

УДК 550.82/.83/.837 : 551.243 (477.63)

Свистун В.К., Пигулевский П.И.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТРАССЕ КРИВОРОЖСКОГО СКОРОСТНОГО ТРАМВАЯ

Рассмотрены возможности и результаты комплексных геофизических исследований, выполненных по трассе скоростного трамвая в г. Кривом Роге, позволяющие локализовать участки техногенного подтопления от водонесущих коммуникаций и определить его влияние на эксплуатационные характеристики основания трассы скоростного трамвая. Приведены рекомендации, направленные на оптимизацию инженерных работ по трассе скоростного трамвая.

Ведение. Одним из главных направлений эффективной оценки инженерно-геоэкологического состояния территории городских агломераций является использование геофизических исследований. Они позволяют создать пространственно-временную модель геологической среды с последующим прогнозированием на геологической основе развития разномасштабных и разнородных процессов, а также определить физическое, геологическое состояние среды с учетом динамики ее экологического состояния – как основы процесса изучения взаимного влияния геологической среды и техносферы [1].

Комплексные геофизические исследования по оценке инженерного, геологического, экологического состояния территории в связи с подтоплением трассы скоростного трамвая (СТ) (рис. 1) проводились Криворожской геофизической партией Днепропетровской геофизической экспедиции (ДГЭ) «Днепрогеофизика» с 1995 г. [2, 3]. Особое внимание уделялось изучению подземной части трассы, где возможность формирования аварийно-опасных ситуаций, связанных с процессами подтопления, особенно высокая.

Изучение подтопления подземных тоннелей и станций СТ актуально еще и потому, что постоянное обводнение смежных с трассой территорий значительно ухудшает механические свойства грунтов. Постоянная вибрация может вызывать вибрационную ползучесть грунтов, стать причиной просадок и деформации объектов как самой трассы, так и близлежащих объектов застройки (жилых домов, общественных зданий, объектов инфраструктуры).

Инженерно-геологические условия трассы. Тоннели скоростного трамвая размещаются, в основном, в толще лессовидных суглинков верхне-среднечетвертичного возраста. Изредка они заглубляются в подстилающую толщу красно-бурых глин, являющихся водупорными породами. Со времени начала эксплуатации тоннели СТ сформировали барьер на пути фильтрации грунтовых вод. В результате произошло накопление вод вокруг тоннелей с повышением их уровня вдоль трассы на 1,8-3 м. Увеличение водонасыщенности суглинков повлекло за собой существенное изменение их механических свойств.

