

УДК 551

## ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Копылов И.С.

*Естественнонаучный институт Пермского государственного национального  
исследовательского университета, Пермь, e-mail: georif@yandex.ru*

Основой методологии оценки и прогнозирования геодинамической опасности на закарстованных территориях является линейментно-геодинамический анализ на основе дистанционных аэрокосмогеологических исследований. В закарстованных районах Нижегородской области с прилегающей территорией проведено дешифрирование космических снимков (масштаб 1:10 000 000-1:100 000), с детализацией в районе г. Дзержинска (масштаб 1:50 000-1:10 000), выделено 1,4 тыс. линейментов. Установлено 15 геодинамических активных зон площадью 1,8-3,2 тыс. км<sup>2</sup> с очень высокой и чрезвычайно высокой плотностью тектонической трещиноватости. Наиболее карстоопасными зонами являются Дзержинская, Навашинская и Арзамаская геодинамические активные зоны. Локальные зоны в их пределах представляют собой потенциально опасные участки с возможными карстовыми провалами, которые необходимо учитывать при проведении инженерных изысканий, проектно-строительных работ, разработке природоохранных мероприятий.

**Ключевые слова:** геодинамические активные зоны, линейменты, карст, методология оценки геодинамической опасности, Нижегородская область

## LINEAMENT-GEODYNAMICAL ANALYSIS ON KARST TERRITORIES IN NIZHNY NOVGOROD REGION

Kopylov I.S.

*Natural Science Institute of the Perm State National Research University, Perm, e-mail: georif@yandex.ru*

The methodology of estimation and forecasting of geodynamic dangerous in the karst territories may be based on a lineament-geodynamic analysis using geological analysis of remote aerial and satellite imaginary information. Interpretation of satellite images (scale 1:1000000-1 100000), the detailing in the area of Dzerzhinsk (scale 1:50000-1: 10000), in the karst areas of the Nizhny Novgorod region is held, 1.4 thousand lineaments are marked. It was established 15 geodynamic active zones of the area of 1.8-3.2 thousand km<sup>2</sup> with very high density of tectonic fractures. Dzerzhinskaya, Navashinskaya, Arzamaskaya are the most hazardous karst areas. Local areas within them are potentially dangerous sites with possible karst failures that need to be considered when conducting engineering surveys, design and construction, the development of environmental measures.

**Keywords:** geodynamic active zones, lineaments, karst, methodology of estimation of geodynamic dangerous, Nizhny Novgorod region

На закарстованных урбанизированных территориях важнейшее значение при проведении инженерно-геологических исследований имеет изучение геодинамической активности и тектонической трещиноватости, которые обуславливают развитие опасных геологических процессов. Синергетический эффект в системе «карст – техногенез – геодинамика» нарушает равновесие в природной системе и приводит к образованию техногенно-карстовых провалов [6-8, 11-15, 18]. Для Нижегородской области, которая является одним из крупнейших промышленных районов Центральной России и Приволжского ФО (площадь 76,6 тыс. км<sup>2</sup>, протяженность более 400 км.) проблема изучения геоструктурных факторов карстоопасности особенно актуальна, поскольку карстовыми процессами охвачено более трети промышленно освоенной территории. Наиболее карстоопасной является территория г. Дзержинска (в пределах Дзержинско-Нижегородского карстового района, приуроченного к долинам рек Оки

и Волги), где карстом подвержена вся территория города, в среднем здесь происходит около 5 провалов в год [17].

### Материалы и методы исследования

Основными методами картирования тектонической трещиноватости являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), которые представляют собой комплекс методов по изучению элементов геологического строения Земли с помощью материалов аэрокосмических съёмок земной поверхности. Для информационного обеспечения геологической безопасности Нижегородской области с целью выделения основных геодинамических активных зон региона проведен линейментно-геодинамический анализ на основе дистанционных методов, с детализацией в районе г. Дзержинска. АКГИ проводились с основной целью – выявления линейментов, отождествляемых с трещинно-разрывными нарушениями осадочного чехла и фундамента и установления зон повышенной тектонической трещиноватости (геодинамических активных зон), которые являются одним из важнейших геоструктурных факторов оценки карстоопасности. Основу методики АКГИ, разработанной автором составляют: компьютерное космогеологическое (структурно-геологическое)

цифровых космических снимков (КС) среднего и высокого разрешения и их геологическая интерпретация; морфоструктурный анализ линейментов и мега-трещиноватости; интерпретация результатов АКГИ с учетом геолого-геофизических данных; обработка материалов АКГИ, составление карт линейментов и зон повышенной тектонической трещиноватости с применением ГИС-технологий; линейментно-геодинамический анализ [3-5, 9, 10].

