

рии месторождения в подземной воде четвертичного аллювиального горизонта установлено аномально высокое содержание ионов хлора, магния. Повышенное содержание этих ионов отмечено и в родниках в бассейнах рек Чёрная, Медведица, Лёнва.

Основное влияние разработки месторождения на окружающую среду связано с формированием фильтрационных стоков с солеотвалов и шламохранилищ, имеющих хлоридно-натриевый состав и минерализацию более 30 г/дм³. Техногенные стоки поступают в подземные и поверхностные воды, изменяя химический состав приповерхностной гидросферы.

Для снижения отрицательного воздействия разработки месторождения на окружающую среду необходимо увеличить объем природоохранных мероприятий, в частности уменьшить количество отходов, размещаемых на земной поверхности. Одним из таких мероприятий является закладка выработанного пространства солеотходами, глинисто-солевыми шламами, в том числе и складированными ранее на земной поверхности.

Библиографический список

1. Двинских С.А., Бельтюков Г.В., Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Изд. Иркутского университета, 1992. 248 с.
2. Иконников Е.А., Яковлев Ю.А., Шестов И.Н. Гидрогеология. // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь, 2006. с. 111-123.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
4. Максимович Г.А., Тюрина И.М. Химический состав атмосферных осадков. // Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967. с. 41-48.
5. Максимович Н.Г., Хайруллина Е.А. Основы мониторинга окружающей среды при разработке месторождения калийных солей. // Инженерные изыскания. 2012. №8. с. 20-30.

Е.В. Дробинина

ООО «Противокарстовая и береговая защита», г. Пермь
ПГНИУ, alenadrobinina@yandex.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ КАРСТОВОГО МАССИВА НА СВОЙСТВА ГРУНТОВ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ ТОЛЩИ

В статье рассмотрены существующие косвенные методы изучения характера подземной закарстованности с применением различного рода индикаторов, одним из которых являются физико-механические свойства перекрывающих отложений. На конкретном примере оценено влияние элементов ослабления на грунты перекрывающей толщи, проявляющееся в изменение их физико-механических свойств. С помощью картографического моделирования, заключающегося в интерполяции значений физико-механических свойств грунтов покровной толщи, показано, что на участках развития элементов ослабления, где наблюдается разгрузка напряжений, отмечается разуплотнение и разупрочнение глинистых грунтов.

Ключевые слова: зона дробления, карстовая полость, покровная толща, физико-механические свойства

**THE ASSESSMENT OF KARST CAVITIES AND CRUSHED ZONES
INFLUENCE ON OVERLYING SOIL PROPERTIES**

The indirect methods of underground karst character assessment are considered in the research. These methods require the use of various indicators one of which is geotechnical properties of overlying soil. Karst cavities and crushed zones influence on overlying soil is estimated in specific case. Clay soil loosening and its strength reduction above karst cavities and crushed zones because of stress relief is demonstrated by mapping such as interpolation method of geotechnical properties of overlying soil.

Key words: crushed zone, karst cavity, overlying soil, geotechnical properties

Дискретный характер данных о подземной закарстованности и трещиноватости карстующихся пород, получаемых посредством прямых методов, например, бурения, осложняет оценку карстовой опасности и ее прогноз, что определяет необходимость использования косвенных методов исследования карстующейся толщи с применением различного рода индикаторов с целью выяснения характера подземной закарстованности.

Например, учеными Горного института Уральского отделения РАН (г. Пермь, Россия) проведены гравиметрические исследования территории Верхнекамского месторождения с целью определения мест локализации зон дробления в карстующихся породах по плотностным изменениям карстующихся и перекрывающих их пород, связанным с их разуплотнением за счет трещин. Наличие зон трещиноватости в дальнейшем подтверждалось результатами прямого наблюдения – бурением и гидрогеологическими исследованиями (Kataev, Ermolovich, 2014).

