

На правах рукописи



ЗОЛОТАРЕВ Денис Рафаилович

**ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ В ИНЖЕНЕРНОМ
КАРСТОВЕДЕНИИ НА ПРИМЕРЕ
ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

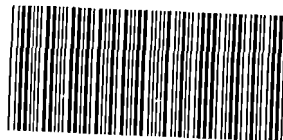
Специальность 25.00.08 – Инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2013

05 СЕН 2013



005532718

Работа выполнена на кафедре динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного национального исследовательского университета

Научный руководитель:

Катаев Валерий Николаевич,
доктор геолого-минералогических наук, профессор.
Проректор по научной работе и инновациям
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет».

Официальные оппоненты:

Гаев Аркадий Яковлевич,
доктор геолого-минералогических наук, профессор.
Директор Института экологических проблем
гидросферы при ФГБОУ ВПО Оренбургский
государственный университет.

Копылов Игорь Сергеевич,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент.
Ведущий научный сотрудник лаборатории
геологического моделирования и прогноза ЕНИ при
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет».

Ведущая организация:

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
«ПермНИПИнефть», г. Пермь.

Защита состоится «30» сентября 2013 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.04, созданного на базе ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», по адресу 620000, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, в аудитории 3336.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Уральского государственного горного университета.

Автореферат разослан «28» августа 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.280.04 доктор геолого-
минералогических наук, доцент



И.В. Абатурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развития карстоведения адекватная комплексная оценка карстовой опасности, в основе которой лежат представления о карстовом массиве как о динамической среде, заключается в установлении в количественных выражениях степени влияния природного строения массива с учетом его техногенного моделирования на пространственное распределение форм карста различных возрастных генераций, их параметры.

В основе эволюции карстового массива лежат изменения, происходящие во времени с его элементами. Структурно-тектонический каркас массива, представленный дизъюнктивными и пликтивными элементами, наиболее динамичен в своем влиянии на особенности пространственного распределения карстовых форм. Структурно-тектонические условия во многом определяют динамику всех остальных карстогенетических условий и, в конечном счете, оказывают существенное влияние на избирательность и направленность карстового процесса. Вместе с тем, отходя от традиционных методик расчета карстоопасности, принятых в нормативно-правовой базе и отталкивающихся в основном от плотности зафиксированных поверхностных карстовых форм, их размеров и глубины залегания карстующихся пород, оценка карстовой опасности, особенно в местах проектирования зданий и сооружений повышенной ответственности на территориях развития карста, требует детального изучения строения карстового массива.

Современные требования к любым прогнозным мероприятиям – комплексность, эффективность и низкая затратность. Карстологический прогноз не исключение. Сегодня, наряду с традиционными геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими, геофизическими и иными методами изучения карстовых массивов появляется возможность использования методов, не входящих в традиционный карстологический комплекс, но уже адаптированных в смежных геологических направлениях исследований и изысканий. Эти нетрадиционные для карстоведения методы должны пройти период адаптации, период оценки степени применимости для решения теоретических и практических задач карстоведения вообще и инженерного карстоведения в частности. Именно такими и являются дистанционные методы.

Развитие дистанционных технологий зондирования Земли обусловило подтверждение планетарной сети линеаментов и использование этих технологий во многих отраслях геологии. В наши дни, при относительной доступности аэро- и космоматериалов для разноцелевого дешифрирования они вполне применимы при исследовании закарстованных территорий в части установления элементов структурно-тектонического каркаса через построение сети линеаментов и её последующего сопоставления с полями развития карстовых форм. Для карстологического прогноза базовым фактом является высокая степень пространственной сходимости глобальных и региональных систем линеаментов с системами разломно-разрывных нарушений, установленных наземными геолого-геофизическими методами.

На сегодняшний день в целях общих прогнозов в инженерной геологии выявляемые сети линеаментов учитываются при оценке геодинамической активности природных процессов, но практически не задействованы в практике

карстологического прогноза. Предположительно причина игнорирования возможностей линейamentной тектоники при решении задач инженерного карстования кроется в относительно недавнем внедрении линейamentного анализа в геологию. Не исключается и некий субъективный фактор, связанный с недоверием к точности геологической идентификации выявляемых линейamentов. Тем не менее, накопление фактической базы по пространственной ориентации линейamentов в пределах закарстованных территорий, установление их пространственного взаимоотношения с карстопоявлениями, результаты чего стали появляться в научной литературе, свидетельствуют о том, что процесс применения линейamentного анализа в практике инженерного карстования начал занимать все более прочные позиции.

В процессе выполнения диссертационной работы в основу линейamentного анализа были положены методические разработки, предложенные в свое время Киевским отделом ИГиРГИ и адаптированные применительно к Пермскому Приуралью в Аэрогеологической экспедиции ГПК объединения «Пермнефть» (Гридин, 1984; Гацков и др., 1990ф; Ильиных и др., 1995ф; Быков и др., 2004ф и др.). Следует отметить, что различные формы современного рельефа разных таксономических рангов, которые отражены на фотоизображениях, определены неотектонической структурой, теми тектоническими движениями, которые начались в олигоцене-раннем миоцене и продолжаются до настоящего времени. Именно поэтому снимки наиболее информативны в отношении неотектонических структур, которые проявляются практически везде по прямым признакам. Таким образом, наблюдаемое положение линейных трещинно-разрывных и площадных блоковых структур осадочного чехла наилучшим образом отражено в неотектонической составляющей приповерхностной структуры. Этим определяется возможность изучения структур осадочного чехла по фотоизображениям методами аэрокосмогеологических исследований. При этом необходимо учитывать, что неотектонические формы могут как наследовать более древние структуры, так и быть в той или иной мере несогласными с ними, новообразованными или наложенными.

Неотектонические движения, деформируя земную поверхность, приводят в действие компенсирующие гравитационные и экзогенные процессы, направленные к выравниванию этой поверхности. В зависимости от характера деформации земной поверхности устанавливается определённый комплекс экзогенных процессов денудационного и аккумулятивного рядов. Этот комплекс предопределяет развитие тех или иных типов рельефа и его различных скульптурных форм, а также особенности распространения и структуры почвенно-растительного покрова, которые, образуя закономерные сочетания и, проявляясь на фотоизображениях, служат индикаторами новейших тектонических структур самых разных порядков. Проявление более древних погребённых структур осадочного чехла на поверхности, и тем самым на фотоизображениях, обусловлено унаследованным развитием более молодых деформаций земной коры.

В целом, можно сделать вывод, что геологические образования в большинстве своём 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 на снимках. Таким

образом, орографические элементы земной поверхности обусловлены геологической структурой, причём в основном её неотектоническим планом.

