

© Е.Ю. ЛИКУТОВ, И.С. КОПЫЛОВ

likutov@front.ru, georif@yandex.ru

УДК 551.4.03:303.732.4

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

АННОТАЦИЯ. Предложено определение геодинамических активных зон: 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, массопереносом флюидов и других процессов. Для их выявления изучается сложная гетерогенная система «рельеф — тектонические линейменты и структуры — водные растворы — вещество». Режим исследований характеризуется схемой: «современный рельеф — геоморфологические методы исследований — структурные и геологические условия — геологические методы исследований — геологические результаты». Рассмотрены методы их исследований: структурно-геоморфологические (морфометрические, морфоструктурный, морфонеотектонический, структурно-линеалментно-геодинамический), структурно-гидрогеологический и структурно-геохимический анализ. Комплекс методов подобран так, что недостатки одних методов и полученных данных восполняются применением других методов. Методика оправдала себя в производственных работах и прикладных исследованиях. Гидрогеологические аномалии (с высокими значениями модуля подземного стока) выявлены в пределах 40 из 50-ти локальных положительных структур Байкитской антеклизы и в 60-80% — Волго-Уральской антеклизы. На юго-западе Сибирской платформы установлено более 30 комплексных геохимических аномальных зон с площадями от 100 до 700 км² (некоторые — с залежами нефти и газа), пространственно совпадающих с геодинамическими активными зонами. На Енисейском кряже (Нижнеканский гранитоидный массив) вместо первоначально намеченного участка проектирования хранилища высокотоксичных радиоактивных отходов, где была установлена зона с высокой геодинамической активностью, рекомендован другой участок — с зоной низкой геодинамической активности.

SUMMARY. The paper offers a definition of the geodynamic active zones — areas of the earth's crust that are different in size and configuration, and areas on the earth's surface that are active at the present stage of the neotectonic development and characterized by reduced strength of the crust, increased cracking, permeability. As a result, they are characterized by explosive tectonics, seismicity, mass transfer of fluids and other processes. The complex heterogeneous system «relief — tectonic lineaments and structures — water solutions — substance» is studied to identify these areas. The research is determined by the scheme: «modern relief — morphological methods of research — structural and geological conditions — geological research methods and geological results». The methods of the research: structural and geomorphological (morphological, structural framework, morphoneotectonic, structural-lineament-geodynamic), structural and hydrogeological and structural-geochemical analysis were

under investigation. A complex of methods is chosen so that the shortcomings of some methods are filled by the application of other methods. The methodology justified itself in industrial work and applied research. The hydro-geological anomalies (with high module values of the groundwater flow) have been identified within 40 of 50 identified local positive structures of the Baikit anteklise and in 60-80% of the Volga—Ural anteklise. More than 30 integrated geochemical anomalous zones with the surface from 100 up to 700 km² (some of them with oil and gas deposits) that are spatially coincident with geodynamical active zones are identified in the South-West of the Siberian platform. In the Yenisei Ridge (the Nizhnekanskiy granitoid massif) another plot with an area of low geodynamic activity was recommended for building a storage for highly toxic radioactive waste instead of the initially proposed site where a zone with a high geodynamic activity had been discovered.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Комплекс, методы, геодинамические активные зоны.
KEY WORDS. Complex, methods, geodynamic active zones.*

Оценка геодинамической активности на региональном и локальном уровнях — 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.

Объект, методология, задачи и методика 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 [1 — с уточнением авторов].

Для их выявления применяется комплексный методологический подход. Общая методология исследований была изложена нами ранее [2].

Важнейшими стратегическими задачами разрабатываемого направления являются: 1) выявление геодинамических активных зон литосферы и географической оболочки в целом и 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-геоморфологические (морфометрические, морфоструктурный, морфонеотектонический, структурно-линеаментно-геодинамический), структурно-гидрогеологический и структурно-геохимический анализ. В современном виде она выглядит в следующей последовательности: 1) построение базовых морфометрических картосхем — порядков водотоков, базисных поверхностей различных порядков, коэффициентов извилистости русел, аномальных уклонов продольных профилей водотоков, суммарной эрозионной расчлененности рельефа; 2) построение цифровой модели рельефа; 3) построение 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 грациях (баллах), расчет суммарного балла, построение картосхем в изолиниях, результирующей картосхемы геодинамической (неотектонической) активности; 5) построение геодинамической модели, обобщение ее данных с данными морфометрии, геологического строения и структурной обстановки, 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.).

