

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТЕКТОНИКИ НА РАЗВИТИЕ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ

LINEAMENT TECTONIC INFLUENCE ON DEVELOPMENT OF KARST PROCESSES AT THE LOCAL LEVEL

ЗОЛОТАРЕВ Д.Р.

Инженер научно-исследовательской части Пермского государственного национального исследовательского университета, zolotarevdr@gmail.com

КАТАЕВ В.Н.

Заведующий кафедрой динамической геологии и гидрогеологии геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета, д.г.-м.н., профессор, kataev@psu.ru

ZOLOTAREV D.R.

An engineer of the Research Sector of Perm State National Research University, zolotarevdr@gmail.com

KATAEV V.N.

The head of the dynamic geology and hydrogeology department of the geology faculty of Perm State National Research University, doctor of science (Geology and Mineralogy), professor, kataev@psu.ru

Ключевые слова: линеаменты; карстовые формы; воронки; полости; зоны дробления; средний диаметр; вертикальная мощность (высота); индекс морфометрии; закон распределения.

Аннотация: статья посвящена исследованию воздействия линеаментной тектоники на развитие карстовых процессов на локальном уровне с использованием выделения линеаментов по материалам дистанционного зондирования Земли, определению количественных зависимостей распределения закарстованности и прогнозированию ее возникновения в зависимости от конфигурации линеаментной сети.

Key words: lineaments; karst forms; sinkholes; caverns; breaking zones; average diameter; vertical thickness (height); morphometry index; distribution law.

Abstract: the article deals with investigation of lineament tectonic influence on development of karst processes at the local level using discrimination of lineaments in Earth remote sensing materials, determination of quantitative dependences of karst distribution and prognostication of karst formation depending on the lineament net configuration.

Современные задачи карстоведения ориентированы на количественный прогноз развития карста. По мере накопления фактического материала приоритетом является уста-

новление количественных зависимостей между проявлениями карстового процесса и факторами его развития. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться, это отсутствие

«идеальной платформы» для исследований, представляющей собой равномерно или квазирегулярно изученную закарстованную территорию с множеством показателей строения карстового массива, отождествляющихся с соответствующими факторами развития карста.

Цель настоящего исследования — установление связей между линеаментной сетью и закарстованностью на локальном уровне.

Территория Западного Урала, в частности Пермского Приуралья, осложнена карстовыми процессами. На региональном и локальном уровнях выявлены участки с аномальной закарстованностью. Некоторые из них активно изучены — это относится прежде всего к урбанизированным площадям.

Часть регионов с интенсивным развитием карбонатно-сульфатного карста активно исследована карстоведами, в частности г. Кунгур, Полазненский полуостров, рассматриваемые в настоящей работе (рис. 1). Они относятся к территориям с различной геоструктурной обстановкой — переходной (в зоне краевых прогибов, г. Кунгуре) и платформенной (на Полазненском полуострове).

В ходе выполнения региональной программы «Мониторинг закарстованных территорий Пермского края» (2006–2010 годы) были собраны архивные материалы карстологических исследований, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий с последующим созданием баз данных с пространственной привязкой карстовых форм и их детальным описанием.

По результатам проведенных аэрокосмогеологических исследований Пермского края территориально оценена его геодинамическая активность через картирование плотности линеаментов. По карте геодинамических зон Пермского края, составленной И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком, территории Полазненского полуострова и г. Кунгура характеризуются чрезвычайно вы-

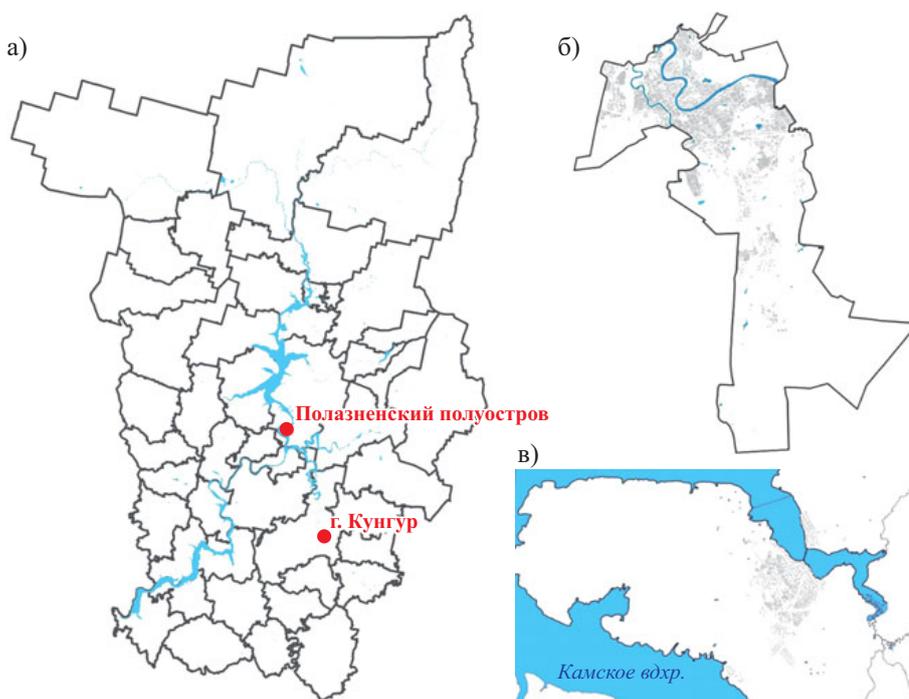


Рис. 1. Схема расположения исследуемых территорий Пермского края (а) и рассматриваемые участки — г. Кунгур (б) и Полазненский полуостров (в)

сокой и высокой геодинамической активностью соответственно [4].

Одним из итогов структурного дешифрирования материалов дистанционного зондирования территорий г. Кунгура и Полазненского полуострова стало картирование линеаментов различных таксономических рангов — региональных (протяженностью более 100 км), зональных (25–100 км), локальных (5–25 км) и коротких (менее 5 км). Линеаменты трассируют элементы дизъюнктивной тектоники. В частности, региональные и зональные таксоны пространственно совпадают с разрывными нарушениями кристаллического фундамента и нижней части осадочного чехла, локальные и короткие идентифицируют тектонические трещины верхней части осадочного чехла, области повышенной трещиноватости пород. Проявления линеаментов в строении земной поверхности обусловлены возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры [3].