Объектами исследований явились территории среднего Предуралья, характеризующиеся развитием карбонатного, карбонатно-сульфатного и сульфатно-карбонатного карста, находящиеся в разных геоструктурных условиях:

1. Главная Кизеловская антиклиналь (Западно-Уральская зона складчатости, Кизеловский район карбонатного карста);
2. Полазненский полуостров (Восточная окраина Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральского прогиба, Полазненский район преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста);
3. г. Кунгур (Восточная окраина Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральского прогиба, Нижнесысывенский район сульфатного и карбонатно-сульфатного карста, Кунгурский карстовый участок);
4. Уфимский вал (Восточная окраина Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральского прогиба, район карбонатного карста Уфимского вала).

Предметом исследований явились закономерности распределения карстовых форм и их морфометрических показателей на фоне поля линеаментов, представленных в виде числовых характеристик.

Главная научная идея диссертационного исследования заключается в установлении степени и условий использования линеаментного анализа в целях карстологического прогноза в пределах территорий, характеризующихся слабой структурно-тектонической изученностью и обнаженностью карстующихся пород.

Цель работы. Обоснование применимости комплекса количественных показателей особенностей строения поля линеаментов при прогнозе пространственного распределения карстовых форм в различных геолого-структурных обстановках.

Основные задачи исследований:

- сбор, систематизация и анализ первичных данных полевого изучения закарстованных массивов горных пород в пределах объектов исследований;
- формирование пространственных баз данных, содержащих сведения о карстовых формах и свойствах карстующихся и перекрывающих отложений в пределах объектов исследований;
- линеаментный анализ территорий в границах объектов исследований;
- обоснование количественных показателей, наиболее полно характеризующих особенности поля линеаментов;
- построение картографических моделей по линеаментным показателям;
- анализ пространственного соотношения полей линеаментов в их количественных показателях, полей выявленных и закартированных карстовых форм и свойств карстующихся и перекрывающих отложений.
- прогнозирование образования карстовых форм и их морфометрических параметров.

Методы исследования и инструментарий, использованные в работе. В работе использованы теория и методология структурно-тектонического анализа, адаптированные к решению исследовательских задач в области инженерного карстоведения учеными Пермской школы геологов-карстоведов (И.А. Печеркин,

К.А. Горбунова, В.П. Костарев, В.Н. Катаев и др.). Использованы практические разработки применения линеаментного анализа для решения различных геологических задач (И.С. Копылов, Н.Я. Быков, В.З. Хурсик, и др.).

При обработке и интерпретации результатов линеаментного и карстологического анализа применялись методы математико-картографического моделирования, геоинформационного картографирования, математической статистики, компьютерного моделирования, осуществленного на базе программного обеспечения Microsoft Office Excel, ArcGIS 10.0.

Исходные материалы, использованные в работе. В работе использованы данные, в разное время предоставленные рядом научно-производственных и изыскательских организаций: Кунгурская лаборатория-стационар при Горном институте УрО РАН, ОАО «ВерхнеКамТИСИз» (Пермь), ОАО «Пермгипроводхоз» (Пермь), филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «Перминипнефть», а также материалы экспедиционных геолого-гидрогеологических, инженерно-геологических и карстологических исследований кафедр динамической геологии и гидрогеологии, инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) и Естественнонаучного института ПГНИУ.

Личный вклад автора выражается в получении научных результатов на основе полевых экспедиций, тематических научно-исследовательских работ, в ходе которых автором созданы каталоги карстовых форм, физико-механических свойств грунтов, картографические модели линеаментных показателей. Работа в сфере карстоведения велась и ведется в специализированной лаборатории научно-исследовательской части ПГНИУ с 2006 г. по настоящее время.

Все материалы исследований, положенные в основу диссертации, обработаны автором лично. Все результаты и выводы получены им самостоятельно. Материалы, представленные в данной работе без библиографических ссылок, принадлежат автору.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней:

- на основе теоретических положений линеаментной тектоники обоснована и доказана перспективность применения линеаментного анализа в карстологическом прогнозе;
- введены, обоснованы и адаптированы к требованиям карстологического прогноза количественные показатели особенностей строения линеаментной сети (линейная плотность линеаментов L_L , км/км²; количество пересечений линеаментов K_L , шт./км²; блочность B , км²; удаленность от линеамента U_L , м; узловая удаленность U_U , м);
- изучены пространственные связи сети линеаментов с карстовыми формами в пределах закарстованных массивов, находящихся в различных геолого-структурных обстановках.

Основные защищаемые положения:

1. Использование методических основ полевого изучения тектонической трещиноватости в линеаментном анализе закарстованных территорий повышает эффективность карстологического прогноза на локальном и региональном уровнях.
2. В целях карстологического прогноза особенности конфигурации сети линеаментов устанавливаются посредством введения комплекса количественных характеристик.

3. Выявленные и представленные в виде количественных характеристик особенности поля линеаментов в пределах конкретной территории позволяют для данной территории прогнозировать распределение и морфометрические параметры карстовых форм.

Практическая значимость работы:

- разработаны методические основы применения линеаментного анализа на закарстованных территориях;
- определены критерии применения линеаментного анализа в практике карстологического прогноза;
- созданы базы карстологических данных по объектам исследования;
- созданы картографические модели, обеспечивающие прогноз пространственного проявления форм карста на основе анализа сети линеаментов в пределах объектов исследований.

Апробация работы. Исследования, положенные в основу диссертации, проводились в рамках ряда общенаучных, государственных и отраслевых программ, в выполнении которых автор принимал непосредственное участие. Результаты следующих исследований в виде отчетной документации переданы Министерству образования и науки РФ, Министерству образования Пермского края, Министерству природных ресурсов Пермского края, Управлению капитального строительства Кунгурского района Пермского края, Объединенной химической компании «УРАЛХИМ»:

1) Областная целевая программа «Развитие и использование минерально-сырьевой базы Пермской области на 2003-2005 годы и на перспективу до 2010 года», тема «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области» (2006-2010 гг.).

2) Научная программа МУП «Управление капитального строительства» Кунгурского района «Проведение исследований для обоснования возможности строительства малоэтажного усадебного жилья с полным благоустройством д. Поповка, д. Шарташи» (2007 г.).

3) Научно-исследовательские работы, выполненные по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации на темы «Развитие методологии риск-анализа хозяйственного освоения закарстованных территорий» (2011 г.) и «Развитие теории прогноза возникновения опасных геологических процессов на урбанизированных территориях» (2012-2013 гг.).

4) Краевая программа по реализации научных проектов международными исследовательскими группами, тема «Развитие методологии риск-анализа хозяйственного освоения и оценки уязвимости подземных вод закарстованных территорий» (2012-2014 гг.).