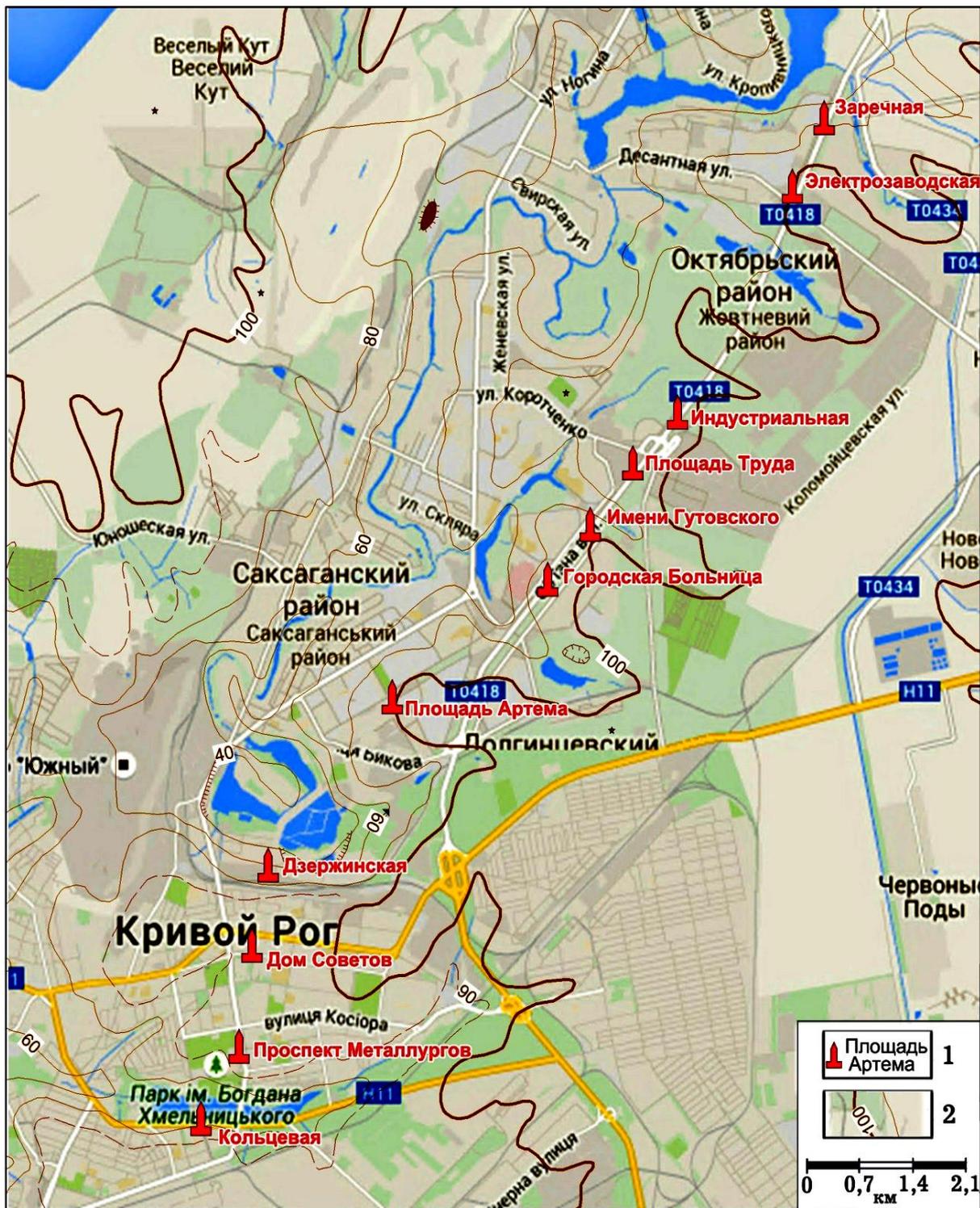


Рис. 1. Схема трассы СТ в г. Кривом Роге.
1 – станции СТ; 2 – изолинии высот рельефа, м.

Главные природные фильтрационные потоки формируются за счет естественного дренажа подземных вод и конденсата, образующегося в связи с перепадом температур между наземной и подземной частями тоннелей. Природным источником подпитки водоносного горизонта являются также атмосферные осадки. Кроме того, подземные потоки подпитывают техногенные источники, главным образом, водоканализационные трубопроводы с многочисленными повреждениями, вызванными блуждающими токами, возникающими при курсировании скоростного трамвая и при работе трансформаторных подстанций.

Постоянного внимания требует и наземный участок трассы в районе Дзержинского водохранилища и хвостохранилища шахты «Гигант-Глубокая». В этом месте насыпь скоростного трамвая (между станцией Дзержинская и южным порталом тоннеля) проходит в непосредственной близости от дамбы хвостохранилища. Несмотря на то, что отдельные его карты (4, частично 4а) длительное время визуально находятся в сухом состоянии, геофизические наблюдения свидетельствуют, что в их придонных частях постоянно аккумулируется вода за счет атмосферных осадков, фильтрации воды со стороны близлежащего пруда, образованного на месте заброшенного песчаного карьера, а иногда и из-за сброса шахтных вод вместе с хвостами.

Фильтрационные потоки от этих карт, направленные к насыпи скоростного трамвая, постепенно подмывают ее, вызывают просадки, наличие которых выявлено по данным высокоточных геодезических наблюдений. Вода стекает под опоры моста путепровода, из-за чего ухудшается несущая способность грунтов под ними.

Геофизические исследования. Увеличение водонасыщенности легких суглинков привело к изменению их механических свойств, локально – к превращению их в плавунные массы. Это в сочетании с вибрационными нагрузками, сопровождающими работу скоростного трамвая, вызвало нарушение гидроизоляции тоннелей и деформацию их сечения.