Пространственная конфигурация линеаментной сети авторами оценивается через четыре экспериментальных показателя, каждый из которых несет в себе уникальный смысл в геологическом понимании.

1. **Линейная плотность линеаментов (L , км/км²)** рассчитывается как их суммарная длина в квадрате сетки. Данный показатель позволяет приблизительно оценить степень трещиноватости и раздробленности карстового массива, указывающих на потенциальные направления транзита подземных вод (рис. 2, а):

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S_{\text{кв}}}, \quad (1)$$

где L_i — протяженность отдельного (i -го) линеамента в квадрате сетки, км; $S_{\text{кв}}$ — площадь квадрата сетки, км²;

n — количество линеаментов в квадрате сетки.

2. **Количество пересечений линеаментов на единицу площади (K , шт./км²)** оценивается как индикатор относительной величины водообильности грунтовой толщи, концентрации поверхностного, подземного потоков и может применяться при выявлении потенциальной локализации подземных форм карста (рис. 2, б):

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{S}, \quad (2)$$

где K_i — количество пересечений линеаментов в пределах i -го квадрата сетки, шт.; n — общее количество квадратов сетки на исследуемой территории; $S_{\text{кв}}$ — площадь исследуемой территории, км².

3. По **удаленности исследуемого участка от линеамента (U , м)** можно судить о степени сохранности и относительной трещиноватости горных пород в этом месте.

4. Пересекаясь друг с другом, линеаменты образуют блоки, по площадям которых находится **показатель блочности (B , км²)**. Он рассчитывается путем осреднения площадей блоков, ограниченных линеаментами, в квадрате сетки (рис. 2, в):

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n S_{B_i}}{n}, \quad (3)$$

где S_{B_i} — площадь отдельного блока, ограниченного линеаментами, км²; n — количество блоков, ограниченных линеаментами, в квадрате сетки.

Блоки, ограниченные региональными или зональными линеаментами, представляют собой тектонические блоки.

Получение статистических данных для анализа соотношений распределения закарстованности относительно

линеаментной тектоники (впрочем, как и в других случаях сравнения двух показателей) осуществимо различными методами.

Во-первых, это построение векторных моделей интерполяции показателей линеаментной тектоники. При этом значения этих показателей группируются в классы (интервалы), после чего подсчитывается количество карстовых форм, попавших в тот или иной интервал. Конечным статистическим итогом является построение диаграмм, гистограмм и т.п.

Второй метод дает более качественные результаты и заключается в построении карт линеаментных показателей и карт плотностей карстовых форм. По результатам картографирования сравниваются поля (интервалы) значений показателей относительно друг друга.

Однако наиболее точный метод при получении статистических данных основан на присвоении каждому карстопроявлению точечного значения с карты линеаментного показателя. Поскольку карст характеризуется как многогранный процесс, зависящий от множества компонентов строения карстового массива, зачастую трудно выделить влияние отдельного фактора (особенно в пределах территорий с техногенной нагрузкой) на процесс карстообразования. Таким образом, в нашем случае применен третий метод как более точный и удобный для количественного прогнозирования карстового процесса.

Сопоставление распределений морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм с линеаментными показателями осуществляется путем приведения их к общему виду. Для этого каждое частное значение рассматриваемой морфометрической и линеаментной характеристики делится на ее территориальный максимум (максимальное значение в пределах всей исследуемой террито-

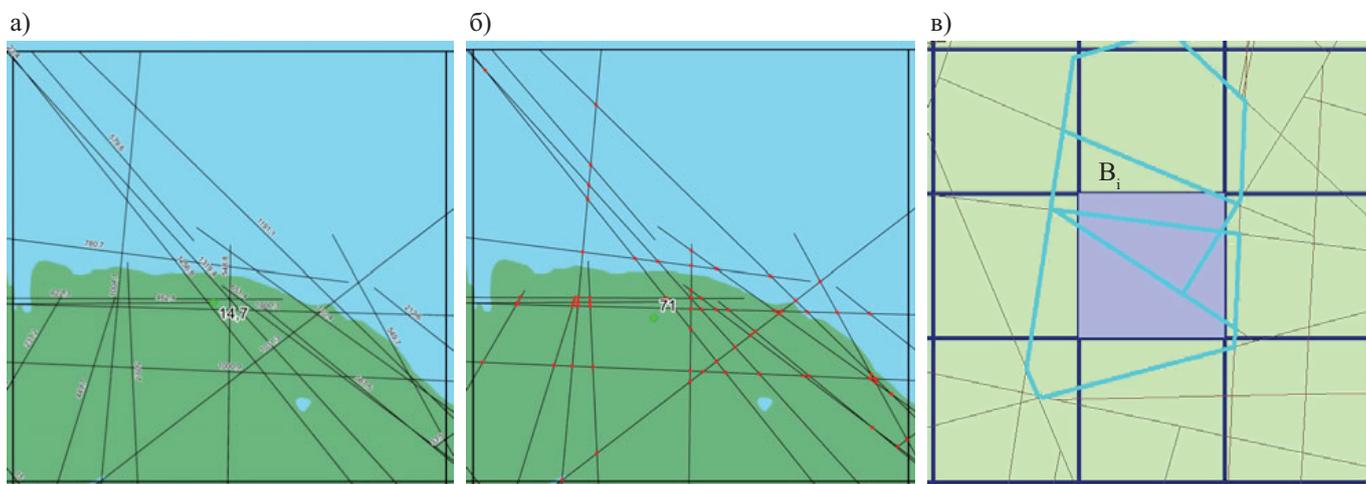


Рис. 2. Примеры определения показателей линеаментной тектоники: а — линейной плотности линеаментов; б — количества пересечений линеаментов; в — блочности

рии). В результате исследователь получает возможность использования индексных оценок морфометрии карстовых форм, зон дробления и линейментных показателей, д.е.:

$$I_{d_i} = \frac{d_i}{\max d}; \quad (4)$$

$$I_{h_{pi}} = \frac{h_{pi}}{\max h_p}; \quad (5)$$

$$I_{h_{zi}} = \frac{h_{zi}}{\max h_z}; \quad (6)$$

$$I_{L_i} = \frac{L_i}{\max L}; \quad (7)$$

$$I_{K_i} = \frac{K_i}{\max K}; \quad (8)$$

$$I_{B_i} = \frac{B_i}{\max B}; \quad (9)$$

$$I_{U_i} = \frac{U_i}{\max U}; \quad (10)$$

где L_{d_i} , $L_{h_{pi}}$, $L_{h_{zi}}$, L_{L_i} , L_{K_i} , L_{B_i} , L_{U_i} — индексные оценки i -х значений показателей d , h_p , h_z , L , K , B , U соответственно; d — диаметр провалов и воронок, м;

h_p — высота полости, м; h_z — мощность зоны дробления, м.

