

УДК 556.314+624.131.1

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЗАКАРСТОВАННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ПОЛАЗНЕНСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Д.Р. Золотарев, В.Н. Катаев

Аннотация

В работе приведены результаты расчета напряженного состояния горных пород Полазненской локальной структуры и линеаментный анализ в ее пределах. Построен картографический материал по показателям линеаментов, установлено пространственное соотношение карстопроявлений с показателями линеаментной тектоники.

Ключевые слова: карст, напряженное состояние пород, показатели линеаментной тектоники, особенности распределения карстовых форм.

Введение

Результаты структурно-тектонических исследований в карстоведении освещены во многих работах отечественных исследователей-карстоведов XX в. (А.А. Крубер, Д.С. Соколов, Г.А. Максимович и др.). В пределах закарстованных территорий с различной геоструктурной обстановкой определены некоторые универсальные закономерности пространственного соотношения тектонических структур и карстопроявлений. Так, в платформенных областях зоны карстообразования приурочены главным образом к сводам и склонам положительных структур, а максимальная закарстованность связана с районами восходящих неотектонических движений и локальными поднятиями [1]. Отклонения в этом или в закономерностях других тектонических режимов, как правило, связано с факторами, отличными или производными от структурно-тектонических: литологическим составом, литологической неоднородностью растворимых пород, их спорадической обводненностью и т. д. Исходя из вышесказанного, обязательным дополнением к структурно-тектоническим исследованиям служат результаты геологических, гидрогеологических изысканий.

Прикладное значение имеет исследование напряженного состояния горных пород структуры. Закономерности, в соответствии с которыми распределяются нарушения сплошности пород во времени и в пространстве, обусловлены полем напряжений, возникающем при определенном механизме формирования складки. Построение модели распределения напряжений в пределах тектонических структур различного механизма образования позволяет соотносить их со степенью раздробленности пород, слагающих эти структуры. Зачастую при наложении схем напряжений и трещиноватости поля с повышенными значениями напряжений совпадают с зонами повышенной трещиноватости.

Другой компонентой анализа выступают неоднородные участки земной коры, в том числе и разломные зоны, выявляемые методами аэрокосмогеологических исследований, например, в виде определенных элементов структурной организации рельефа – линеаментов. Линеаментный анализ, успешно освоенный в нефтяной геологии, гидрогеологии и других отраслях, применим и в карстоведении. При разномасштабных карстологических исследованиях линеаменты дифференцируются по таксонам.

Интересной с позиций пространственного сопоставления структурно-тектонического строения и закарстованности является территория Полазненского полуострова, омываемого с запада, севера и юга водами Камского водохранилища, созданного в системе камского каскада водохранилищ в 50-е годы XX в.

Карстологической особенностью территории Полазненского участка является ее полная приуроченность к проявлениям подальлювиального («камского» по Г.А. Максимовичу) типа карста. Этот тип карста характеризуется тем, что под толщей водопроницаемых дисперсных накоплений, преимущественно аллювиального генезиса, залегают трещиноватые закарстованные породы [2]. В литологическом плане массив карстующихся пород сложен сульфатными и карбонатно-сульфатными разновидностями. В стратиграфическом отношении массив горных пород представлен отложениями кунгурского яруса нижней перми, уфимского яруса верхней перми, неоген-четвертичными (карстово-обвальными) и четвертичными отложениями [3]. В тектоническом плане полуостров расположен на северо-восточной окраине Пермского свода в пределах Межевской валлообразной зоны, являющейся структурой III порядка. Эта структура относится к категории тектоно-седиментационных, сформировавшихся в бортовой зоне Камско-Кинельской системы прогибов.

По кровле пород артинского яруса (рис. 1) на территории полуострова выделяют Пионерское, Полазненское, Залеснинское локальные поднятия и Межевскую валлообразную зону. Полазненское локальное поднятие, с запада осложненное Межевской валлообразной зоной, представляет собой асимметричную брахиантиклиналь с широким сводом, крутым северо-западным и пологим юго-восточным крылом, прослеживающуюся по девонским, каменноугольным и нижнепермским отложениям. Крылья поднятия выполаживаются от более древних отложений к молодым. Размеры осей структуры составляют 8.0×2.8 км, амплитуда изгиба центральной части поднятия в апикальной зоне – 11 м. Углы падения в среднем равняются $0^{\circ}25'$, наиболее крутого северного крыла – $1^{\circ}15'$. Альтитуды кровли артинских пород структуры ограничены изолиниями с абсолютными отметками 30 м. По данным дешифрирования многозональных космических снимков в данном районе отчетливо выделяются региональные системы линеаментов, планово совпадающие или близкие по простиранию к разломам фундамента, что, вероятно, свидетельствует об их многократной активизации в процессе геологического развития территории. Линеаменты С-С-3 простирания совпадают с осевой частью и восточным бортом Межевской валлообразной структуры.

