

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

Сборник научных статей

Выпуск 4

Под общей редакцией И. С. Копылова



Пермь 2022

УДК 528.8+550.8

ББК 26.3

A992

Аэрокосмические методы в геологии [Электронный ресурс] :
A992 сборник научных статей / под общ. ред. И. С. Копылова ; Пермский
государственный национальный исследовательский университет. –
Пермь, 2022. – Вып. 4. – 30,5 Мб ; 244 с. – Режим доступа:
[http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/aerokosmicheskie-
metodyv-geologii-2022.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/aerokosmicheskie-metodyv-geologii-2022.pdf). – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3340-1

ISBN 978-5-7944-3938-0 (вып. 4)

Сборник содержит статьи по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аэрокосмические методы в геологии», состоявшейся 7 декабря 2021 г. на геологическом факультете Пермского государственного национального исследовательского университета. Рассматриваются проблемы и перспективы применения современных аэрокосмических методов в геологии и других науках о Земле, аэрокосмогеологический анализ как комплексный метод решения геологических, геоэкологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, проблем, задач региональной, поисковой и нефтегазовой геологии и экологической географии.

Издание предназначено для геологов широкого профиля, географов и других специалистов по исследованию недр Земли и окружающей среды, а также для студентов, изучающих естественнонаучные дисциплины.

УДК 528.8+550.8

ББК 26.3

*Издается по решению кафедры поисков и разведки полезных ископаемых
Пермского государственного национального исследовательского университета*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д. г.-м. н. *И.С. Копылов* (главный редактор), к. г.-м. н. *В.В. Голдырев*,
PhD *О.Н. Ковин*, к. т. н. *А.В. Коноплев*, д. г.-м. н. *П.А. Красильников*,
д. г.-м. н. *В.А. Наумов*, д. г.-м. н. *О.Б. Наумова*, к. г.-м. н., *А.Г. Попов*,
д. б. н. *М.В. Rogozin*, к. г.-м. н. *А.С. Сунцев*

Рецензенты: главный инженер ООО НПК «ГеоТРИКС», канд. геол.-мин. наук,
доцент **Ю. А. Килин**

генеральный директор научно-исследовательского, проектного и производственного предприятия по природоохранной деятельности «Недра»,
д-р геол.-мин. наук, профессор **В. В. Середин**

ISBN 978-5-7944-3340-1

ISBN 978-5-7944-3938-0 (Вып. 4)

© ПГНИУ, 2022

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
RUSSIAN FEDERATION
PERM STATE UNIVERSITY

AEROSPACE METHODS IN GEOLOGY

Series of scientific article

(issue 4)

Dr. I.S. Kopylov (editor)



Perm 2022

UDC 528.8+550.8
LBC 26.3
A992

Aerospace methods in geology: Series of scientific article.
A992 Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2022. 244 p.

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3938-0 (Issue 4)

An issue of Series of scientific articles on Materials of IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Aerospace Methods in Geology", held on December 7, 2021 in the Geological Department of Perm State University.

The problems and prospects of applying modern aerospace methods in geology and other Earth sciences, aerospace and geological analysis, as a complex method for solving geological, geoecological, hydrogeological, engineering and geological problems, regional, exploratory and oil and gas geology and ecological geography are considered.

For geologists of a wide profile, geographers and other specialists in the study of the bowels of the Earth and the environment, as well as for students of Natural Sciences programs.