Преимущество использования индексных оценок заключается не только в возможности сравнивать разноразмерные показатели друг с другом, но и в том, что в результате такой операции новые значения каждого из показателей изменяются в одинаковых пределах — от 0 до 1 (рис. 3, 4). При этом, чтобы получить истинное значение характеристики, достаточно выполнить обратную операцию — умножить ее индексное значение на территориальный максимум [5].

По результатам многолетних наблюдений на территории г. Кунгура сотрудниками лаборатории-станции при Горном институте Уральского отделения Российской академии наук (ГИ УрО РАН) собраны материалы ранее проводившихся инженерно-геологических и карстологических исследований, включающие информацию по воронкам с провалами (775 шт.). При обработке материалов этих наблюдений авторами выделены карстовые полости (508 шт.) с зонами дробления (372 шт.). Под зонами дробления понимаются ослабленные участки карстового массива, характеризующиеся высокой степенью раздробленности (рухляковым состоянием) и трещиноватости. Помимо количественной оценки закарстованности рассмотре-

на морфометрия карстопоявлений: вертикальная мощность для полостей и зон дробления, средний диаметр для провалов и воронок (полученный осреднением малого и большого диаметра).

Сульфатно-карбонатную толщу, в пределах которой расположен г. Кунгур, пересекает совокупность дизъюнктивов регионального уровня, формируя в центральной части города клиновидный тектоноблок северного окончания Башкирского свода, являющегося структурой третьего порядка [3]. Выделенная совокупность линейментов пространственно совпадает с зонами разломов и простирается во всех основных направлениях, количественно преобладая в меридиональном и северо-восточном.

В пределах города линейная плотность линейментов варьирует в диапазоне 1,1–12,4 км/км² (рис. 5, а). Участки с максимальными значениями L дислоцируются у северной излучины р. Сылвы и южнее наиболее узкой части междуречья рек Сылва и Ирень. Указанные участки пространственно не совпадают с полигонами максимального развития карста. Территориально выделяется несколько локаций с интенсивной закарстованностью. При этом все они развиты в пределах средних или близких к ним значений L .

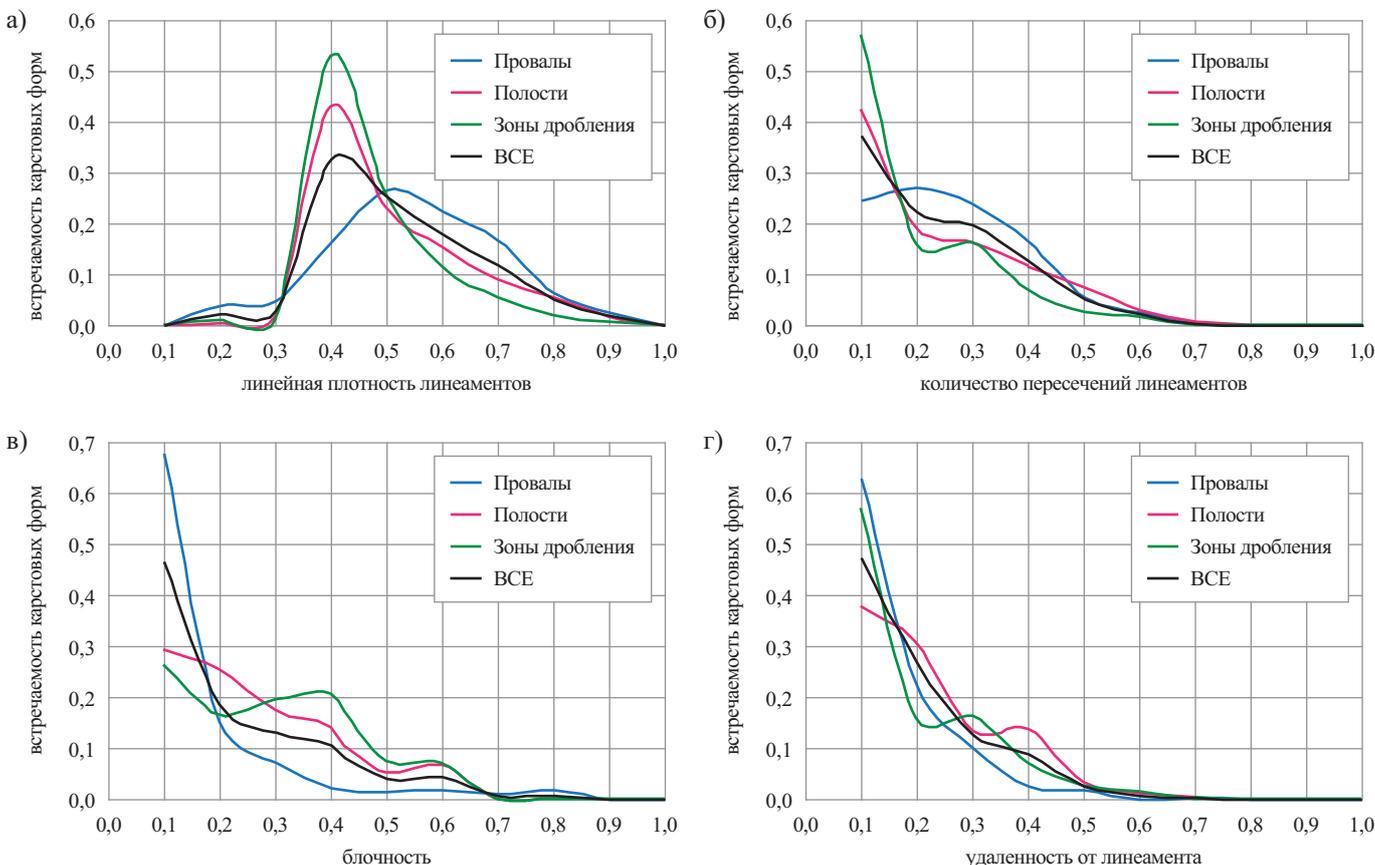


Рис. 3. Частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в пределах различных интервалов значений линейментных показателей (ось X), выраженных в индексной форме: а — линейная плотность линейментов; б — количество пересечений линейментов; в — блочность; г — удаленность от линеймента

