

3. Головачев И.В. Карст и пещеры окрестностей озера Индер / И.В. Головачев // Индер – перспективный геопарк Приуралья: монография / Под ред. К.М. Ахмеденова. Уральск: Изд-во Зап. Казахст. аграр.-техн. ун.-т им. Жангир хана, 2018. С. 49-78.

4. Головачёв И.В. О карстовом провале на возвышенности Бешпокы в Западном Казахстане // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 3 Вып. 74. С. 57-66.

5. Ралль Ю.М. Древняя степь «Бесь-Чохо» в Волжско-Уральских песках. // Природа, № 4, 1935. С. 55-60.

УДК: 556.332.46

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ДИСПЕРСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО КАРСТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

Дробинина Е.В., Катаев В.Н.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; e-mail: alenadrobinina@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается методика проведения анализа изменчивости физико-механических свойств перекрывающих отложений в районе развития карбонатно-гипсового карста. По результатам анализа разработана модель карстовой опасности для изучаемой территории.

Ключевые слова: карстовая опасность, физико-механические свойства, перекрывающая толща, карстологический прогноз

ASSESSMENT OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF OVERLYING SOILS IN INTEGRAL KARSTOLOGICAL FORECASTING SYSTEM

Drobinina E.V., Kataev V.N.

Perm State University, Perm, Russia; e-mail: alenadrobinina@yandex.ru

Abstract: The variability analysis of the geotechnical properties of overlying soils in the carbonate-sulfate karst area is represented in the article. The model of karst hazard, which is based on the results of the analysis, is developed for the research area.

Key words: karst hazard, geotechnical properties, overlying soils, karstological forecast

Широкое распространение растворимых горных пород, перекрытых толщей нерастворимых отложений, препятствующей непосредственному наблюдению за развитием карстового процесса, обуславливает необходимость изучения покровов, состояние и свойства которых определяют устойчивость массива над ослабленными зонами, возникающими в результате формирования карстовых полостей и зон повышенной трещиноватости. Не-

достаточное количество информации о карстопроявлениях по результатам изыскательских работ, зачастую отсутствие признаков поверхностной закарстованности определяют сложность прогнозирования процесса провалообразования, характеризующегося спонтанным характером.

В условиях покрытого и/или перекрытого [2] карста повышается вероятность возникновения внезапных обрушений, влекущих за собой социальный, экономический и экологический ущерб. В пределах Российской Федерации крупные провальные формы, связанные с развитием сульфатного (гипсового, [1]), карбонатно-сульфатного (карбонатно-гипсового, [1]) типов карста, встречаются на территории Центрально-Европейской части и в Приуралье. Одной из особенностей сульфатного карста является относительно высокая скорость растворения трещиноватых гипсов и ангидритов, в результате чего под мощной толщей нерастворимых водоупорных отложений при условии доступа агрессивных вод могут сформироваться значительные по размерам карстовые полости. При достижении полостями критических размеров образуются крупные провалы.

Концептуально данное научное исследование основано на представлении, что несмотря на внезапность процесса провалообразования, существование на глубине ослабленной зоны изменяет состояние вмещающей толщи и перекрывающих отложений. Ареал распространения данного влияния определяется размером ослабленной зоны и глубиной ее залегания.

В условиях перекрытого карста весьма информативной с прогностической точки зрения является интегральная оценка карстовой опасности [4, 7, 3, 5], учитывающая не только характер поверхностной и подземной закарстованности территории, в том числе площадной, но и показатели природного строения, под которыми понимаются структурно-тектонические, геологические, гидрогеологические, геоморфологические и инженерно-геологические факторы развития карстового процесса [7]. В системе интегральной оценки карстоопасности, разработанной исследователями Пермского государственного национального исследовательского университета, роль перекрывающих отложений определяется главным образом через их мощности и литологию: детальных исследований состояния и прочностных свойств грунтов перекрывающей толщи не проводилось.