В этих условиях геофизические работы проводились с целью:

1) выявления источников фильтрации подземных вод, определения их мощности и распространения по площади;

2) изучения интенсивности и направления движения подземных водных потоков;

3) разделения грунтов по площади на сухие, влажные и водонасыщенные;

4) выявления тектонических нарушений в пределах территории, прилегающей к трассе скоростного трамвая.

Для изучения подтопления из множества геофизических видов исследований были выбраны электроразведочные ввиду хорошей дифференциации по электросопротивлению сухих, влажных и обводненных грунтов. В частности, был применен метод вертикальных электрических зондирований с использованием обычной симметричной установки с разном линии АВ/2 – 80 м и шагом 5-10 м, а также трехэлектродной установки АМN∞В – в условиях ограниченного пространства при исследованиях профилями, перпендикулярными по отношению к тоннелю.

Для определения интенсивности и направления потоков вод использовался также метод регистрации естественного поля (ЕП) способом градиентных потенциалов. Степень изрезанности кривых свидетельствовала о многообразии источников техногенного происхождения с разной минерализацией стоков.

Результаты геофизических исследований. В 2003 г. между пикетами пути 68+00 и 69+00 произошел порыв магистрали водовода, что спровоцировало формирование оползня в западном крыле насыпи. Несмотря на укрепление склона насыпи, медленный сдвиг вдоль зоны оползневой деформации продолжается и может привести к аварийной ситуации. По результатам геофизических исследований, были установлены наиболее опасные участки насыпи скоростного трамвая (рис. 2).

Южный участок трассы характеризуется широкой зоной подтопления с востока, расширяющейся к северу по направлению к реке Саксагань. В пределах этой зоны установлены несколько фильтрационных потоков, направленных с юго-востока на северо-запад со смежной направлением до субширотного.