Геофизические методы достаточно часто используются для дистанционного исследования подземной закарстованности. Например, для поиска карстовых полостей и пещер на территории Апулии (юго-восток Италии) рядом исследователей были применены георадар (GPR) в качестве наиболее представительного метода, сейсмическое отражение (SR) и электрическая томография (ERT, Margiotta et al., 2016). Дж. Кауфманом (G. Kaufmann, 2014) с использованием гравиметрических данных была получена трехмерная модель карстового массива, отражающая характер подземной закарстованности в окрестностях гор Гарц на севере Германии. С помощью геофизических методов определены форма и характер простирания подземных карстопроявлений под толщей неогеновых и четвертичных отложений на территории распространения карстовых полей в Югославии (Milanović, 2018). Ю.В. Патрушевым (2017) предложен метод поиска дискретных структур, под которыми понимаются элементы ослабления карстового массива, посредством регистрации сейсмических сигналов отраженных волн и последующего установления возможного положения зон развития подземной закарстованности.

Исследованию свойств несвязных перекрывающих отложений в качестве индикаторов подготовки процесса провалообразования посвящена работа В.С. Крашенникова и В.П. Хоменко (2017). Авторами в модельных условиях детально исследовался гранулометрический состав грунтов в разных точках перекрывающей толщи над карстовой полостью или трещиной в водоупоре, в результате чего ими выделено три зоны, гранулометрический состав которых различен: в зоне непосредственно над полостью заполнитель практически отсутствует и грунт отличается высокой степенью однородности.

Автором данной работы в качестве индикаторов наличия элементов ослабления в карстовом массиве предлагается использовать физико-механические свойства грунтов, полученные посредством лабораторного опробования дисперсной перекрывающей толщи. Прогностическая цель исследования предполагает изучение параметров, прямо или косвенно определяющих способность перекрывающей толщи противостоять обрушению грунтов в карстовую полость, то есть характеризующих состояние и прочностные свойства грунтов перекрывающей толщи. При исследовании перекрывающей толщи автор обращает внимание на такие параметры, как плотность грунта ρ , коэффициент пористости e , угол внутреннего трения ϕ , удельное сцепление c .

В соответствии с концептуальной моделью изучаемого процесса физико-механические характеристики грунтов над элементами ослабления будут отличаться от свойств над целиковыми зонами массива по причине того, что элементы ослабления являются очагами разгрузки напряжений в карстовом массиве. Под целиковыми зонами подразумеваются участки карстового массива, в пределах которых растворимые породы характеризуются ненарушенностью и отсутствием следов растворения.

Ранее автором с помощью компьютерного моделирования прослежено влияние, оказываемое незаполненной карстовой полостью различного размера на перекрывающие грунты (Дробинина, Катаев, 2019). В данной статье влияние элементов ослабления карстового массива на физико-механические свойства грунтов покровной толщи оценено по данным опробования юрских глин, перекрывающих карбонатные отложения на участке прохождения высокоскоростной магистрали протяженностью около 1 км. В административном плане территория расположена в Ногинском районе Московской области, в 0,8 км северо-западнее д. Аксено-Бутырки.

Карстующиеся породы представлены каменноугольными доломитами и известняками, закарстованными преимущественно в верхней части толщи. Покровная толща сложена глинистым водоупором юрского возраста мощностью от 4,0 до 6,5 м, перекрытым четвертичными песчано-глинистыми грунтами аллювиального и флювиогляциального генезиса.

Характер изменения значений исследуемых свойств в пределах толщи юрского водоупора оценивался посредством картографического моделирования в программе ArcGIS методом интерполяции значений свойств грунтов. Интерполяция проводилась в разрезе и в плане на двух высотных уровнях: в

средней части слоя (глубина опробования 10-13 м) и в подошве (глубина опробования 13-15 м).

Диапазон фоновых значений каждого исследуемого свойства определен по гистограмме распределения значений в ячейках интерполированной сетки (grid) над зонами карстового массива, где в кровле элементы ослабления не развиты (целиковые зоны). Так, к фоновым отнесены значения свойств, равные $X_{cp} \pm \sigma$ (X_{cp} – среднее значение свойства, σ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение).