5) Научная программа ОАО «Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ» «Комплексная оценка гидрогеологического и инженерно-геологического состояния территории промышленной площадки филиала «Азот» ОАО «Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ» в г. Березники и разработка мер по предупреждению развития опасных геологических процессов» (2011-2012 гг.).

Результаты диссертационного исследования используются в Пермском государственном национальном исследовательском университете, на геологическом факультете при проведении занятий по учебным дисциплинам «Общее карстоведение» (лекционный и практический курсы).

Результаты исследований представлены на Всероссийских, региональных конференциях: региональной конференции «Геология и ископаемые Западного Урала» (г. Пермь, 2009), XVI международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, 2010), пятой Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 2010); Всероссийской научной конференции «Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии» (г. Томск, 2010), Российской конференции с международным участием «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях» (г. Уфа, 2012); Всероссийской конференции «ГЕОРИСК-2012» (г. Москва, 2012), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Чтения, посвященные 100-летию со дня рождения А.В. Ступишина» (г. Казань, 2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, 3 из которых в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, включающих 10 разделов, заключения и библиографического списка, содержащего 91 наименование. Общий объем диссертации – 140 страниц, включая 40 рисунков и 4 таблицы.

Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, заведующему кафедрой гидрогеологии и динамической геологии, проректору Пермского государственного национального исследовательского университета по научной работе и инновациям, профессору В.Н. Катаеву, за предоставленное научное направление, ценные советы и замечания, исключительно способствующие повышению качества диссертационной работы. Автор выражает признательность профессору Г.Н. Дублянской, за время научного руководства которой были сформированы основы знаний о карстоведении, а также благодарит своих коллег: С.В. Щербакова, Т.Г. Ковалеву, О.М. Лихую, С.А. Пентегову, Ю.А. Ардавичус и А.В. Шилову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 «Эволюция представлений о линеаментах» включает четыре раздела, посвященные ретроспективному анализу линеаментной тектоники, современному использованию линеаментного анализа в геологии и возможность его применения в карстоведении.

Ретроспективный анализ линеаментной тектоники выявил некоторые общие моменты, присущие определенным стадиям воззрения на линеаменты.

1. Первые исследования в области линеаментной тектоники в большинстве своем возводят линеаменты в ранг обособленных элементов структурной организации рельефа. Это подразумевает, что основная масса ученых рассматривали линеаменты лишь в качестве прямолинейных структур рельефа без указания на связь с глубинными процессами.

2. С углублением знаний в геологии выявлена зависимость прямолинейных структур от строения земной коры. В первой половине XX века с накоплением фактической и наращиванием теоретической базы по линеаментной тектонике линеаменты все больше воспринимают как индикатор глубинных дизъюнктивных структур.

3. Открытие повсеместно развитых в глобальном масштабе планетарной трещиноватости, глобальных сетей линейментов и разломов, а также существование закономерности в их ориентировке, о пролонгации линейментов с континентальной в океаническую коры и обратно, наталкивают ученых на мысль о внешней причине образования данных структур. В этот период создаются и развиваются ротационные представления, доминирующие в настоящее время.

С позиций трактования термина «линеAMENT» выделено около четырех направлений по Я.Г. Кацу и А.В. Тевелеву.

Первое из них восходит к ранним работам Э. Зюсса, А.П. Карпинского, Х. Штилле, Р. Зондера и развилось на современном этапе в работах В.Е. Хаина, В.А. Буша и других исследователей. По их мнению, под линеАМЕНТАМИ следует признавать линии длительно развивающихся разломов, определяющих направления складок, поверхностных разрывов, зон рифтогенеза, цепочек вулканов, эпицентров землетрясений и т.д.

Второе понимание связано с представлением о линеАМЕНТАХ как глубинных, но молодых (позднеплейстоцен-голоценовых) структурах, выраженных на поверхности или разрывами, как считают В.Г. Трифонов, С.С. Шульц, или разрывно-флексурными зонами, как полагают В.И. Макаров и Л.И. Соловьева, при этом часто контролирующими металлогеническую зональность по сведениям И.К. Волчанской, И.Н. Томсона, М.А. Фаворской.

Третье понимание линеАМЕНТА кроется в работах Л.М. Расцветаева, П.В. Флоренского, В.С. Милеева, Ю.В. Юнаковской и других геологов. Они придают ему ранг самостоятельной глубинной структуры, выраженной на поверхности земной коры разными типами нарушений, формой и ориентировкой геологических и геоморфологических объектов, а также особенностями строения геофизических полей.

Четвертое сводится к прямолинейным или полужизогнутым относительно узким высокоградиентным зонам резкого изменения параметров географической среды, геологической структуры и геофизических полей, отражающим, как считают Я.Г. Кац, В.И. Макаров, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцев, А.В. Тевелев и другие, глубинные неоднородности литосферы.

Авторская позиция выражена в следующем понятии термина линеAMENT.

ЛинеAMENT – прямолинейная, дугообразная, сегментарно искривленная структура земной коры, часто отраженная в формах рельефа поверхности суши, морского дна, аномалиях физических полей Земли, и указывающая на связь в настоящем или геологическом прошлом с разломно-разрывными нарушениями земной коры.

Во многих отраслях геологи отмечен повышенный интерес к линеAMENTному анализу, в карстоведении линеAMENTный анализ может применяться для решения следующих задач.

- Определение основных направлений простираций тектонической трещиноватости и ее количественная оценка.
- Выявление наиболее потенциально водообильных участков в карстовом массиве, прогнозное выявление зон потенциальных образований подземных полостей.
- Определение возможных перетоков подземных вод и в совокупности с анализом геологического строения фиксация изменения фациального состава.
- Структурно-кинематический анализ.

- Прогнозирование образования форм карста, их морфометрических параметров в зависимости от локализации линейментов.

Глава 2 «Методические основы применения линейментного анализа на закарстованных территориях» полностью посвящена методике дешифрирования линейментов, применяемых в работе, методике проведения анализа, включающего сопоставление карстовых форм с полем линейментов, выраженным количественными показателями. Также введены и апробированы количественные показатели линейментной тектоники.

Под линейментами в данной работе понимаются активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур палеозойского осадочного чехла и фундамента, выраженные как на поверхности, так и в толще разреза.

С целью выявления и прослеживания линейментов региональной и зональной протяженности Н.Я. Быковым, И.С. Копыловым, В.З. Хурсиком использовались космические спектрозональные и черно-белые снимки среднего уровня разрешения. Дешифрирование выполнено на площади 25 000 км² визуальным изучением плоского фотоизображения. Выявление линейментов зонального и локального ранга произведено по черно-белым аэрофотоснимкам масштаба 1:200 000 дешифрированием стереомодели на зеркальных стереоскопах. Площадь дешифрирования составила 10 000 км².