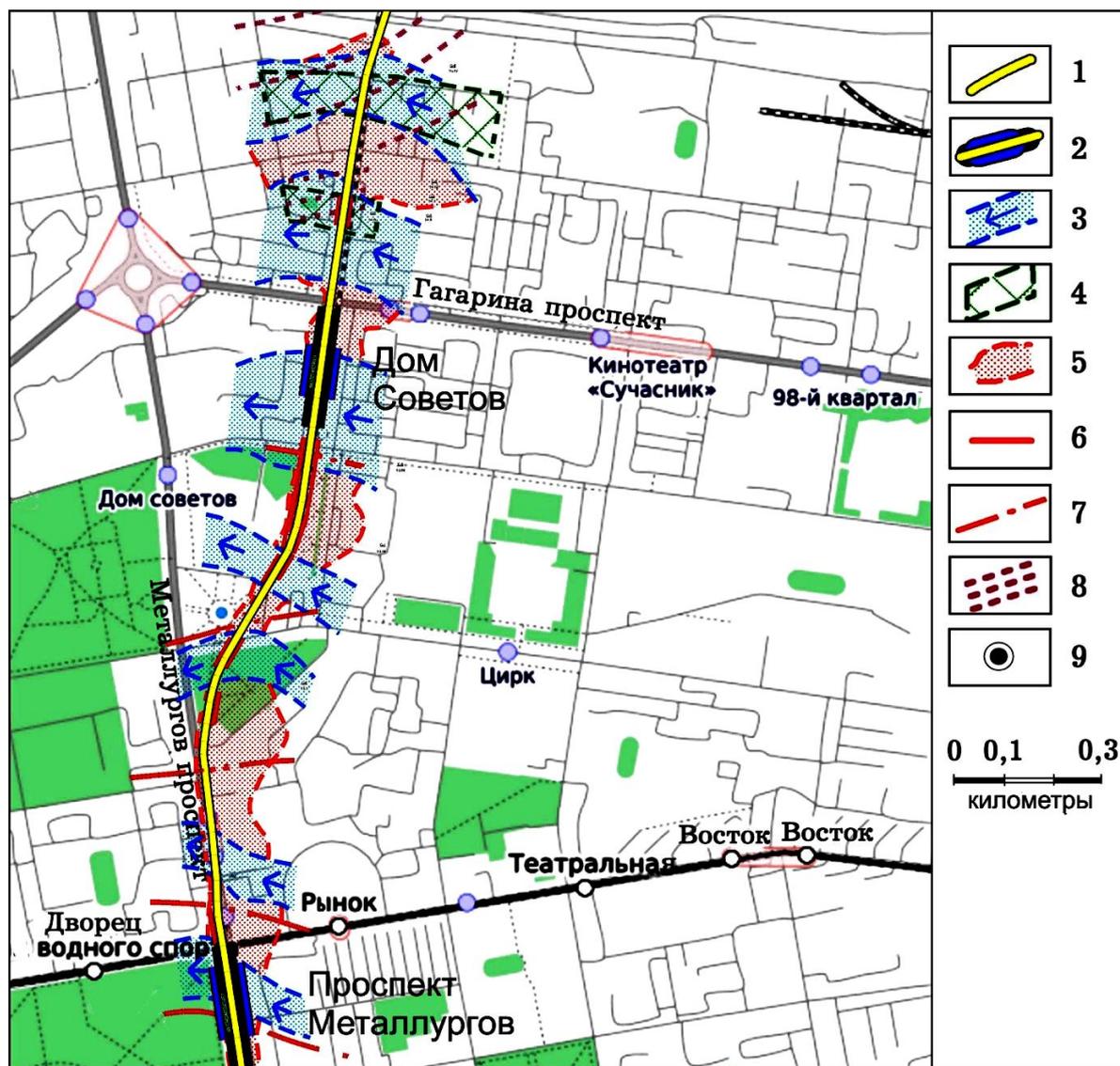


Рис. 2 Результаты геофизических исследований вдоль участка трассы СТ (ст. Дзержинская – ст. Проспект Metallургов) (по состоянию на 1.07.2005 г.) на топооснове [4].

1 – подземный участок трассы СТ; 2 – станции СТ; 3 – фильтрационные потоки грунтовых вод, по данным геофизических исследований; 4 – зоны избыточного увлажнения в пределах фильтрационных потоков; 5 – границы зоны подтопления подземного участка трассы СТ (уровень грунтовых вод менее 3-х метров); 6 – участки наиболее интенсивного подтопления (более 3 м); 7 – тектонические нарушения; 8 – зона ослабленных грунтов на приоползневом участке, по геофизическим данным; 9 – скважины интерпретационного бурения.

Источники формирования фильтрационных потоков находятся далеко за пределами этого участка – в пределах юго-восточного района промзоны.

На правом берегу р. Саксагань подтопление трассы скоростного трамвая менее значительное. Здесь уровень грунтовых вод расположен на глубине от 3 до 5 метров. Но постоянные

потери из водоканализационных сетей окружающих микрорайонов являются дополнительными источниками подпитки грунтовых вод и способствуют повышению их уровня.

По результатам инженерно-геофизических исследований, выполненных в 2006 г., на участке линии скоростного трамвая (ПК 68-ПК 69+48) вблизи станции Дзержинская были выделены три основные зоны фильтрации подземных вод, пересекающие участок в субширотном направлении (рис. 3):

1 – южная, совпадающая с зоной разгрузки водоносного горизонта сарматских известняков;

2 – центральная, уходящая в зону моста путепровода и совпадающая там с участком поверхностного водотока;

3 – северная, самая обширная и интенсивная, в западной части которой располагается оползневая зона западного склона насыпи скоростного трамвая.

