о том, что рассмотренные гидравлические параметры фильтрационных зон дренажного узла "четвертичный грунтовый водоносный горизонт + обуховско-межигорский горизонт-коллектор" способны обеспечить медленный инерционный дренаж.

Бурение скважин вертикального дренажа и их эффективность. Осуществлялось площадное бурение СВД с целью создания площадной депрессии на присклоновой обводненной территории, а также – бурение одиночных скважин для перехвата основных транзитных фильтрационных потоков.

Типовой разрез скважины представлен моренными отложениями, неогеновыми глинами, отложениями полтавской, харьковской и киевской свит.

Дренаж предусматривался как по схеме "грунтовый горизонт – верхний фильтр – скважина", так и по схеме "грунтовый горизонт – обсыпка – нижний фильтр – скважина". Данная схема позволяет за короткий промежуток времени дренирования остановить инфильтрационный поток, поступающий в четвертичные пески, что особенно важно при интенсивных осадках, и дренировать частично те же пески, а также трещиноватые глины за более длительный период.

Всего было пробурено 18 скважин вертикального дренажа (СВД) (рис. 3). Из них большая часть (13) – на

прислоновой территории участка "Смотровая площадка". Их эффективность можно оценить расчетным путем и на основании режимных наблюдений уровней.

Для простейших условий прямолинейно-параллельного плоского потока, с которым мы с некоторым приближением имеем дело, справедлив линейный закон фильтрации Дарси:

$$Q = K_\phi \cdot F \cdot I, \quad (9)$$

где Q – расход потока, $\text{м}^3/\text{сутки}$; K_ϕ – коэффициент фильтрации, $\text{м}/\text{сутки}$; F – площадь поперечного сечения потока, м^2 ; I – напорный градиент, равный отношению перепада напора H к длине участка перепада ΔL .

Для участка "Смотровая площадка" K_ϕ четвертичного горизонта принят в предыдущих расчетах равным 0,5 $\text{м}/\text{сутки}$, мощность горизонта – 4 м, длина полосы вдоль смотровой – 110 м, с учетом флангов примем приблизительно 150 м, тогда фильтрационное сечение ГрВГ $F=150 \cdot 4=600 \text{ м}^2$. Напорный градиент по направлению к "Смотровой площадке" меняется от 0,01 ($\Delta H=1$ м для $\Delta L \approx 100$ м) до 0,025 в прислоновой зоне ($\Delta H=0,4$ м для $\Delta L \approx 16$ м). Тогда, в соответствии с формулой (9), $Q=30 \div 75 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Объем воды суточного дренажа за действованных 13 скважин, исходя из приведенных ранее расчетов, должен составить $13 \times 8=104 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Таким образом, с теоретической точки зрения основной объем фильтрационного грунтового потока, движущегося к склону, должен быть перехвачен скважинами вертикального дренажа.

Для контроля понижения пьезометрического уровня грунтовых вод на "Смотровой площадке" было задействовано 3 наблюдательных скважины: ПС-4 – из опорной сети, ПС-7, ПС-8 – специально пробуренные (рис. 3).

Графики изменения уровней во времени для наблюдательных скважин представлены на рис. 5.

Ожидаемое понижение уровней по наблюдательным скважинам наблюдалось практически сразу после ввода в эксплуатацию СВД, что отчетливо выражено в первые 4–5 месяцев по ПС-4, 7, 8 (рис. 5). Однако из графиков уровней ПС видно, что СВД не справились полностью с весенним подъемом 2013 г. Интенсивную работу скважинного дренажа подтвердила возросшая активность источников на склоне на гипсометрических отметках, соответствующих обуховскому и межигорскому горизонтам. Тем не менее, обводнение склона привело к активизации оползня на склоне "Смотровой площадки" весной 2013 г.