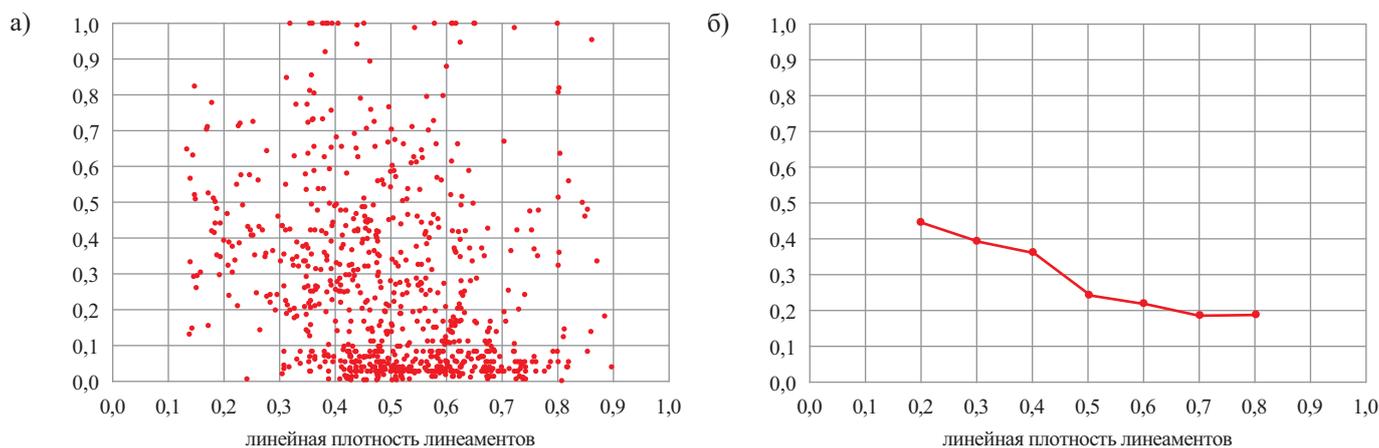


Рис. 4. Поле точек рассеивания диаметров провалов относительно линейной плотности линеаментов (а) и кривая изменения средних диаметров провалов по интервалам линейной плотности линеаментов (б)

Зонально карта количества пересечений линеаментов на единицу площади (K) повторяет карту их линейной плотности (L). Распределение как поверхностных, так и подземных карстовых форм по показателю K контрастно отличается от распределения по L . В основной своей массе карстовые формы приурочены к минимальным значениям K , а с возрастанием числа пересечений линеаментов количество форм карста экспоненциально убывает. Это прежде всего объясняется тем, что на территории города основной фон значений K приходится на интервалы минимальных значений этого показателя, а несколько южнее наиболее узкой части междуречья рек Сылва и Ирень наблюдается аномальный верхний экстремум количества пересечений, что обуславливает минимальную площадь участков, в пределах которых значения K являются средними и высокими (рис. 5, б).

Если говорить о показателях блочности (B) и удаленности исследуемого участка от линеамента (U), то интенсивность карстообразования убывает по мере увеличения площади межтрещинных (ограниченных линеаментами) блоков и роста величины U (см. рис. 3; рис. 5, в, г).

На основе сопоставления морфометрии карстовых форм с картами линеаментных показателей получены поля точек рассеивания показателей относительно друг друга. В подавляющем числе случаев поля точек двух зависимых показателей крайне нерепрезентативны и хаотичны. Для осуществления кондиционного прогноза необходимо решить проблему отбраковки значений из генеральной совокупности. Решение этой задачи кроется в нахождении тренда зависимости средних значений морфометрических параметров карстовых форм от показателей линеаментной тектоники (см. рис. 4) [1].

При анализе изменения морфометрии для поверхностных и подземных

карстовых форм отмечаются различные тенденции. Общая закономерность заключается в уменьшении размеров форм карста при увеличении значений L и K . И наоборот, их размеры увеличиваются при возрастании размеров межлинеаментных блоков, но начиная с определенной величины их площади (рис. 6). Связь морфометрии с удаленностью от линеамента не имеет выраженного тренда и остается примерно на одном уровне.

После этой операции экстрагируются значения, наиболее отклоняющиеся от наблюдаемой зависимости, и по оставшемуся массиву данных определяется прогнозное уравнение, отражающее зависимость морфометрической характеристики карстовой формы от показателя линеаментной тектоники. Таким образом, прогнозное уравнение составляется лишь по небольшой части массива данных (рис. 7). Поскольку морфометрия как поверхностных, так и подземных карстопроявлений в зависимости от удаленности от линеамента не имеет выраженных изменений, прогнозное уравнение для морфометрии форм карста в зависимости от показателя U отсутствует.

При локальных исследованиях возникает вопрос о применимости линеаментного анализа для территорий с различным геологическим строением.

В пределах г. Кунгура по данным бурения типизирована приповерхностная толща горных пород, в которой наиболее активно протекают карстовые процессы. В пределах города выделено семь типов геологических разрезов. Центральная часть г. Кунгура находится на сочленении двух участков, в пределах которых под четвертичными и неоген-четвертичными отложениями развиваются два основных литологических типа карста — карбонатно-сульфатного и карбонатного (рис. 8, 9). Между картами показателей линеаментного рисунка для этих двух участков различия будут лишь для удаленности от линеаментов, так как в зо-

не карбонатного карста густота последних на порядок меньше, чем на территории развития карбонатно-сульфатного карста.

Поэтому были выбраны данные по закарстованности в пределах территории с V типом геологического разреза (см. рис. 8, 9), характеризующегося смешанным литологическим составом иренской толщи (сульфатные + карбонатные породы). В ее пределы попадает 70–80% карстовых форм. Для этой территории обнаруживается повсеместное соответствие при сопоставлении распределения карстопроявлений по количеству и морфометрическим параметрам с распределением показателей линеаментной тектоники. Различия прослеживаются лишь при анализе изменений геометрических размеров карстовых форм относительно их удаленности от линеамента. Если при анализе генеральной совокупности их морфометрия остается практически неизменной и не имеет сколько-нибудь выраженной направленности изменений, то в пределах территории с V типом разреза наблюдается незначительное снижение диаметров и вертикальных мощностей карстопроявлений по сравнению с их средними значениями для всей совокупности.