Данная методика нашла широкое применение при оценке геодинамической активности многих регионов (Урал, Поволжье, Российский Север, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия). Наиболее детально изучены Западный Урал и Приуралье, где методы АКГИ применяются более 50 лет, создана школа пермских аэрокосмогеологов. Автором совместно с В.З. Хурсиком проведены АКГИ на заркастованных территориях в рамках программы МПР Пермского края, выполняемой ПГНИУ с целью картирования зон повышенной трещиноватости и геоктивных зон при изучении геоструктурных факторов карстоопасности и составлены карты линейментной тектонической трещиноватости [4, 5]. На основе анализа этих материалов Д.Р. Золотаревым и В.Н. Катаевым установлено влияние линейментов на развитие карстовых форм и прочностные свойства грунтов [2].

Методика дешифрирования базируется на принципе поэтапного анализа аэрокосмических материалов разных уровней генерализации. Технологически это выполняется путем системного анализа (дешифрирования) КС разного масштаба от мелко-го – к крупному (с захватом прилегающих территорий – чем мельче масштаб, тем большая площадь

изучалась) и чем меньше площадь, тем детальнее изучение. Дешифрирование проводилось по 6 уровням генерализации в следующей последовательности: обзорное и обзорно-региональное дешифрирование КС 6 уровня с охватом всей Нижегородской области и прилегающей территории; региональное дешифрирование КС 5 уровня в центральной части Нижегородской области; регионально-зональное дешифрирование КС 4 уровня в центрально-западной части Нижегородской области; зональное дешифрирование КС 4 уровня с охватом г.Дзержинска и прилегающей территории; детальное дешифрирование КС 3 уровня с охватом г. Дзержинска и прилегающей территории; детальное дешифрирование КС 2 уровня территории г. Дзержинска; детализированное дешифрирование КС 1 уровня территории восточной промзоны г. Дзержинска. По результатам структурного дешифрирования КС составлялись карты линейментов и геодинамических активных зон в соответствующих масштабах работ. При обработке материалов и расчетах данных применялись ГИС-технологии программными средствами ESRI ArcGIS и Arc View GIS (рис. 1).

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате дешифрирования КС в заркастованных районах Нижегородской области с прилегающей территорией и детализацией в районе г. Дзержинска выявлено 1,4 тыс. прямолинейных линейментов, ранжированных по протяженности на 8 таксономических рангов (рис. 2).

