УДК 551

АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Копылов И.С.

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

Основой методологии оценки и прогнозирования геодинамической опасности и выделения геодинамических активных зон на закарстованных территориях может быть системный линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных аэрокосмогеологических исследований. В карстовых районах и городах Приуралья (Уфимское плато, Кизел, Гремячинск, Кунгур, Чусовой, Полазна, Усть-Кишерть и др.) проведено дешифрирование космических снимков масштаба 1:100 000-1:25 000, выделено 6 тыс. линеаментов. Проведен линеаментно-геодинамический анализ и геодинамическое районирование, выделены локальные аномальные зоны с высокой плотностью тектонической трещиноватости. Все выделенные локальные геодинамические активные зоны на закарстованных территориях 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, линеаменты, карст, методология оценки геодинамической опасности

GEOLOGICAL REMOTE IMAGINARY STUDIES FOR THE ESTIMATION OF GEODYNAMIC DANGER IN THE KARST TERRITORIES

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 and the identification of geodynamic active zones in the karst territories may be based on a systematic lineament-geodynamic analysis using geological analysis of remote aerial and satellite imaginary information. Interpretation of satellite images at scale from 1:100,000 to 1:25,000 is held, and 6000 lineaments are installed in karst regions and cities of Priurals (Ufa plateau, Kizel, Gremyachinsk, Kungur, Chusovoi, Polazna, Ust-Kishert etc.). There were conducted the lineament-geodynamic analysis and geodynamic zoning, and identification of local anomalous zones with high density of tectonic fracturing. All selected local geodynamic active zones on karst areas are potentially dangerous areas with possible karst failures that it is necessary to take into account during the engineering survey, design and construction work, the development of environmental protection measures.

Keywords: geodynamic active zones, lineaments, karst, methodology of estimation of geodynamic dangerous

Одним из главных факторов развития карста, является новейшая тектоника и современная геодинамика и их проявления – повышенная трещиноватость пород в геодинамических активных зонах. Геодинамическая опасность на закарстованных территориях усиливается в условиях техногенеза (разработки месторождений полезных ископаемых; строительство и эксплуатация различных объектов, рудников, нефтяных промыслов, линейных сооружений, водохранилищ и др.). Синергетический эффект в системе «карст – техногенез – геодинамика» нарушает равновесие в природной системе (особенно гидрогеологических, инженерно-геологических условий) и приводит к образованию опасных геологических процессов, среди которых наибольшую опасность представляют техногенно-карстовые провалы на закарстованных урбанизированных территориях [1, 3, 6-11, 16, 20-23, 26-33].

Материалы и методы исследования

Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ). Преимущество их перед другими методами заключается в возможности изучения любых по площади территорий с высокой эффективностью, обеспеченной информативностью и оперативностью получения данных. Основой методологии изучения геодинамических активных зон (ГАЗ) является линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных методов [7, 13, 14, 18, 19]. На Западном Урале и Приуралье методы АКГИ применяются более 50 лет, при этом изучена в разной степени детальности практически вся территория Пермского края. В последние годы АКГИ проводятся на основе современных цифровых космических снимков (КС) среднего и высокого разрешения, компьютерных технологий дешифрирования и обработки. По новым данным нами были составлены карты тектонических линеаментов, ландшафтных морфоаномалий и морфоструктур, неотектонических блоковых структур, ГАЗ на всю территорию края масштаба 1:500 000-1:200 000 и более детальные – на отдельные районы [2, 9, 13, 15, 25]. Автором совместно с В.З. Хурсиком и др. по программе МПР Пермского края, выполняемой ПГНИУ с целью картирования зон повышенной

трещиноватости и ГАЗ при изучении геоструктурных факторов карстоопасности проведены АКГИ на закарстованных территориях Приуралья (Уфимское плато – масштаб 1:100 000; Кизеловско-Гремячинский карстовый район – масштаб 1:50 000; районы г. Кунгура, г. Чусового, п. Полазны, с. Усть-Кишерть – масштаб 1:25 000), составлены карты линеаментной тектонической трещиноватости и ГАЗ [12]. На основе анализа этих материалов Д.Р. Золотаревым и В.Н. Катаевым установлено влияние линеаментов на развитие карстовых форм и прочностные свойства грунтов [4, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате дешифрирования КС в закарстованных районах восточной и юго-восточной частях Пермского Приуралья выявлено 6 тыс. прямолинейных линеаментов, ранжированных по протяжённости на 7 таксономических рангов (таблица).