В данной работе предлагается проследить изменчивость перекрывающих отложений над ослабленной зоной в Кишертском районе развития карбонатно-гипсового карста [1], приуроченного к зоне сочленения восточной окраины Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральского прогиба. В качестве исследуемого выбран участок, расположенный на II надпойменной террасе р. Сылвы в пределах территории с. Усть-Кишерт.

Влияние элементов ослабления на свойства перекрывающих грунтов оценивалось путем определения степени и характера влияния на них фактора удаленности от элементов ослабления карстового массива. Следует уточнить, что на данном участке удаленность рассчитана как расстояние по вертикали от пробы до кровли неоген-четвертичного карстово-обвального комплекса отложений, по причине того, что последний представляет собой ослабленную зону. Разумеется, вследствие заполнения трещинно-полостного пространства дисперсным материалом влияние этой ослабленной зоны может быть относительно слабее, нежели влияние открытых трещин и карстовых полостей. Мощность карстово-обвальных отложений в пределах второй террасы изменяется от 10 до 40 м, при среднем значении 20-25 м.

Проанализированы свойства верхнечетвертичных суглинков преимущественно тугопластичных и полутвердых, тяжелых. Для определения *степени влияния* фактора удаленности от элементов ослабления пород применен однофакторный дисперсионный анализ, подробное описание которого широко освещено в справочной литературе [6].

Характер изменения физико-механических свойств по мере удаления от элементов ослабления по вертикали оценивался путем прямого сопоставления посредством построения двумерных облаков точек, характеризующих зависимость исследуемого свойств от удаленности от элементов ослабления. Очевидно, что диаграммы, приведенные на рисунке 1А, не являются информативными, так как в большинстве случаев по ним невозможно установить даже приблизительный характер связи. Извлечь информацию о характере зависимости позволяет операция осреднения значений исследуемых свойств в равных интервалах значений удаленности от элемента ослабления (рис. 1Б). Данная процедура позволяет оценить направленность наблюдаемой зависимости (тренд), а в некоторых случаях, и установить ее характер (линейная, экспоненциальная, логнормальная и др.).

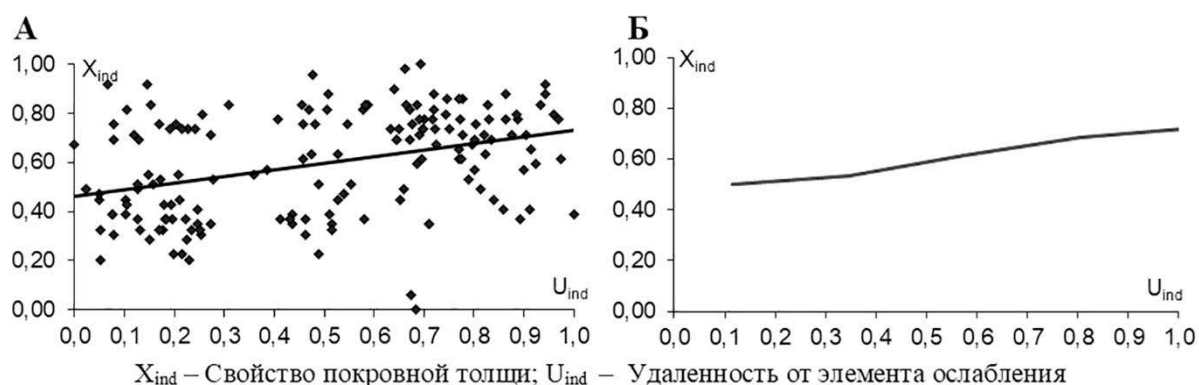


Рисунок 1 – Определение характера зависимости значений свойств от удаленности от элементов ослабления.

Так, для участка II надпойменной террасы в пределах территории с. Усть-Кишерть определено существенное влияние элементов ослабления карстового массива на свойства перекрывающих верхнечетвертичных суглинков, проявляющееся в закономерном увеличении по мере удаления от кровли карстово-обвальных отложений плотности суглинков (при закономерном понижении значений коэффициента пористости) и их удельного сцепления.