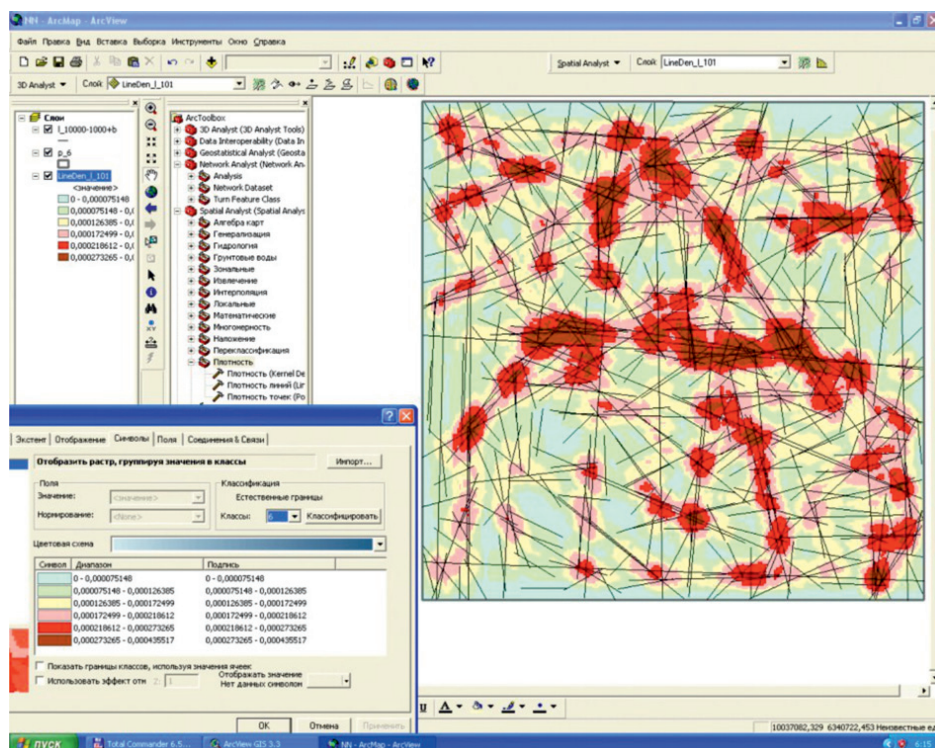


Рис. 1. Региональный линейментно-геодинамический анализ Нижегородской области (рабочее окно программы)

Уровень генерализации	Площадь изучения, км/км <sup>2</sup>	Ранг изучения	Масштаб дешифрирования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов
1	$\frac{5 \times 3}{15}$	детальный	1:10 000	0,5-1 и менее	211
1	$\frac{5 \times 3}{15}$	детальный	1:25 000	1-2	72
2	$\frac{17 \times 12}{204}$	зонально-детальный	1:50 000	2-5	150
3	$\frac{31 \times 25}{775}$	зональный	1:100 000	5-10	125
4	$\frac{80 \times 74}{6 000}$	регионально-зональный	1:200 000	10-25	171
5	$\frac{190 \times 170}{32 300}$	региональный	1:500 000	25-100	211
6	$\frac{500 \times 500}{250 000}$	обзорно-региональный	1:1 000 000	100-200	353
6	$\frac{500 \times 500}{250 000}$	обзорный	1:2 500 000	200-300 и более	77
			1:5 000 000		22
			1:10 000 000		10

