

ГЕОФИЗИКА GEOPHYSICS

Научная статья

УДК 551.448

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-4-14

ОЦЕНКА КАРСТООПАСНОСТИ ОСНОВАНИЯ УЧАСТКА СЕВЕРО- ЗАПАДНОГО ОБХОДА Г. КЕМЕРОВО

Власов Максим Алексеевич¹, Герасимов Олег Васильевич²,
Никулин Николай Юрьевич², Простов Сергей Михайлович¹

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева²ООО «Нooцентр»

*для корреспонденции: maxsdss@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

17 мая 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 сентября 2023 г.

Принята к публикации:

20 сентября 2023 г.

Опубликована:

27 сентября 2023 г.

Ключевые слова:

сейсморазведка;
кавернометрия; гамма-гамма
каротаж; электрокаротаж;
резистивиметрия;
скоростные волны;
скважинный каротаж;
инженерно-геологические
разрезы.

Аннотация.

Описана методика проведения комплекса геофизических исследований, включающих сейсморазведку, кавернометрию, гамма-каротаж, электрокаротаж, резистивиметрию. Сейсморазведочные работы были выполнены методом преломленных волн по двум профилям с построением скоростных разрезов продольных волн. Методом кавернометрии установлено изменение диаметра ствола скважин по глубине. Каротаж по методу естественной гамма-активности (ГК) применялся для выделения в разрезе карстующихся пород интервалов относительно чистых и плотных, а также глинистых разностей: наиболее трещиноватые и обводненные известняки отмечаются на диаграммах ГК низкими значениями интенсивности; наоборот, глинистые разности фиксируются максимальными значениями. Метод резистивиметрии является хорошим поисковым методом обнаружения зон активного водообмена, характерного для трещинно-карстовых вод. Совокупность данных о местах притоков подземных вод, полученных резистивиметрическим методом на ряде скважин, использована для выделения и прослеживания по профилю границ зоны активной циркуляции подземных вод, характерной для сильно трещиноватых пород. На основе результатов исследований построены инженерно-геологические разрезы по оси мостового перехода. Дана оценка закарстованности по данным геофизических исследований для каждой опоры моста, при этом зон интенсивного развитого карстообразования не выявлено.

Для цитирования: Власов М.А., Герасимов О.В., Никулин Н.Ю., Простов С.М. Оценка карстоопасности основания участка северо-западного обхода г. Кемерово // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 4 (158). С. 4-14. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-4-14, EDN: OYVFLA

Ведение.

Карсты образуются и развиваются сотни миллионов лет. Особенность карстовых процессов заключается в том, что они значительно усложняют процессы строительства и эксплуатации

зданий и сооружений, а также препятствуют рациональному использованию сельскохозяйственных земель. В результате влияния карстовых процессов происходят осадки и провалы земной поверхности, потеря несущей способности конструкций вплоть до их полного разрушения, прорывы карстовых вод в горные выработки и тоннели, их затопление, загрязнение подземных вод.

Изучение карстов при планировании сооружений может в значительной степени предупредить все эти опасные последствия. В дореволюционный период был собран обширный

