УДК 551.4.03:303.732.4

# СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**[1]Копылов И.С., [2]Ликутов Е.Ю.**

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

*[2]Тюменский государственный университет, Тюмень, e-mail: likutov@front.ru*

Предложено определение геодинамических активных зон и рассмотрены методы их исследований. В основу методики положен комплекс методов: структурно-геоморфологический (морфоструктурный, морфонеотектонический, линеаментно-геодинамический), структурно-гидрогеологический и структурно-геохимический анализ. Комплекс подобран так, что недостатки одних методов и полученных их применением данных восполняются применением других методов. Методика реализована в различных районах Урала и Сибири с положительными результатами в производственных работах и прикладных исследованиях. Методический комплекс может успешно применяться для решения различных задач – сейсмологических (прогнозирование землетрясений), инженерно-геологических (оценка геологических рисков и опасностей и возможности строительства и эксплуатации инженерных сооружений), геоэкологических (прогноз загрязнения территорий, выявление геопатогенных зон), гидрогеологических (оценка подземного стока и водообильных зон), прогнозно-минерагенических (изучение формирования месторождений полезных ископаемых и их поиски).

**Ключевые слова: комплекс, методы, геодинамические активные зоны, геохимические аномалии**

# STRUCTURALLY-GEOMORPHOLOGICAL, HYDROGEOLOGICAL AND THE GEOCHEMICAL ANALYSIS FOR STUDYING AND AN ESTIMATION GEODYNAMIC ACTIVITY

**[1]Kopylov I.S., [2]Likutov E.Y.**

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

*[2]Tyumen State University, Tyumen, e-mail: likutov@front.ru*

Proposed a definition of the geodynamic active zones and the methods of their research. The basis of the procedure laid a complex of methods: structural-geomorphological (morphostructural, morphoneotectonic, lineament-geodynamic), structural-hydrogeological and structural-geochemical analysis. The complex of methods is picked up so that lacks of one methods and the data received by their application are filled with application of other methods. The technique is realized in different regions of the Urals and Siberia, with positive results in industrial works and applied researches. Methodical complex can be successfully applied for the solution of different tasks – seismological (earthquake prediction), engineering-geological (assessment of geological hazards and risks and opportunities of construction and operation of engineering structures), geoecological (the forecast of pollution of the territories, detection of geopathogenic zones), hydrogeological (assessment of groundwater flow and water-bearing zones), the forecast-mineragenic (the study of the formation of mineral deposits and their quest).

**Keywords: complex, methods, geodynamic active zones, geochemical anomalies**

Изучение и оценка геодинамической активности земной коры и ее частей является фундаментальной проблемой наук о Земле (геологии, географии, экологии, экономики). На региональном и локальном уровнях – это одна из важнейших проблем многих регионов, особенно Урала, Сибири, Севера и Дальнего Востока, где в условиях минимальной плотности населения предусматривается создание крупных промышленно-территориальных комплексов с осуществлением технологичных, наукоемких и дорогостоящих проектов. В то же время в урбанизированных, горно- и нефтедобывающих районах с каждым годом усиливается вероятность возникновения и развития чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями, обусловленных геодинамическими процессами, в частности – рельефообразующими.

С 70-х гг. XX в. разрабатывается новое научно-прикладное направление на стыке современной и новейшей геодинамики, структурной геологии и геоморфологии, неотектоники, геохимии, гидрогеологии, геоэкологии, других научных дисциплин и направлений – учение о геодинамических активных зонах.

## Материалы и методы исследований

Под геодинамическими активными зонами понимаются участки земной коры, различные по объему, конфигурации и площади на земной поверхности, активные на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью коры, повышенной трещиноватостью, проницаемостью и, как следствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности, массопереноса флюидов и других процессов [4 – с уточнением авторов]. Для их выявления применяется комплексный методологический подход. Общая методология исследований

была изложена нами ранее [5]. Важнейшими стратегическими задачами разрабатываемого направления являются:

1) выявление геодинамических активных зон литосферы и географической оболочки в целом;

2) общая оценка геодинамической активности территорий на основе комплекса различных параметров оценки степени активности новейших тектонических движений.

Изучение геодинамической (неотектонической) активности проводится по направлениям, исследующим сложную гетерогенную систему «рельеф – тектонические линеаменты и структуры – водные растворы – вещество». Реализация производится в общей схеме исследований «современный рельеф – геоморфологические методы исследований – структурные и геологические условия – геологические методы исследований – геологические результаты». Главная идея – использование рельефа и линеаментов для построения моделей геодинамических активных зон.