Особенностью толщи горных пород, слагающей Полазненский полуостров, является то, что в ее основании, в нижнепермских ангидритах, а также неоген-четвертичных обвально-карстовых отложениях встречаются карстовые полости

и ослабленные зоны, как правило, выполненные доломитовой мукой, реже песчано-глинистым, гравийным материалом или открытые, не заполненные. В нижней части разреза могут быть встречены полости, заполненные водой. В обвально-карстовых отложениях полости заполнены глиной с обломками пород кровли [2].

Анализ журналов инженерно-геологических скважин и структурного бурения свидетельствует о наличии в разрезе мощного (до 30–60 м) горизонта карстово-обвальных отложений, представленного суглинком и глинами с обломками сульфатно-карбонатных пород, мощных пластов ангидрита и доломита с множеством полостей, достигающих размеров по вертикали 10 м и зон дробления с песчаным или глинистым заполнителем по трещинам.

На территории Полазненского полуострова распространены три горизонта подземных вод: грунтовых в песчано-гравийных четвертичных отложениях аллювия; подземных вод обвально-карстовых отложений и трещинно-карстовых вод сульфатно-карбонатной толщи коренных отложений. Для первых двух горизонтов подземных вод характерна низкая минерализация (до 0.39 г/дм^3), гидрохимический состав схож с составом вод Камского водохранилища. На участках повышенной вертикальной скважности (зоны тыловых швов террас, прирвовочные зоны и тальвеги карстово-эрозионных логов) происходит смешивание подземных вод горизонта карстово-обвальных отложений с трещинно-карстовыми водами сульфатно-карбонатной толщи [2].

Типичные схемы распределения напряжений в пределах брахиантиклинали представлены на рис. 2. Породы пласта гипс-ангидритов, слагающих верхнюю часть данной структуры, характеризуются сравнительно небольшой ($1.0\text{--}1.2 \text{ МПа}$) сопротивляемостью на разрыв. При испытаниях в условиях одноосного сжатия временное сопротивление образцов изменялось от 15 до 19 МПа.

Динамика развития напряжений по мере деформирования пласта выглядит следующим образом: нормальные напряжения (σ_x и σ_y) развиваются в зависимости от амплитуды поднятия пласта от структурного центра, в котором они имеют наибольшие значения, к периферии. В центре структуры изолинии значений нормальных напряжений образуют сгущения в виде диагонально пересекающихся зон. От центральных диагональных сгущений к периклинальным окончаниям структуры классы напряжений σ_x и σ_y образуют зональные субпараллельные сгущения, сегментарно вложенные друг в друга и проходящие через оси складки. Зоны характеризуются высокими значениями напряжений в их центральных частях.

Касательные напряжения (τ_{xy}) начинают формироваться также в центральной части образующейся складки, но развиваются отдельно в каждом сегменте, образованном сгущениями изолиний нормальных напряжений. В каждом отдельном сегменте (преимущественно в центральной части складки) касательные напряжения ориентированы субперпендикулярно нормальным, но значительно меньше последних по значениям. Развиваясь к периферии складки касательные напряжения по направлениям совпадают с нормальными, но проходят в местах развития минимальных значений нормальных напряжений. В тех местах, где развиты наибольшие нормальные напряжения, $\tau_{xy} = 0$ [4] (рис. 2).