Результаты дешифрирования на закарстованных территориях Пермского Приуралья

Ранги линеаментов	Протяженность линеаментов, км	Масштаб дешифрирования КС	Количество линеаментов
региональные	200-800	1:10 000 000, 1:5 000 000	43
региональные	100-200	1:2 500 000, 1:1 000 000	72
зональные	25-100	1:500 000	184
локальные	10-25	1:200 000	642
локальные	5-10	1:100 000	1342
короткие	от 1-2 до 5	1:50 000	1780
короткие	от 0,5-1 до 2	1:25 000	2024

Установлены линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия СЗ и СВ линеаментов, а также субмеридиональные, реже – субширотные. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем глобальных и региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 330º и 60º; ортогональная система – 10º и 285º. Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур. Проведен анализ плотности линеаментов (основной показатель – суммарная протяженность на единицу площади по всем линеаментам) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории. Общий фон составляют значения с низкой (2 балл) и повышенной (3 балл) степенью значений плотности линеаментов. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями – многочисленные, но небольшие по площади аномалии с высокой степенью (4 балл) интенсивности, характерны для участков границ неотектонических блоковых структур. Выделяется более 250 ГАЗ локального уровня (размерами 3-7 х 1-3 км) с очень высокими (5 балл) и чрезвычайно высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов.

Карстовый район Уфимского плато (карбонатное поле). Проведены региональ-но-зональные АКГИ на площади 4 тыс. км^2. Район находится в пределах восточной окраины Русской платформы и небольшой части Предуральского краевого прогиба. По неотектоническому и блоковому районированию [2, 9] занимает часть двух крупных геоблоков. Граница их проходит в северо-восточной части территории по крупному региональному линеаменту ССЗ простирания, проходящего через с. Усть-Кишерть. Основная часть территории расположена на юго-восточном окончании Вятско-Камского геоблока в пределах Уфимского мегаблока и занимает практически всю площадь Красноуфимского макроблока. В рельефе он соответствует Уфимскому плоскогорью (плато) с Сылвенским кряжем. Уфимское плато расчленено древними олигоцен-миоценовыми долинами и снижено широкими мульдами со специфическими карстово-элювиальными и озерными осадками. Территория характеризуется в основном средней и низкой эрозионной расчлененностью рельефа. Большая часть ее характеризуется средней степенью неотектонической активности, дифференцированно – с умеренно-активной и активной степенью неотектонической активности. Преобладающие амплитуды новейших поднятий 150-250 в северной части и до 300-400 м – в южной части территории. Восточная часть территории по ком-

плексу морфонеотектонических критериев входит в пределы региональной Верхнесылвинской ГАЗ [18]. Район Уфимского плато, где карстующимися являются преимущественно сульфатные и карбонатные породы кунгурского и артинского ярусов нижней перми, характеризуется в целом невысокой степенью плотностью карстовых воронок в среднем менее 1 шт./км^2, однако, на участках повышенной трещиноватости пород достигает плотности 220 шт./км^2 (например, на Усть-Кишертском участке); в трещинах происходит поглощение рек, таких как р. Кишертка, Шуртан, Суксунчик и др. [30].

Региональным и зональным дешифрированием КС в районе выделено 1194 линеаментов. Вдоль границы геоблоков через с. Усть-Кишерть в ССЗ направлении проходит серия из 5 региональных субпараллельных линеаментов протяженностью от 100 до 511 км. Ширина этой зоны на юге 2,3 км, на севере – 1,3 км. К западу и юго-западу от этой линейной региональной зоны закономерно через 5-6 км прослеживаются региональные линеаменты ССЗ направления. Через всю территорию с севера на юг прослеживаются региональные линеаменты субширотного или ЗСЗ направления системно с промежутками от 6-8 до 12-14 км. По плотности линеаментов, общий фон составляют значения с низкой, повышенной и высокой степенью. Выделяются более 150 небольших участков (размерами от 0,5-1 до 1,5-6 км) с очень высокой степенью интенсивности. Выделяются около 35 ГАЗ (размерами от 0,5-1 до 1,5-6 км) с чрезвычайно высокими значениями плотности линеаментов. Они протягиваются вдоль крупных линеаментов, концентрируются в местах пересечений и имеют, как правило, изометрично-удлиненную форму с преимущественно СЗ, СВ и меридиональным простиранием. Наиболее крупные участки с высокой степенью неотектонической активности группируются в 28 аномалий с площадями от 5 до 47 км^2. Крупнейшая ГАЗ прослеживается в ССЗ направлении вдоль границы геоблоков, состоит из 3 аномалий с площадями 47,1 км^2 (по линии Подпавлино – Усть-Кишерть – Низкое – Седа – Мазуевка), 21,7 км^2 (в районе п. Мазуевка – Дикое Озеро – Советная), 15,6 км^2 (в 1 км западнее п. Киселево). В северо-западной части территории установлены 3 аномалии СЗ направления с площадями 17,8, 9,8 и 7,6 км^2. В северо-восточной части территории установлены 3 субмеридиональных аномалии с площадями 12,8, 9,5 и 5,5 км^2. В районе р. Кишертки в районе пп. Моргунова, Сабарка, Куликово установлена крупная аномалия с площадью 38,7 км^2. В центральной части территории – 2 значительных по площади аномалий: субширотная с площадью 21,5 км^2 (пп. Янчики, Ключики) и субмеридиональная с площадью 9,8 км^2. Южнее, зафиксированы несколько небольших аномалий с площадями 3-7 км^2 – по рекам Тюш, Сухой Телес, Кундарыш. Еще южнее – по рекам Сарс и Шуртан отмечены несколько аномалий, крупнейшие из них с площадями: 14,6 км^2 (Бол.Сарс), 12,5 км^2 (п. В.Шуртан). В южной части территории установлены 2 аномалии: субширотно-северо-восточная с площадью 36,6 км^2 (пп. Гольцово, Адилево, Уваряж) и северо-западная с площадью 12,8 км^2 (пп. Мавлюкаево, Малый Сарс).