UDC 528.8+550.8
LBC 26.3

Published is confirmed by the Scientific Board of the Faculty of Geology of Perm State University

EDITORIAL BOARD

Dr. *I.S. Kopylov* (editor), Cand. *V.V. Goldyrev*, PhD *O.N. Kovin*,
Cand. *A.V Konoplev*, Dr. *P.A. Krasilnikov*, Dr. *V.A. Naumov*, Dr. *O.B Naumova*,
Cand. *A.G. Popov*, Dr. *M.V. Rogozin*, Cand. *A.S. Suntsev*

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3938-0 (Issue 4)

© Perm State University, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА	11
И.С. Копылов ЛИНЕАМЕНТНО-БЛОКОВЫЙ АНАЛИЗ, БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ И КАРТА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ БЛОКОВЫХ СТРУКТУР ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ И УРАЛА.....	11
И.С. Копылов ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОГО КРАЯ.....	30
И.С. Копылов МЕТОДОЛОГИЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И РЕЗУЛЬТАТЫ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КЕРЧЕВСКОЙ ПЛОЩАДИ (КАМСКИЙ СВОД).....	47
И.С. Копылов, В.А. Наумов, В.В. Оборин, Е.Н. Барсуков МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСИРОВАНИЮ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПОИСКОВ УРАНА.....	73
М.В. Рогозин МАЛЫЕ ГЕОАКТИВНЫЕ ЗОНЫ И ИХ ИНДИКАТОРЫ – РЫЖИЕ ЛЕСНЫЕ МУРАВЬИ	84
Е.М. Шемякина, К.А. Воробьев ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ.....	96
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ, ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, РЕГИОНАЛЬНОЙ И НЕФТЕГАЗОПОИСКОВОЙ ГЕОЛОГИИ.....	103
В.Н. Голдырев, А.Л. Артемов, А.В. Заводов, В.С. Коротаев АРГИЛЛИЗИРОВАННЫЕ ПОРОДЫ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ РУДНОГО ПОЛЯ КУМРОЧ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА)	103

А.В. Заводов, К.А. Калина, Н.Ю. Нафиков ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ (КУРАНАХСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ).....	112
С.В. Козлов О ДВИЖУЩИХ СИЛАХ МАНТИЙНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В РАМКАХ ГОРЯЧЕЙ ВЕТВИ ДЕГАЗАЦИИ И СВЯЗЬ ИХ С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ.....	120
И.С. Копылов, В.А. Кузнецов ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ ЗОЛОТА В БОДАЙБИНСКОМ РАЙОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.....	131
Д.А. Кузин, В.А. Шестакова, А.Д. Арион ИЗУЧЕНИЕ ВОРОНЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.....	146
В.Н. Сизова, С.В. Ельцов, Б.Н. Бакытжанова РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЕН-ЯХИНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТРОЖДЕНИЯ (ЯНАО).....	153
М.В. Шаньшеров, О.А. Чащин, Д.В. Паршаков ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ (ТАСЕЕВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЗОЛОТА, ЛИСТ М-50-III).....	161
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ, ГЕОГРАФИИ, БИОЛОГИИ.....	170
С.С. Безруков МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА).....	170
С.Н. Гладких, Н.Н. Семчук КОМПЛЕКСНЫЕ РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВАЛДАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА.....	176
Т.Г. Ковалёва, Д.А. Балахнин, М.И. Гильманов, Р.Н. Петросян АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦИФРОВКИ КАРСТОВЫХ ФОРМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ МОДУЛЯ DEEP LEARNING ДЛЯ ARCGIS PRO.....	184

Т.Г. Ковалёва, Д.А. Балахнин, З.В. Селина ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМОСНИМКОВ И ОРТОФОТОПЛАНОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ	188
И.С. Копылов ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	194
И.С. Копылов ПРОВЕДЕНИЕ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ЗОН ТЕРРИТОРИИ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЧАЙКОВСКИЙ» (ГРЕМЯЧИНСК – ЧУСОВОЙ – ПЕРМЬ – КЫН).....	205
И.С. Копылов, Ю.А. Килин, Е.А. Ерофеев ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ КРАСНОУФИМСКОГО МАКРОБЛОКА ПО ДАННЫМ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАРСТООПАСНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА.....	217
Н.Н. Семчук, С.Н. Гладких, О.В. Балун, Я.М. Абдушаева ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АРЕАЛА ИНВАЗИОННОГО ВИДА <i>HERACLEUM</i> <i>SOSNOWSKYI MANDEN</i> В ЕСТЕСТВЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ.....	230
В.П. Тихонов, Т.И. Караваяева, Е.В. Дробинина АКТУАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОСИСТЕМ.....	237