Если судить в целом о диапазоне изменений свойств над целиковыми зонами в карстовом массиве и над элементами ослабления, над последними наблюдается уменьшение значений прочности (удельного сцепления) юрских глин и плотности по верхней границе диапазона изменения свойств. Ниже приводится подробная характеристика характера изменений значений физико-механических свойств юрских глин в исследуемом карстовом массиве. В качестве примера приведена карта изменения значений плотности юрских глин в разрезе (рис. 1).

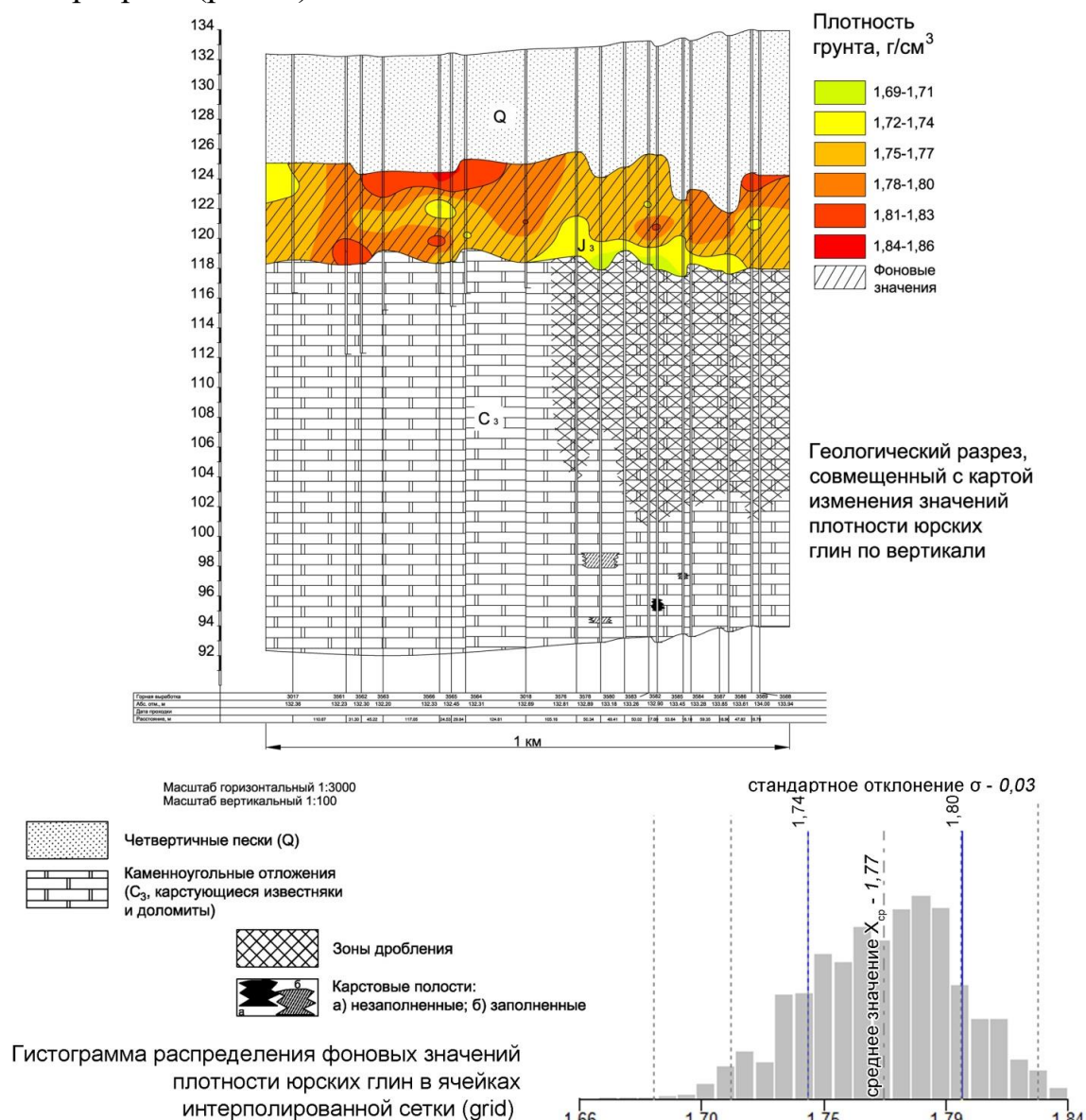


Рис. 1. Карта изменения значений плотности юрских глин в разрезе

Плотность юрских глин. По гистограмме распределения значений изучаемого свойства над целиковыми зонами карстующихся пород к фоновым следует отнести значения плотности $1,77 \pm 0,03$ г/см³ ($X_{cp} \pm \sigma$). На карте изменения значений плотности юрских глин зоны разуплотнения (снижения плотности) хорошо прослеживаются над элементами ослабления, причем в подошве слоя отмечается зона аномально низких (в отличие от фоновых) значений плотности, менее 1,74 г/см³. Часть разреза, где элементы ослабления в кровле карстующейся толщи отсутствуют, характеризуется значениями плотности юрских глин преимущественно равными и/или превышающими фоновые (1,74–1,86 г/см³). Примечательно, что фоновые значения на участке развития элементов ослабления изменяются в диапазоне близком к нижней границе (1,75–1,77 г/см³), над целиковыми зонами увеличивается площадь, занимаемая фоновыми значениями, близкими к верхней границе (1,78–1,80 г/см³).