Рассмотрим другой территориальный объект — Полазненский полуостров. Его особенностью является полная приуроченность к проявлениям подальлювиального («камского» по Г.А. Максимовичу) типа карста. Этот тип характеризуется тем, что под толщей водопроницаемых дисперсных накоплений преимущественно аллювиального генезиса залегают трещиноватые закарстованные породы [2]. Сама схема развития карста здесь принципиально иная. Превалирующее влияние на процесс карстообразования оказывает Камское водохранилище через опресняющее действие благодаря гидравлической связи с трещинно-карстовыми водоносными горизонтами. В тектоническом плане

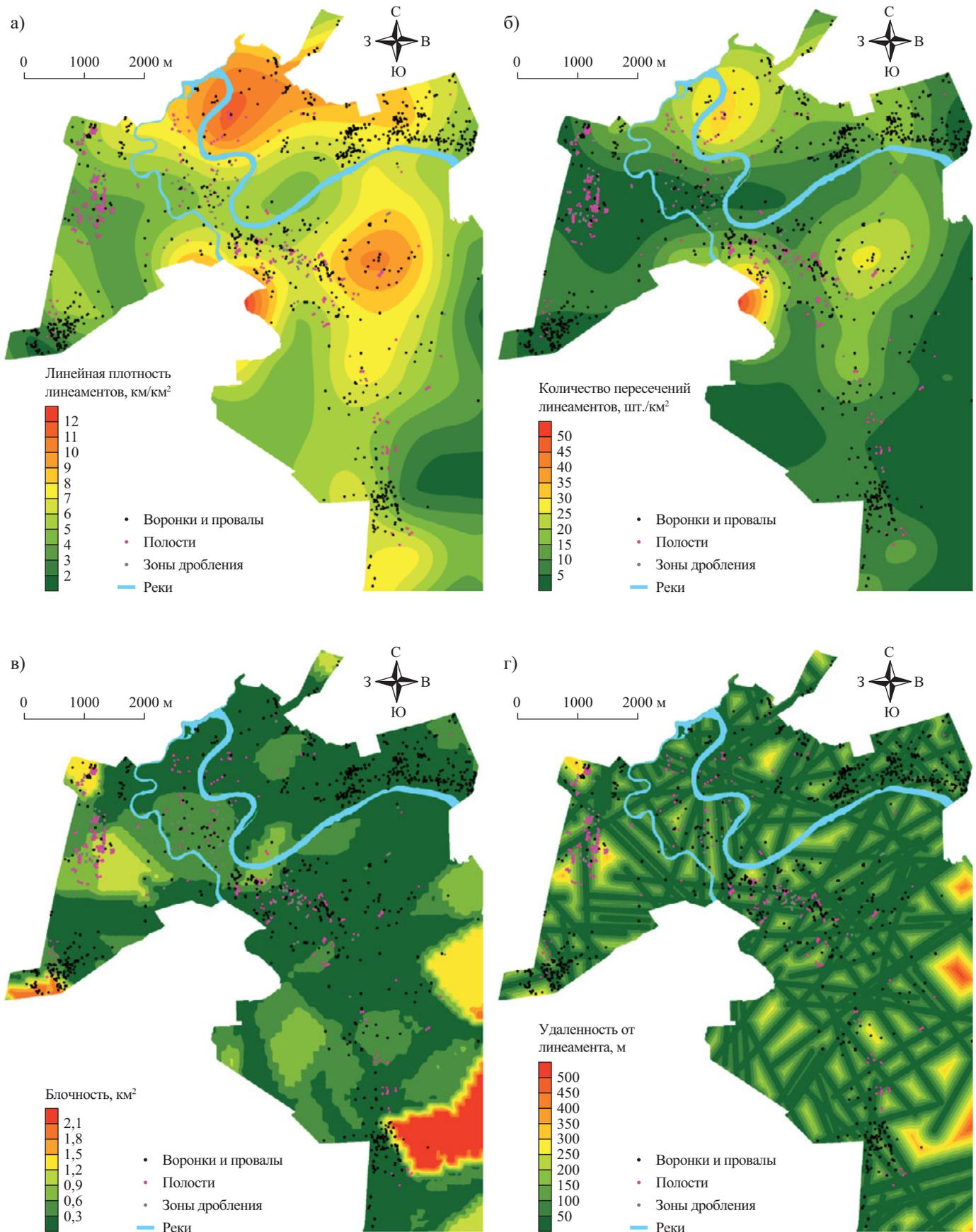


Рис. 6. Размер карстовых форм (ось Y) в пределах различных интервалов значений линеаментных показателей (ось X), выраженных в индексной форме: а — линейная плотность линеаментов; б — количество пересечений линеаментов; в — блочность; г — удаленность от линеамента

Полазненский полуостров расположен на северо-восточной окраине Пермского свода в пределах Межевской валовой зоны, являющейся положительной тектонической структурой III порядка. Эта структура относится к категории тектоно-седиментационных, сформировавшихся в бортовой зоне Камско-Кинельской системы прогибов.

В отличие от территории г. Кунгура на полуострове наблюдается повышенная концентрация линейментов. Количество их пересечений достигает в районе Полазненского пруда аномального значения, равного 91 шт./км² (рис. 10). В пределах полуострова отмечено наличие множества локальных линейментов широтного и меридионального простирания. Другая совокупность линейментов оконтуривает эту территорию по побережью с максимальными сгущениями на участках Полазненского залива и Полазненского пруда.

Территория полуострова детально изучалась на предмет карста сотрудниками кафедры инженерной геологии и гидрогеологии Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) начиная с 50-х годов XX века. Сотрудниками ОАО «ВерхнекамГИСИз» здесь закартировано 942 воронки с провалами, по результатам буровых работ выделено 146 полостей и 82 зоны дробления. Исследованиями охвачены в основном урбанизированные и прилегающие к ним территории (пгт. Полазна, пос. Боброво, пос. Демидково), для западной же залесенной части полуострова карстологическая рекогносцировка отсутствует.

Зависимость распределения карстопоявлений от линейментов в пределах полуострова весьма схожа с картиной, полученной для территории г. Кунгура. Изменчивость морфометрии подземных форм выглядит хаотичной (отсутствует информация по диаметрам воронок и провалов).

