

УДК 556.34:625.711.1(571.62)

ОПАСНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ГЛУБОКОЙ АВТОДОРОЖНОЙ ВЫЕМКЕ

¹Квашук С.В., ²Кулаков В.В., ¹Гильмутдинов С.А.

¹ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»,
Хабаровск, e-mail: s_kvashuk@mail.ru;

²ФГБУН «Институт водных и экологических проблем» ДВО РАН, Хабаровск,
e-mail: vvkulakov@mail.ru

При строительстве автомобильного обхода г. Хабаровска на участке пересечения трассой водораздела хребта Хехсир в глубокой выемке в скальных породах, на северной окраине Хехсирского блокового поднятия, сложенного сильно дислоцированными мезозойскими и палеозойскими породами, выявлены опасные гидрогеологические проявления, угрожающие нормальному строительству и эксплуатации трассы. В зимний период на западном склоне выемки развивались наледи за счет разгрузки подземных вод по зоне тектонического нарушения. Это проявлялось также в постоянном в течение года избыточном увлажнении основания полотна автодороги за счет самоизлива подземных вод. В ходе специальных исследований (бурение скважин, геофизические исследования методом ВЭЗ, гидрометрические замеры расходов, разгружающихся в кюветах выемки подземных вод и экспресс-откачки из скважин) определено, что гидрогеологические условия участка очень сложные, область питания подземных вод расположена в водораздельной части Хехсирского хребта, который пересекает автодорога. По удельному электрическому сопротивлению выделяются блоки с низкими сопротивлениями, соответствующие раздробленной и обводненной зоне в верхней части и на глубину геологического разреза. Среднеомная зона соответствует переходной трещиноватой части породного массива, а высокоомная зона характеризует наличие в геологическом разрезе монолитных слаботрещиноватых скальных пород. Разгрузка подземных напорных трещинно-жилых вод происходит по тектоническому нарушению в скальных породах, представленных сланцами глинистыми, песчаниками, андезитами прочными, а также низкой и средней прочности, кремнистыми сланцами, алевропесчаниками, алевролитами, песчаниками, гранодиоритами малопрочными и средней прочности. Крутопадающая зона тектонического нарушения сложена глинистыми грунтами с включениями дресвы, щебня и крупных блоков скальных грунтов. В зимне-весенний период объемы наледей могут достигать 140000 м³, а водоприток для расчета дренажной системы следует принять 6000 м³/сут. Рекомендована конструкция дренажной системы.

Ключевые слова: автодорожная выемка, сложные гидрогеологические условия, тектоническое нарушение, водоприток, подземные воды, скальные породы, дренаж, гидрогеологические и геофизические исследования

HAZARDOUS HYDROGEOLOGICAL PHENOMENA IN A DEEP HIGHWAY CUTTING

¹Kvashuk S.V., ²Kulakov V.V., ¹Gilmudtinov S.A.

¹Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: s_kvashuk@mail.ru;

²Institute of water and ecological problems of RAS FEB, Khabarovsk, e-mail: vvkulakov@mail.ru

Hydrogeological phenomena performing potential hazard to normal construction and operation of a highway around the city of Khabarovsk was met in the section of its crossing of Hehsir Range watershed in a deep rock cutting situated in the outskirts of the Hehsir Block Rise composed of highly deformed Mesozoic and Paleozoic rocks. Crust icings have been developing on the cutting's western slope during winter time due to groundwater discharge along a fault. It had also manifested itself by the seasonally repeated watering of the subgrade basement due to groundwater discharge. It was defined from special investigations (boreholes, geoelectrical prospecting, groundwater hydrometric discharge measurements for the cutting's culverts, and well test express pumping) that hydrogeological conditions of the highway section were very difficult, the inflow area is located on Hehsir Range watershed which is crossed by the highway. There are some blocks defined from specific electric resistance tests which correspond to the crushed and watered upper and deeper parts of geological cross-section. The mid-ohmic zone corresponds to the transitional fissured part of a rock massif, as well as its high-ohmic part characterizes the existence of monolithic low-fissured rocks. The mid-ohmic zone corresponds to the transitional fissured part of a rock massif, as well as the high-ohmic characterizes the existence of monolithic low-fissured rocks. The discharge of gangue-void waters follows the fault of the rocks species represented by slates, sandstones, high, medium and low strength andesites, siliceous schists, sandstone-siltstone rocks, siltstones, sandstones and granodiorites, having strength from low to medium. The sharp-angled dip zone of the fault is composed of clayey soils filled with rotten stone and crushed stone and larger blocks aggregates. The crust icings can be growing up to 140 000 m³ during winter-spring time and the computations of the water inflow make it up as much as 6000 m³/day. A corresponding drainage system is recommended.