Рис. 2. Результаты дешифрирования Нижегородской области и прилегающей территории

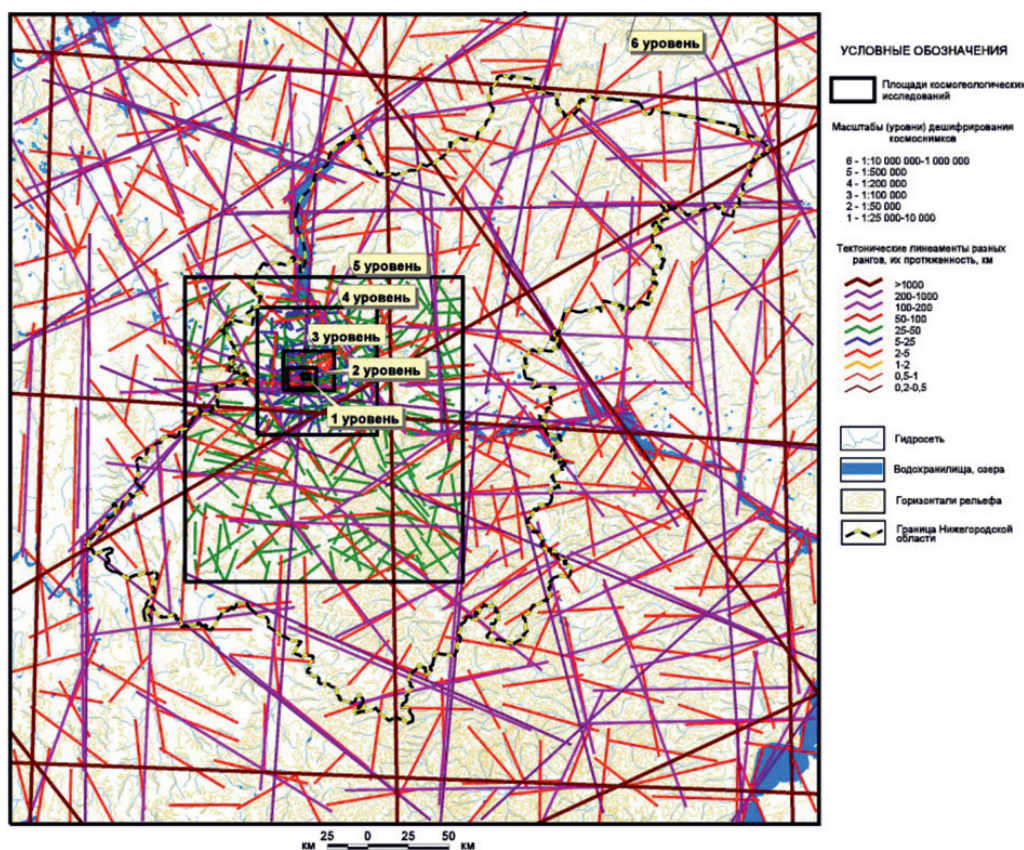


Рис. 3. Линеаментное поле Нижегородской области по разным уровням дешифрирования космоснимков

Линеаментное поле рассматриваемого региона по дешифрированию КС разных масштабов отображено на рис. 3.

Установлены прямолинейные линеаменты восьми систем. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух

систем региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 300-330° и 30-45°; ортогональная система – 0-15° и 270-285°. В региональном и зональном

линеamentных полях на КС (масштабы 1:1 000 000-1:100 000) наиболее четко выражена серия северо-восточных и северо-западных линеаментов, которые также отражены и в пределах детального линеamentного поля (масштабы 1:50 000-1:10 000) в районе г. Дзержинска. Реже проявляются субширотные и особенно редко – субмеридиональные линеаменты. Прямолинейные линеаменты предположительно отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в осадочном чехле и фундаменте. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры. Региональные и зональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории – первого и второго порядка (своды, валы, крупные складчатые структуры). Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур.

Пространственный и статистический анализ проведенный (совместно с В.В. Зеро-

вой [1] по материалам ОАО «Противокарстовая и береговая защита») по оценке влияния тектонической трещиноватости на распределение карстовых воронок и физико-механические свойства грунтов, показал существенные корреляционные связи между показателями (особенно между плотностью линеаментов и плотностью карстовых воронок), что свидетельствует о влиянии неотектоники и современной геодинамики на закарстованность и строительные условия территории (рис. 4).

Проведен анализ плотности линеаментов (основной показатель – суммарная протяженность на единицу площади по всем линеаментам) и по этим показателям выполнена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории. Общий фон составляют значения с низкой (2 балл, зеленый цвет на картах) и повышенной (3 балл, желтый цвет) степенью значений плотности линеаментов. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями – многочисленными, но небольшие по площади аномалии с высокой степенью (4 балл, розовый цвет) интенсивности, характерны для участков границ неотектонических блоковых структур.