Черно-белые космоснимки хорошего качества, достаточно контрастные, с отчетливо проработанными деталями фотоизображения. Спектрозональные космические снимки масштаба 1:500 000 хорошего качества и обладают высокой геологической информативностью. Снимки достаточно контрастные с отчетливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов. Удовлетворительная цветопередача структурно-текстурных особенностей фотоизображения позволяет производить визуальное дешифрирование плоского фотоизображения. Отчетливо дешифрируются протяженные прямолинейные линейменты, хорошо выделяются площадные цветотональные и разнотекстурные участки различных ландшафтов, разграниченные линейментами.

Черно-белые аэрофотоснимки масштаба 1:200 000 специализированных высотных аэрофотосъемочных залетов, пригодны для инструментального дешифрирования. Снимки характеризуются хорошим качеством с удовлетворительно проработкой контуров и деталей фотоизображения. Благодаря высокой обзорности и значительному уровню генерализации аэрофотоснимки масштаба 1:200 000 обладают высокой информативностью при линейментном дешифрировании.

Степень достоверности выделяемых линейментов и приблизительно их характер позволяют определять следующие особенности морфографического выражения дизъюнктивных структур.

Большое значение имеет протяженность морфографического элемента или составного линеймента. Прямолинейные линейменты по протяженности подразделены на четыре таксономических ранга:

Региональные – линейменты большой протяженности, прослежены на расстояния более 100 км. Выявлены по космоснимкам среднего разрешения.

Зональные – линейaments значительной протяжённости, прослеженные на расстояния от 25 км до 100 км. Установлены по космоснимкам и мелкомасштабным аэрофотоснимкам.

Локальные – линейaments протяженностью от 5 км до 25 км. Выделены дешифрированием аэрофотоснимков масштаба 1:200 000.

Короткие линейaments протяженностью до 5 км установлены детальным дешифрированием в масштабе 1:25 000, выполненным на отдельных локальных участках.

На основании анализа имеющихся геолого-геофизических материалов, а также, учитывая обширный отечественный и зарубежный опыт, следует предполагать, что протяжённые прямолинейные линейaments регионального и зонального таксономических рангов отображают разрывные нарушения в кристаллическом фундаменте и в нижней части осадочного чехла. Выше по разрезу эти нарушения переходят в уступообразные и флексурные перегибы слоев и фиксируются в толщах палеозоя линейными зонами интенсивной трещиноватости, которая, как правило, подчеркивается повышенной проницаемостью толщи горных пород. Менее протяжённые локальные линейaments, выявленные на аэрофотоснимках, отображают линейные зоны усиления тектонической трещиноватости в верхних частях осадочного чехла. Короткие линейaments отражают трещиноватость в приповерхностных и выходящих на поверхность отложениях.

Для выявления степени близости пространственного соотношения отдельных карстовых форм или их совокупностей, зафиксированных на карте или фотооснове, с выявленными линейamentsами на этой же территории, предлагается использовать следующие показатели:

1. Линейная плотность линейaments L_L , км/км².
2. Количество пересечений линейaments K_L , шт./км².
3. Блочность B , км².
4. Удаленность от линейaments U_L , м.
5. Узловая удаленность U_U , м.

1. Линейная плотность линейaments (L_L) рассчитывается как их суммарная длина в пределах оперативной территориальной единицы (ОТЕ). Данный показатель позволяет выполнить предварительную оценку степени раздробленности массива. Линейно выдержанные зоны с повышенными значениями показателя потенциально трассируют зоны локализованного стока подземных вод.

$$L_L = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S_{\text{кв.}}},$$

где L_i – протяженность отдельного линейaments в расчетной единице площади, $S_{\text{кв.}}$ – расчетная площадь.

2. Количество пересечений линейaments (K) на единицу площади оценивается как индикатор относительной величины водообильности массивов горных пород, концентрации поверхностного, подземного потоков и может применяться при выявлении потенциальной локализации подземных форм карста.

$$K_L = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{S_{\text{кв.}}},$$

где K_i – пересечение (узел) линеаментов, $S_{\text{кв.}}$ – расчетная площадь.

3. Пересекаясь друг с другом, линеаменты образуют межлинеаментные блоки, по расчету площадей которых определяется показатель *блочности* (B). Этот показатель рассчитывается путем осреднения площадей блоков, ограниченных линеаментами, в пределах расчетной площади. Блоки, ограниченные региональными или зональными линеаментами, идентифицируются как неотектонические блоковые структуры разного порядка.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Bi}}{n},$$

где S_{Bi} – площадь отдельного блока, ограниченного линеаментами, n – количество блоков в пределах расчетной площади.

4. Через узловую удаленность (U_U) и удаленность от линеамента (U_L) можно судить об относительной степени сохранности (относительной раздробленности) массивов горных пород, поскольку ширина зон условного влияния линеаментов оценивается в зависимости от их ранга до 500 м, а в нескольких случаях и более.

Таким образом, на основе выделенных сетей линеаментов (рис. 1) посредством программного продукта ArcGIS 10.0 построены картографические модели показателей линеаментной тектоники (рис. 2).

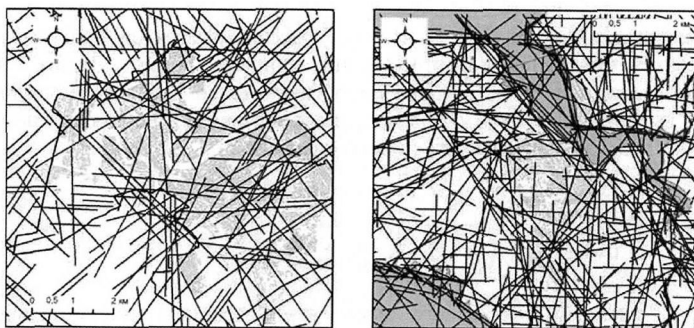


Рис. 1. Исходные выделенные линеаменты: слева – территория г. Кунгура, справа – территория Полазненского п-ова

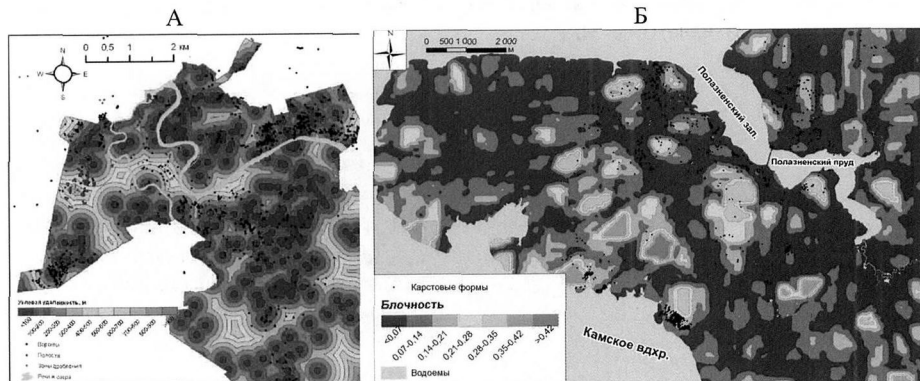


Рис. 2. Пример построения показателя узловой удаленности на территории г. Кунгура (А) и показателя блочности на территории Полазненского п-ова (Б)

Глава 3 «Результаты применения линеamentного анализа к закарстованным территориям Среднего Предуралья» состоит из описания природных условий карстообразования исследуемых территорий Среднего Предуралья и авторских практических исследований, направленных на выявление зависимостей между линеаментами и карстовыми формами с последующим прогнозированием образования карстовых форм.