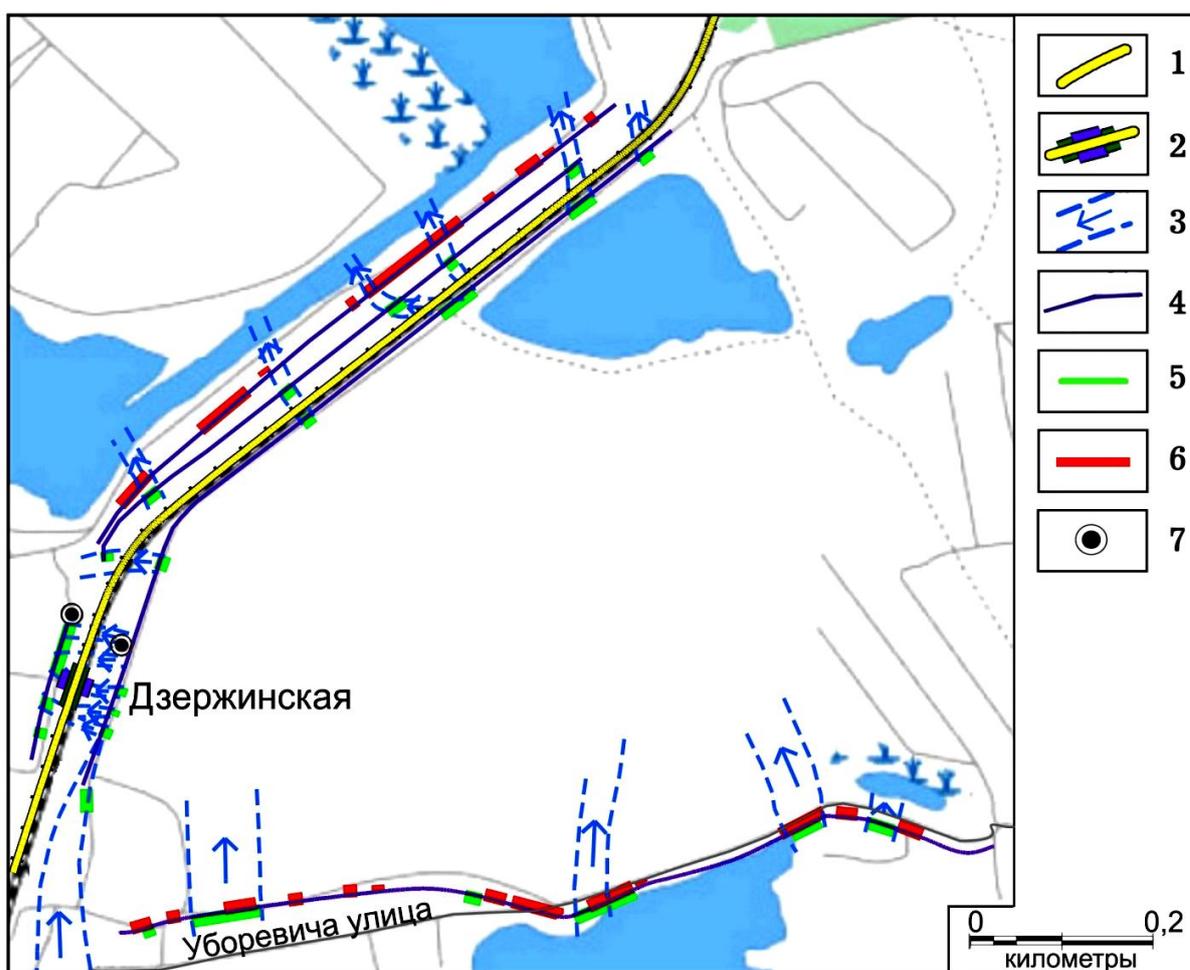


Рис. 3 Результаты комплексных геофизических исследований в районе станции СТ Дзержинская (2004 г.) на топооснове [4].

1 – трасса СТ; 2 – станции СТ; 3 – фильтрационные потоки грунтовых вод, по данным геофизических исследований; 4 – профили геофизических наблюдений; 5 – зоны минимумов электрического сопротивления, по данным электроразведки ВЭЗ; 6 – зоны максимумов электрического потенциала, по данным электроразведки ЕП; 7 – скважины интерпретационного бурения.

Деформации подвергается западный откос дамбы. По-видимому, проведенные дополнительные работы по укреплению откоса на этом участке не обеспечили предотвращения развития суффозии и оползневых процессов. Кроме того, ось трассы скоростного трамвая здесь смещена относительно оси дамбы в сторону Дзержинского хвостохранилища, путепровод проходит близко (на расстоянии около 2 метров) к откосу насыпи, подвергающейся значительным нагрузкам из-за постоянной вибрации при прохождении составов.