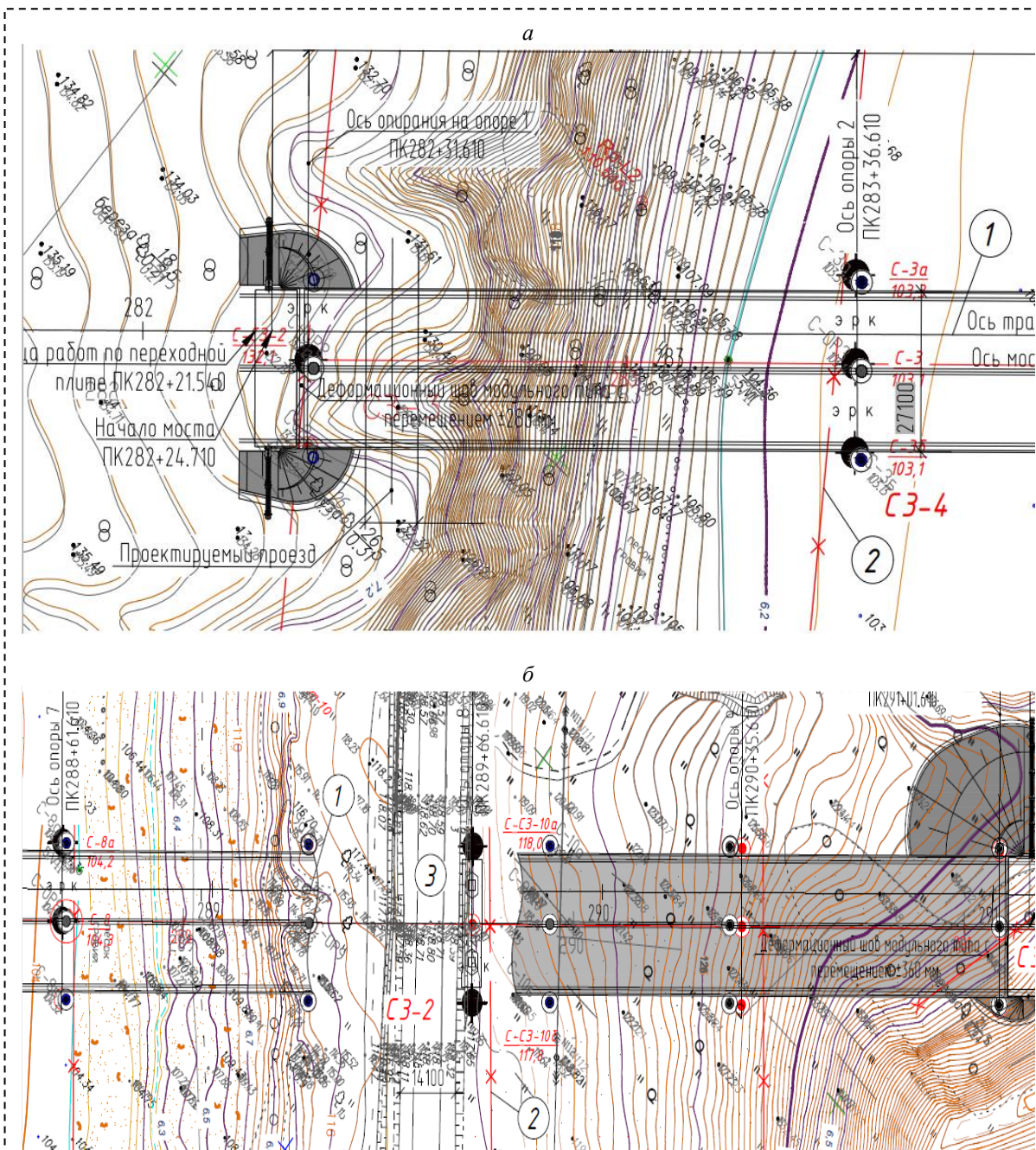


Рис. 1. План по оси мостового перехода на береговой опоре на левом берегу (а), план по оси мостового перехода на береговой опоре на правом берегу (б): 1 – расположение мостового перехода; 2 – линия сейсмического зондирования; 3 – автомобильная дорога; C3-4, C3-2 – расстановки сейсмического зондирования; ● – геологические скважины

Fig. 1. The plan along the axis of the bridge crossing on the shore support on the left bank (a), the plan along the axis of the bridge crossing on the shore support on the right bank (b): 1 – the location of the bridge crossing; 2 – seismic sounding line; 3 – arrangements for seismic sensing; C3-4, C3-2 – arrangement of seismic sounding; ● – geological wells

материал, доказывающий широкое распространение карстовых явлений в России [1]. Большое внимание уделялось и генезису карстовых форм. Учитывая большую площадь закарстованных территорий России (они обнаружены в 90% субъектов страны), оценка и мониторинг карстовых рисков является актуальной проблемой. Влияние карстовых процессов определяется типом карстовой опасности. Разрушения несущих конструкций зданий и сооружений, транспортных путей и дорожного полотна по причине карстовых процессов имели место во многих городах России [2-4].

К карстующимся породам относятся известняки, доломиты, гипс и каменная соль, часто образуют отдельные карстовые линзы и прослои среди пород глинистого состава. Вода, насыщенная углекислотой, растворяет известняки и доломиты быстрее, чем химически чистая вода [5]. Под влиянием карстов возможно резкое изменение рельефа, характера, режима подземных и наземных вод [7]. Процессы растворения и эрозия при линейном расположении воронок могут привести к образованию карстово-эрозионных оврагов [8-18].

Оценка устойчивости грунтового массива, прогноз образования провалов и неравномерных оседаний земной поверхности должны проводиться путем комплексного изучения геологических и гидрогеологических условий территории, характера техногенных воздействий с применением расчетных моделей, стационарных и режимных наблюдений. Нормативным