Keywords: road excavation, complex hydrogeological conditions, tectonic disturbance, water inflows, groundwater, rock, drainage, hydrogeological and geophysical studies

Объект исследований представляет собою глубокую выемку (рис. 1) на строящейся автомобильной дороге М-60 «Уссури» от Хабаровска до Владивостока (обход города Хабаровска).

При ее строительстве возникли опасные гидрогеологические проявления: из западного борта выемки и основания еще не уложенной дорожной одежды в летнее время фиксировались маленькие фонтан-

чки (грифоны) подземной воды, а в зимний период на западном откосе формировались наледи подземных вод. Также наблюдались выходы подземных вод в основании откосов выемки с левой и правой стороны.

Эти явления неизбежно вызвали бы инженерно-геологические процессы, угрожающие надежной и безопасной работе автодороги – активную эрозию, осыпание откосов, деформации основания дорожной одежды. В этих условиях понадобились дополнительные исследования к ранее выполненным до проходки выемки предпроектным инженерно-геологическим и гидрогеологическим исследованиям.

Целями исследования было выявление особенностей инженерно-геологических условий эксплуатации участка и оценки его сложности, выявления особенностей геологического разреза, оценки областей питания и разгрузки подземных вод, оценки водопротоков и разработки мероприятий по водопонижению.

Материалы исследований получены на основе комплексных полевых и аналитических работ, включающих гидрогеологические и инженерно-геологические рекогносцировочные маршруты, проведения

геофизических исследований методом ВЭЗ, оценку водопритоков методом восстановления уровней в скважинах, определение коэффициента фильтрации, замеров расходов ручьев по кюветам, за счет излива подземных вод в основании бортов выемки, аналитических расчетов, анализа опубликованных и фондовых материалов.

Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом отношении район работ приурочен к северной окраине Хечцирского блокового поднятия, сложенного сильно дислоцированными мезозойскими и палеозойскими породами [1].

Согласно тектоническому районированию, участок изысканий относится к Сихотэ-Алинской складчатой системе, Западно-Сихотэ-Алинской структурно-формационной зоне.

Через территорию изысканий в северо-западном направлении протягивается Хечцирский разлом, выходящий на дневную поверхность и пересекающий автотрассу. Разлом в скальных породах перекрыт более молодыми рыхлыми обломочными образованиями и вскрыт в бортах изученной выемки.