Результаты 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, нефтегазопроисковых работах [3-5]; на Енисейском кряже при специализированных геохимических и морфоструктурных исследованиях [6]; а также при геодинамических исследованиях на трассах магистральных нефтегазопроводов в различных регионах Севера, Приуралья, Западной Сибири и др. [7-9]. 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 геодинамических активных зон 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.

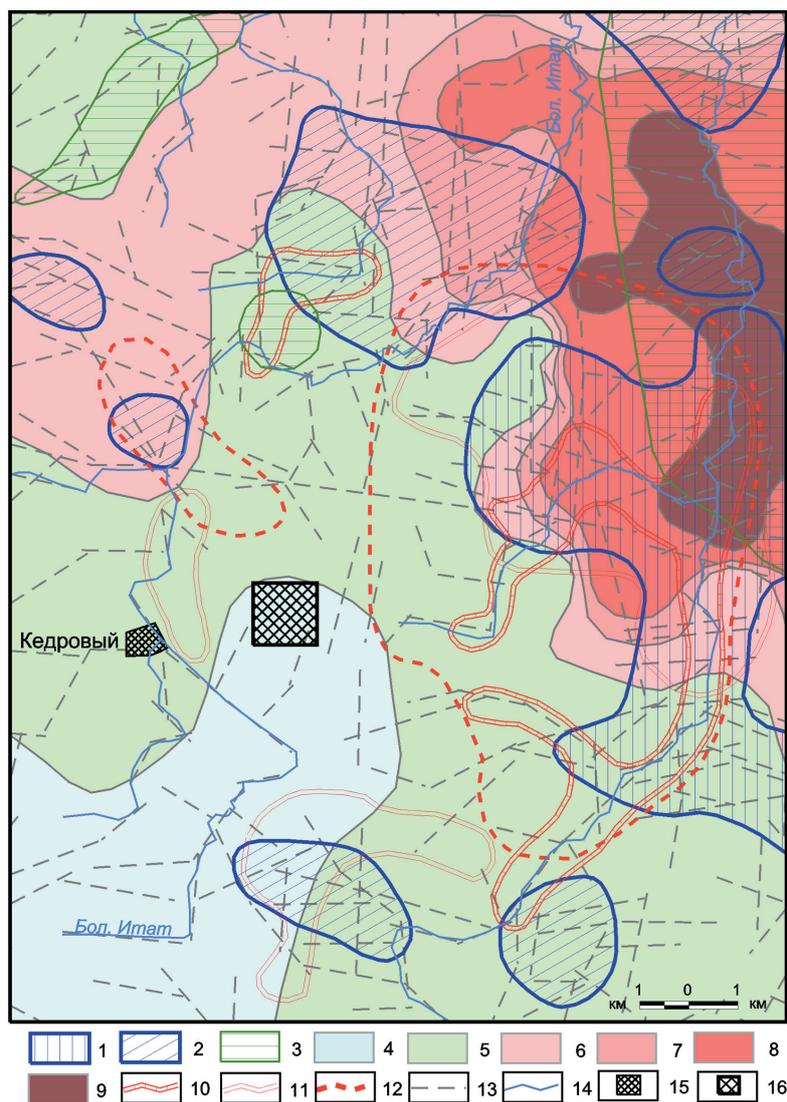
Структурно-гидрогеологический анализ основан на следующей закономерности: в формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена ведущими являются состояния структурно-геологических условий и не-

отектонических движений. Действие ее установлено для различных регионов мира [10-12] и подтверждено нами во многих районах Сибири, Урала, Приуралья [2], [4], [13]. 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, в пределах Байкитской антеклизы 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. 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 прямые и косвенные показатели, характеризующие миграционную способность вещества земной коры по тектонически ослабленным зонам, активизированным в новейшее время. Установлено более 30 комплексных геохимических аномальных зон с площадями от 100 до 700 км², на площадях некоторых из них выявлены залежи нефти и газа [4-5].