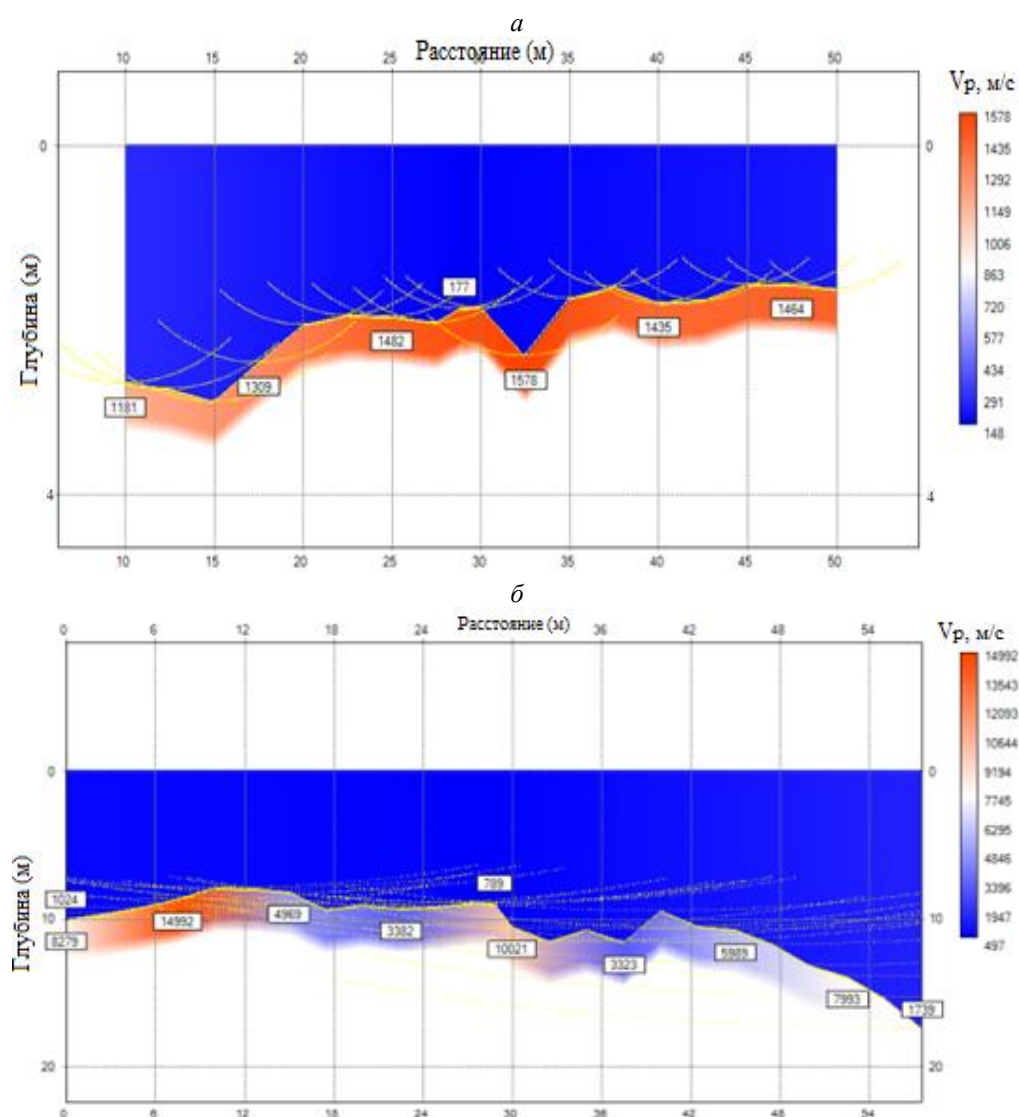


Рис. 2. Скоростные волны в точках C3-2 (а) и C3-4 (б)
Fig. 2. Velocity waves at points C3-2 (a) and C3-4 (b)

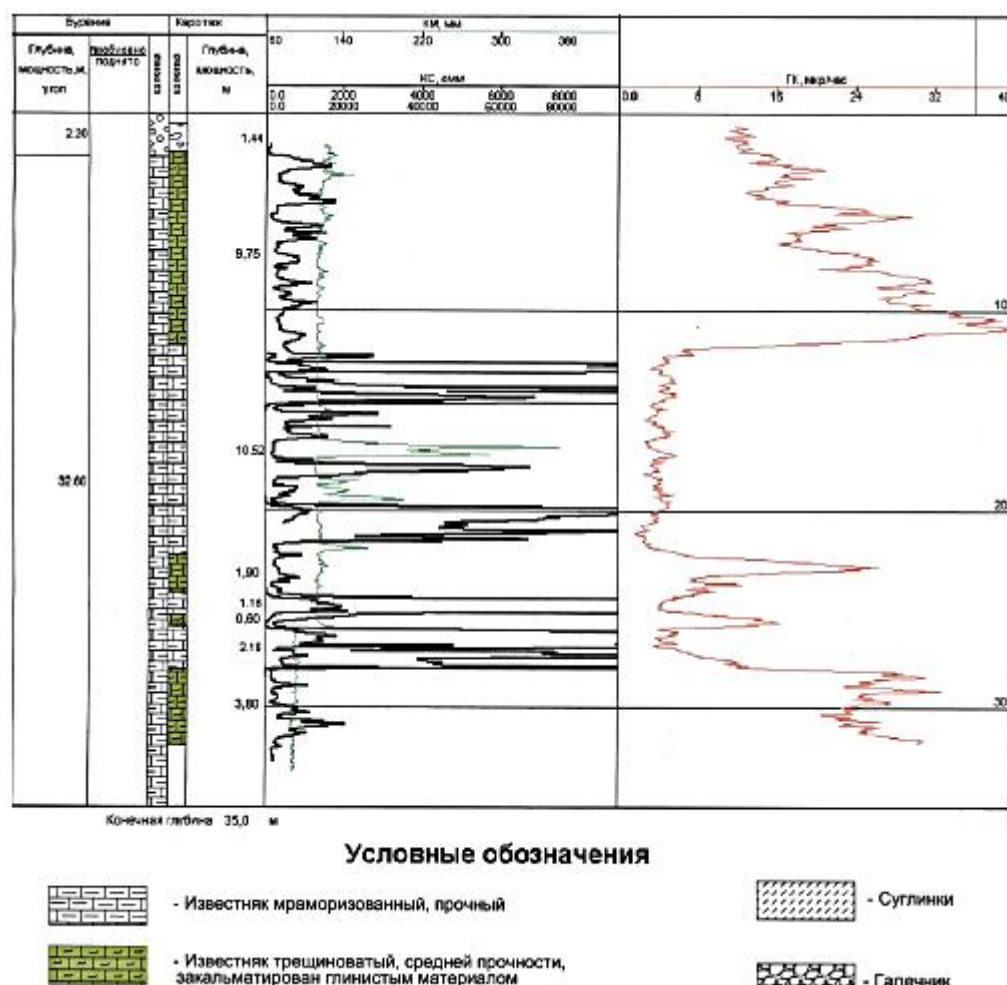


Рис. 3. Результат скважинного каротажа, включающего кавернометрию, гамма-каротаж, электрокаротаж, резистивиметрию в скважине 8

Fig. 3. The result of downhole logging, including cavernometry, gamma logging, electrocarotage, resistivity in well 8

документом для оценки карстово-суффозионной опасности на сегодняшний день является СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II» [19].