В основу методики изучения геодинамических активных зон положен комплекс методов: структурно-геоморфологический (морфометрический, морфоструктурный, морфонеотектонический, структурно-линеаментно-геодинамический), структурно-гидрогеологический и структурно-геохимический анализ [1]. В современном виде она выглядит в следующей последовательности. Построение:

1) базовых морфометрических картосхем – порядков водотоков, базисных поверхностей различных порядков, коэффициентов извилистости русел, аномальных уклонов продольных профилей водотоков, суммарной эрозионной расчлененности рельефа;

2) цифровой модели рельефа;

3) картосхем (диаграмм) систем мегатрещиноватости (локальных и коротких тектонических линеаментов);

4) количественная обработка и математическая интерпретация результатов: приведение к условиям однородной среды, нормирование, осреднение в квадратах, расчет показателей в равнозначных градациях (баллах), расчет суммарного балла, построение картосхем в изолиниях, результирующей картосхемы геодинамической (неотектонической) активности;

5) построение геодинамической модели, обобщение ее данных с данными морфометрии и о геологическом строении и структурной обстановке, геодинамическое районирование, выделение геодинамических активных зон;

6) оценка степени достоверности результатов – сопоставление геодинамической активности с данными о состоянии геофизических, геохимических, гидрогеологических полей и другими, оценка степени неотектонической активности локальных объектов (структур, участков и др.).

## Результатов исследований и их обсуждение

Как показала практика применения данной методики, лучшими показателями оценки геодинамической активности являются плотность тектонических линеаментов, выделенных структурно-геологическим дешифрированием современных космических снимков, и суммарная расчлененность рельефа. В целом эта методика была отработана на западе Сибирской платформы и востоке Восточно-Европейской платформы при геологических, структурно-геологических, гидрогеологических съемках, нефтегазопоисковых работах; на Енисейском кряже при специализированных геохимических и морфоструктурных исследованиях, а также при геодинамических исследованиях на трассах магистральных нефтегазопроводов в различных регионах Севера, Приуралья, Западной Сибири и др. Технология компьютерного дешифрирования и обработки данных в последние годы реализована на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей (Spatial Analyst Tools, Line Density и др.).

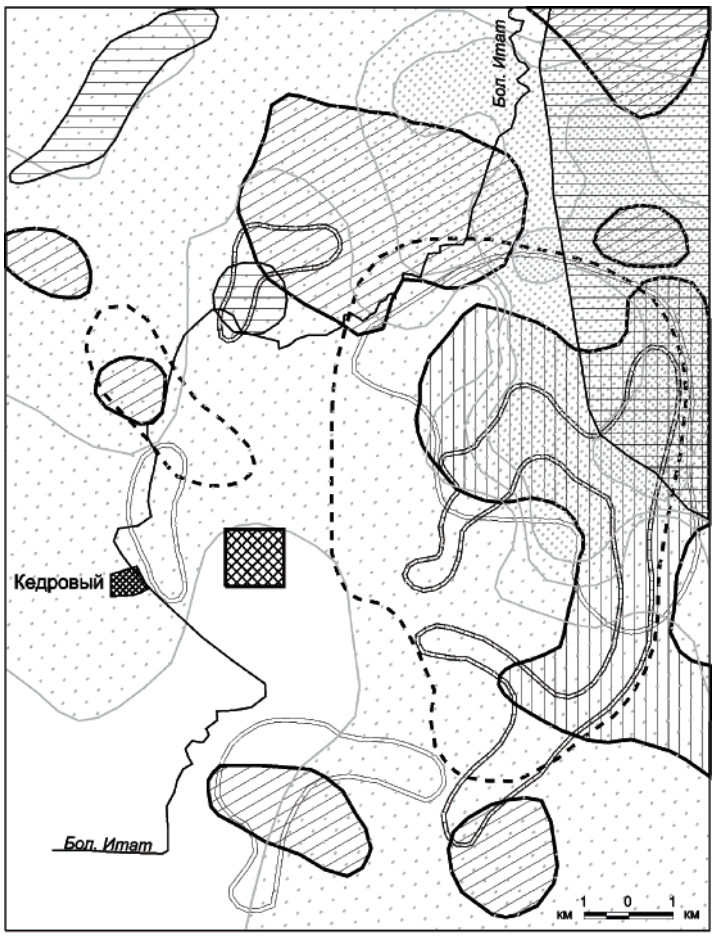
Для оценки степени достоверности результатов, создания итоговых карт районирования, оценки и прогноза применялись структурно-гидрогеологический и структурно-геохимический анализы. Это сложные виды анализов, и в каждом конкретном случае подходы были индивидуальны по своей программе, что касалось, в первую очередь, выявления параметров оценочных показателей.