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 также была установлена комплексная геохимическая аномалия с высоким содержанием гелия и углеводородов в подземных водах и снежном покрове, микроэлементов в почвах. В то же время на другом его участке закартирована зона низкой геодинамической активности с невысокими гидрогеологическими и геохимическими показателями, который рекомендовался для размещения хранилища радиоактивных отходов, как более безопасный по геодинамическим условиям [6] (рис.).

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 установлено большое количество геохимических аномалий по многим компонентам геологической среды. Закартирована 21 комплексная литогеохимическая и 13 гидрогеохимических аномальных зон площадью 1-9 тыс. км² [14]. Их положение обнаруживает хорошую пространственную сходимости с геодинамическими активными зонами.



Геодинамические активные зоны по лианементно-геодинамическому анализу, с плотностью лианементов: 1 — очень высокий, 2 — высокий; 3 — участки с очень высокими значениями коэффициента расчлененности рельефа. Участки модуля подземного химического стока, $\text{г} \cdot \text{л} / \text{с} / \text{км}^2$: 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 — тектонические лианементы по дешифрованию космоснимков; 14 — гидросеть; 15 — населенный пункт; 16 — участок с наиболее стабильными геодинамическими условиями, рекомендуемый для строительства пункта глубокого захоронения радиоактивных отходов

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

Таким образом, большинство газовых, геохимических и гидрогеохимических аномалий характеризуются повышенными значениями расчетных показателей по нескольким из применявшихся методов морфонеотектонического и структурно-гидрогеологического анализа. Участки в контурах аномалий характеризуются значительной современной геодинамической активностью. Все это свидетельствует о весьма существенной роли неотектонических движений в формировании геохимических аномалий.

Выводы. Опыт применения структурно-геоморфологических, гидрогеологических и геохимических методов показывает, что системное их использование уже на ранних стадиях исследований может эффективно, с конкретной степенью достоверности, без больших затрат времени и средств, решить задачу количественной (качественной) оценки геодинамических условий и локального прогноза современных тектонических движений, а также оптимизировать выбор участков постановки «тяжелых» видов работ — геофизических и бурения. Предложенный методический комплекс проведения оценки геодинамической активности может успешно применяться во многих регионах России.

Основные сферы применения:

1) сейсмологические задачи — выявление сейсмогенерирующих структур, районирование территорий по сейсмической опасности, прогнозирование землетрясений и других явлений, в том числе и катастрофических, связанных с действием закономерностей распределения, как эндогенной, так и экзогенной составляющей литодинамических потоков;

2) инженерно-геологические задачи — изучение влияния геодинамических активных зон на инженерно-геологические условия и инженерные сооружения; оценка возможности строительства и эксплуатации любых инженерных сооружений; оценка геологических рисков и опасностей, связанных с проектированием и эксплуатацией объектов повышенного уровня ответственности; изучение геологической безопасности городов; обоснование безопасного ведения горных работ и промышленного освоения месторождений полезных ископаемых;

3) геоэкологические задачи — выявление и прогнозирование перемещений вещества Земли, определение их скоростей, прогнозы загрязнения всех земных оболочек и территорий; изучение влияния геодинамических активных зон на окружающую среду и человека; выявление геопатогенных зон, обусловленных геодинамической активностью, учение о которых формируется в настоящее время так же весьма активно;

4) гидрогеологические задачи — изучение закономерностей движения подземных вод, влияния геодинамических активных зон на распределение подземного стока и формирование водообильных зон;

5) минерагенические задачи — изучение влияния геодинамических активных зон на формирование месторождений полезных ископаемых и их поиски; особенно перспективным по геодинамическим критериям являются поиски углеводородов, рудных ископаемых, алмазов, подземных вод.