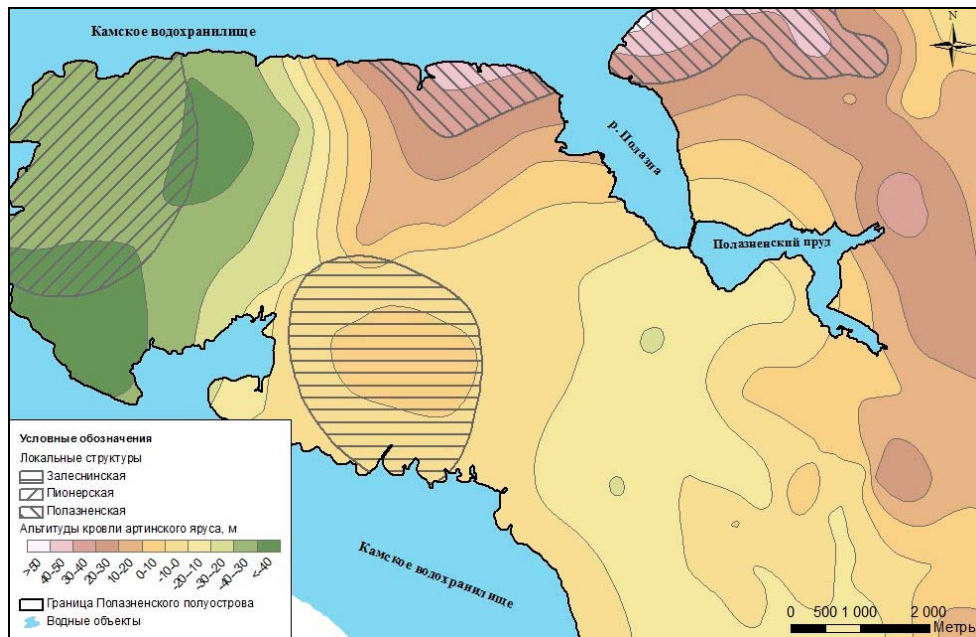


Рис. 1. Структурный план по кровле пород артинского яруса территории Полазненского полуострова и расположение локальных поднятий

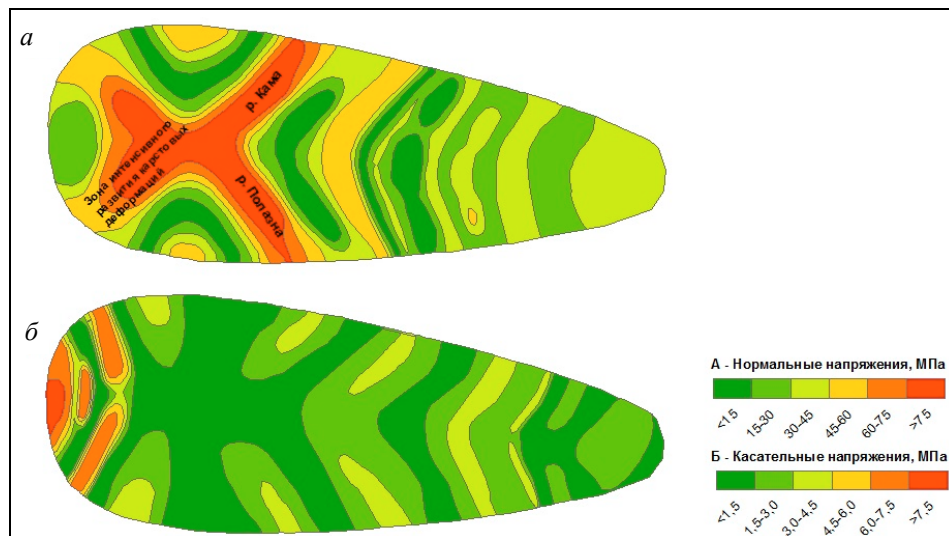


Рис. 2. Схемы распределения напряжений: а – наибольших главных напряжений (σ_y); б – касательных напряжений (τ_{xy}) при амплитуде изгиба пласта 10 м (в условных границах) [4]

Необходимо отметить, что даже при минимальных значениях амплитуды поднятия пласта (0.1–1.0 м) нормальные напряжения на один-два порядка превосходят касательные. Касательные напряжения, значения которых превосходят прочность пород, появляются лишь при значительных изгибах пласта.