Таким образом, налицо противоречие: с одной стороны, скважинный дренаж должен быть эффективным, с другой – эффективного перехвата субгоризонтального фильтрационного потока не получено. Авторы статьи полагают, что эта дилемма решена в результате визуальных наблюдений склона в последующие годы. К августу 2015 г., когда осадков не было несколько месяцев, оползень стабилизировался. Примерно по центру "Смотровой площадки", на 10–15 м ниже ее уровня, на склоне наблюдался мощный напорный источник воды с дебитом несколько литров в секунду. Единственной реальной причиной наличия источника может рассматриваться только утечка из озер, уровень в которых в любое время года поддерживался заливкой воды из глубоких водозаборных скважин. Объем такой утечки рассматривался в статье [4] и составляет 151,6 $\text{м}^3/\text{сутки}$, что является избыточным для СВД. Кроме того, вполне вероятно, что движение озерной воды в породах осуществлялось на подходе к "Смотровой" отдельными руслами интенсивной фильтрации. Далее эти русла объединились в единый поток, который нашел выход в виде источника на склоне.

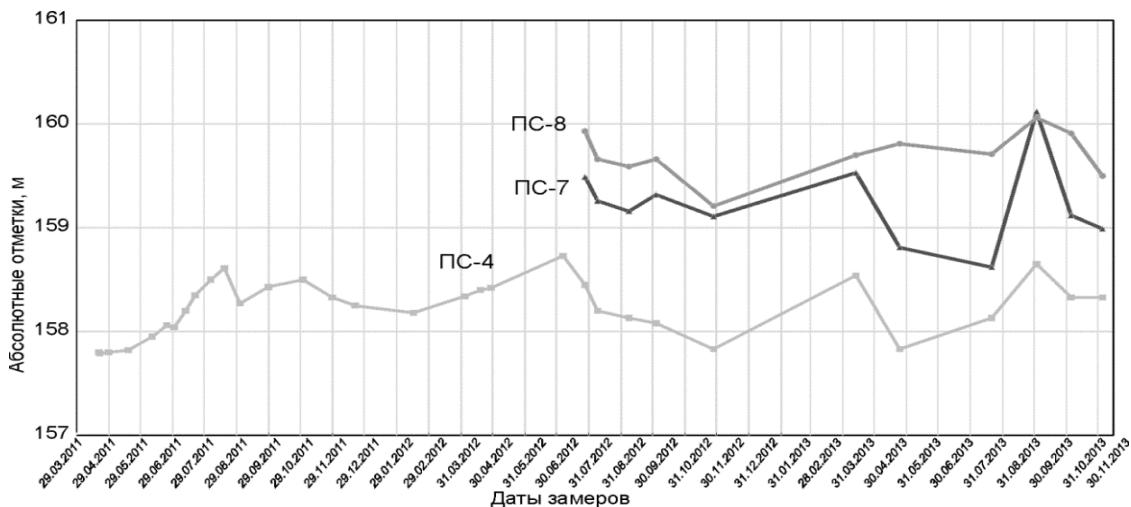


Рис. 5. Графики понижения пьезометрического уровня грунтовых вод в скважинах на "Смотровой площадке"

Для подтверждения данной гипотезы требуется привлечение тривиального комплекса геофизических методов. Далее естественным этапом представляется пересмотр гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории урочища Межигорье с учетом изменившейся природно-техногенной ситуации.

Выводы. Одним из доминирующих факторов экзогеодинамической активности на склоновых территориях является динамика природно-техногенного водного питания горных пород, которое неизбежно ведет к изменению свойств природного массива и развитию ЭГП. В течение периода интенсивной эксплуатации ландшафтно-архитектурного комплекса Межигорья (2009–2013 гг.),

кроме природных осадков (650 мм), территория глинисто-лессового плато ежегодно получала дополнительно не менее 982 мм техногенных вод.

Специфика гидрогеологических условий геологического разреза Межигорья заключается в наличии в верхней его части грунтового водоносного горизонта четвертичных флювиогляциальных песков. Этот горизонт отделен от второго нижележащего горизонта средне проницаемых палеогеновых песков толщиной низкопроницаемых неогеновых глин. Дреной служили прилегающие склоны водохранилища, что обусловило этажное залегание уровней. В связи с техногенным подтоплением территории рассматривалась задача искусственного снижения уро-

вня подземных вод ГрВГ. Техническое решение предлагалось осуществить путем бурения скважин вертикального дренажа, соединяющих два водоносных горизонта и оборудованных фильтрами на их уровнях. Контрольные наблюдения уровней подземных вод и интенсивности источников на склоне водохранилища подтвердили эффективность вертикального дренажа. Вместе с тем полного осушения ГрВГ достичь не удалось.