Методика создания интегральной модели карстоопасности сводится к построению картографических моделей изменения исследуемых свойств, переводению их в балльную форму по принципу увеличения балла опасности по мере снижения плотности и прочностных свойств грунтов и последующему совмещению и суммированию балльных оценок.

По точечным данным расположения проб методом интерполяции строятся растровые модели по всем перечисленным физико-механическим показателям. Интерполяция проводится по пробам, приуроченным к подошве исследуемых слоев покровных отложений, так как именно в этой части слоя влияние элементов ослабления прослеживается особенно явно.

Затем производится классификация растровых моделей. В качестве метода классификации значений частных растров в рамках данного исследования выбран метод геометрических интервалов (Geometrical Interval), позволяющий добиться того, что в каждом классе будет находиться примерно равное количество значений, и размеры интервалов будут примерно равнозначными.

Классифицированные модели методом переклассификации, заключающемся в изменении диапазонов реальных значений баллами опасности, превращаются в балльные. Баллы назначаются выделенным интервалам на основании проведенных ранее исследований, результаты которых свидетельствуют о снижении плотности и прочности грунтов над элементами ослабления. Иными словами, максимальный балл назначается интервалам минимальных значений плотности и удельного сцепления, и максимальных значений коэффициента пористости.

Затем балльные модели накладываются друг на друга с целью суммирования баллов карстовой опасности. В результате исследуемая территория ранжируется на классы различной карстовой опасности: от пониженной до повышенной. Ранжирование по карстовой опасности произведено таким образом, что к пониженной опасности относится территория, где суммарный балл опасности составляет менее пяти, к повышенной – более десяти, территория с промежуточными значениями интегрального показателя разбита на две категории. Таким образом, для исследуемой территории получена интегральная карта карстовой опасности, построенная на основании изменчивости свойств исследуемых грунтов в подошве слоя покровных отложений (рис. 2).

Верификация исследования, или проверка объективности построенной модели карстоопасности, проводится посредством анализа местоположения карстопоявлений, зафиксированных на данной территории, и их пространственного сопоставления с категориями карстовой опасности. Результат пространственного анализа представляется в табличном и графическом виде с указанием количества карстовых форм, пространственно соотнесенных с категориями на интегральной модели. Максимальное количество форм отмечено в пределах повышенной категории карстовой опасности, в то время как пониженная категория отличается отсутствием подземных форм и минимальным количеством поверхностных.

Таким образом, тезис о возможности применения детального анализа физико-механических свойств на локальном прогнозном уровне в рамках интегрального карстологического прогноза подтверждается в результате проведенного картографического моделирования с последующей верификацией модели с использованием данных о подземной и поверхностной закарстованности. Использование методики исследования свойств грунтов перекрывающей толщи с применением вероятностно-статистического аппарата позволяет выявлять карстоопасные участки над элементами ослабления карстового массива, чем повышает эффективность интегрального карстологического прогноза.