Структурно-гидрогеологический анализ основан на следующей закономерности: в формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена ведущими являются состояния структурно-геологических условий и неотектонических движений. Действие ее установлено для различных регионов мира [6] и подтверждено нами во многих районах Сибири, Урала, Приуралья. В качестве расчетных показателей для построения структурно-гидрогеологических схем использовались модули: подземного стока, подземного химического стока и углеводородного стока. Эти показатели позволяют с высокой точностью картировать локальные положительные структуры и выделять геодинамические активные зоны. Например, на западе Сибирской платформы из 50 исследованных локальных положительных структур 40 характеризуются повышенными характеристиками гидрогеологических показателей (с превышением фона в 1,5–4 раза), причем наиболее отчетливо проявляются крупные локальные положительные структуры с большими амплитудами и крутыми углами наклона крыльев [2]. То же самое отмечается в пределах Волго-Уральской антеклизы, где на участках развития многих положительных структур (60–80 % от общего числа выявленных) и геодинамических активных зон имеет место повышенный подземный сток.

Анализ геохимических полей проводился комплексом геохимических методов – по основным природным компонентам: водам, почво-грунтам, породам, растительности, снежному покрову, надпочвенному воздуху.

В пределах Байкитской антеклизы в результате обработки материалов, включающих более 15 000 точек геохимического пробоотбора, установлены показатели, характеризующие миграционную способность вещества земной коры по тектонически ослабленным зонам, активизированным в новейшее время. Закартировано более 30 комплексных геохимических аномальных зон с площадями от 100 до 700 км$^2$, на площадях некоторых из них выявлены залежи нефти и газа. Установлена хорошая пространственная и корреляционная сходимость геохимических (гидрогазобиохимические, литогеохимические, битуминологические показатели), гидрогеологических (модули подземного и подземного химического стока) аномалий с геодинамическими активными зонами.

На Енисейском кряже, на одном из участков Нижнеканского гранитоидного массива (где проектировалось хранилище высокотоксичных радиоактивных отходов) была закартирована зона высокой геодинамической активности (неблагоприятных условий для строительства инженерных сооружений). В ее пределах были установлены геохимические аномалии с высоким содержанием гелия и углеводородов в подземных водах и снежном покрове, микроэлементов в почвах. На на другом участке закартирована зона низкой геодинамической активности с фоновыми показателями, который рекомендовался для размещения хранилища радиоактивных отходов, как более безопасный по геодинамическим условиям [7] (рис. 1).




Геодинамические активные зоны по линеаментно-геодинамическому анализу, с плотностью линеаментов: 1 - очень высокой, 2 - высокой; 3 - участки с очень высокими значениями коэффициента расчлененности рельефа. Участки модуля подземного химического стока, г·л / с / км2: 4 - <0.1, 5 - 0.1-0.3, 6 - 0.3-0.5, 7 - 0.5-0.7, 8 - 0.7-1.2, 9 - >1.2. Геохимические аномальные зоны: 10 - по углеводородным газам и гелию в подземных и поверхностных водах; 11 - по углеводородным газам и гелию в снежном покрове; 12 - по микроэлементам в почвах и растительности (суммарный балл по 25 микроэлементам); 13 - населенный пункт; 14 - участок с наиболее стабильными геодинамическими условиями, рекомендуемый для строительства пункта глубокого захоронения радиоактивных отходов

*Рис. 1. Геодинамическая оценка Нижнеканского гранитоидного массива геоморфологическими, геохимическими и гидрогеологическими методами*

На Западном Урале и в Приуралье за последние 30 лет накоплен огромный объем геохимических данных (более 300 тыс. проб) при проведении региональных геолого-геохимических, гидрогеологических и геоэкологических исследований, многоцелевого геохимического картирования. В результате было выявлено большое количество геохимических аномалий по многим компонентам геологической среды. Установлены 21 комплексная литогеохимическая и 13 гидрогеохимических аномальных зон площадью 1–9 тыс. км$^2$ [3]. Их положение также обнаруживает хорошую пространственную сходимость с геодинамическими активными зонами (рис. 2).