При рассмотрении воздействия линейментной тектоники на развитие карстовых процессов для всей совокупности карстовых форм на двух рассмотренных в статье территориальных объектах вырисовываются общие тенденции для разных геоструктурных обстановок. Это справедливо прежде всего в отношении пространственного распределения карстовых форм. Результаты анализа свидетельствуют о том, что на Полазненском полуострове показатель L тяготеет к меньшим средним значениям (чем на территории г. Кунгура) из-за высокой плотности линейментов. Закарстованность экспоненциально убывает с возрастанием показателя K и B и с удалением от линеймента (рис. 11). Геологическое строение на локальном уровне не оказывает принципиального влияния на распределение карстовых форм относительно линейментов.

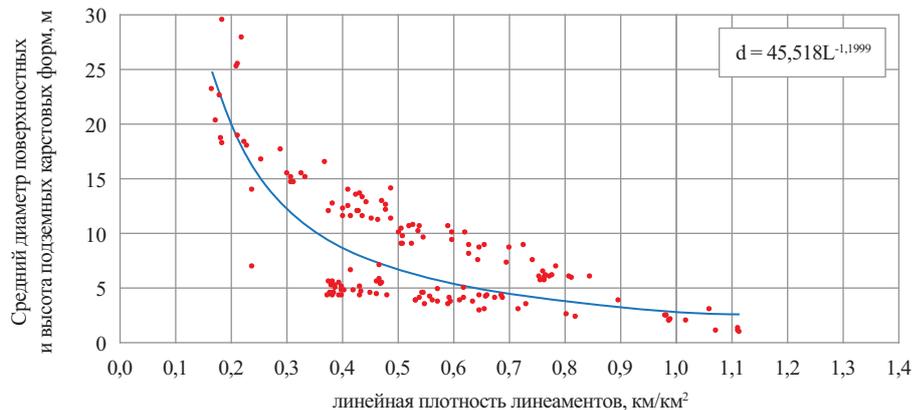


Рис. 7. Прогнозное уравнение среднего диаметра карстовых провалов и воронок в зависимости от линейной плотности линейментов

Распределение размеров (диаметров и мощностей) карстопоявлений также подчиняется выраженной закономерности: они убывают по мере увеличения концентрации линейментов. Показатели морфометрии форм карста возрастают лишь при увеличении показателя блочности. Размеры карстовых форм при изменении пока-

зателей количества пересечений линейментов и удаленности от линеймента остаются относительно постоянными (см. рис. 11).

Полученные прогнозные уравнения (см. таблицу) не универсальны — они лишь фиксируют текущую карстологическую ситуацию в данном районе. А для установления связей всеобщего

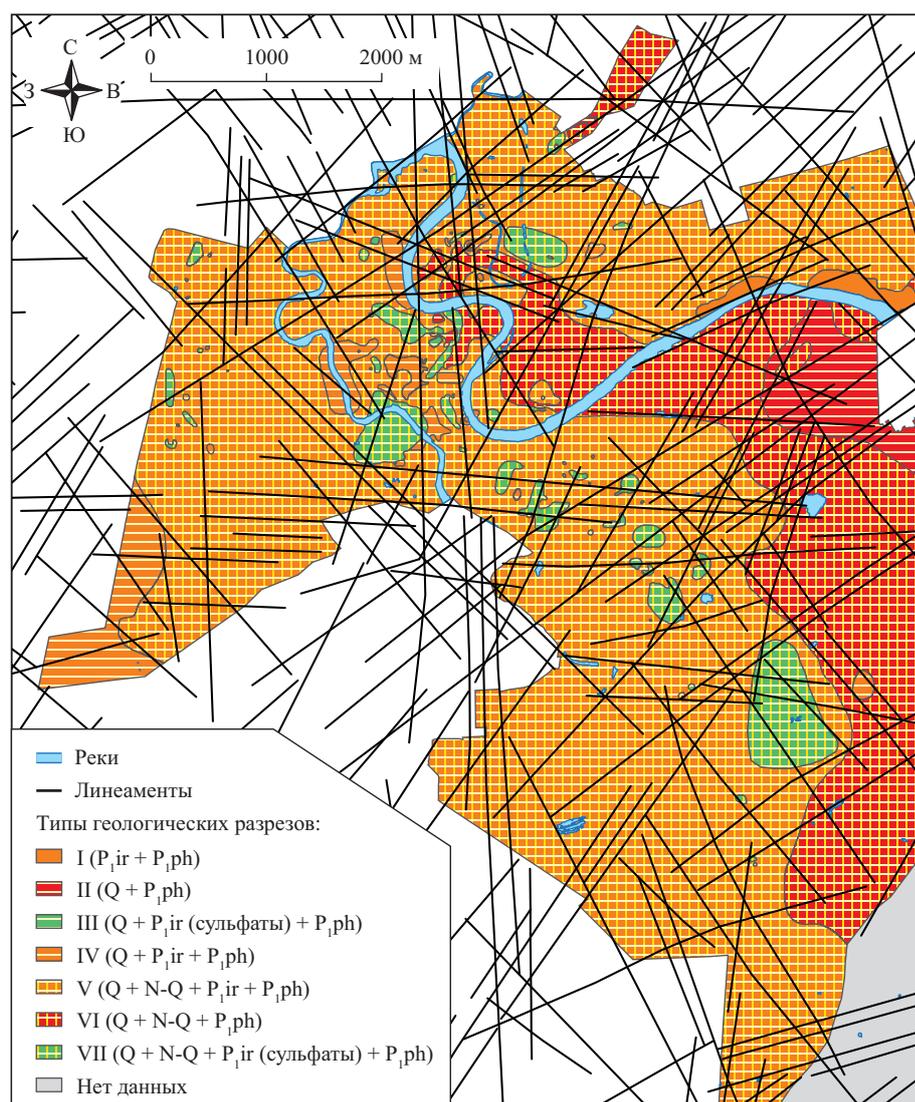


Рис. 8. Распространение типов геологических разрезов в черте г. Кунгура

Прогнозные уравнения для морфометрических характеристик карстовых форм в зависимости от линейных показателей*

Линеamentный показатель	Прогнозное уравнение
Линейная плотность линеamentов, км/км ²	$d = 42,287 \times L^{-0,7484}$
Блочность, км ²	$d = 5,8892 \times B^2 + 2,9513 \times B + 1,0744$

* d — прогнозные значения морфометрической характеристики карстовой формы (среднего диаметра поверхностных карстовых форм или вертикальной мощности полостей и зон дробления), м; L — линейная плотность линеamentов, км/км²; B — блочность, км².