Пористость юрских глин. Согласно гистограмме распределения, фоновые значения коэффициента пористости юрских глин составляют $1,294 \pm 0,123$ д.е. Значения выше фоновых (1,418–1,663 д.е.) локально отмечаются над целиковыми зонами карбонатных пород. Над мощной и относительно протяженной зоной дробления, развитой в северо-восточной части исследуемого участка трассы, значения коэффициента пористости ниже и/или равны фоновым (0,990–1,417 д.е.).

Подобный характер изменения данного свойства и отсутствие четкой закономерности в изменении его значений над элементами ослабления может быть объяснен следующим. В диссертационном исследовании рассматриваются элементы ослабления, размер которых меньше критического, то есть такие, наличие которых в кровле на данный момент не привело к нарушению сплошности перекрывающего водоупора, то есть деформации связанные с разгрузкой напряжений можно считать упругими. У пластичных глинистых пород упругие деформации не оказывают значительного влияния на истинное значение пористости, которое, может несколько отличаться от расчетного, так как последнее включает в себя межслоевое пространство разбухающих разностей глинистых минералов (Осипов, Соколов, 2013).

Угол внутреннего трения. Фоновые значения данного параметра составляют $14,2 \pm 0,6^\circ$. Значения над элементами ослабления преимущественно ниже фоновых ($10,1$ – $13,6^\circ$), за исключением восточной части исследуемого участка трассы, где значения данного параметра выше и/или равны фоновым ($13,7$ – $16,0^\circ$). При отсутствии элементов ослабления в кровле карстующихся пород значения угла внутреннего трения составляют ($13,7$ – $16,8^\circ$).

Удельное сцепление. Фоновые значения данного свойства на исследуемой территории составляют $58,9 \pm 4,3$ кПа. Значения над элементами ослабления на всю мощность юрских глин преимущественно ниже фоновых (45,0–54,6 кПа). Значения удельного сцепления юрских глин над целиковой зоной находятся в диапазоне фоновых и/или выше них (54,6–73,1 кПа).