В соответствии с теоретическими воззрениями, сложившимися в карстоведении, трещиноватости отведена роль одного из карстогенетических условий. Практика изучения трещиноватости пород карстовых массивов отличается большой трудоемкостью. При необходимости оценки больших по масштабности участков такая задача превращается в разряд невозможных. На более высоком уровне трещиноватость горных пород контролируется полями напряжений горных пород той или иной структуры, разломно-разрывными нарушениями и другими факторами. Хорошая пространственная сходимость линеamentных сетей с разломно-разрывными нарушениями дает основания на применение линеamentов в карстоведении. Кроме того, применение линеamentов в сравнении с традиционными методами изучения трещиноватости заключаются в оперативности работ, низкой трудоемкости и в возможности проведения региональных исследований.

Рассматриваемыми территориями, подверженными карсту, являлись регионы, находящиеся в различных геоструктурных условиях и с распространением разных литологических типов карста: Главная Кизеловская антиклиналь (Западно-Уральская зона складчатости, Кизеловский район карбонатного карста); Полазненский полуостров (Восточная окраина Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуралья прогиба, Полазненский район преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста); г. Кунгур (Восточная окраина Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуралья прогиба, Нижнесылвенский район сульфатного и карбонатно-сульфатного карста, Кунгурский карстовый участок); Уфимский вал (Восточная окраина Восточно-Европейской

платформы и прилегающих частей Предуральяского прогиба, район карбонатного карста Уфимского вала) (рис. 3).

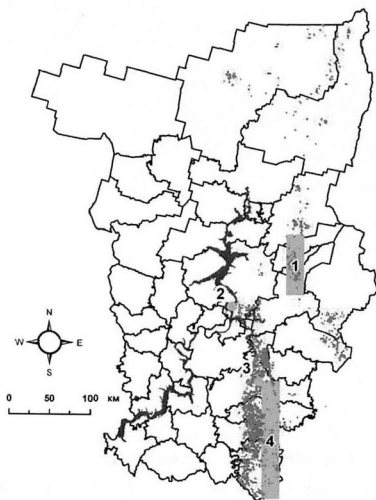


Рис. 3. Схема расположения исследуемых объектов Пермского края: 1 – Главная Кизеловская антиклиналь; 2 – Полазненский полуостров; 3 – г. Кунгур; 4 – Уфимский вал. Красными точками обозначены карстовые поля, синими полигонами – водные объекты

Из всего многообразия карстовых форм на исследуемых территориях линеаменты сопоставлялись с карстовыми воронками, в том числе и провального происхождения, объединяемых в карстовые поля, которые были выделены с топографических карт 1:100 000 и 1:25 000 масштаба, и подземных карстовых полостей, которые были выявлены по результатам бурения. Помимо собственно карстовых форм (воронки, полости) анализировалось пространственное распределение и зон дробления, как мест потенциально опасных в карстогенетическом отношении. В качестве индикаторов зон дробления при анализе буровых журналов были приняты такие характеристики карстующихся пород, как высокая степень выветрелости, сильная раздробленность трещинами, рухляковое состояние.

Количество зафиксированных карстовых форм и зон дробления, по исследованным территориям отражены в табл. 1.

Таблица 1. Исследованные карстовые формы в пределах изучаемых территорий

Карстовые формы, шт.	Исследуемая территория				
	г. Кунгур	Полазненский п-ов	ГКА	Уфимское плато	Сумма
Поля	22	7	537	231	797
Воронки и провалы	774	524	2618	1688	5604
Полости	508	146	-	128	782
Зоны дробления	372	82	-	221	675

С целью возможности разнопланового сопоставления и сравнения результатов, исследуемые линеаментные показатели и морфометрические характеристики карстовых форм приводились к общему виду посредством их нормализации (рис. 4). При этом максимальные значения линеаментных показателей устанавливаются не в пределах изучаемой площади, а в местах локализации карстопоявлений. Такой подход к выделению максимумов позволяет устанавливать более точные связи и зависимости, так как линеаментные показатели непосредственно напрямую противопоставляются карстовым формам. Расчетная формула для оценки индексных значений в данном случае имеет следующий вид:

$$Ix_i = \frac{x_i}{\max x},$$

где Ix_i – индексная оценка i -го значения показателя x , д.е.

В результате сопоставления картографических цифровых моделей исследуемых показателей линеаментной тектоники и карстовых форм были определены их максимальные значения в местах локализации карстопоявлений. Такие максимумы используются при оценке индексных значений показателей (табл. 2).

Таблица 2. Максимальные значения линеаментных показателей в пределах исследуемых территорий в местах локализации карстовых форм

Линеаментный показатель	Исследуемая территория			
	г. Кунгур	Полазненский п-ов	ГКА	Уфимское плато
$L_L, \text{км/км}^2$	11,2	14,7	10,1	9,4
$K_L, \text{шт./км}^2$	31,8	70,7	29,0	28,6
$B, \text{км}^2$	2,19	0,36	3,73	11,0
$U_L, \text{м}$	347,0	192,1	536,0	725,6
$U_U, \text{м}$	748,6	331,9	1033,5	2534,6

Облако точек значений линеаментных показателей и морфометрических характеристик карстовых форм, выраженных в индексной форме, подвергается разбиению на равные интервалы линеаментных показателей, в каждом из которых высчитывается среднее значение индекса морфометрической характеристики. Далее производится построение кривых изменения индексов морфометрических характеристик карстовых форм от индексов линеаментного показателя (рис. 5).