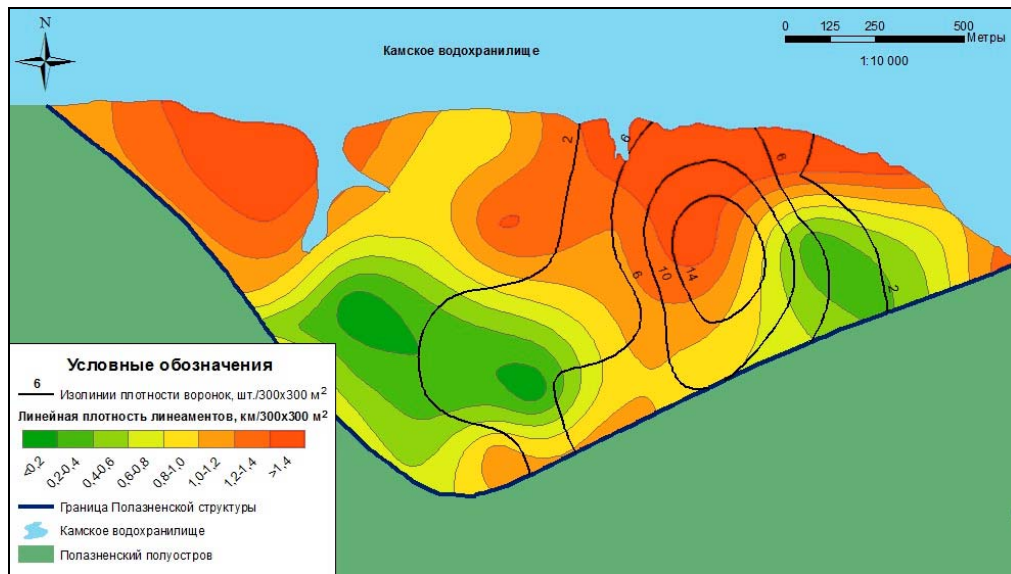


Рис. 3. Поля распределений линейной плотности линеаментов и плотности карстовых воронок

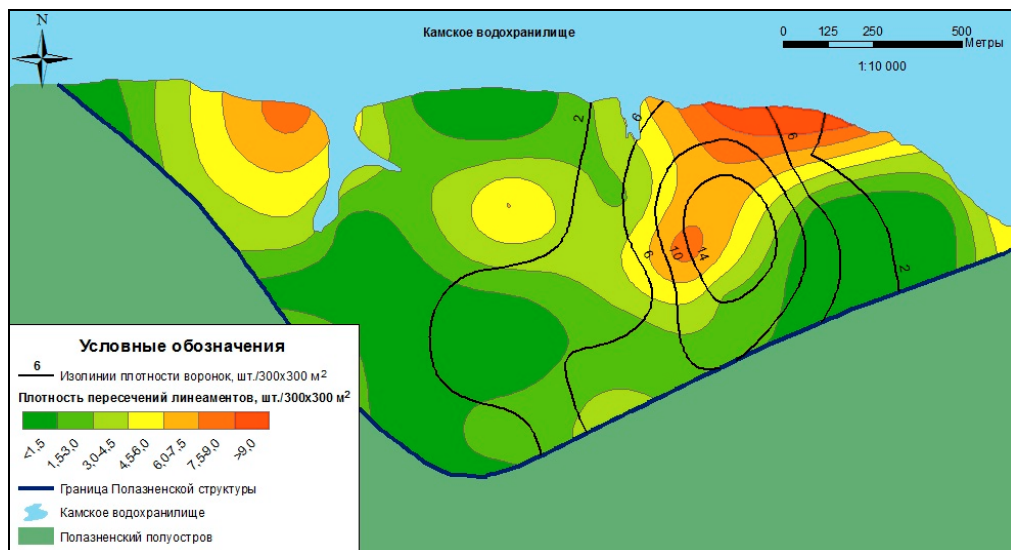


Рис. 4. Поля распределений плотности пересечений линеаментов и плотности карстовых воронок

Очевидно, что распределение напряжений как минимум двухуровневое: первый уровень контролируется общим изгибом пласта складки как единого целого с максимумами, пространственно соответствующими центральной части структуры, второй – определяется флуктуациями значений поля напряжений и контролируется степенью деформированности пласта в пределах элементов складки. В данном случае на распределение напряжений оказывают влияние и геометрия структуры и элементы залегания пород в пределах крыльев [4].

Одним из методов детализации структурно-тектонического строения территории являются аэрокосмогеологические исследования. Структурно-геологические образования в большинстве своем проявляются на аэро- и космоснимках через геоморфологические и ландшафтные индикаторы. При этом сходные по геологическому содержанию объекты, находясь в различных структурно-геоморфологических и ландшафтных условиях, могут иметь различные проявления на местности и снимках. Таким образом, орографические элементы земной поверхности обусловлены геологической структурой, причем в основном ее неотектоническим планом.