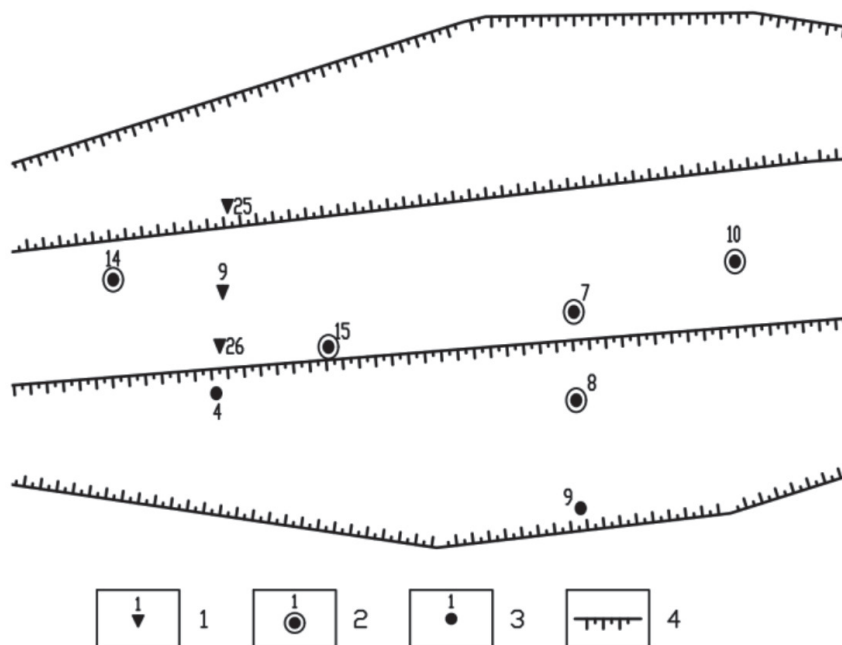


Рис. 1. Схема участка обследования: 1 – точки вертикального электрического зондирования; 2 – скважины, вскрывшие подземные воды; 3 – инженерно-геологические скважины; 4 – границы исследуемого участка

В пределах опасного участка, в местах изливания грифонов, на этапе исследований скважиной 9 до глубины 24,0 м вскрыты суглинки, а скальные грунты не встречены.

Это, вероятно, зона тектонического нарушения, заполненная глинистыми грунтами с крупнообломочными включениями и крупнообломочными грунтами. В период изысканий подземные воды на выемке встречены в скважинах № 10, 7 и 8.

Согласно геофизическим исследованиям методом ВЭЗ, проведенным на площадке выемки на этапе изысканий, выявлено, что электрическое сопротивление грунтов увеличивается с глубиной, что свидетельствует о том, что здесь залегают более прочные монолитные скальные грунты.

К примеру, ВЭЗ-25 на глубине 20,6 м показал увеличение сопротивления с 51 до 1249 Ом*м. ВЭЗы 9 и 26 с глубины 45,1 и 45,0 м показали увеличение сопротивления соответственно до 688,6 и 1736 Ом*м.

Инженерно-геологический разрез участка слагают элювиально-делювиальные отложения – глины, суглинки, супеси, в том числе дресвяные.

Кровля скальных и полускальных грунтов, вскрыта на глубине 0,9–20,0 м от дневной поверхности природного рельефа. Они представлены сланцами глинистыми, песчаниками, андезитами прочными, а также низкой и средней прочности, кремнистыми сланцами, алевропесчаниками, алевролитами, песчаниками, гранодиоритами малопрочными и средней прочности. Инженерно-геологические условия участка в связи с наличием зоны тектонического нарушения следует охарактеризовать как очень сложные.

В ходе обработки проведенных геофизических исследований были выявлены три зоны.

В зоне низких сопротивлений значения параметра электрического сопротивления грунтов составляют 200–300 Ом*м, что соответствует раздробленной и обводненной зоне в верхней части и на глубину инженерно-геологического разреза.

Среднеомная зона соответствует переходной трещиноватой части породного массива в зоне разлома с сопротивлением 350–600 Ом*м. По трещинам фиксируется сильное ожелезнение или они заполнены глиной, что также подтверждает наличие зоны тектонического нарушения.

Высокоомная зона с электрическим сопротивлением пород от 650 до 1000 Ом*м характеризует наличие в геологическом разрезе монолитных слаботрещиноватых скаль-

ных пород. Эта полученная информация по результатам геофизических исследований методом ВЭЗ была подтверждена бурением скважин и при вскрытии (проходке) выемки.

При гидрогеологических наблюдениях в пределах выемки выяснилось, что выход подземных трещинно-жильных вод обусловлен наличием фиксируемого в массиве горных пород тектонического нарушения. В отличие от разгрузки подземных вод в Кузнецовском тоннеле, пройденном на Сихотэ-Алине [2], где установлено, что движение подземных вод через зону аэрации вертикально-нисходящее в пределах массива трещиноватых пород, на участке характерной выемки наблюдается восходящее напорное движение трещинно-жильных вод.

В ходе проходки выемки в зимний период 2014–2015 и 2015–2016 гг. на западном борту образовывались наледи значительного объема. В зиму 2016–2017 гг. через отсыпанное полотно дороги в западном кювете изливалась подземная вода и образовывались наледи. По свидетельству строителей, изливающаяся вода была «теплая» (примерно 8–12 °С) по сравнению с ледяной водой, появляющейся при таянии снега и наледного льда. Также наблюдаются грифоны в местах стояния воды в кювете. Сток воды по западному кювету направлен на юг.