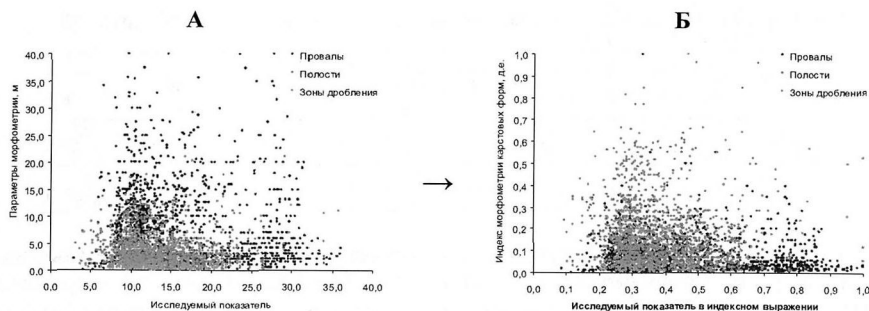


Рис. 4. Точечный график зависимости морфометрических параметров карстовых форм от значений исследуемого показателя: А – значения выражены в истинной форме; Б – значения характеристик выражены в индексной форме

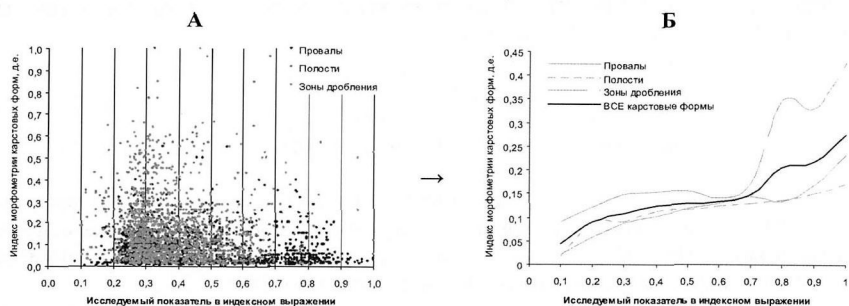


Рис. 5. Определение тренда зависимости морфометрических параметров карстовых форм от индексов линейamentного показателя

В пределах каждой из исследуемых территорий рассмотрены распределения форм карста относительно линейamentных показателей, графически представленные в виде кривых плотности распределения. По формам кривых распределения подбиралось наиболее подходящее теоретическое распределение (рис. 6).

Прогнозирование средних диаметров провалов, высот полостей и зон дробления в зависимости от значений линейamentных показателей осуществлялось с учетом установленных трендов соответствующих зависимостей. По установленному тренду изменчивости средних значений морфометрических параметров карстовых форм для каждого из исследуемых линейamentных показателей подбирался вид прогнозной кривой наблюдаемой зависимости и ее уравнение. Прогнозная кривая подбиралась аналитическим методом в результате вычленения из общего облака точек как можно большего количества тех из них, которые в максимальной степени соответствовали выявленному тренду. Для этого использовался Microsoft Office Excel и встроенный в него язык программирования Visual Basic for Applications, в среде которого разработан алгоритм, позволяющий в автоматизированном режиме с учетом

указанного экспертом тренда и характера зависимости (например, экспоненциальной, логарифмической и т.п.) осуществлять данную задачу (рис. 7, 8). Основными условиями, заложенными в алгоритм, являются необходимость построения прогнозной кривой не менее чем по 20-30% данных от первоначальной исследуемой совокупности и уровень корреляции рассматриваемых величин, превышающий 0,8.

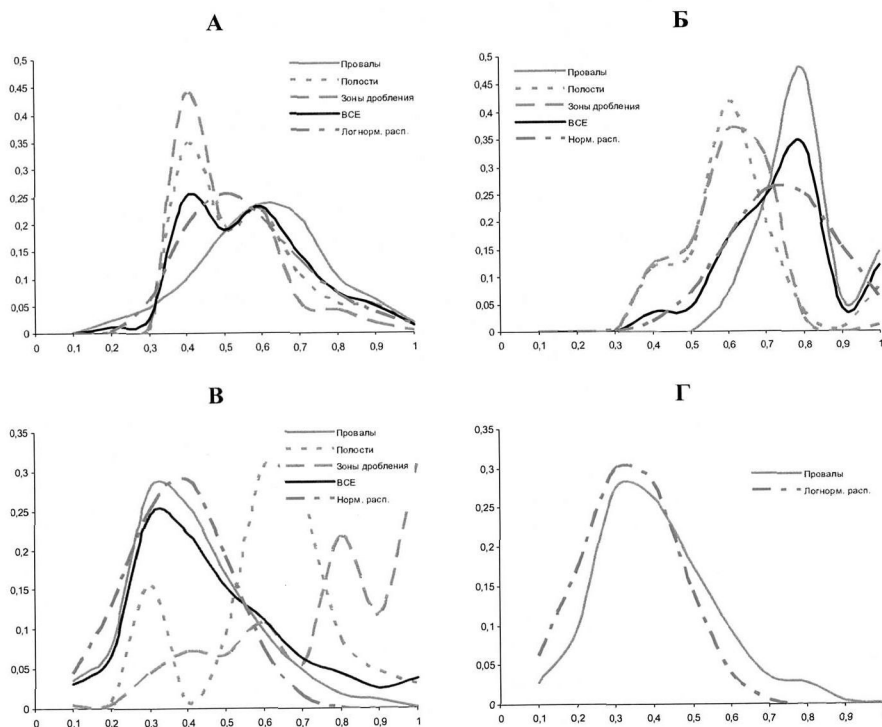


Рис. 6. Частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений линейной плотности линеаментов (ось X), выраженной в индексной форме, в пределах территории: А – г. Кунгур; Б – Полазненский п-ов; В – Уфимское плато; Г – ГКА

Прогнозные уравнения для расчета индексных значений морфометрических параметров карстовых форм в зависимости от принятого к рассмотрению тренда и характера зависимости имеют следующий вид:

$$I = ax + b \text{ – линейная зависимость,}$$

$$I = a \cdot e^{bx} \text{ – экспоненциальная зависимость,}$$

$$I = a \cdot x^b \text{ – степенная зависимость,}$$

где I – прогнозный индекс морфометрии, д.е.; x – линейamentный показатель, выраженный в индексной форме; a и b – коэффициенты прогнозного уравнения.