Объекты и методы исследования.

Проведены исследования в районе строительства моста через р. Томь северо-западного обхода г. Кемерово. Участок инженерно-геологических изысканий расположен в Кемеровском районе в долине р. Томь между д. Креково и д. Денисово. План мостового перехода, включающий береговые участки, представлен на Рис. 1. Более подробное описание площадки строительства представлено в статье [20].

Для изучения карстов был проведен комплекс геофизических исследований: сейсморазведка, кавернометрия, гамма-каротаж, электрокаротаж, резистивиметрия.

Результаты.

Сейсморазведочные работы выполнялись методом преломленных волн. По двум профилям выполнена сейсмотомографическая обработка, заключающаяся в построении скоростных разрезов продольных волн V_p [21, 22]. Как видно из полученных данных, в верхней части разреза залегают грунты, скорость продольных упругих волн которых составила $V_p = 274-402$ м/с (Рис. 2а). В нижней части величина скорости V_p изменялась в диапазоне от 2058 до 3652 м/с. Так как поисковым объектом является карстовая полость, предположительно заполненная водой или глинистым материалом, то согласно справочным данным скорость продольной волны V_p на таких участках должна составлять от 200 до 1400 м/с. Участки с такими характеристиками не зафиксированы. Пониженная скорость продольных волн в районе 2000-2300 м/с может свидетельствовать о наличии зон трещиноватости.

Из всех скоростных разрезов характерный признак был выявлен в точке сейсмического зондирования СЗ-4, где на участках профиля с 12 до 54 м кровля грунта с пониженными скоростями продольных волн залегает на глубине с 10 м до 17 м (Рис. 26).

Результаты скважинного каротажа представлены в виде каротажных диаграмм на Рис. 3.

Кавернометрия позволяет установить изменение диаметра ствола скважины по глубине. Так, в скважине 8 на интервале с 16,4 по 17,6 м диаметр ствола скважины увеличился с 112 мм до 360 мм, а на глубине с 18,4 по 19,8 м диаметр составил 196 мм, что согласуется с результатами буровых работ. В скважине 3а скальный грунт с глубины 5 м до 20 м охарактеризован повышенной кавернозностью, диаметр скважины на этом участке увеличивался до 140 мм [23]. По остальным скважинам графики изменения диаметра скважины имеют более спокойный характер. Сопоставляя графики кавернометрии, гамма-каротажа и электрокаротажа можно сделать вывод о том, что найденные каверны закольматированы глинистым материалом.

Каротаж по методу естественной гамма-активности (ГК) применяется для выделения в разрезе карстующихся пород относительно чистых и плотных, а также глинистых разностей этих пород. Наиболее трещиноватые и обводненные известняки отмечаются на диаграммах ГК низкими значениями интенсивности; наоборот, глинистые разности фиксируются максимальными значениями. Относительно чистые, плотные разности известняков характеризуются промежуточными значениями интенсивности естественного гамма-излучения [24].