С целью предупреждения дальнейших деформаций откоса насыпи представляется необходимым выполнение следующих практических мероприятий.

1. Выполнить в полном объеме работы по рекультивации хвостохранилища шахты «Гигант-Глубокая», предусмотренные «Рабочим проектом ликвидации шахты Гигант-Глубокая» 1998 г. и современными дополнениями к нему, разработанными институтом «Кривбасспроект». В плане задач, решаемых настоящей работой, это касается зоны проложения водоотводной канавы.

2. Разработать проект по укреплению откоса насыпи скоростного трамвая в интервале между пикетами путепровода 68+00 и 69+00 путем создания подпорной стенки и выполаживания откоса до угла 30°.

Для прекращения неорганизованного стока воды под опоры моста путепровода рекомендуется проведение мероприятий по водоотведению, а именно – сооружение дренажа в основании дамбы карты 4 хвостохранилища для перехвата вод сарматского водоносного горизонта.

Результаты комплексных геофизических исследований по станции Электrozаводская, выполненных в 2010 году, показали следующее.

1. Подземная часть станции пересекает водоносный горизонт, а ее основание находится почти на водоупоре.

2. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет сочетания атмосферных осадков, конденсации влаги и техногенных факторов:

– фильтрационных потерь из канала Днепр-Кривой Рог, который расположен выше по рельефу и ближе к водоразделу восточнее станции;

– утечки из водонесущих коммуникаций, находящихся на прилегающей территории.

3. Потоки фильтрации грунтовых вод ориентированы в северо-западном направлении (азимут 315°), т.е. от канала Днепр-Кривой Рог в сторону долины реки Саксагань.

Уровень грунтовых вод в районе работ находится на глубине от 4-5,5 м. на востоке до 6,9-7,2 м на западе. В период выпадения осадков, порывов водонесущих коммуникаций, при резком повышении водообильности водоносного горизонта за счет инфильтрации и водонасыщения грунтов, уровень повышается до 1,8-2,0 м от поверхности, что приводит к подтоплению производственных помещений станции.

Дренажная система, находящаяся в западной части участка, предположительно, не работает, но проверить это невозможно из-за того, что колодцы системы засыпаны.

По результатам инженерно-геофизических исследований был определен максимальный уровень поверхности и мощность верхнего водоносного горизонта по состоянию на 1 сентября 2007 г. Средняя глубина до поверхности верхнего водоносного горизонта для участка составляла 1,8-2,0 м, сезонные колебания – от 0,5 до 2,5 м, мощность горизонта 0,8-1,2 м.

Установленные границы распространения зон повышенной проницаемости пород верхних слоев осадочного чехла и направление основных потоков фильтрации вод верхнего водоносного горизонта показали, что направление потоков меняется в пределах участка от северного в восточной его половине до северо-западного в западной. Условная граница разделения проходит по улице Есенина, где подземный тоннель скоростного трамвая создает ощутимый барражный эффект на пути фильтрационных вод приповерхностного слоя грунтов.

Анализ результатов исследований показал, что основной причиной подтопления сектора жилой застройки в границах участка является верхний водоносный горизонт и чередование в

разрезе пластов горных пород с разной проницаемостью – как в плане, так и по глубине. Значительную роль играют техногенные факторы.

Выводы

1. Трасса скоростного трамвая является весьма протяженным гидротехническим сооружением на пути естественной фильтрации подземных вод. Ее тоннели находятся в толще верхне- и среднечетвертичных суглинков, изредка заглубляются в породы водоупора – красно-бурые глины. В результате вокруг тоннелей и практически на протяжении всей трассы скопились подземные воды, уровень которых повысился на 1,8-3 м.

2. Комплексная интерпретация результатов инженерно-геофизического изучения влияния техногенного подтопления на эксплуатационные характеристики трассы скоростного трамвая свидетельствует о необходимости проведения периодических мониторинговых наблюдений вдоль всего транспортного сооружения, включая как подземные, так и наземные участки.