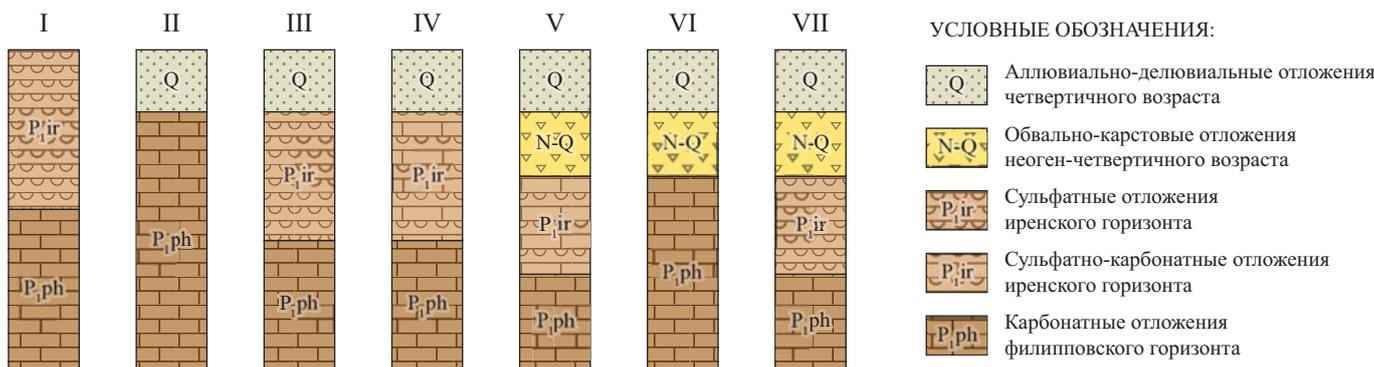


Рис. 9. Типы геологических разрезов, выделенные на территории г. Кунгура

характера необходим линеamentный анализ в пределах природных систем с различными геоструктурными обстановками.

Исследование взаимосвязи «линеamentы — карст» является относительно новым направлением в карстоведении, и кроме определения статистических закономерностей влияния линеamentов на процесс карстообразования важнейшей задачей является трактовка полученных результатов с геологических позиций. Поскольку по своей природе линеamentы тесно переплетены с разломной тектоникой и система-

ми трещиноватости в приповерхностных слоях осадочного чехла, взаимосвязи линеamentов с карстом вполне разумно обосновывать с позиций трещиноватости.

Участкам с минимальными значениями концентрации линеamentов соответствуют слабодробленные в тектоническом отношении площади. В такой обстановке система трещиноватости угнетена и процесс карстообразования протекает пассивно. Гораздо более интенсивному развитию карста подвержены территории с развитыми системами трещиноватости — это по-

лигоны со средней и максимальной концентрацией линеamentов (что мы и наблюдаем на локальном уровне исследования).

Необходимо отметить, что площади зон, соответствующих минимальным и максимальным индексным интервалам показателя L , примерно равны между собой и на порядок меньше площади зоны, соответствующей средним значениям (карта интерполяции линейной плотности линеamentов подчиняется нормальному закону распределения). Однако из рис. 11 видно, что для «симметричных» индексов линейной плотности линеamentов 0,2 и 0,9 формы карстопоявлений различны — при максимальной концентрации линеamentных структур карст развивается несколько активней.

Как уже отмечалось выше, основную площадь занимают участки с меньшим количеством пересечений линеamentов (по сравнению со средним для всей совокупности). Это вполне объясняется наличием двух аномальных пиков показателя K на территориях г. Кунгура и Полазненского полуострова, подразумевающих незначительную площадь участков со средними и высокими значениями K .

Также следует отметить, что закарстованность убывает вглубь массива и на определенном расстоянии от линеamentов ($U \geq 0,8$) вовсе затухает.

Показатели удаленности от линеamentов и количества их пересечений не применимы в качестве коэффициентов для прогноза морфометрических параметров карстовых форм. Размеры этих форм проявляют связь с показа-

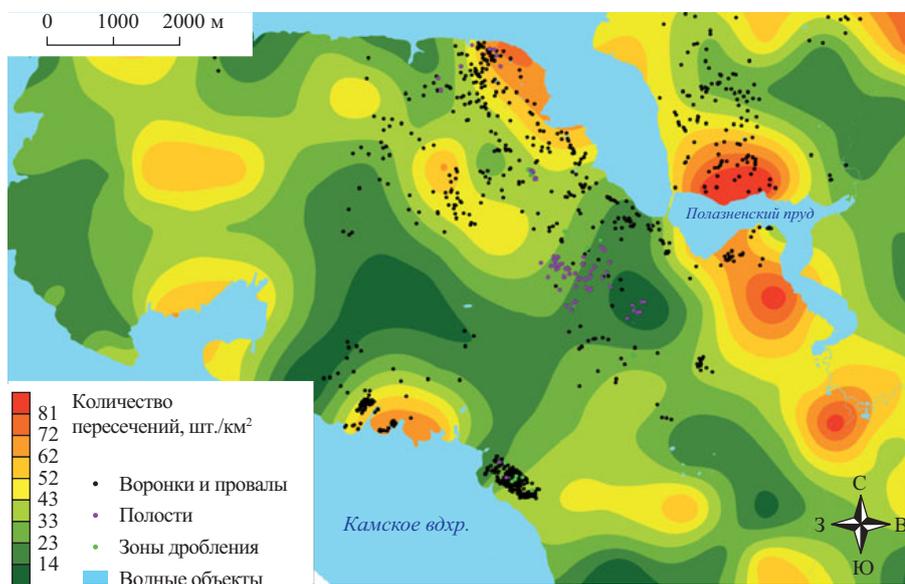


Рис. 10. Распространение карстопоявлений на Полазненском полуострове в пределах участков с различной плотностью пересечений линеamentов