CONTENTS

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE	11
I.S. Kopylov LINEAMENT-BLOCK ANALYSIS, BLOCK STRUCTURE, AND A MAP OF NEOTECTONIC BLOCK STRUCTURES OF THE PERM PRIURALS AND THE URALS.....	11
I.S. Kopylov LINEAMENT GEODYNAMIC ANALYSIS IN THE KARST TERRITORIES OF THE PERM REGION.....	30
I.S. Kopylov METHODOLOGY OF LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS AND THE RESULTS OF OIL AND GAS PROSPECT FOR AEROSPACE AND GEOLOGY INVESTIGATIONS ON KERCHEVSKY SQUARE (KAMSKIY VAULT).....	47
I.S. Kopylov, V.A. Naumov, V.V. Oborin, E.N. Barsukov METHODOLOGICAL APPROACH TO COMPLEXING AEROSPACEGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL RESEARCH FOR URANIUM SEARCH.....	73
M.V. Rogozin SMALL GEOACTIVE ZONES AND THEIR INDICATORS – RED FOREST ANTS.....	84
E.M. Shemyakina, K.A. Vorobyev POSSIBILITIES OF SATELLITE SUPPORT OF GEOLOGICAL EXPLORATION.....	96
APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, SEARCHING FOR SOLID MINERALS, REGIONAL AND OIL AND GAS PROSPECTING GEOLOGY	103
V.N. Goldyrev, A.L. Artemov, A.V. Zavodov, V.S. Korotaev ARGILLIZED ROCKS AS A CRITERION FOR PREDICTING GOLD MINERALIZATION WITHIN THE KUMROCH ORE FIELD (CENTRAL KAMCHATKA).....	103

A.V. Zavodov, K.A. Kalina, N.U. Nafikov APPLICATION OF AEROSPACE INVESTIGATIONS IN FORECASTING AND SEARCHING FOR GOLD DEPOSITS IN THE TERRITORY IN SOUTHERN YAKUTIA (KURANAKH DEPOSIT).....	112
S.V. Kozlov ON THE DRIVING FORCES OF MANTLE KIMBERLITE BODIES WITHIN THE HOT BRANCH OF DEGASSING AND THEIR RELATIONSHIP WITH DIAMOND POSSIBILITY	120
I.S. Kopylov, V.A. Kuznetsov PROSPECTS FOR GOLD SEARCHING IN THE BODAIBO REGION USING AEROSPACE AND GEOCHEMICAL METHODS.....	131
D.A. Kuzin, V.A. Shestakova, A.D. Arion STUDY OF THE GOLD-BEARING VORONTSOV DEPOSIT USING AEROSPACE METHODS.....	146
V.N. Sizova, S.V. Eltsov, B.N. Bakytzhanova REGIONAL AEROSMOGEOLOGICAL ANALYSIS OF EN-YAKHINSKOE OIL-GAS-CONDENSATE FIELD (YANAO).....	153
M.V. Shansherov, O.A. Chashin, D.V. Parshakov APPLICATION OF AEROSPACE INVESTIGATIONS IN THE SEARCH FOR GOLD IN THE TRANS-BAIKAL TERRITORY (TASEEVSKOYE GOLD DEPOSIT, SHEET M-50-III).....	161
APPLICATION OF AEROCOSMIC METHODS FOR SOLVING THE TASKS OF ENGINEERING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY, GEOGRAPHY, BIOLOGY	170
S.S. Bezrukov ENVIRONMENTAL MONITORING USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV).....	170
S.N. Gladkikh, N.N. Semchuk COMPLEX RADIOLOGICAL STUDIES OF AQUATIC AND FOREST ECOSYSTEMS OF THE VALDAI NATIONAL PARK.....	176
T.G. Kovaleva, D.A. Balakhnin, M.I. Gilmanov, R.N. Petrosyan AUTOMATING KARST DIGITIZATION WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS FOR ARCGIS PRO.....	184
T.G. Kovaleva, D.A. Balahnin, Z.V. Selina AERIAL PHOTOGRAPH INTERPRETATION IN KARST HAZARD ASSESSMENT	188