3. Регулярные геофизические исследования состояния трассы скоростного трамвая позволят создать основу для проектирования ремонтных работ с предоставлением экспресс-информации о состоянии объектов подтопления, динамики их развития и уровне грунтовых вод, ширине зоны подтопления, химической агрессивности подтапливающих вод, изменении механических свойств грунтов, а также о возможных влияниях выявленных тектонических нарушений в кристаллическом фундаменте на перекрывающие его породы осадочного чехла, в том числе четвертичного возраста.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Пигулевський П.Г., Свистун В.К., Слободянюк С.О., Тяпкин О.К. Використання

геофізичних методів при вирішенні завдань техногенної безпеки в межах міських агломерацій // Вісник Київського національного університету. Геологія.– 2001.– Вип. 19.– С. 46-50.

Pigulevskyi P.G., Svystun V.K., Slobodyanyuk S.O., Tyapkin O.K. The use of geophysical methods in solving problems of technogenic safety within the limits of urban agglomerations // Bulletin of Kyiv national University. Geology.– 2001.– V. 19.– P. 46-50.

2. Свистун В.К., Золотарьова Л.И., Калиниченко О.О. Особливості розвитку техногенного підтоплення окремих територій Кривого Рогу / Геологічне середовище антропогенної екосистеми. Техногенез у поверхневих та підземних водах // Кривий Ріг: Мінерал, 2006.– С. 24-35.

Svystun V.K., Zolotaryova L.Y., Kalinichenko O.O. Features of technogenic flooding of certain areas of Kryvyi Rih / Geological environment of anthropogenic ecosystem. Tehnogenesis in surface and underground waters // Kryvyi Rih: Mineral, 2006.– P. 24-35.

3. Свистун В., Золотарьова Л., Харитонова Л., Калиниченко О. Дослідження підтоплення траси швидкісного трамваю у Кривому Розі геофізичними методами / Проблемні питання геологічної освіти та науки на порозі XXI століття. Матеріали наукової конференції // Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2005.– С. 104-105.

Svystun V., Zolotaryova L., Harytonova L., Kalinichenko O. Research of flooding of track of Kryvyi Rih light rail by geophysical methods / Issues of geological education and science on the threshold XXI century. Materials of scientific conference // Lviv: Ivan Franko Lviv national University, 2005.– P. 104-105.

4.

<http://www.openstreetmap.org/#map=15/47.9237/33.3962&layers=T>

СВИСТУН В.К., ПІГУЛЕВСЬКИЙ П.Г. Результати комплексних геофізичних досліджень по трасі криворізького швидкісного трамваю.

Резюме. Траса швидкісного трамваю в м. Кривому Розі є досить протяжною гідротехнічною спорудою на шляху природної фільтрації підземних вод. Її тунелі будувались у товщі

верхньо- й середньочетвертинних суглинків, зрідка заглиблювались у водотривкі породи, представлені червоно-бурими глинами. За роки експлуатації тунелів відбулось підняття рівня підземних вод навколо траси на 1,8-3 м. Збільшення водонасиченості легких суглинків привело до зміни їх механічних властивостей і локально сприяло перетворенню їх на пливунні маси. В комбінації з вібраційними навантаженнями в зв'язку з роботою швидкісного трамваю це спричинило порушення гідроізоляції тунелів, деформацію їх поперечного перерізу. Для виявлення джерел фільтрації підземних вод, їх потужності, поширення по площі, а також виявлення тектонічних порушень на території, яка прилягає до траси швидкісного трамваю, були використані електророзвідувальні методи в модифікації вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ), а для визначення інтенсивності підземних потоків та їх напрямку – проводилась реєстрація природного поля (ПП). За результатами робіт, було встановлено, що фільтраційні потоки формуються за рахунок природного дренажу підземних вод і за рахунок конденсації вод (між наземною і підземною частинами тунелів). Джерелом підживлення природного водоносного горизонту є також атмосферні опади, комунікаційні системи, які мають численні ушкодження через виникнення блукаючих струмів при курсуванні швидкісного трамваю та в зв'язку з роботою його трансформаторних підстанцій. Результати досліджень дозволили локалізувати місця водних потоків і встановити розміри ділянок підтоплення поблизу станцій Дзержинська, Проспект Металургів, Електрозаводська, скласти рекомендації з проведення інженерно-технічних заходів вздовж траси швидкісного трамваю.