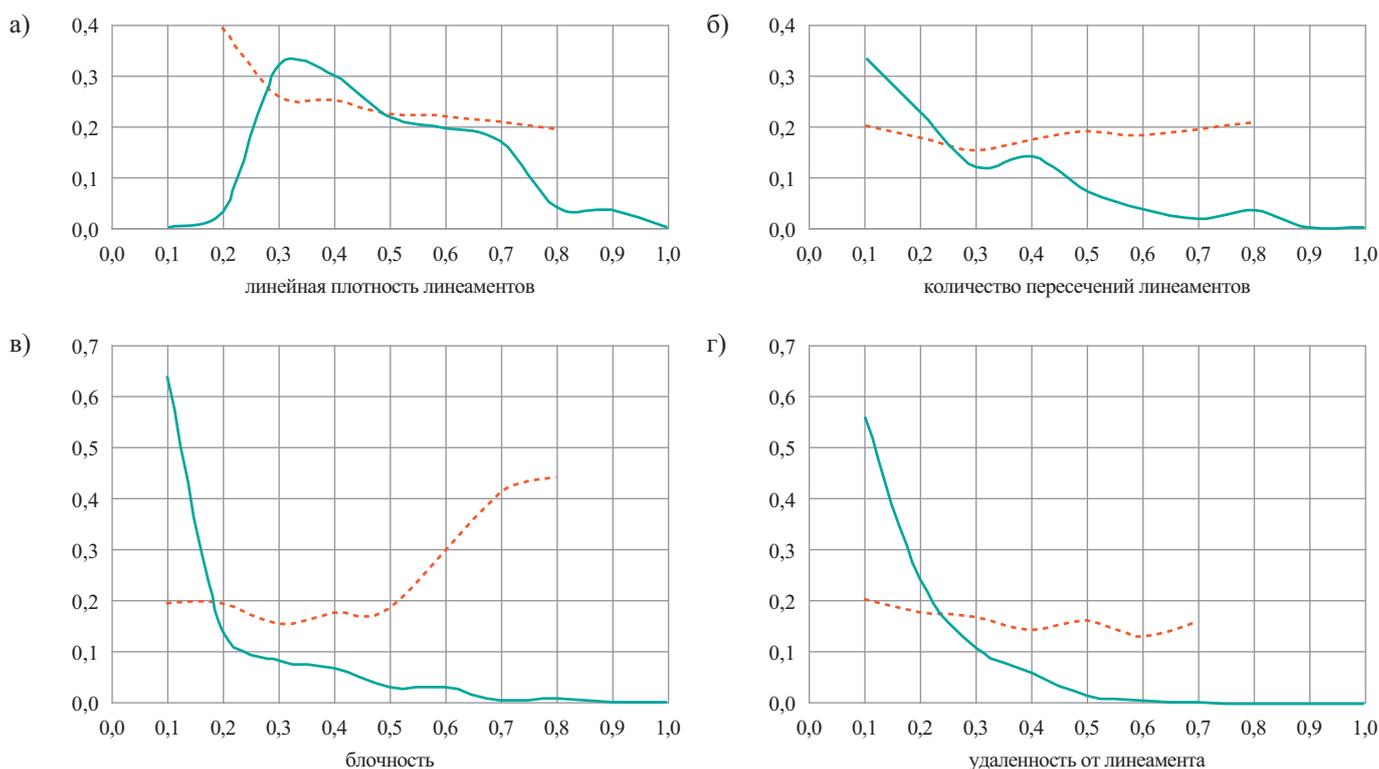


Рис. 11. Частоты (сплошные линии) и морфометрические размеры (штриховые линии) карстовых форм (ось Y) в пределах различных интервалов значений линейментных показателей (ось X), выраженных в индексной форме: а — линейная плотность линейментов; б — количество пересечений линейментов; в — блочность; г — удаленность от линеймента

телями линейной плотности линейментов и блочности карстового массива.

Периферийные и центральные участки блоков характеризуются различными условиями карстообразования. Так, мощность перекрывающих карстующуюся толщу отложений на контактах тектоноблоков и блоков более низкого порядка ниже, чем в центральных частях массива. Однако при удалении от контактов вглубь массива карстующиеся породы характеризуются более чистым литологическим составом и вследствие угнетенной трещиноватости являются относительно «целиковыми» зонами. На участках, соответствующих минимальным и средним интервалам блочности, значения диаметров и мощностей карстовых форм остаются примерно постоянными при индексе блочности 0,1–0,6, а далее возрастают на порядок. Здесь логично предположить, что характер трещиноватости в пределах блоков с минимальными и средними площадями примерно одинаков, так как ширина линейментных зон трещиноватости составляет от нескольких десятков метров до 500 м (в редких случаях больше), что полностью перекрывает блоки незначительной площади, ограниченные линейментами. На участках повышенной блочности в пределах территорий Полазненского полуострова и г. Кунгура значения удаленности от линеймента могут достигать 300–500 м, а значит, существуют потенциальные «целиковые» зоны.

Таким образом, в силу геологических и структурно-тектонических особенностей массивов их внутренние «целиковые» зоны с показателем блочности выше среднего характеризуются незначительным количеством карстовых форм, но с относительно крупными морфометрическими параметрами.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующий главный вывод: полученные распределения характеристик линейментов обусловлены не только прямым, но и опосредованным влиянием последних на развитие карста — через особые условия и факторы карстообразования, прежде всего через

трещиноватость и особенности литологического состава карстующихся пород. Фактор изменчивости геологического строения в пределах исследуемой территории практически не влияет на генерацию карстопроявлений в зависимости от линейментного рисунка.

Работа выполнена в рамках международного научного проекта «Развитие методологии риск-анализа хозяйственного освоения и оценки уязвимости подземных вод закарстованных территорий», финансируемого Министерством образования Пермского края из средств краевого бюджета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Прогностические показатели линейментной тектоники применительно к карстовому процессу на локальном уровне // *Материалы Международной научно-практической конференции «Геориск-2012»*. М.: Изд-во РУДН, 2012. Т. 1. С. 155–162.
2. Катаев В.Н. Особенности инженерного освоения участков развития подальлювиального карста // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы региональной научно-практической конференции*. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2003. С. 250–252.
3. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2010. 236 с.
4. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Пермского Приуралья на основе аэрокосмогеологических исследований. Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2011. С. 45–51.
5. Щербakov С.В., Катаев В.Н. К оценке морфометрических характеристик карстовых форм // *Инженерные изыскания*. 2012. № 1. С. 14–22.