Питание ГрВГ осуществляется за счет поверхностных природных и техногенных вод (соответственно 650 и 637 мм) и их инфильтрации (соответственно 44 и 43 мм), что почти вдвое превышает годовую норму, а также – за счет непосредственных поступлений в грунт воды утечек из озер. Техногенные воды озер попадают непосредственно в водоносный горизонт в местах утечек и далее фильтруются отдельными потоками, которые объединяются в прислоновой части и разгружаются на склоне мощным напорным источником. Эти потоки скважинами вертикального дренажа перехватываются частично.

На последующих этапах гидрогеологических исследований представляется целесообразным картирование интенсивных фильтрационных потоков, например, геофизическими методами. Полученные данные будут служить основанием для проектирования комплекса решений для осушения водоносного горизонта, возможно, целенаправленным сгущением сети скважин вертикального дренажа в зонах повышенной проницаемости.

Список использованных источников

1. Билеуш А.И. Оползи и противооползневые мероприятия / А. И. Билеуш. – К : Наук. думка, 2009. – 560 с.
2. Бровко А. Оцінка стійкості стану ґрунтових вод при вивченні техногенного впливу на підземні води (на прикладі ґрунтових вод на території Рівненської АЕС) / А. Бровко, Г. Бровко, О. Кошляков // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2015. – № 2 (69). – С. 75 – 78. doi.org/10.17721/1728-2713.69.12.75-78.
3. Довгостроковий прогноз зсуви активності на території правобережжя Київського водосховища / Е. Д. Кузьменко, І. В. Чепурний, О. О. Нікіташ та ін. // Геодинаміка. – 2012. – № 1 (12). – С. 93 – 102.
4. Избыточное увлажнение как фактор активизации оползней на склонах Киевского водохранилища / Э. Д. Кузьменко, А. П. Никиташ, Е. А. Яковлев та ін. // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 51–62.
5. Источники питания и динамика уровней подземных вод на правобережье Киевского водохранилища / Э. Д. Кузьменко, Л. И. Давибода, А. П. Никиташ и др. // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2017. – № 1 (76). – С. 66–75. doi.org/10.17721/1728-2713.76.10.
6. Прогнозування зсувів / Е. Д. Кузьменко, П. В. Блінов, О. П. Вдовина та ін. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. – 601 с.
7. Пургина Д. В. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Камы в городе Перми / Д. В. Пургина, Л. А. Строкова, К. И. Кузеванов // Известия ТПУ. – 2016. – № 1. – С.110–120.
8. Сологаев В. И. О моделировании геофильтрационных задач при проектировании автомобильных дорог / В. И. Сологаев. // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 2 (24). – С. 64–69.
9. Dynamics of groundwater floodwaves and groundwater flood events in an alluvial aquifer / T. Buffin-Belanger, C. Cloutier, C. Tremblay et al. // Canadian Water Resources Journal. – 2016. – № 41. – Р. 469–483.
10. Groundwater flooding within an urbanised flood plain. / D. Macdonald, A. Dixon, A. Newell et al. // Journal of Flood Risk Management. – 2012. – № 5. – Р. 68–80. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x