Объектами исследования с целью выявления границ блоковых структур и зон тектонических нарушений методами дешифрирования на аэро- и космозображениях служат системы прямолинейных линеаментов.

В практике карстологического анализа часто используют такие показатели линеаментного анализа, как линейная плотность линеаментов (L_m) и плотность их пересечений (K_m). Линейная плотность линеаментов рассчитывается как суммарная протяженность всех линеаментов в квадрате сетки. Повышенные значения линейной плотности линеаментов рассматриваются нами как определитель транзита подземных вод и показатель общей тектонической раздробленности территории, по показателю плотности пересечения линеаментов выявляются участки водопоглощения – перспективные для развития подземных карстовых форм.

Анализ полей распределения линейной плотности линеаментов и плотности воронок показывает, что в районе максимальной плотности воронок наблюдаются средние и максимальные значения плотности линеаментов (рис. 3). В количественном отношении наблюдается прямо пропорциональная зависимость между поверхностной закарстованностью и линейной плотностью линеаментов. Несколько иная картина наблюдается в отношении показателя K_m . Пик развития поверхностного карста приходится на площади преимущественно со средними значениями плотности пересечений линеаментов (рис. 4).

Третий рассматриваемый параметр – удаленность от линеаментов. Данный показатель наиболее представлен при определении приуроченности карстопоявлений к линеаментам. Данные закономерности подмечены авторами не только в пределах данной локальной структуры, но и в районах развития карста различных геоструктурных обстановок (горно-складчатых, переходных, платформенных) Пермского края [5] (рис. 5). Полученное соотношение больше всего подходит под описание экспоненциального закона распределения случайной величины.

Аномальным участком в плане закарстованности является юго-западная часть крыла Полазненского поднятия. Формирование карстовых форм здесь объясняется благоприятными тектоническими и гидрогеологическими условиями, в частности гидравлическим влиянием уровня режима Камского водохранилища. В прибрежной зоне водохранилища количество поверхностных карстовых форм достигает 30 шт. на 500 м².

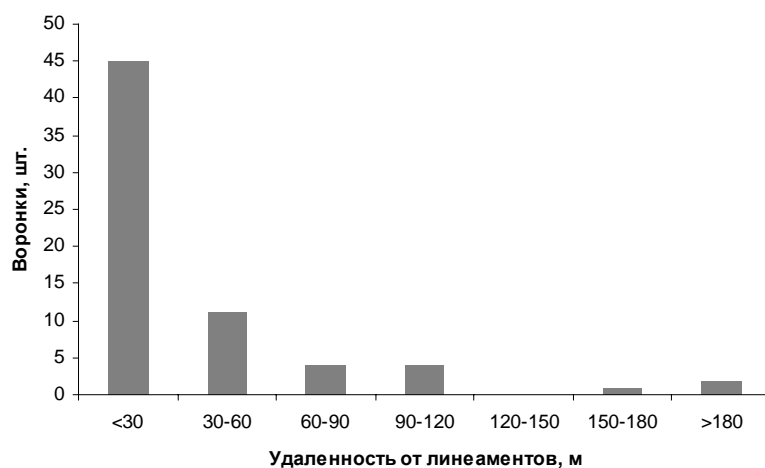


Рис. 5. Зависимость количества карстовых воронок от степени их удаленности от линеаментов