I.S. Kopylov LINEAMENT GEODYNAMIC ANALYSIS FOR ASSESSING THE ECOLOGICAL CAPACITY OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY	194
I.S. Kopylov CONDUCTING AEROSMIC AND GEOLOGICAL RESEARCHES TO IDENTIFY GEODYNAMIC ACTIVE ZONES OF THE TERRITORY OF TRANSPORT GAS PIPELINES LLC "GAZPROM TRANSGAZ TCHAIKOVSKY" (GREMYACHINSK – CHUSOVOY – PERM – KYN).....	205
I.S. Kopylov, Yu.A. Kilin, E.A. Erofeev TECTONIC FRACTURES OF THE KRASNOUFIM MACROBLOCK ACCORDING TO THE DATA OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL INVESTIGATIONS FOR THE ASSESSMENT OF THE KARST HAZARD OF THE MAIN GAS PIPELINE.....	217
N.N. Semchuk, S.N. Gladkikh, O.V. Balun, Y. M. Abdushaeva USE OF AERIAL- AND SATELLITE IMAGES TO MONITOR THE RANGE OF THE INVASIVE SPECIES HERACULUM SOSNOWSKYI MANDEN IN NATURAL BIOGEOCENOSES.....	230
V.P. Tihonov, T.I. Karavaeva, E.V. Drobinina UPDATE OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING SURVEYS: APPLICATION OF REMOTE METHODS FOR ECOSYSTEM ASSESSMENT.....	237

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE

УДК 550.81:551.24

И.С. Копылов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

ЛИНЕАМЕНТНО-БЛОКОВЫЙ АНАЛИЗ, БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ И КАРТА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ БЛОКОВЫХ СТРУКТУР ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ И УРАЛА

Линейная и линейно-блоковая тектоника и неотектоника Урала и Приуралья рассмотрена во многих работах и достаточно противоречива, как по местоположению основных тектонических нарушений, так и по механизму их образования. В результате проведения региональных аэрокосмогеологических исследований территории Пермского края и дешифрирования современных цифровых спектрально-зональных космических снимков выделено более 50 тыс. линеаментов, отождествляемых с тектоническими нарушениями фундамента и осадочного чехла. Проведена их обработка в геоинформационных технологиях с использованием различных методик. На основе линеаментно-блокового и морфонеотектонического анализа выполнено неотектоническое районирование, отражающее блоково-тектоническое, морфоструктурное и геоморфологическое строение территории имеющее важное значение для изучения минерагенических, геоэкологических, гидрогеологических, геохимических геофизических и инженерно-геологических условий. Составлена карта неотектонических блоковых структур Пермского Урала и Приуралья.

Ключевые слова: тектоника, неотектоника, геодинамическая активность, блоковые структуры, тектонические нарушения, линеаменты, аэрокосмические методы, Урал.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

LINEAMENT-BLOCK ANALYSIS, BLOCK STRUCTURE, AND A MAP OF NEOTECTONIC BLOCK STRUCTURES OF THE PERM PRIURALS AND THE URALS

Linear and linear-block tectonics and neotectonics of the Urals and Cis-Urals are considered in many works and are rather contradictory, both in terms of the location of the main tectonic faults and the mechanism of their formation. As a result of regional aerospace geological studies of the territory of the Perm Territory and the interpretation of modern digital spectral-zonal satellite images, more than 50 thousand lineaments identified with tectonic faults in the basement and sedimentary cover have been identified. They were processed in geoinformation technologies using various methods. On the basis of lineament-block and morphoneotectonic analysis, neotectonic zoning was performed, reflecting the block-tectonic, morphostructural and geomorphological structure of the territory, which is important for the study of mineralogical, geoecological, hydrogeological, geochemical, geophysical and engineering-geological conditions. A map of neotectonic block structures of the Permian Urals and the Urals has been compiled.