В ходе гидрогеологического обследования трассы на водораздельном участке выемки выполнены замеры расхода разгрузки подземных вод поплавками в кюветах – два в западном и один – в восточном кюветах (рис. 2).

Замеренный расход разгрузки подземных вод в южном направлении трассы по западному кювету от первого ко второму участку замера увеличился с 13 до 14 л/с, т.е. достигал 46,8–50,4 м³/час (1123–1210 м³/сутки). Затем поток по западному кювету исчез в каменной загрузке кювета или под полотном трассы и через 150–200 м вновь появился в восточном кювете. Здесь расход подземных вод составил 8 л/с (28 м³/час или 691 м³/сутки).

При сохранении таких зафиксированных водопритоков (порядка 50 м³/час) без учета подземного потока под полотном дороги, возможный минимальный объем накопившегося наледного льда за зимний период с декабря по март может достичь объема порядка 140000 м³. Часть изливающихся напорных подземных вод вероятнее всего будет замерзать под трассой, вызывая пучение щебнистых грунтов в основании полотна дороги.



Рис. 2. Водоотводной кювет вдоль борта выемки

Для оценки величины коэффициента фильтрации скальных пород в основании автотрассы пробурены 2 скважины (№ 14 и 15) диаметром 150 мм пневмоударным способом с вакуумным извлечением разбуренной породы и подземных вод, глубиной 10,5 м. По окончании бурения в каждой скважине произведены замеры восстановления уровня подземных вод.

Скважина № 14 до глубины примерно 2,5–3,9 м вскрыла водонасыщенный слой в основании отсыпки полотна дороги. Скважина № 15, по-видимому, вскрыла слабо-трещиноватые породы, и притока воды из приповерхностных слоев не наблюдалось.

По имеющемуся ряду значений коэффициента фильтрации по каждой скважине в зависимости от времени от начала наблюдений за восстановлением уровня определено расчетное значение коэффициента фильтрации, близкое к постоянному [3].

Используя опыт исследования наледной разгрузки подземных вод в районе г. Тынды [4, 5], где общая величина ресурсов подземных вод превышала зафиксированную в наледях в 4–6 раз, можно предположить, что суммарная разгрузка на строящейся автотрассе на участке, протяженностью порядка 800 м, может достигать 200–250 м³/час (до 6000 м³/сутки).

На трассе автодороги, в южной её части, имеющей заметный уклон поверхности на юг, до вскрытия выемки выделялся участок заболачивания. Это свидетельство постоянного увлажнения поверхности на горном склоне за счет разгрузки напорных трещинно-жильных подземных вод по зоне тектонического нарушения, не связанной с сезонным увлажнением делювиальных отложений.

При бурении инженерно-геологических скважин на этом участке выемки подземные воды были вскрыты скважинами 4, 7, 8 и 10. В скважинах 8, 10 и 12 был зафиксирован самоизлив подземных вод. К сожалению, не зафиксирован напорный уровень подземных вод над поверхностью земли.

Эти данные с учетом материалов геофизических исследований методом ВЭЗ свидетельствуют об очень сложном строении горного массива под строящейся автотрассой с постоянной разгрузкой напорных трещинно-жильных подземных вод по отдельным высокопроницаемым трещинам в зоне крутопадающего тектонического нарушения, которое сложено обломочным материалом с глинистым заполнителем и блоками скальных пород. Эти места разгрузки располагаются под полотном строящейся автодороги на участке протяженностью 600 м.

Областью питания водоносного горизонта трещинно-жильных вод являются участки повышенных гипсометрических отметок рельефа к западу и юго-западу в пределах Хехцирского хребта.

Исходя из результатов анализа материалов проведенных исследований и фондовых материалов, для скважины № 14 расчетное значение коэффициента фильтрации можно принять равным 2,0 м/сутки, а для скважины № 2 – 0,2 м/сутки.