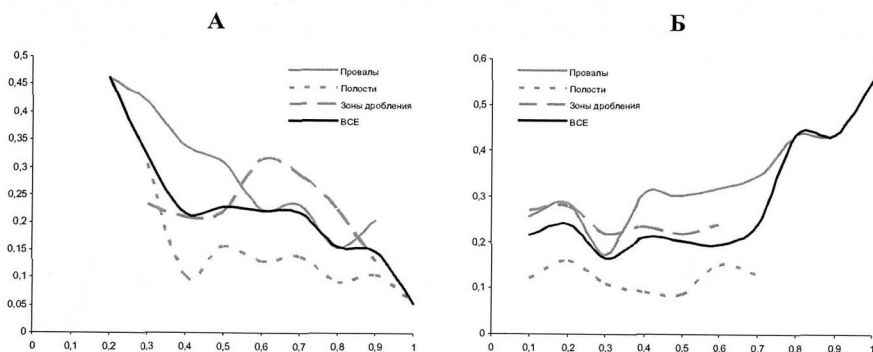


Рис. 7. Средние диаметры и высоты карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений: А – линейной плотности линейamentов (ось X); Б – блочности, выраженных в индексной форме, в пределах территории г. Кунгура

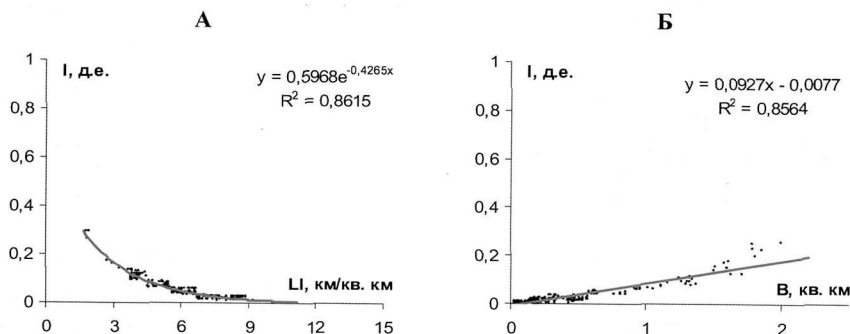


Рис. 8. Прогнозные кривые для оценки морфометрических параметров карстовых форм территории г. Кунгура по показателям линейamentной тектоники: А – линейная плотность линейamentов; Б – блочность

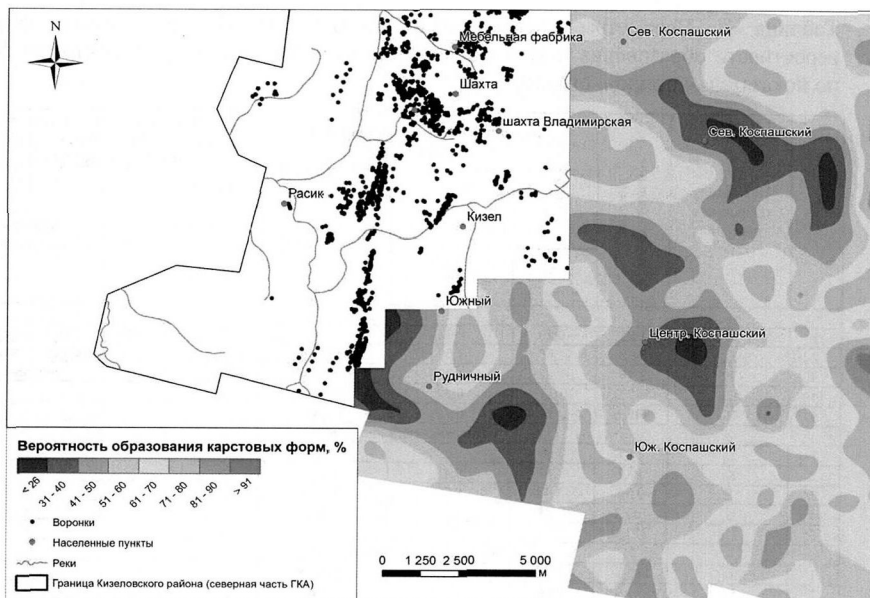
Коэффициенты прогнозных уравнений и характер прогнозных зависимостей для различных показателей природного строения приведены в табл. 3.

На основе прогнозных уравнений и параметров теоретических распределений возможно составление картографических моделей, как морфометрических характеристик карстовых форм, так и вероятности образования форм карта. Такие прогнозные картографические модели наиболее актуальны для участков с минимальной карстологической изученностью (рис. 9).

Таблица 3. Параметры распределений и зависимостей для прогнозирования вероятности образования и индекса морфометрических параметров карстовых форм по показателям природного строения

№ п/п	Показатели природного строения	Максимальное значение	Прогноз вероятности образования карстовых форм *			Прогноз морфометрических характеристик карстовых форм в индексном выражении		
			Параметры теоретического закона распределения		Закон распределения	Коэффициенты прогнозного уравнения		Характер зависимости
			среднее $\bar{x}_{гр}$	стандартное отклонение σ		a	b	
г. Кунгур								
1	L_L	11,2	-0,70	0,33	логнорм.	0,5968	-0,4265	экспоненциальная
2	K_L	31,8	-1,60	1,02	логнорм.	0,5171	-0,1437	экспоненциальная
3	B	2,19	-1,82	1,13	логнорм.	0,0927	-0,0077	линейная
4	U_L	347,0	0,23	0,20	норм.	-	-	-
5	U_U	748,6	0,33	0,75	норм.	-	-	-
Полазненский полуостров								
1	L_L	14,7	0,69	0,14	норм.	-	-	-
2	K_L	70,7	0,44	0,18	норм.	-	-	-
3	B	0,36	-1,42	0,79	логнорм.	-	-	-
4	U_L	192,1	0,23	0,20	норм.	-	-	-
5	U_U	331,9	0,43	0,22	норм.	-	-	-
Главная Кизеловская антиклиналь								
1	L_L	10,1	-1,13	0,48	логнорм.	-	-	-
2	K_L	29,0	0,16	0,13	норм.	-	-	-
3	B	3,73	-2,00	0,86	логнорм.	-	-	-
4	U_L	536,0	-2,00	1,06	логнорм.	-	-	-
5	U_U	1033,5	-1,33	0,75	логнорм.	-	-	-
Уфимское плато (пос. Октябрьский)								
1	L_L	9,4	0,41	0,20	норм.	-	-	-
2	K_L	28,6	0,18	0,21	норм.	0,0742	-0,4898	степенная
3	B	11,0	0,15	0,18	норм.	-	-	-
4	U_L	725,6	-2,17	0,19	логнорм.	0,0006	0,0171	линейная
5	U_U	2534,6	-1,98	0,83	логнорм.	-	-	-

А



Б

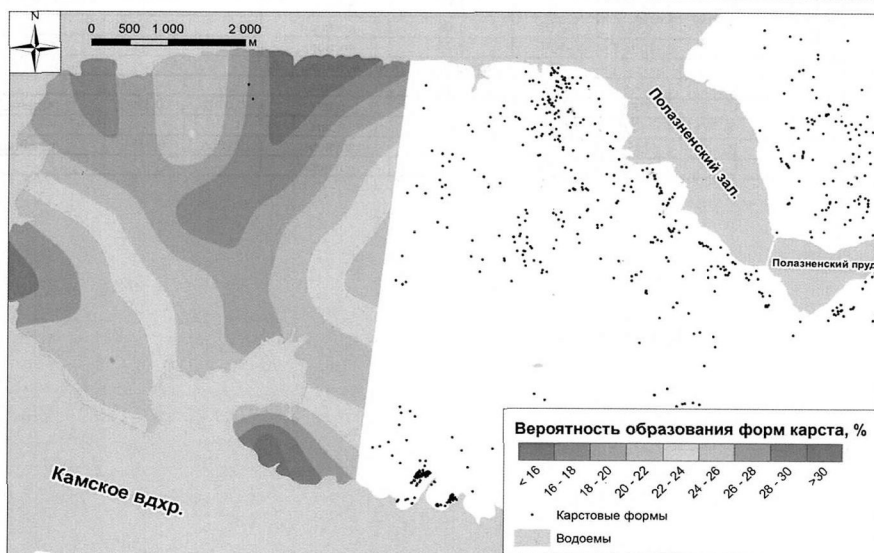


Рис. 9. Карты прогнозирования образования форм карста в зависимости от линеamentных показателей: А – восточной части Кизеловского карстового района (северная часть ГКА), Б – западной части Полазненского п-ова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, определяющие научную новизну и практическую значимость работы, заключаются в следующем:

1. Созданы пространственные базы данных, содержащих сведения о карстовых формах в пределах исследуемых территорий.