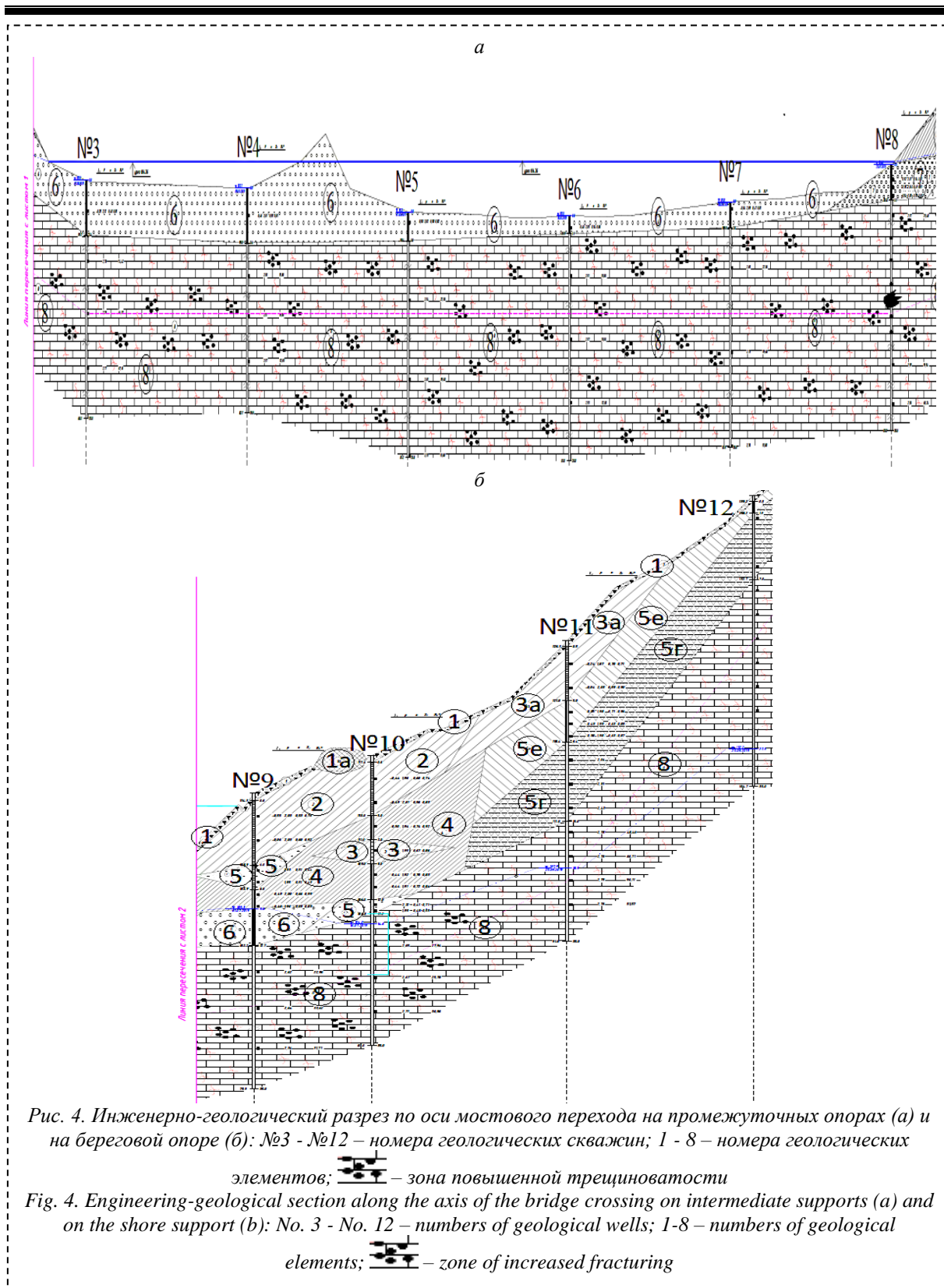
Участок с пониженными значениями интенсивности гамма-излучения зафиксирован в скважине 8 на интервале с 11,5 до 22,4 м, что свидетельствует о повышенной трещиноватости и подтверждено результатами кавернометрии. Средняя интенсивность гамма-излучения на этом участке составила 3 мкр/ч. О высокой трещиноватости в этой скважине говорит высокоамплитудное изменение удельного электросопротивления (УЭС) (от 10 до 8000-10000 Ом·м) на глубине с 12,6 м до 28 м. Похожая картина наблюдается по соседней скважине 8 (Рис. 3). В остальных скважинах интенсивность гамма-излучения в среднем изменялась от 9 до 20 мкр/ч с повышением до 32-40 мкр/ч на участках с повышенным содержанием глинистой разности [23].

Наличие интенсивной трещиноватости в карбонатных породах значительно уменьшает УЭС по сравнению с монолитными разностями. Установлено, что в условиях трещиноватых известняков, насыщенных пресной водой, УЭС изменяется в диапазоне 40-50 Ом·м. Водоносные слаботрещиноватые известняки имеют УЭС 75 - 250 Ом·м. Монолитные безводные известняки характеризуются УЭС 500 Ом·м и более [23]. Как уже было отмечено, характерные участки с высокой трещиноватостью, т.е. высоким электросопротивлением, совпадают с участками, выявленными с помощью ГК.

Метод резистивиметрии является хорошим поисковым методом обнаружения зон активного водообмена, характерного для трещинно-карстовых вод. Методика резистивиметрических исследований заключается в замере УЭС воды, соответствующего естественной минерализации подземных вод, вдоль всего ствола скважины, после чего вода в ней равномерно засолоняется, для чего в скважину вливается концентрированный раствор электролита [23]. Сразу после этой операции раствор перемешивают и снимают первый контрольный замер резистивиметром для проверки степени однородности раствора по всему стволу скважины. Через 5-15 мин после контрольной регистрируется следующая кривая, а затем периодически с интервалом 15-30 мин и проводятся последующие регистрации. Места притоков подземных вод отмечаются повышением УЭС раствора [24].

Совокупность данных о местах притоков подземных вод, полученных резистивиметрическим методом на ряде скважин, использована для выделения и прослеживания по профилю границ зоны активной циркуляции подземных вод, характерной для сильно трещиноватых пород. Циркуляция подземных вод по каждой из скважин зафиксирована на следующих глубинах (Рис. 4): скв. 10а – 24-31 м; скв. 3а – 6-20 м; скв. 3б – 4-20м; скв. 8а – 6-13 м; скв. 3 – 8-18 м [23].

Комплексная оценка карстоопасности кроме инженерно-геологических и геофизических изысканий включала также расчет ширины карстовой полости на период эксплуатации сооружения по формуле:



$$B = B_0 + VT,$$

где B_0 – начальный размер карстовой полости, пустоты, трещины, м, определяемый по результатам бурения и данным геофизических исследований, 19,6 см - 36 см; V – максимальная среднегодовая скорость роста полости (растворения) карстующихся пород, см/год, определяемая по данным инженерно-геологических изысканий, 0,01 см/год; T – расчетный срок эксплуатации сооружения, 150 лет.