Если анализировать площадной характер изменчивости свойств юрских глин в подошве слоя, то нужно отметить увеличение значений их плотности и прочности на участках отсутствия элементов ослабления, здесь значения свойств в основном находятся в диапазоне фоновых значений или превышают их: плот-

ность глин – от $1,75 \text{ г/см}^3$, угол внутреннего трения – от $13,7^\circ$, удельное сцепление – от $54,7 \text{ кПа}$ (рис. 2). Над элементами ослабления значения плотности глин преимущественно ниже фоновых – до $1,74 \text{ г/см}^3$, редко над элементами ослабления наблюдаются фоновые значения, ближе к нижней границе – небольшой участок на востоке изучаемой территории характеризуется плотностью глин $1,75\text{--}1,77 \text{ г/см}^3$. Изменения значений угла внутреннего трения и удельного сцепления обладают принципиально похожим характером: над элементами ослабления наблюдаются значения преимущественно ниже фоновых (угол внутреннего трения до $13,6^\circ$, удельное сцепление до $54,6 \text{ кПа}$), за исключением небольшого участка на востоке изучаемой территории, где угол внутреннего трения колеблется в пределах фоновых значений $13,7\text{--}14,8^\circ$.

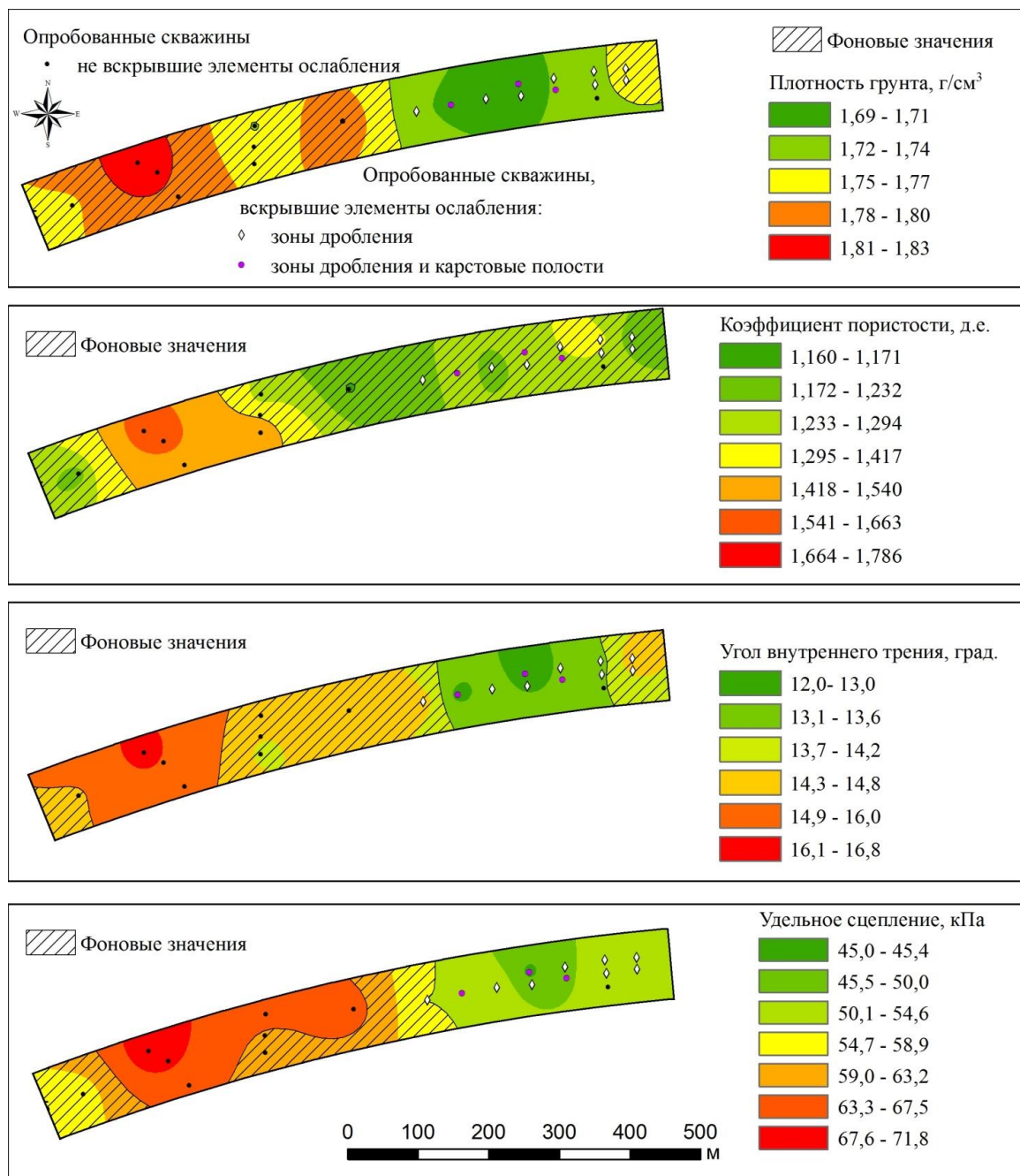


Рис. 2. Карта изменения значений свойств юрских глин в подошве слоя (глубина опробования 13-15 м)

Изменения значений исследуемых свойств в средней части слоя юрских глин обладают принципиально похожим характером: значения плотности и прочностных свойств глин увеличиваются на участках отсутствия элементов ослабления. Однако следует заметить, что площадь распространения фоновых значений исследуемых показателей здесь выше относительно подошвы слоя: для плотности юрских глин в 2,5 раза, для прочностных свойств в 1,5 раза. Это может свидетельствовать о том, что наибольшее влияние элементы ослабления оказывают на свойства перекрывающих грунтов именно в подошве.

Построенные методом интерполяции картографические модели изменения изучаемых свойств юрских глин доказывают рабочую гипотезу о том, что на участках развития элементов ослабления, где наблюдается разгрузка напряжений, отмечается разуплотнение и разупрочнение глинистых грунтов. Причем наиболее ярко это влияние отражается на прочностных свойствах глин, характер изменения которых над