© И.С. Копылов, 2022

Key words: tectonics, neotectonics, geodynamic activity, block structures, tectonic faults, lineaments, aerospace methods, Ural.

Общие представления о характере трещинно-разрывных структур

Существующее представление о блоковом характере глубинных структур платформы, ее фундамента и чехла, отражающем в целом слоисто-блоковое строение земной коры, в настоящее время разделяется многими отечественными и зарубежными исследователями в области геотектоники, геодинамики, неотектоники, структурной геологии (В.Е. Хаин, М.Г. Ломизе [33]; Бабак, Николаев, [1], Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева [4]; К. Сейферт и др., 1991 [32] и др.).

Важную роль в изучении блокового строения играют разрывные нарушения. Трещины в земной коре, распространены практически повсеместно, нет участка земной коры, лишенного трещиноватости, которая в виде деструктивного фона выступают в самых верхних горизонтах земной коры, в отдельных участках возникает концентрация трещин – аномальное распределение трещиноватости [27]. Существуют различные классификации трещин и разломов, многими авторами выделяются системы разломов и линеаментов различного уровня – планетарного, глобального, регионального, локального и др. Развивается учение о глубинных разломах, к которым по определению А.В. Пейве относятся разломы планетарной протяженностью, значительной (подразумевается мантийной) глубиной заложения и большой длительностью развития. Понятию глубинных разломов полностью отвечают лишь так называемые сутуры. Или швы, маркирующие зоны столкновения коллизии литосферных плит. Это важнейшие элементы строения подвижных поясов. Швы эти разделяют крупные блоки коры и литосферы, иногда именуемые геоблоками [33].

На территории Пермского Приуралья различными методами геофизики, пробуренных скважин, геологическим съемкам, аэрокосмогеологическим исследованиям установлено большое количество тектонических нарушений и трещинных зон. Г.Г. Кассин и К.С. Шершнева [3], на основе прямых методов картирования разломов (сейсморазведка МОВ, МОГТ, ГСЗ), бурения, гравимагнитных и других данных – разделили все разломы на 5 основных групп, соответствующих главным этапам развития земной коры:

1) древние, образовавшиеся в ранне- и среднепротерозойское время, в доплатформенный этап развития;

2) позднепротерозойские – рифейские разломы, развивавшиеся от позднего рифея до раннего палеозоя и имевшие, по-видимому, несколько стадий активизации, соответствующих байкальскому, каледонскому и началу герцинского циклов тектогенеза;

3) палеозойские (послесреднедевонские), соответствующие завершающей стадии герцинского тектогенеза;

4) мезозойско-третичные тектонические нарушения, зафиксированные в основном внутри осадочной толщи;

5) неотектонические разрывы.

Эта классификация выполнена в большой мере по периодам активизации, а не по времени образования, поскольку более молодые разломы нередко развивались вдоль нарушений, образовавшиеся в предыдущие этапы тектогенеза (унаследованные разломы). Указанные группы тектонических нарушений характеризуются специфическими особенностями развития, пространственного размещения и различным влиянием на формирование ловушек углеводородов.