По результатам комплексного анализа сейсморазведочных и каротажных работ установлено, что низкоинтенсивные проявления трещиноватости и кавернзности отмечаются в районах, приближенных к проектируемым опорам. Так, в скважине №8 (опора №7) на глубине с 16,4 по 17,6 м ширина каверн составляет $B = 39$ см на период эксплуатации сооружения ($B_0 = 36$ см). В скважине №8 (опора №7) на глубине с 18,4 по 19,8 м ширина каверн $B = 22,6$ см на период эксплуатации сооружения ($B_0 = 19,6$ см). Для русловых опор (опоры №2, 3, 4, 5, 6, 7) ширина карстовой составляет $B = 153,0$ см на период эксплуатации сооружения ($B_0 = 150,0$ см).

Основным результатом проведенных изысканий является представленный на Рис. 4 инженерно-геологический разрез, на котором зафиксированы зоны трещиноватости, опасные по карстообразованию.

Выводы.

1. Признаков развитой закарстованности по данным геофизических исследований не выявлено, все выявленные аномальные зоны находятся на глубине более 16,0 м и представляют собой узкие локальные зоны проявления каверн, которые закольматированы глинистым материалом.

2. Геофизические работы не выявили зоны более развитого карстообразования, чем обнаружено путем прямого бурения в точках опор мостового перехода. Это позволяет уменьшить стоимость строительства, так как без комплексного анализа сейсморазведочных и каротажных работ согласно нормативным документам зоны карстоопасности могут превышать установленные значения в несколько раз, что увеличивает сложность строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. Москва : Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1962. 321 с.
2. Хоменко В. П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. Москва : Госстрой СССР, ПНИИС, 1986. 97 с.
3. Акопян А. Ф., Акопян В. Ф., Ильина Е. Г. Мониторинг карстовых процессов в геологической среде города // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. С. 3–12.
4. Ковалев Р. А. Скорость подземной химической денудации и активность карстовых процессов Мрасского и Кузнецкого карстовых районов (Алатауско-Шорское нагорье) на примере ключевых карстовых участков // Региональные геосистемы. 2019. № 4 (43). С. 386–399.
5. Гаев А. Я., Килин Ю. А. О фундаментальных проблемах гидросферы и силикатной типе карста // Вестник Пермского университета. 2017. № 3 (16). С. 232–241.
6. Ялиев А. А., Гильметдинов Р. Ф. Анализ методов защиты газопроводов при подземной прокладке на участках, подверженных карстовым процессам // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2020. № 2. С. 36–40.
7. Смирнов А. И. Чрезвычайные ситуации, вызванные карстом на южном Урале и в Предуралье // Вестник академии наук РБ. 2020. № 4 (37). С. 29–39.
8. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск : ОИГТИМ, 1992. 144 с.
9. Хоменко В. П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. Москва : Наука, 1986. 96 с.
10. Дубянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстоведение. Часть 1. Общее карстоведение: учебн. пособие. Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2004. 306 с.
11. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Том 2. Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст: учебн. пособие. Пермь : Естественнонаучный институт Пермского гос. ун-та, 1969. 530 с.
12. Саваренский И. А., Миронов Н. А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. Москва : Произв. и науч.-исслед. ин-т по инженер. изысканиям в стр-ве (ПНИИИС) Минстроя России, 1995. 165 с.
13. Шебуняев А. Н., Юдина И. М. Расчет напряженно-деформированного состояния основания в области карстового провала // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. С. 3–18.
14. Gilli E. Karst Areas of Turkey // Caves and Karst of Turkey. 2022. №2. Pp. 55–65.
15. Jailliet S., Calvet M., Delannoy J.-J., Hoblea F., Maire R., Perrette Y., Vernant P. French mountains karsts markers of landscape evolution // Karstologia. 2022. №79. Pp. 21–34.
16. Veress M. Karst Types and Their Karstification // Journal of Earth Science. 2020. №31(3). Pp. 621–634.
17. Gunn J. Geoconservation initiatives for caves, karst, and springs // Parks Stewardship Forum. 2022. №38(1). Pp. 84–93.
18. Chervyatsova O. Ya, Potapov S. S., Sadykov S. A. Sulfur isotopic composition of sulfur deposits in Ural karst

caves // News of the Ural State Mining University. 2016. №2. Pp. 37–41.

19. Наумов А. Н., Гусарь О. А., Балакиреева В. В. Проблемы оценки карстово – суффозионной опасности в г. Москве при выполнении инженерно-геологических изысканиях // Научно-технический и производственный журнал Жилищное строительство. 2019. №5. С. 3–7.

20. Власов М. А., Герасимов О. В., Плотников А. В., Простов С. М. Особенности геологического строения участка основания северо-западного обхода г. Кемерово // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 4–13. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-4-14, EDN: NQGCUC

21. Глинская Н. В., Мищенко О. Н., Бурдакова Е. В., Морозов В. Н. Тренд – анализ скоростного разреза при картировании «живущих» разломов в транзитной зоне Финского залива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 3. С. 32–35.

22. Титаренко М. Л., Саликова Е. О. Комплекс инженерно-геофизических методов для поиска и трассирования тектонических нарушений // Экспозиция нефть газ. 2012. № 2(20). С. 24–25.