References

1. Bileush, A. (2009). Opolzni i protivoopolznevye meropriyatija. Kyiv: Naukova dumka, 560 p. [in Russian].
2. Brovko, A., Brovko, H., Koshliakov, O. (2015). Otsinka stiiskosti stanu gruntovykh vod pry vyychenni tekhnogennoho vplivu na pidzemni vody (na prykladi gruntovykh vod na terytorii Rivnenskoi AES). Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 2(69), 75-78. doi.org/10.17721/1728-2713.69.12.75-78 [in Ukrainian].
3. Kuzmenko, E. D., Chepurnyi, I. V., Nikitash, O. O., Shtohryn, L. V. (2012). Dovhrostrokovyi prohnoz zsuvoi aktyvnosti na terytorii pravoberezhzhia Kyivskoho vodoskhovyshcha. Geodynamics, 1(12), 93-102. [in Ukrainian].
4. Kuzmenko, E., Nikitash, A., Yakovlev, E., Heruk, Yu. (2017). Izbytochnoe uvlazhnenie kak faktor aktivizatsii opolznei na sklonakh Kievskogo vodoskhovyshcha. Geoinformatika, 1, 51-62. [in Russian].
5. Kuzmenko, E., Davybida, L., Zinchenko, V., Nikitash, A., Iakovlev, E. (2017) Istochniki питання і динаміка уровні підземних вод на правобережжі Київського водокранілішча. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1(76), 66-75. doi.org/10.17721/1728-2713.76.10 [in Ukrainian].
6. Kuzmenko, E., Blinov, P., Vdovyna, O. et al. (2016). Prohnozuvannia zsuviw. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 601 p. [in Ukrainian].
7. Purgina, D. V., Strokova, L. A., Kuzevanov, K. I. (2016). Modelirovaniye gidrogeologicheskikh usloviy dla obosnovaniya protivoopolznevyykh meropriyatiy na uchastke naberezhnoi reki Kamy v gorde Permi. Izvestiya TPU, 1, 110-120. [in Russian].
8. Sologaev, V. I. (2012). O modelirovaniye geofiltracionnykh zadach pri proektirovaniye avtomobilnykh dorog. Vestnik SibADI, 2 (24), 64–69. [in Russian].
9. Buffin-Belanger, T., Cloutier, C., Tremblay, C., Chaillou, G., Larocque, M. (2016). Dynamics of groundwater floodwaves and groundwater flood events in an alluvial aquifer. Canadian Water Resources Journal, 41 (4), 469-483.
10. Macdonald, D., Dixon, A., Newell, A. and Hallaways, A. (2012). Groundwater flooding within an urbanised flood plain. Journal of Flood Risk Management, 5, 68–80. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x

Надійшла до редколегії 29.08.17

E. Kuzmenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Institute of Geology and Geophysics

15 Karpatka Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

E. Yakovlev, Dr. Sci. (Tech.), Main Research Officer

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine

13 Chokolivsky Bulvar, Kyiv, 03186, Ukraine

L. Davybida, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: davybida61085@gmail.com

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Institute of Geology and Geophysics

15 Karpatka Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

V. Zinchenko, Director of operations

E-mail: ipi-aratta@ukr.net

The Institute of Applied Research "Aratta"

2/1 V. Szymanowski Str., office 114th, Kyiv, 02660, Ukraine

O. Nikitash, Head of the Kiev hydrogeological expedition

E-mail: office@ukrgeol.com

SE "Ukrainian Geological Company"

10 Geophysics Str., Kyiv, 02088, Ukraine

WELL VERTICAL DRAINAGE AS METHOD FOR DECREASING OF EXOGEOYNAMIC ACTIVITY ON SLOPE AREAS

The territory of Mezhyhirya on the right bank of the Kiev reservoir, which is characterized by the development of various dangerous exogenous geological processes, primarily landslides and flooding, is being considered as the object of research.

The purpose of the research is to substantiate the method of artificially lowering of groundwater level within the flooded areas of Mezhyhirya with a corresponding decrease in risk of landslide activity.

In the course of the research, an analysis of general and specific factors of the activation of landslides within the Mezhyhirya area was carried out, and its results proved that most of these factors are related to natural and technogenically disturbed hydrogeological conditions of the research area.

The authors have determined the sources of technogenic feeding, the zones of increased moisture within the natural boundary, as well as the directions and structure of groundwater transit to the territory of Mezhyhiria.