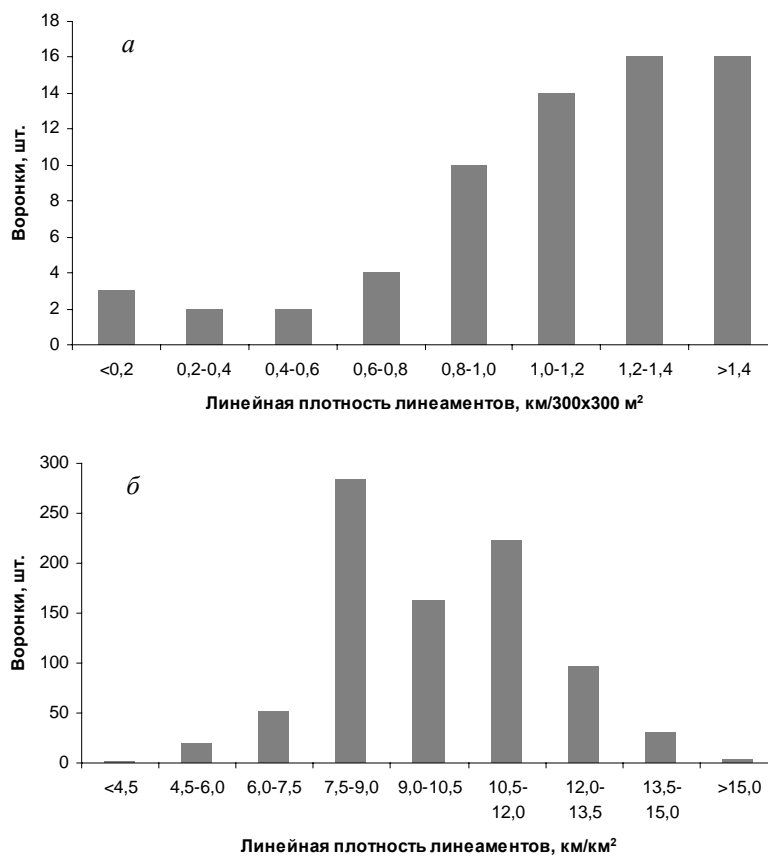


Рис. 6. Частота встречаемости карстовых воронок в пределах: *а* – Полазненской локальной структуры, *б* – Полазненского полуострова

Основной вклад в распределение карстовых воронок вносит участок сочленения трех зональных линеаментов различной пространственной ориентировки. По-видимому, здесь важным моментом является структурная кинематика разломов. Скорее всего, в этой зоне неоднократно происходили смены направлений тектонического стресса, блоковых подвижек пород, что приводило к неоднократному раскрытию старых и формированию новых систем трещин, развитию тем самым подземных и поверхностных карстовых форм.

Влияние локальной структуры на закарстованность, в нашем случае представленной Полазненским поднятием, оценивается через сравнение распределения карстовых форм относительно линеаментов в пределах локальной структуры с аналогичным распределением в пределах всего полуострова. Наиболее четко роль локальной структуры на «положительное» развитие карста определена через линейную плотность линеаментов, где в границах структуры с увеличением плотности линеаментов возрастает плотность карстовых форм, а за пределами структуры, на остальной части Полазненского полуострова воронки приурочены к участкам, характеризующимся фоновым значениям линейной плотности линеаментов (рис. 6).

Резюмируя сказанное, отметим роль напряжений в формировании трещин отрыва и скалывания и вторичной трещиноватости (проницаемости) как благоприятного тектонического фактора карстообразования. Дополняют развитие карстового процесса и гидрогеологические особенности территории, прежде всего уровень режим водохранилища, гидравлически связанный с горизонтом трещинно-карстовых вод. В конечном счете эта связь определяет мощность зоны вертикальной циркуляции подземных вод в карстовом массиве и оказывает опресняющее воздействие на подземные воды со стороны водохранилища.

Summary

D.R. Zolotarev, V.N. Kataev. An Analysis of Correlation between the Tectonic Pattern and Karstification within the Polaznenskaya Local Structure.

The paper presents calculation results for the stress state of rocks in the Polaznenskaya local structure. A lineament analysis of the area has been carried out. A set of maps based on the lineament data has been constructed. The spatial correlation between the karst forms and the lineament tectonics has been determined.

Key words: karst, stress state of rocks, lineament tectonics, distribution of karst forms.

Литература

1. *Печеркин А.И.* Геодинамика сульфатного карста. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. – 172 с.
2. *Катаев В.Н.* Особенности инженерного освоения участков развития подаллювиального карста // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы региональной науч.-практ. конф. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 2003. – С. 250–252.
3. *Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г.* Карст и пещеры Пермской области. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. – 200 с.
4. *Печеркин А.И., Катаев В.Н.* К расчету напряжений, возникающих при формировании платформенных брахиантиклиналей // Инженерная геология. – 1983. – № 5. – С. 75–83.

5. Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. Роль структурно-тектонических особенностей территории в развитии карстовых процессов // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы Междунар. конф. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2009. – С. 458–462.

Поступила в редакцию
11.05.11

Золотарев Денис Рафаилович – аспирант, инженер научно-исследовательской части Пермского государственного университета.

E-mail: deniszolotarev@bk.ru

Катаев Валерий Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующей кафедрой динамической геологией и гидрогеологией Пермского государственного университета.

E-mail: kataev@psu.ru