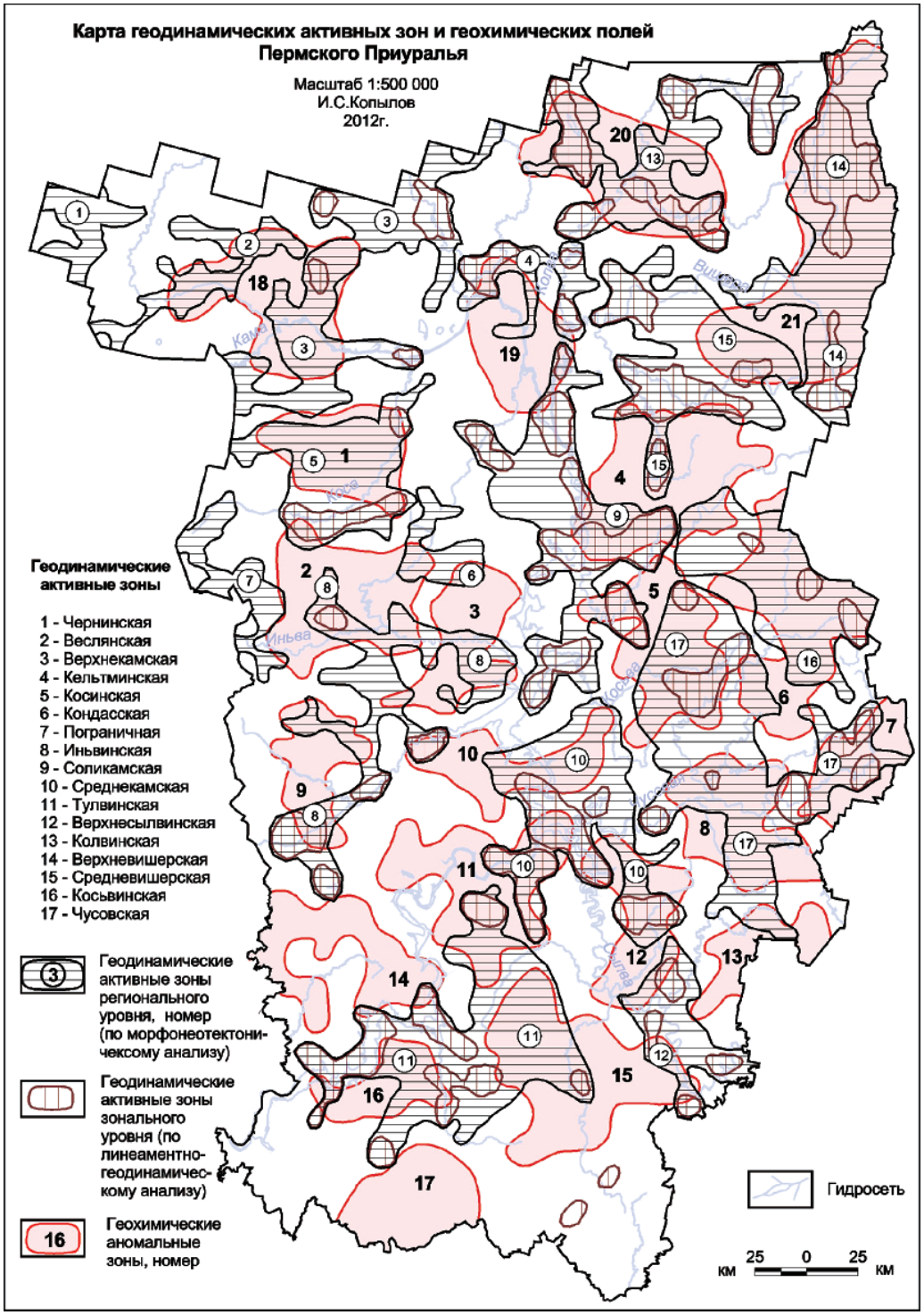



*Рис. 2. Геодинамические активные зоны и литогеохимические аномальные зоны Пермского Приуралья и Урала*

Таким образом, большинство газовых, геохимических и гидрогеохимических аномалий характеризуются повышенными значениями расчетных показателей по нескольким из применявшихся методов. Участки в контурах аномалий характеризуются значительной современной геодинамической активностью. Все это свидетельствует о весьма существенной роли новейшей тектоники и современной геодинамики в формировании геохимических аномалий.