The performed studies and their results confirm the need to reduce the saturation of aquifers and, accordingly, the exo-geodynamic activity of rocks within the territory of Mezhyhiria. The technical solution was based on the drilling of vertical drainage wells connecting the quaternary ground and the Obukhov-Mezhyhirsk collector aquifer. Hydrogeological calculations of the water volume of the daily drainage of the involved wells were performed, which must have been about 104 m³/day. Three observation wells were involved for monitoring the decrease in the piezometric level of groundwater. Control observations of groundwater levels confirmed an effectiveness of the proposed scheme; however, during the spring upsurge of 2013, vertical drainage wells did not ensure complete interception of the filtration flow. A possible reason for this is the increase in the hydrodynamic load of the groundwater aquifer due to irrigation and leakage from lakes.

At subsequent stages of research, mapping of filtration flows seems appropriate. The data obtained as a result of the study can serve as the basis for designing a set of solutions for drainage of the aquifer and anti-landslide measures within the territory of Mezhyhiria.

Keywords: activation factors of landslide formation, flooding, lowering of groundwater levels, downhole flow.

Е. Кузьменко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут геології і геофізики, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

С. Яковлев, д-р техн. наук, голов. наук. співроб.

E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

бул. Чоколівський, 13, м. Київ, 03186, Україна

Л. Давибіда, канд. геол. наук

E-mail: davybida61085@gmail.com

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут геології і геофізики, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

В. Зінченко, викон. директор

E-mail: ipi-aratta@ukr.net

Інститут прикладних досліджень "Аратта",

бул. В. Шимановського, 2/1, офіс 114-а, м. Київ, 02660, Україна

О. Нікіташ, начальник Київської гідрогеологічної експедиції

E-mail: office@ukrgeol.com

ДП "Українська геологічна компанія", пров. Геофізиків, 10, м. Київ, 02088, Україна

СВЕРДЛОВИННИЙ ВЕРТИКАЛЬНИЙ ДРЕНАЖ ЯК СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ЕКЗОГЕОДИНАМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ НА СХИЛОВИХ ТЕРИТОРІЯХ

Як об'єкт дослідження розглядається територія урочища Межигір'я на Правобережжі Київського водосховища, для якої характерний розвиток різних небезпечних екзогенних геологічних процесів, у першу чергу – зсувів і підтоплення.

Метою дослідження є обґрунтування способу штучного зниження рівня ґрунтових вод на підтоплюваних об'єктах території урочища Межигір'я з відповідним зниженням ризику зсувної активності.

У ході дослідження було проведено аналіз загальних чинників активізації зсувоутворення в урочищі Межигір'я, який довів, що більшість цих чинників пов'язані з природними і техногенно-порушеними гідрогеологічними умовами території дослідження.

Авторами визначені джерела техногенного підживлення, зони підвищеного зваження в межах урочища, а також напрямки і структура транзиту ґрунтових вод на територію Межигір'я.

Виконані дослідження та їх результати підтверджують необхідність зниження насичення водоносних горизонтів і відповідно екзогеодинамічної активності гірських порід. Технічне рішення базується на бурінні свердловин вертикального дренажу, що з'єднують четвертинний ґрунтовий водоносний горизонт і обухівсько-межигірський горизонт-колектор. Виконано гідрогеологічні розрахунки об'єму води добового дренажу задіяних свердловин, який повинен був скласти близько 104 м³/добу. Для контролю зниження п'єзометричного рівня ґрунтових вод були задіяні 3 спостережні свердловини. Контрольні спостереження рівнів підземних вод підтвердили ефективність запропонованої схеми, проте в період весняного підйому 2013 р. свердловини вертикального дренажу не забезпечили повного перехоплення фільтраційного потоку. Можливовою причиною автори вважають зростання гідродинамічної навантаження ґрунтового водоносного горизонту за рахунок зрошення і витоку з озер.

На наступних етапах дослідження вважається доцільним картування фільтраційних потоків. Дані, отримані в результаті дослідження, можуть служити підставою для проектування комплексу рішень для осушення водоносного горизонту і протизсувних заходів на території урочища Межигір'я.

Ключові слова: фактори активізації зсувоутворення, підтоплення, зниження рівнів ґрунтових вод, внутрішньосвердловинне перетинання.