23. Фрибус И. В. Изучение закарстованности территории скважинными геофизическими методами на участке планируемого моста через р. Томь // Геологический международный студенческий саммит. 2021. С. 217–221.

24. Лисицын В. В. Рекомендации по геофизическому исследованию закарстованности территорий, предназначенных для строительства. Москва : Госстрой РСФСР, ЦТИСИЗ, 1971. 43 с.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Власов Максим Алексеевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: maxsdss@mail.ru

Герасимов Олег Васильевич, канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Нооцентр», (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

Никулин Николай Юрьевич, кан. техн. наук, ведущий инженер-геофизик, ООО «Нооцентр», (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 30), e-mail: n.y.nikuln@mail.ru

Простов Сергей Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: rsm.kem@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Власов Максим Алексеевич – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста.

Герасимов Олег Васильевич – постановка задачи и организация проведения геофизических исследований.

Никулин Николай Юрьевич – проведение геофизических исследований, анализ данных.

Простов Сергей Михайлович – научный менеджмент, анализ данных, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ASSESSMENT OF THE KARST HAZARD OF THE BASE OF THE SECTION OF THE NORTH-WESTERN BYPASS OF KEMEROVO

Maksim A. Vlasov¹, Oleg V. Gerasimov²,
Nikolay Y. Nikulin², Sergey M. Prostov¹¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University²«Nootsentr»

*for correspondence: maxsdss@mail.ru



Article info

Received:

17 May 2023

Accepted for publication:

15 September 2023

Accepted:

20 September 2023

Published:

27 September 2023

Keywords: seismic exploration; cavernometry; gamma-gamma logging; electrocarotage; resistivity; velocity waves; borehole logging; engineering and geological sections

Abstract.

The method of conducting a complex of geophysical studies, including seismic exploration, cavernometry, gamma-ray logging, electrocarotage, resistivity, is described. Seismic surveys were carried out by the method of refracted waves on two profiles with the construction of velocity sections of longitudinal waves. The change in the diameter of the borehole in depth was established by the method of cavernometry. Logging by the method of natural gamma activity (GC) was used to isolate intervals of relatively pure and dense, as well as clay differences of these rocks: the most fractured and watered limestones are marked on GC diagrams with low intensity values, on the contrary, clay differences are fixed with maximum values. The resistivity method is a good search method for detecting zones of active water exchange characteristic of deep-karst waters. The totality of data on the places of groundwater inflows obtained by the resistivity method at a number of wells used to isolate and trace along the profile the boundaries of the zone of active groundwater circulation characteristic of highly fractured rocks. Based on the research results, engineering-geological sections along the axis of the bridge crossing were constructed. The estimation of the karstiness according to the data of geophysical studies for each bridge support is given, while no zones of intensive developed karst formation have been identified.

For citation: Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Nikulin N.Y., Prostov S.M. Features of the geological structure of the base section of the north-western bypass of Kemerovo. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 4(158):4-14. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-4-4-14, EDN: OYVFLA

REFERENCES

1. Sokolov D.S. Osnovnye usloviya razvitiya karsta [The main conditions the development of karst]. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Geology and Subsoil Protection; 1962. 321 p.
2. Khomenko V.P. Karstovo-suffuzionnye protsessy i ikh prognoz [Karst-suffusion processes and their prognosis]. Moscow: Gosstroy of the USSR, PNIIS; 1986. 97 p.
3. Akopyan A.F., Akopyan V.F., Il'ina E.G. Monitoring karstovykh protsessov v geologicheskoi srede goroda [Monitoring of karst processes in the geological environment of the city]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2019;2:3–12.
4. Kovalev R.A. Skorost' podzemnoi khimicheskoi denudatsii i aktivnost' karstovykh protsessov Mrasskogo i Kuznetskogo karstovykh raionov (Alatau-Shorskoe nagor'e) na primere klyuchevykh karstovykh uchastkov [Speed of the underground chemical denudation and activity of karst processes of Mrassky and Kuznetsk karst districts (Alatau-Shorskoe uplands) on the example of key karst sites]. *Regional'nye geosistemy* [Regional geosystems]. 2019; 43(4):386–399.
5. Gaev A.Ya., Kilin Yu.A. O fundamental'nykh problemakh gidrosfery i silikatnoi tipe karsta [On the fundamental problems of the hydrosphere and the silicate type of karst]. *Vestnik Permskogo universiteta* [Bulletin of Perm University]. 2017; 16(3):232–241.
6. Yaliev A.A., Gil'metdinov R.F. Analiz metodov zashchity gazoprovodov pri podzemnoi prokladke na uchastkakh, podverzhennykh karstovym protsessam [Analysis of methods for protecting gas pipelines during underground laying in areas subjected to karst processes]. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* [Transportation and

storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials]. 2020. No. 2. Pp. 36–40.

7. Smirnov A.I. Chrezvychainye situatsii, vyzvannye karstom na yuzhnom Urale i v Predural'e [Karst-induced emergency situations in the southern Urals and the Cis-urals]. *Vestnik akademii nauk RB [Bulletin of the Academy of Sciences of the RB]*. 2020; 37(4):29–39.

8. Dublyanskii V.N., Dublyanskaya G.N. Karstografirovaniye, raionirovaniye i inzhenerno-geologicheskaya otsenka zakarstovannykh territorii [Karstography, zoning and engineering-geological assessment of the karst territories]. Novosibirsk: OIGGIM; 1992. 144 p.