По результатам наземных геофизических работ методом ВЭЗ и гидрогеологического изучения участка трассы на перевале в выемке установлено, что в этом месте в скальных породах зафиксировано крутопадающее тектоническое нарушение, представляющее зону раздробленных пород с повышенной водопроницаемостью. По нему циркулируют напорные трещинно-жильные воды, водопритоки которых фиксировались в процессе проходки выемки появлением наледей в зимние периоды на западном склоне и постоянным стоком подземных вод в летний период.

В мае – июне 2017 г. наблюдалась разгрузка напорных трещинно-жильных вод в основание полотна строящейся дороги. По скважине № 14 уровень подземных вод на конец наблюдения за восстановлением установился на глубине 0,57 м от поверхности дороги.

В зоне тектонического нарушения проницаемость массива крайне неоднородна. Определенный по результатам восстановления уровня подземных вод в скважинах коэффициент фильтрации изменяется от 0,2 до 2,0 м/сутки.

Измеренные расходы воды в трех точках в кюветах трассы изменялись от 8 до 14 л/с (28,8 – 50,4 м³/час). На участке от места замера № 2 до № 3 поверхностный поток скрывается под полотном дороги по направлению от западного кювета к восточному.

При сохранении таких водопритоков (50 м³/час) возможный объем накопившегося наледного льда за зимний период с декабря по март может достичь объема 140000 м³. Часть изливающихся напорных трещинно-жильных подземных вод будет замерзать под трассой, вызывая пучение щебнистых грунтов.

Общая величина суммарной разгрузки подземных вод (выходящая на поверхность и скрытая в разрушенных скальных породах) под полотном автотрассы на строящейся автотрассе на участке протяженностью 600 м [4, 5] может достигать 200–250 м³/час (до 6000 м³/сутки).

Выявленные особенности инженерно-геологического строения и гидрогеологических условий участка и прогнозируемый объем разгрузки подземных вод обуславливают неэффективность использования для водопонижения исключительно линейного дренажа, даже двухстороннего. По нашему мнению, линейный дренаж следует дополнить пластовым дренажом для перехвата подземных вод, изливающихся под полотном дороги из основания выемки.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Том XXIII. Хабаровский край и Амурская область / ред. Н.А. Маринов. – М.: Недра, 1971. – 514 с.
2. Zlobin G.A., Kulakov V.V. Geohydrological Situation at the Kuznetsovski Tunnel, Northern Sikhote Alin. Water Resources, 2015, Vol. 42, № 7. P. 876–888.
3. Кожназаров А.Д. Справочник по инженерной геологии / А.Д. Кожназаров. – Алматы: издательство «ЭВЕРО», 2010. – 530 с.
4. Шепелёв В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В.В. Шепелёв; отв. ред. Р.В. Чжан; Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. – 169 с.
5. Кондратьев В.Г. Инженерно-геокриологические проблемы федеральной автодороги «Амур» Чита – Хабаровск / В.Г. Кондратьев, С.В. Соболева // Записки Горного института. – 2009. – Т. 183. – С. 205–209.

References

1. Red. N.A. Marinov *Gidrogeologiya SSSR. Khabarovskii krai i Amurskaia oblast'* [Hydrogeology of the USSR. Khabarovsk Krai and Amur oblast]. Moscow, Nedra, 1971, vol. 23, 514.
2. Zlobin G.A., Kulakov V.V. Geohydrological Situation at the Kuznetsovski Tunnel, Northern Sikhote Alin. Water Resources, 2015, vol. 42, no. 7, pp. 876–888.
3. Kozhnazarov A.D. *Spravochnik po inzhenernoi geologii* [Handbook of Engineering Geology]. Almaty, izdatel'stvo EVERO, 2010, 530.
4. Shepelev V.V. *Nadmerzlotnye vody kriolitozony* [Suprapermafrost waters in the cryolithozone]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2011, 169.
5. Kondrat'ev V.G., Soboleva S.V. Engineering-geocryological problems of the federal highway «Amur» Chita – Khabarovsk [Inzhenerno-geokriologicheskie problemy federal'noi avtodorogi Amur Chita – Khabarovsk]. *Zapiski Gornogo instituta* – Notes of the Mining Institute, 2009, no. 183, pp. 205–209.