элементами ослабления прослеживается в конкретном случае на всю мощность исследуемой толщи (до 6,5 м). Изменения физических свойств в частности плотности глин, относительно фоновых, в данном случае наблюдаются в непосредственной близости к элементам ослабления. По мере увеличения расстояния от элемента ослабления по вертикали значения плотности грунтов приближаются к фоновым. Коэффициент пористости, в данном случае, является непоказательной характеристикой. Вероятная причина отсутствия закономерностей в его изменении над элементами ослабления указана ранее.

Необходимо заметить, что в конкретном примере оценено влияние на свойства перекрывающих грунтов элементов ослабления карстового массива, представленных зонам дробления карстующихся пород. Объем пустотного пространства в них меньше по сравнению с карстовыми полостями, следовательно, влияние последних на грунты перекрывающей толщи должно прослеживаться яснее.

Библиографический список

1. Дробинина Е.В., Катаев В.Н. Покровная толща карстовых массивов: изучение в целях карстологического прогноза // Природа. № 11. 2019. С. 62–72.
2. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Изменение гранулометрического состава несвязных грунтов, предшествующее карстово-суффозионному провалообразованию // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 52-62.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
4. Патрушев Ю.В. Дистанционная оценка и прогноз развития опасных инженерно-геологических процессов при строительстве тоннелей. Автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 24 с.
5. Kataev V., Ermolovich I. Karst sinks of the Perm region (the Western Ural) // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014. Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics / Published by STEF92 Technology Ltd., «Andrey Lyapchev» Blvd., 1797 Sofia, Bulgaria. 2014. P. 559-565.
6. Kaufmann G. Geophysical mapping of solution and collapse sinkholes. J Applied Geophysics, vol. 111, 2014. P. 271-278.
7. Margiotta S., Negri S., Parise M., Quarta T.A.M. Karst geosites at risk of collapse: the sinkholes at Nociglia (Apulia, SE Italy). Environmental Earth Sciences, vol. 75 (1), 2016. P. 1-10. DOI: 10.1007/s12665-015-4848-y.
8. Milanović P. Karst Hydrogeology. Belgrade, 2018. 390 p.