2. На основе ретроспективного анализа линейamentной тектоники, исследования тектонической трещиноватости обоснована применимость линейamentов в практике карстологических исследований.

3. В пределах исследуемых территорий выполнен линейamentный анализ.

4. Исходя из практики изучения тектонической трещиноватости введены и апробированы показатели линейamentной тектоники в целях карстологического прогноза.

5. На основе линейamentных показателей, оценивающих пространственный рисунок линейamentов в плане, в пределах исследуемых территорий локального и регионального уровней определены их соотношения с различными карстовыми формами и их морфометрическими параметрами, дан количественный прогноз морфометрических параметров и вероятностей образования карстовых форм в пределах исследуемых территорий. Составлены прогнозные картографические модели, отражающие вероятность образования карстовых форм.

Результаты исследований, основанные на большом исходном массиве данных, позволяют обоснованно применять линейamentы в карстологическом прогнозировании, оценки карстоопасности и внедрять их в повседневную практику карстоведения и инженерной геологии. Кроме того, преимущество линейamentов в отличие от изучения разных генетических типов трещиноватости при комплексной оценке карстоопасности заключается в оперативности работ, низкой затратности, низкой трудоемкости и в возможности проведения исследований регионального масштаба.

Установленные результаты, обосновывающие влияние линейamentов на карстовый процесс, дополняют теоретическую базу карстоведения, линейamentной тектоники, инженерной геологии.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В научных рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Золотарев Д.Р. Результаты линейamentного анализа на закарстованных территориях Пермского края // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/105-7233>. (дата обращения: 08.07.2013).

2. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Анализ соотношения структурно-тектонического строения и закарстованности в пределах Полазненской локальной структуры // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2012. Т. 154, кн. 3. С. 1–9.

3. Золотарев Д.Р., В.Н. Катаев. Воздействие линейamentной тектоники на развитие карстовых процессов на локальном уровне // ГЕОРИСК, 2013. № 1. С. 34–43.

4. Ковалева Т.Г., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. К характеристике подземной закарстованности территории г. Кунгур // Геология и полезные ископаемые Западного Урала // Перм. ун-т. Пермь. 2007. С. 210–212.

5. Щербаков С.В., Золотарев Д.Р. Карст и его прогнозирование с учетом геолого-структурных условий территории (на примере г. Кунгур) // Материалы докладов Междунар. конф. студ., асп. и молодых ученых «Ломоносов-2009» / Отв. ред. И.А. Алешковский, П.Н. Костылев, А.И. Андреев. – М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 21. URL: http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2009/06_8.pdf. (дата обращения: 08.07.2013).

6. Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. Роль структурно-тектонических особенностей территории в развитии карстовых процессов // ИнтерКарто / ИнтерГИС 15: устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы Междунар. конф. Пермь, Гент, 2009. С. 458–462.

7. Золотарев Д.Р. Исследование линеаментов на закарстованных территориях // Материалы докладов Междунар. конф. студ., асп. и молодых ученых «Ломоносов-2010» / Отв. ред. И.А. Алешковский, П.Н. Костылев, А.И. Андреев, А.В. Андриянов. – М.: МАКС Пресс, 2010. URL: http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2010/06.htm. (дата обращения: 08.07.2013).

8. Золотарев Д.Р. Результаты линеаментного анализа на участке Главной Кизеловской антиклинали // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии: материалы Всерос. науч. конф. Томск, 2010. С. 582–589.

9. Золотарев Д.Р. Некоторые методические аспекты структурно-тектонического анализа в карстологических целях // Геология и полезные ископаемые Западного Урала / материалы регион. науч.-практ. конф. / Перм. ун-т. Пермь, 2010. С. 164–167.

10. Золотарев Д.Р. Соотношение показателей структурно-тектонического строения территории и закарстованности // Тез. материалов Пятой сибирской конф. молодых ученых по наукам о Земле. / Новосибирск, 2010. URL: http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik_2010/10_geoecology/836.pdf.

11. Золотарев Д.Р. Соотношение показателей линеаментной тектоники и карстопроявлений в пределах территории г. Кунгур // Сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2010». Т. 33. Биология, Геология. Одесса: Черноморье, 2010. С. 91–92. URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/component/content/article/132-engineering-geology/1292-zolotarev-dr>. (дата обращения: 08.07.2013).

12. Zolotarev D.R. Distribution of karst forms in a border of Polaznenskaya local structure according to structural-tectonic conditions // Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety. International Conference, Moscow, Russia, September 6–8, 2011. Delegate Papers. Moscow, 2011. P. 212.

13. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н., Щербаков С.В. Соотношение закарстованности и линеаментов в пределах Полазненского локального поднятия // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы юбил. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию

геол. ф-та и 95-летию Перм. ун-та / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2011. С. 153–155.

14. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Роль линеаментов в развитии карстового процесса и их связь с физико-механическими свойствами грунтов на территории г. Кунгур // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: материалы Росс. конф. с междунар. участием (22–23 мая 2012 г., г. Уфа). Уфа: БашНИИстрой, 2012. С. 182–185.

15. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Соотношение линеаментов и физико-механических свойств грунтов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. / Перм. ун-т. Пермь, 2012. С. 157–160.

16. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Прогностические показатели линеаментной тектоники применительно к карстовому процессу на локальном уровне // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «ГЕОРИСК-2012»: в 2 т. М.: РУДН, 2012. Т.1. С. 90–94.

17. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Отражение линеаментов в покрове карстующихся отложений // Инженерная геология и охрана недр: сб. науч. тр., посвящ. 35-летию кафедры. Пермь, 2012. Вып. 1. С. 84–88.

Пописано в печать: 20.08.2013. Формат 60х84 1/16.

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 120 экз. **ЗАКАЗ 210**

Типография Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15