В ходе дальнейшего совершенствования методики и ее апробации возможно успешное использование ее и в других областях научной и практической деятельности человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 7 с.
2. Копылов И.С., Чусов М.В., Ликутев Е.Ю. Оценка неотектонической активности структурно-геоморфологическими, гидрогеологическими и геохимическими методами // *Геоморфология гор и равнин: взаимосвязи и взаимодействие: Тез. докл. Международного совещания, XXIV пленума геоморфологической комиссии РАН*. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 1998. С. 118-121.
3. Копылов И.С., Испанов Н.А., Тишина М.А. Комплексование геологических, геохимических и гидрогеологических методов при структурно-геологической съемке // *Геология и нефтегазоносность Красноярского края*. Красноярск: Сибирь, 1983. С. 75-77.
4. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи: Монография. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2012. 91 с.
5. Копылов И.С. Эколого-геохимическая оценка нефтегазоносных регионов, влияние геодинамики и техногенеза на формирование аномалий // *География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования: м-лы междунар. науч.-практич. конф., посв. 110-летию Красноярского отделения Русского географического общества и Всемирному дню Земли*. В 2 тт. Т. 2. Красноярск: Красноярский гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, 2011. С. 75-76.
6. Кирко В.И., Чусов М.В., Копылов И.С. и др. Структурно-геохимические критерии оценки геодинамических условий Нижнеканского гранитоидного массива // *III междунар. радиоэкологическая конференция «Судьба отработавшего ядерного топлива: проблемы и реальность»*: Тез. докл. междунар. рабочего совещ. по проблемам захоронения ядерных отходов в России. Красноярск, 1996. С. 181-182.
7. 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.
8. Михалев В.В., Копылов И.С. Методика оценки экологических и геологических рисков на основе результатов АКГИ при освоении нефтегазоносных районов Европейского Севера России // *Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: Тез. докладов междунар. науч. конференции*. Пермь, 2005. С. 138-139.
9. Копылов И.С. Картирование геодинамических активных зон Среднего Урала при проведении аэрокосмогеологических исследований территории трасс магистральных газопроводов // *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: М-лы конф.* Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 196-198.
10. Буданов Н.Д. Роль новейшей тектоники и связанных с ней нарушений в гидрогеологии Урала // *Советская геология*. 1957. № 58. С. 25-39.
11. Максимович Г.А., Михайлов Г.К. Опыт структурно-гидрогеологических исследований в Среднем Прикамье // *Гидрогеология и карстоведение*. 1966. Вып. 3. С. 161-171.
12. Шерстнев В.А. Водообильные зоны. Избранные труды. Пермь, 2002. 132 с.
13. 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.