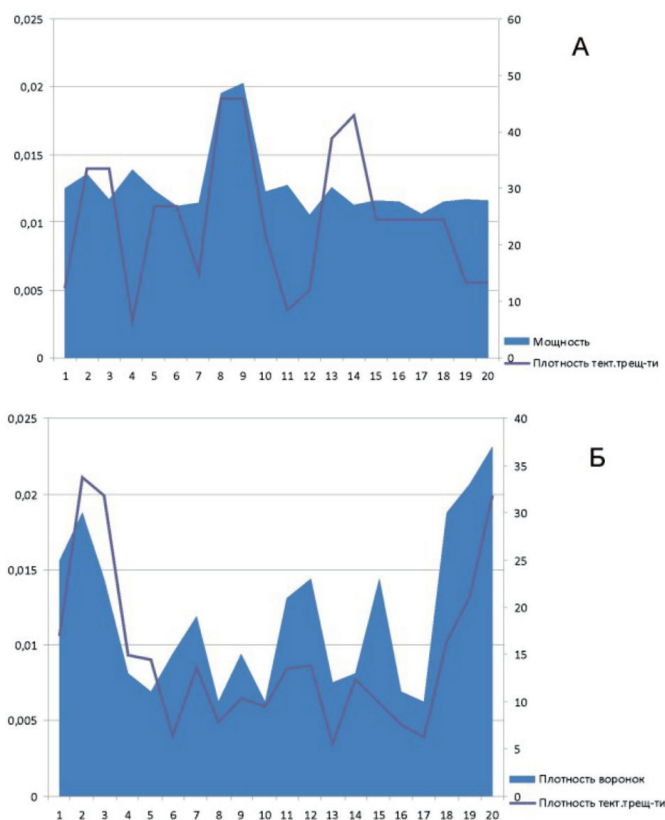


Рис. 4. Графики взаимосвязи мощности рыхлых отложений (А), плотности воронок (Б) и плотности тектонической трещиноватости

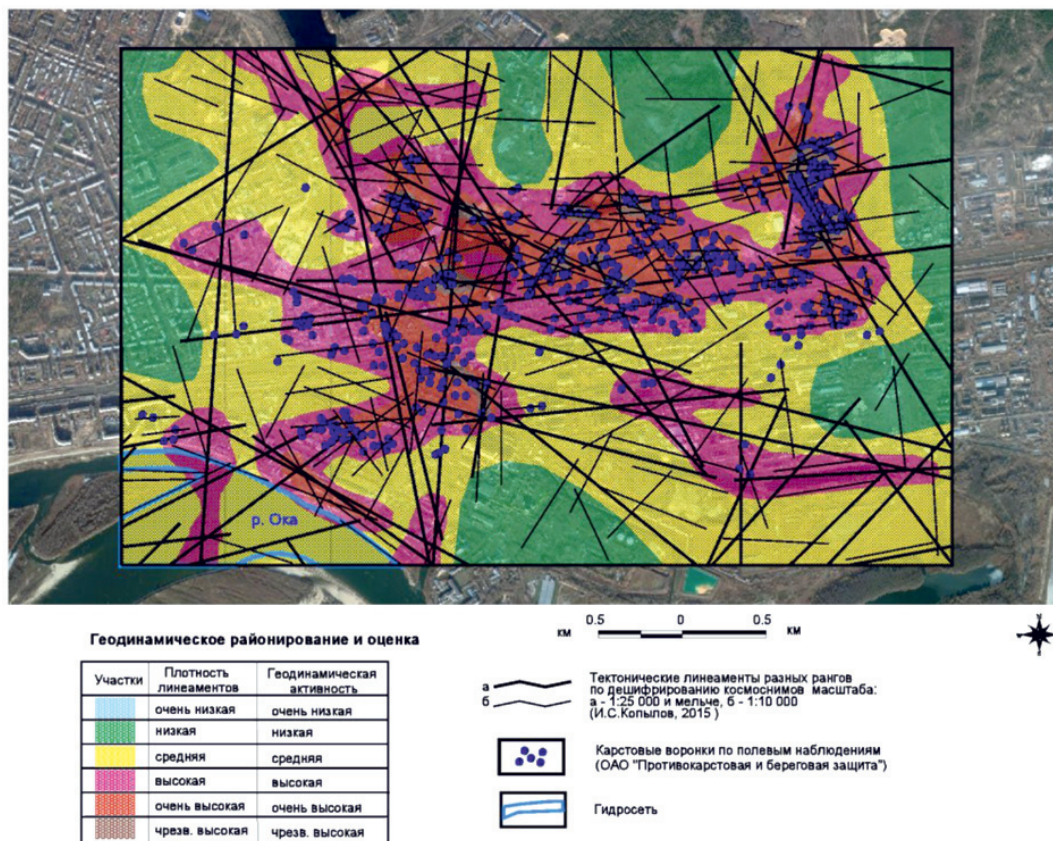


Рис. 5. Геодинамические активные зоны карстового района восточной промзоны г. Дзержинска (на основе дешифрирования КС масштаба 1:10 000)