## Заключение

Опыт применения структурно-геоморфологических, гидрогеологических и геохимических методов показывает, что системное их использование уже на ранних стадиях исследований может эффективно решить задачу количественной (качественной) оценки геодинамических условий и локального прогноза современных тектонических движений, а также оптимизировать постановку «тяжелых» видов работ – геофизических и бурения. Предложенный методический комплекс может успешно применяться во многих регионах России для решения задач – сейсмологических (прогнозирование землетрясений), инженерно-геологических (оценка геологических рисков и опасностей, возможности строительства и эксплуатации любых инженерных сооружений), геоэкологических (выявление и прогнозирование перемещений вещества Земли, загрязнения земных оболочек и территорий, геопатогенных зон), гидрогеологических (оценка подземного стока и водообильных зон), прогнозно-минерагенических (изучение формирования месторождений полезных ископаемых и их поиски, особенно углеводородов, рудных ископаемых, алмазов, подземных вод) [4]. В ходе дальнейшего совершенствования методики и ее апробации возможно успешное использование этой методики и в других областях научной и практической деятельности человека.

## Список литературы

1. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи: монография // М.С. Чадаев, В.А. Гершанок, Л.А. Гершанок, И.С. Копылов, А.В. Коноплев. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2012. – 91 с.

2. Копылов И.С. Структурно-гидрогеологический анализ при поисках локальных объектов в юго-западной части Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность перспективных земель Красноярского края: сб. науч. трудов. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 58–65.

3. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь, 2011. – Вып. 1 (10). – С. 26–37.

4. 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 (Дата обращения: 29.09.2011).

5. Копылов И.С., Чусов М.В., Ликутов Е.Ю. Оценка неотектонической активности структурно-геоморфологическими, гидрогеологическими и геохимическими методами // Геоморфология гор и равнин: взаимосвязи и взаимодействие: тез. докл. Междунар. совещ., XXIV пленума геоморфол. комиссии РАН. – Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 1998. – С. 118–121.

6. Шерстнев В.А. Водообильные зоны. Избранные труды. – Пермь: ПГУ, 2002. – 132 с.

7. Structural and geochemical evaluating criteria for geodynamic conditions in Lower–Kansky granitoid massive // V.I. Kirko, V.A. Krinin, M.V. Chusov, I.S. Kopylov, V.I. Burmin. Abstracts of the Third International Radioecological Conference «The fate of spent nuclear fuel: problems and reality», 22-27 June 1996. – Krasnoyarsk, 1996. – P. 202–203.

## References

1. *Gravimetrija, magnitometrija, geomorfologija i ih parametricheskie svjazi: monografija* // M.S. Chadaev, V.A. Gershanok, L.A. Gershanok, I.S. Kopylov, A.V. Konoplev. Perm State University Perm, 2012. 91 p.

2. Kopylov I.S. *Strukturno-gidrogeologicheskij analiz pri poiskah lokalnyh obektov v jugo-zapadnoj chasti Sibirskoj platformy* // Geology and petroleum potential of promising land of the Krasnoyarsk territory. – Tjumen: ZapSibNIGNI, 1987. pp. 58–65.

3. Kopylov I.S. *Osobennosti geohimicheskih polej i litogeohimicheskie anomalnye zony Zapadnogo Urala i Priuralja* // Perm University Herald. Geology. Perm, 2011. Issue 1 (10). pp. 26–37.

4. Kopylov I.S. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty uchenija o geodinamicheskih aktivnyh zonah* // Modern problems of science and education. 2011. no 4; URL: www.science-education.ru/98-4745.

5. Kopylov I.S., Chusov M.V., Likutov E.Y. *Ocenka neotektonicheskoj aktivnosti strukturno-geomorfologicheskimi, gidrogeologicheskimi i geohimicheskimi metodami* // The geomorphology of the mountains and plains: the relationship and interaction: Theses of reports. The international meeting, and XXIV of the Plenum of the geomorphological Commission of the RAS. Krasnodar: Kuban State University, 1998. pp. 118–121.

6. Sherstnev V.A. *Vodoobilnye zony. Izbrannye trudy*. Perm: PSU, 2002. 132 p.

7. Structural and geochemical evaluating criteria for geodynamic conditions in Lower–Kansky granitoid massive // V.I. Kirko, V.A. Krinin, M.V. Chusov, I.S. Kopylov, V.I. Burmin. Abstracts of the Third International Radioecological Conference «The fate of spent nuclear fuel: problems and reality», 22–27 June 1996. Krasnoyarsk, 1996. pp. 202–203.

**Рецензенты:**

Осовецкий Б.М., д.г.-м.н., профессор кафедры минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;

Наумова О.Б., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 03.08.2012.