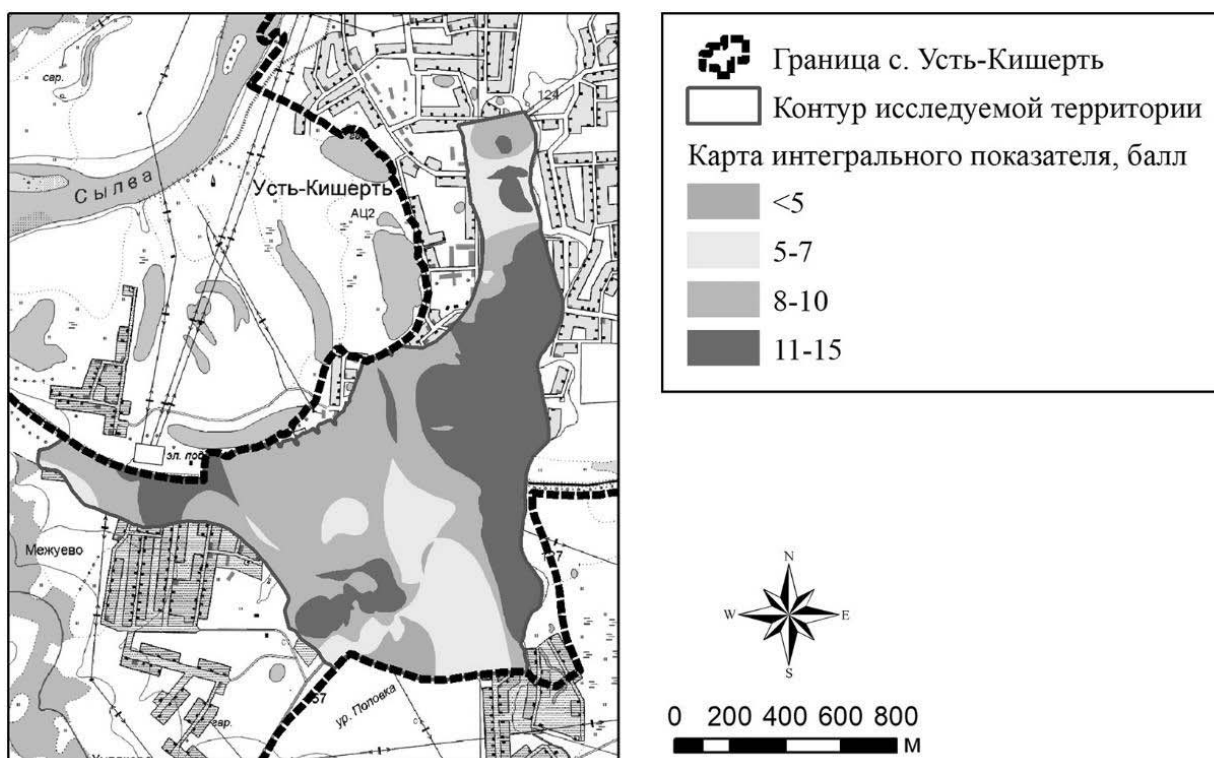


Рисунок 2 – Интегральная картографическая модель карстовой опасности исследуемой территории в пределах II надпойменной террасы р. Сылвы.

Литература

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1992. 200 с.
2. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Ч. 1. Общее карстоведение. Пермь, 2004. 308 с.
3. Золотарев Д.Р., В.Н. Катаев. Воздействие линеamentной тектоники на развитие карстовых процессов на локальном уровне // ГЕОРИСК, № 1, 2013. С. 34-43.
4. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура. Пермь: Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН, 2010. 236 с.
5. Ковалева Т.Г. Результаты оценки карстоопасности территорий развития карбонатно-сульфатного карста на основе геолого-гидрогеологических факторов // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 173-176.
6. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева и др. М.: Недра, 1987. 335 с.
7. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Том 153, кн. 1. 2011. С. 203-224.

УДК: 556.332.46

ОПЫТ РАСТВОРЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ И СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД

Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, ООО «Противокарстовая и береговая защита», Москва, Россия; kataev@psu.ru, zolotarev.lpmg@mail.ru, sherbakov.lpmg@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрен опыт растворения образцов карбонатных и сульфатных пород в специально оборудованных скважинах общей продолжительностью 8 месяцев. В ходе исследования ежемесячно производились промежуточные замеры массы и объема образцов, велась их фотофиксация и производилось описание. В результате получены сведения о динамике изменения измеряемых величин, выявлены скорости растворения для различных литологических разновидностей карстующихся пород, в том числе с учетом их химического состава и микростроения. Установлены прогнозные зависимости, применимость которых может быть найдена в практических расчетах при определении размеров карстовых деформаций.

Ключевые слова: карст, кубы, скорость растворения пород, карбонатные и сульфатные породы.