Карстовый район с. Усть-Кишерть. Детальными АКГИ в северной части Уфимского плато на площади 44,5 км^2, где выделено 320 прямолинейных линеаментов (2 – региональных, 7 – зональных, 18 – локальных, 293 – коротких) (рис. 1).

В данном районе выделяются 2 ГАЗ зонального уровня, одна из них является крупнейшей на Уфимском плато, прослеживается линейно в ССЗ направлении с юга на север, вдоль границы геоблоков и занимает практически всю площадь с. Усть-Кишерть, преимущественно в западной части. При дешифрировании КС масштаба 1:25 000 геодинамическая зона в районе с. Усть-Кишерть «разбивается» на 10 ГАЗ размером от 0,3-0,5 до 1-1,5 км. Всего установлены 13 ГАЗ с площадями от 0,1 до 0,8 км^2.

Карстовый район п. Полазна. По неотектоническому и блоковому районированию [2, 9] район расположен на в пределах Вятско-Камской (Волго-Уральской) средневысотной геоступени (геоблока), в пределах Камской относительно опущенной структурной зоны (Камского мегаблока) и Среднекамского макроблока. Полазненский карстовый участок характеризуется в целом высокой степенью закарстованности сульфатных и карбонатных пород кунгурского яруса с плотностью воронок в среднем 30-50 шт./км^2, достигающей максимальной плотности 300 шт./км^2 на побережье Камского водохранилища [30]. Детальными АКГИ масштаба 1:25 000 на площади 136,1 км^2, выделено 923 прямолинейных линеаментов (9 – региональных, 25 – зональных, 109 – локальных, 780 – коротких) (рис. 2).

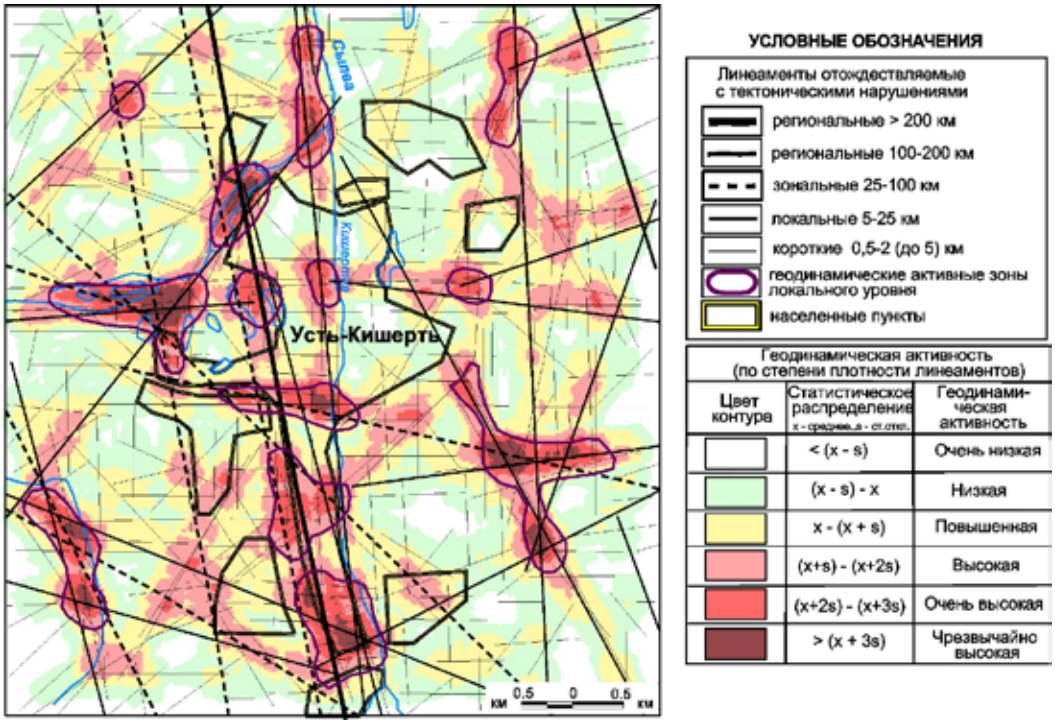

Рис. 1. Геодинамические активные зоны карстового района с. Усть-Кишерть

Рис. 2. Геодинамические активные зоны карстового района п. Полазна (условные обозначения на рис. 1)