9. Khomenko V.P. Karstovo-suffozionnye protsessy i ikh prognoz [Karst-suffusion processes and their prognosis]. Moscow: The science; 1986. 96 p.

10. Dublyanskii V.N., Dublyanskaya G.N. Karstovedeniye. Chast' 1. Obshchee karstovedeniye: uchebn. Posobie [Karst studies. Part 1. General karst studies: study guide]. Perm: Perm University Publishing House; 2004. 306 p.

11. Maksimovich G.A. Osnovy karstovedeniya. Tom 2. Voprosy gidrogeologii karsta, reki i ozera karstovykh raionov, karst mela, gidrotermokarst: uchebn. Posobie [Fundamentals of karst studies. Volume 2. Issues of hydrogeology of karst, rivers and lakes of karst district, chalk karst, hydrothermokarst: textbook]. Perm: Natural Science Institute of Perm State University; 1969. 530 p.

12. Savarenskii I.A., Mironov N.A. Rukovodstvo po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam v raionakh razvitiya karsta [Guide to engineering and geological surveys in districts development karst]. Moscow: Production and Research Institute for Engineering Research in Construction (PNIIIS) of the Ministry of Construction of Russia; 1995. 165 p.

13. Shebunyaev A.N., Yudina I.M. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniya v oblasti karstovogo provala [Calculation of the stress-strain state of the base in the region of karst dip]. *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*. 2019; 1:3–18.

14. Gilli E. Karst Areas of Turkey. *Caves and Karst of Turkey*. 2022; 2:55–65.

15. Jailliet S., Calvet M., Delannoy J.-J., Hoblea F., Maire R., Perrette Y., Vernant P. French mountains karsts markers of landscape evolution. *Karstologia*. 2022; 79:21–34.

16. Veress M. Karst Types and Their Karstification. *Journal of Earth Science*. 2020; 31(3):621–634.

17. Gunn J. Geoconservation initiatives for caves, karst, and springs. *Parks Stewardship Forum*. 2022; 38(1):84–93.

18. Chervyatsova O.Ya., Potapov S.S., Sadykov S.A. Sulfur isotopic composition of sulfur deposits in Ural karst caves. *News of the Ural State Mining University*. 2016; 2:37–41.

19. Naumov A.N., Gusar' O.A., Balakireeva V.V. Problemy otsenki karstovo – suffozionnoi opasnosti v g. Moskve pri vypolnenii inzhenerno – geologicheskikh izyskaniyakh [Problems of assessment of karst-suffusion hazard in Moscow when performing engineering-geological surveys]. *Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal Zhilishchnoe stroitel'stvo [Scientific, technical and production journal Housing Construction]*. 2019. No. 5. Pp. 3–7.

20. Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Plotnikov A.V., Prostov S.M. Features of the geological structure of the base section of the north-western bypass of Kemerovo. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]*. 2023; 3(157):4–14. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-4-14, EDN: NQGCUC

21. Glinskaya N.V., Mishchenko O.N., Burdakova E.V., Morozov V.N. Trend – analiz skorostnogo razreza pri kartirovani «zhivushchikh» razlomov v tranzitnoi zone Finskogo zaliva [Trend-analysis of velocity section when «living» fault mapping in the transit zone of the Gulf of Finland]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki [News of higher education institutions. The North Caucasus region. Natural sciences]*. 2013; 3:32–35.

22. Titarenko M.L., Salikova E.O. Kompleks inzhenerno – geofizicheskikh metodov dlya poiska i trassirovaniya tektonicheskikh narushenii [Complex engineering and geophysical methods for tectonic disturbance search and tracking]. *Ekspozitsiya nefi' gaz [Oil gas exposition]*. 2012; 2(20):24–25.

23. Fribus I.V. Izuchenie zakarstovannosti territorii skvazhinnyimi geofizicheskimi metodami na uchastke planiruемого mosta cherez r. Tom' [Study of the karstiness of the territory by borehole geophysical methods on the site of the planned bridge over the Tom River]. *Geologicheskij mezhdunarodnyj studencheskij sammit [Geological International Student Summit]*. 2021. Pp. 217–221.

24. Lisicyn V.V. Rekomendatsii po geofizicheskomu issledovaniyu zakarstovannosti ter-ritorij, prednaznachennykh dlja stroitel'stva [Recommendations for the geophysical study of the karstiness of territories intended for construction]. Moscow: Gosstroy of the RSFSR, CTISIZ; 1971. 43 p.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Maksim A. Vlasov, Postgraduate, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: maxsdss@mail.ru

Oleg V. Gerasimov, PhD in Technical Sciences, General manager, OOO «Nootsentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

Nikolay Y. Nikulin, PhD in Technical Sciences, leading geophysicist engineer, OOO «Nootsentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: n.y.nikulin@mail.ru

Sergey M. Prostov, Dr. in Technical Sciences, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: psm.kem@mail.ru

Contribution of the authors:

Maksim A. Vlasov – review of relevant literature, data collection and analysis, writing a text.

Oleg V. Gerasimov – statement of the task and organization of geophysical research.

Nikolay Y. Nikulin – conducting geophysical research, data analysis.

Sergey M. Prostov – scientific management, data analysis, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