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

REFERENCES

1. Kopylov, I.S. Theory and practice in the study of geodynamic active areas. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya — Current issues in science and education*. 2011. No. 4. Available at: www.science-education.ru/98-4745 (accessed 29.09.2011). 7 p.(in Russian).
2. Kopylov, I.S., Chusov, M.V., Likotov, E.Ju. Assessment of neotectonic activity by means of structural and geomorphological, hydrogeological and geochemical methods. *Geomorfologija gor i ravnin: vzaimosvjazi i vzaimodejstvie: Tez. dokl. Mezhdunarodnogo soveshhanija, XXIV plenuma geomorfologicheskoj komissii RAN* (Geomorphology of mountains and plains: interconnections and interactions. Proceedings of the International Conference: XXIV Cession of the Commission on Geomorphology of the Russian Academy of Sciences). Krasnodar: Kuban State University, 1998. Pp. 118-121 (in Russian).
3. Kopylov, I.S., Ispanov, N.A., Tishina, M.A. Integration of geological, geochemical and hydrogeological methods for structural and geological surveying. *Geologija i neftegazonosnost' Krasnojarskogo kraja — Geology and oil and gas potential of Krasnojarsk Krai*. Krasnojarsk: Sibir publ., 1983. Pp. 75-77 (in Russian).
4. Chadaev, M.S., Gershanok, V.A., Gershanok, L.A., Kopylov, I.S., Konoplev, A.V. *Gravimetrija, magnitometrija, geomorfologija i ih parametricheskie svjazi* [Gravimetry, magnetometry, geomorphology and their parametric correspondence]. Perm: Perm State National Research University, 2012. 91 p. (in Russian).
5. Kopylov, I.S. Ecogeochemical assessment of oil and gas bearing regions, the influence of geodynamics and technogenesis on formation of anomalies. *Geografija, istorija i geojekologija na sluzhbe nauki i innovacionnogo obrazovaniya: m-ly mezhdunar. nauch.-praktich. konf., posv. 110-letiju Krasnojarskogo otdelenija Russkogo geograficheskogo obshhestva i Vsemirnomu dnju Zemli* (Geography, history and geocology serving science and innovative education). Proceedings of the international conference dedicated to 110th anniversary of the Krasnojarsk Department of the Russian Geographical Society and the Earth Day. 2 vol. Krasnojarsk: Krasnojarsk State Pedagogical University named after V. P. Astaf'ev. 2011. Vol. 2. Pp. 75-76 (in Russian).
6. Kirko, V.I., Chusov, M.V., Kopylov, I.S. et al. Structural and geochemical criteria for the assessment of geodynamic conditions of the Nizhnekanskiy granitoid massif. *III mezhdunar. radiojokologicheskaja konferencija «Sud'ba otrabotavshogo jadernogo topliva: problemy i real'nost'»* (III International conference on radioecology: "Spent nuclear fuel: problems and reality"). Proceedings of the international working session devoted to the issues of nuclear waste burial in Russia. Krasnojarsk, 1996. Pp. 181-182 (in Russian).
7. Mihalev, V.V., Kopylov, I.S., Aristov, E.A., Konoplev, A.V. Estimation of technical, natural and socio-ecological emergency risks at the main product pipelines of Perm Cisurals. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika — Pipeline transport: theory and practice*. 2005. No. 1. Pp. 75-77 (in Russian).
8. Mihalev, V.V., Kopylov, I.S. Methods of evaluation of ecological and geological risks based on the results of aerocosmogeological investigations in oil and gas bearing regions in the European North of Russia. *Jekologo-jekonomicheskie problemy osvoenija mineral'no-syr'evyh resursov* (Ecological and economic problems of mineral resources development). Proceedings of the international conference. Perm: The Institute of Natural Science, 2005. Pp. 138-139 (in Russian).
9. Kopylov, I.S. Mapping of geodynamic zones in the Middle Urals and aerocosmogeological investigations in the area of main natural gas pipeline routes. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretacija geofizicheskikh polej. Shestyje nauchnye chtenija pamjati Ju.P. Bulashevicha* (Deep structure, geodynamics, Earth thermal field,

interpretation of geophysical fields. Proceedings of VI scientific conference in memory of Yu. P. Bulashevich). Yekaterinburg: Ural Division of the Russian Academy of Sciences, 2011. Pp. 196-198 (in Russian).

10. Budanov, N.D. The role of new tectonics and related disturbances in hydrogeology of the Urals. *Sovetskaja geologija — Soviet Geology*. 1957. No. 58. Pp. 25-39 (in Russian).

11. Maksimovich, G.A., Mihajlov, G.K. Structural and hydrogeological research in Middle Prikamye. *Gidrogeologija i karstovedenie — Hydrogeology and karst studies*. Perm, 1966. Issue 3. Pp. 161-171 (in Russian).

12. Sherstnev, V.A. Vodoobil'nye zony. Izbrannye trudy [Watered zones. Selected materials]. Perm: PSU, PSI, PMSLA, 2002. 132 p. (in Russian).

13. Kopylov, I.S. Structural and hydrogeological analysis applied in the search of local features in the south-western part of the Siberian Platform. *Geologija i neftegazonosnost' perspektivnyh zemel' Krasnojarskogo kraja — Geology and oil and gas potential of perspective lands in Krasnoyarsk Krai*. Tyumen: ZapSibNIGNI, 1987. Pp. 58-65 (in Russian).

14. Kopylov, I.S. Characteristics of geochemical fields and lithochemical anomalous zones in the Western Urals and Cisurals. *Vestnik Permskogo universiteta — The Journal of Perm University*. Geology. Perm, 2011. Issue 1(10). Pp. 26-37 (in Russian).