На территории Нижегородской области и прилегающей территории выделяется 10 районов с высокой плотностью линеаментов, с площадями 3-14 тыс. км<sup>2</sup>. В их пределах выделяется 15 геоактивных зон площадью 1,8-3,2 тыс. км<sup>2</sup> с очень высокими (5 балл, красный цвет) и чрезвычайно высокими (6 балл, коричневый цвет) значениями плотности линеаментов. Выделены: Калининская, Судаковская, Березниковская, Ветлужская, Сокольская, Городецкая, Кстовская, Лысковская, Пионерская, Пильнинская, Черновская, Дзержинская, Навашиная, Ласинская, Кучкуровская, Арзамаская геоактивные зоны. С учетом развития карстовых процессов [16] наиболее карстоопасными зонами являются Дзержинская (в пределах Володарского, Богородского, Павловского, Вачского, Соновского муниципальных районов), Навашиная (в пределах Навашиного района) и Арзамаская (в пределах Арзамасского и Первомайского районов).

На территории г. Дзержинска проведено детальное дешифрирование КС (масштаб 1:25 000-1:50 000) с детализацией (масштаб

1:10 000) восточной промзоны города. Наиболее четко на КС выделяется серия линеаментов центральной части восточной промзоны, где отмечаются два крупных линеамента, субмеридионального и субширотного направлений, которые имеют множество пересечений с линеаментами более низших порядков. По плотности линеаментов и мегатрещиноватости построена карта геодинамической активности (рис. 5).

Общий фон составляют значения со средней плотностью линеаментов, по периферии – участки с низкой степенью плотности линеаментов. В центральной части выделяются значения с высокой и очень высокой степенью интенсивности, небольшими участками отмечены площади с чрезвычайно высокой геодинамической активностью. Все известные карстовые воронки сконцентрированы в основном в зонах с высокой, очень высокой и чрезвычайно высокой геодинамической активностью территории.

#### Заключение

Геодинамические активные зоны на закарстованных территориях представляют

собой потенциально опасные участки для размещения строительных объектов, которые необходимо учитывать при проведении инженерных изысканий, проектно-строительных работ, разработке природоохранных мероприятий, безопасной эксплуатации инженерных сооружений [8]. В Нижегородской области изучение геодинамической активности закарстованных территорий особенно важно для обеспечения геологической безопасности при проектировании и строительстве предприятий химической промышленности, Нижегородской атомной станции, высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань.

*Статья оставлена в рамках мероприятий ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.».*

#### Список литературы

1. Зерова В.В. Оценка влияния современной геодинамики на инженерно-геологические условия и развитие карста (на примере г. Дзержинска) // Геология в развивающемся мире. – Пермь. – 2015. – С. 26–29.
2. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Отражение линеаментов в покрове карстующихся отложений // Инженерная геология и охрана недр: сб. науч. тр. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь. – 2012. – С. 84–88.
3. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – №4; URL:www.science-education.ru/98-4745.
4. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL:www.science-education.ru/106-7570.
5. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 4. – С. 69–74.
6. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5-2. – С. 110–114.
7. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 7. – С. 67–71.
8. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 6. – С. 14–19.
9. Копылов И.С. Методология и принципы оценки геодинамической активности // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-3. – С. 406–407.
10. Копылов И.С. Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-1. – С. 82–86.
11. Копылов И.С., Ликутев Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-3. – С. 602–606.
12. Копылов И.С., Коноплев А.В. Методология оценки и районирования территорий по опасностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций как основного результата действия геодинамических и техногенных процессов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-11918>.
13. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г., Осовецкий Б.М. Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий территории Пермского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 102–112.
14. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г. Новейшая тектоника и современная геодинамика западного Казахстана на Жилинском месторождении калийных солей // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.
15. Ликутев Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2013. – № 4. – С. 125–133.
16. Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области / В.В. Толмачев, М.В. Леоненко М.В. – Нижний Новгород: ОАО «Противокарстовая и береговая защита». – 2012. – 138 с.
17. Толмачев В.В., Давыдько Р.Б. Карстовый мониторинг как основа для изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий Нижегородской области // Сергеевские чтения. – М.: РУДН. – 2012. – С. 78–82.
18. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan. // 15th International Multidisciplinary Scientific. Geoconference SGEM 2015. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. – 2015. – С. 305–311.