Площадь п. Полазны располагается между крупными СВ линеаментами протяженностью 604 и 327 км и СЗ линеаментами протяженностью 286 и 257 км. В западной части района проходит крупный линеамент меридионального направления протяженностью 626 км. Большая часть территории преимущественно в юго-западной части характеризуется низкой плотностью линеаментов; в северо-восточной части преобладает повышенная и высокая плотность линеаментов. Рассматриваемый район полностью попадает в пределы крупной ГАЗ регионального уровня, которая детальным исследованиями «разбивается» на 21 ГАЗ локального уровня размером от 0,3-0,5 до 2-4,5 км, с площадями от 0,2 до 3,3 км^2. По данным гидрогеологических исследований [17] значительное число ГАЗ на этой территории совпадает с водообильными зонами, обусловленными карстовыми и геодинамическими процессами.

Заключение. Все выделенные локальные 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. Данные линеаментно-геодинамического анализа следует внедрять в мероприятия, направленные на минимизацию последствий карстовых процессов. На участках высокой геодинамической активности в условиях карстовой опасности необходимо осуществление постоянно действующего дистанционного мониторинга за состоянием геологической среды с целью инженерно-геологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г. и др. Карст Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2002. – 383 с.

2. Атлас Пермского края / Под общей редакцией А.М. Тартаковского. – Екатеринбург: Уральский рабочий. – 2012. – 124 с.: ил.

3. Грязнов О.Н. Природные и техноприродные опасности и риски Урала // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 47-50.

4. 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.

5. Золотарев Д.Р. Линеаментный анализ в инженерном карстоведении на примере закарстованных территорий Среднего Предуралья. Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата г.-м.н. – Екатеринбург. – 2013. – С. 23.

6. Коноплев А.В., Копылов И.С., Пьянков С.В., Наумов В.А., Ибламинов Р.Г. Разработка принципов и создание единой геоинформационной системы геологической среды г. Перми (инженерная геология и геоэкология) // Современные проблемы науки и образования. – 2012. № 6; URL: http://www.science-education.ru/106-7893.

7. 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.

8. Копылов И.С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // Перспективы науки. – 2011. – № 23. – С. 126-129.

9. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. – 2011. – № 3. – С. 18-32.

10. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и их влияние на инженерно-геологические условия // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 5; URL: www.science-education.ru/99-4894.

11. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: www.science-education.ru/100-5214.

12. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические исследования и линеаментно-геодинамический анализ для оценки карстовой опасности // Инженерная геология и охрана недр: сб. науч. тр. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь. – 2012. – С. 66-83.

13. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL:www.science-education.ru/106-7570.

14. Копылов И.С. Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2012. – № 6. – С. 341-351.

15. Копылов И.С. Составление геологического атласа Пермского края // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. – 2013. – № 16. – С. 356-362.

16. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 4. URL: www.science-education.ru /110-9777.

17. Копылов И.С. Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 93. – С. 468-484.

18. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 4. – С. 69-74.

19. Копылов И.С. Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разработке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 38-43.

20. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5-2. – С. 110-114.

21. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 7. – С. 67-71.

22. Копылов И.С., Карасева Т.В., Гершанок В.А. Комплексная геоэкологическая оценка горно-промышленных районов Северного Урала // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 113-122.

23. Копылов И.С., Ликутов Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-3. – С. 602-606.

24. Копылов И.С., Коноплев А.В. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ // Геоинформатика / Geoinformatika. – 2013. – № 2. – С. 20-23.

25. Копылов И.С., Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. – 2013. – № 3 (20). – С. 5-30.

26. 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.

27. 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.

28. Михалев В.В., Копылов И.С., Аристов Е.А., Коноплев А.В. Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского Приуралья // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2005. – № 1. – С. 75-77.

29. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техно-природных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 5-6. – С. 76-78.

30. Назаров Н.Н. Карст Прикамья. Физико-географические (геоморфологические) аспекты // Учебное пособие. – Пермь, – 1996. – С. 95.

31. Семячков А.И., Двинских С.А., Почечун В.А. Системный подход в изучении природно-технической системы, как источника воздействия на окружающую среду // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 7. – С. 225-228.

32. Середин В.В., Галкин В.И., Растегаев А.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В. Прогнозирование карстовой опасности при инженерно-геологическом районировании территорий // Инженерная геология. – 2012. – № 2. – С. 40-45.

33. Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Хрулев А.С. К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 3. – С. 85-90.