Ключові слова: підземний тунель, швидкісний трамвай, підземні води, фільтрація, підтоплення, електророзвідка.

СВИСТУН В.К., ПИГУЛЕВСКИЙ П.И. Результаты комплексных геофизических исследований по трассе криворожского скоростного трамвая.

Резюме. Трасса скоростного трамвая в г. Кривой Рог представляет собой весьма протяженное гидротехническое сооружение на пути естественной фильтрации подземных вод. Его тоннели строились в толще верхне- и среднечетвертичных суглинков, изредка заглаблялись в породы водоупора, представленные красно-бурыми глинами. За годы эксплуатации тоннелей произошло поднятие уровня подземных вод вокруг трассы на 1,8-3 м. Увеличение водонасыщенности легких суглинков привело к изменению их механических свойств и локально способствовало превращению их в пливунные массы. В сочетании с вибрационными нагрузками в связи с работой скоростного трамвая это стало причиной нарушения гидроизоляции тоннелей, деформации их сечения. Для выявления источников фильтрации подземных вод, их мощности, распространения по площади, а также выявления тектонических нарушений на территории, прилегающей к трассе скоростного трамвая, были использованы электроразведочные методы в модификации вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), а для определения интенсивности подземных потоков и их направления – проводилась регистрация естественного поля (ЕП). По результатам работ, было установлено, что фильтрационные потоки формируются за счет естественного дренажа подземных вод и за счет конденсации вод (между наземной и подземной частями тоннелей). Источником подпитки природного водоносного горизонта являются также атмосферные осадки, различные коммуникационные системы, имеющие многочисленные повреждения из-за возникновения блуждающих токов при курсировании скоростного трамвая и в связи с работой его трансформаторных подстанций. Результаты исследований позволили локализовать места водных потоков и установить размеры участков подтопления вблизи станций Дзержинская, Проспект Металургов, Электрозаводская, составить рекомендации по проведению инженерно-технических мероприятий вдоль трассы скоростного трамвая.

Ключевые слова: подземный тоннель, скоростной трамвай, подземные воды, фильтрация, подтопление, электроразведка.

SVYSTUN V.K., PIGULEVSKYI P.I. Results of complex geophysical studies of the track of Kryvyi Rih light rail.

Summary. Kryvyi Rih light train track is highly extended hydraulic architecture located on the way of natural seepage of groundwater. Its tunnels were built in the rock mass of upper and medium Quaternary loam, occasionally dug into the impermeable rock, presented by red-brown clay. In the course of their exploitation accumulated underground water level has become 1,8-3 m higher around the track.

Water saturation increase in light loam resulted in a change in their mechanical properties and locally in turning into quicksand mass. Combined with the vibration load due to the work of light rail transit it has resulted in disturbance of tunnels waterproofing, deformation of their cross-section size. Electric exploration methods in modification of the vertical electrical sounding (VES) were used to identify sources of groundwater seepage, their accumulation, their spread over the area, as well as the identification of tectonic disturbances on the territory adjacent to the track of light rail, a natural field check (SP) was conducted to determine the intensity of the underground flows and their direction.

The results of study have shown the fact that natural seepage flows are formed by the natural drainage of underground water and the condensation of water (between the surface and underground parts of the tunnels). Atmospheric precipitations, various communication systems having multiple damage due to ground currents resulted from light rail transit and its transformer substations functioning are other sources of the natural recharge of the aquifer. The results have allowed localizing the areas of water flows and identifying localities of flooding near the Dzerzhinskaya station, Metallurgists Avenue, the Electrozavodskaya station, make recommendations for engineering activities along the track of the light rail.

Key words: underground tunnel, light rail, underground water, seepage, flooding, electric prospecting.

*Надійшла до редакції 28 грудня 2015 р.
Представив до публікації професор В.І.Альохін.*