Признаки неоген-четвертичной блоковой тектоники, как отмечает К.П. Плюснин [28] (и мы с этим полностью согласны), развиты по всему Уралу. Для региональных неотектонических блоковых структур Урала и зоны передовых складок характерна отчетливая пространственная взаимосвязь с геоморфологическими формами (ступенчато-ярусный рельеф), геологическим строением (формации и комплексы пород) и тектоническими структурами. Эта глобальная закономерность выражена благодаря контролирующей роли системы региональных разломов уральского типа, (преимущественно субмеридионального направления с поперечными субширотными). Такие взаимосвязи характерны в целом, для всего Пермского Приуралья, но в равнинной платформенной части они проявляются более дифференцированно.

Анализ линеamentной тектоники и трещинно-разрывных структур на основе дешифрирования КС

Для выявления протяженных линеamentов произведено обзорное и региональное дешифрирование спектрзональных космических снимков (КС). Выполнен анализ геоиндикационных признаков линеamentно-блоковой тектоники, проведено ранжирование линеamentов, проведено неотектоническое районирование с выделением блоковых структур [7-10, 13-17, 19, 21].

Выполнены следующие виды дешифрирования КС:

– обзорное (масштаб 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000) для выявления глобального каркаса систем линеamentов и основных геоблоков (протяженностью сотни км);

– региональное (масштаб 1:1 000 000), для выявления региональных линеamentов и структурно-геоморфологических блоков;

– региональное (масштаб 1:500 000), для выявления зональных линеamentов;

– зонально-региональное (масштаб 1:200 000), для выявления региональных, зональных и локальных линеamentов и мегатрещин.

В результате дешифрирования КС на рассматриваемой территории выделено большое количество прямолинейных линеamentов (1530 региональных и зональных линеamentов протяженностью от 25 до 100-200 км и более), многие

из которых, по геологическим признакам достаточно уверенно диагностируются, как линеаменты осевых зон трещинно-разрывных структур осадочного чехла, некоторые из них, наиболее крупные региональные линеаменты отражают характер рельефа фундамента.

В соответствии с ориентировкой крупнейших структур фундамента Восточно-Европейской платформы и Урала выделяются два основных направления линеаментов. Наиболее четко на КС выражена серия северо-западных линеаментов и северо-восточных линеаментов; реже отмечаются линеаменты меридионального направления и еще реже – широтные линеаменты. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем глобальных и региональных линеаментов протяженностью более 200-400 км, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории по Восточно-Европейской платформы, пресекая обрамляющие ее складчатые сооружения Уральской складчатой системы и Тиманского кряжа. Диагональная система имеет преимущественное направление 330° и 60° ; ортогональная система – 10° и 285° .

Необходимо отметить, что подавляющее большинство глубинных разломов, выделенных геолого-геофизическими методами проявляются на космических снимках масштаба 1:500 000-1:200 000, совпадая с их осевыми линиями, или трассируясь, параллельно им в непосредственной близости. Четко выражена система из пяти основных субмеридиональных разломов Пермского Приуралья (по Г.Г. Кассину и К.С. Шершневу, [3]), включая Главный Уральский разлом.

Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Так отчетливо отражается контролирующая роль меридиональных линеаментов для структур Урала и зоны передовых складок. Отчетливо выделяются структуры I порядка, особенно меридионального, северо-западного и северо-восточного простирания. Зональные линеаменты контролируют большинство структур II порядка. Прямолинейные линеаменты отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры.

По протяженности линеаменты подразделены на пять таксономических рангов:

- 1) региональные, большой протяженности, прослеженные на расстояние 200-400 км и более;
- 2) региональные, значительной протяженности, прослеженные на расстояние 100-200 км;
- 3) зональные, длиной 25-100 км;
- 4) локальные линеаменты, длиной от 5 до 25 км;
- 5) короткие линеаменты (мегатрещины), длиной 1,5-5 км и менее (рис. 1).

КАРТА РЕГИОНАЛЬНЫХ, ЗОНАЛЬНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ ЛИНЕАМЕНТОВ ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЯ

Масштаб 1:500 000
Автор-составитель: И.С. Копылов
2010 г.

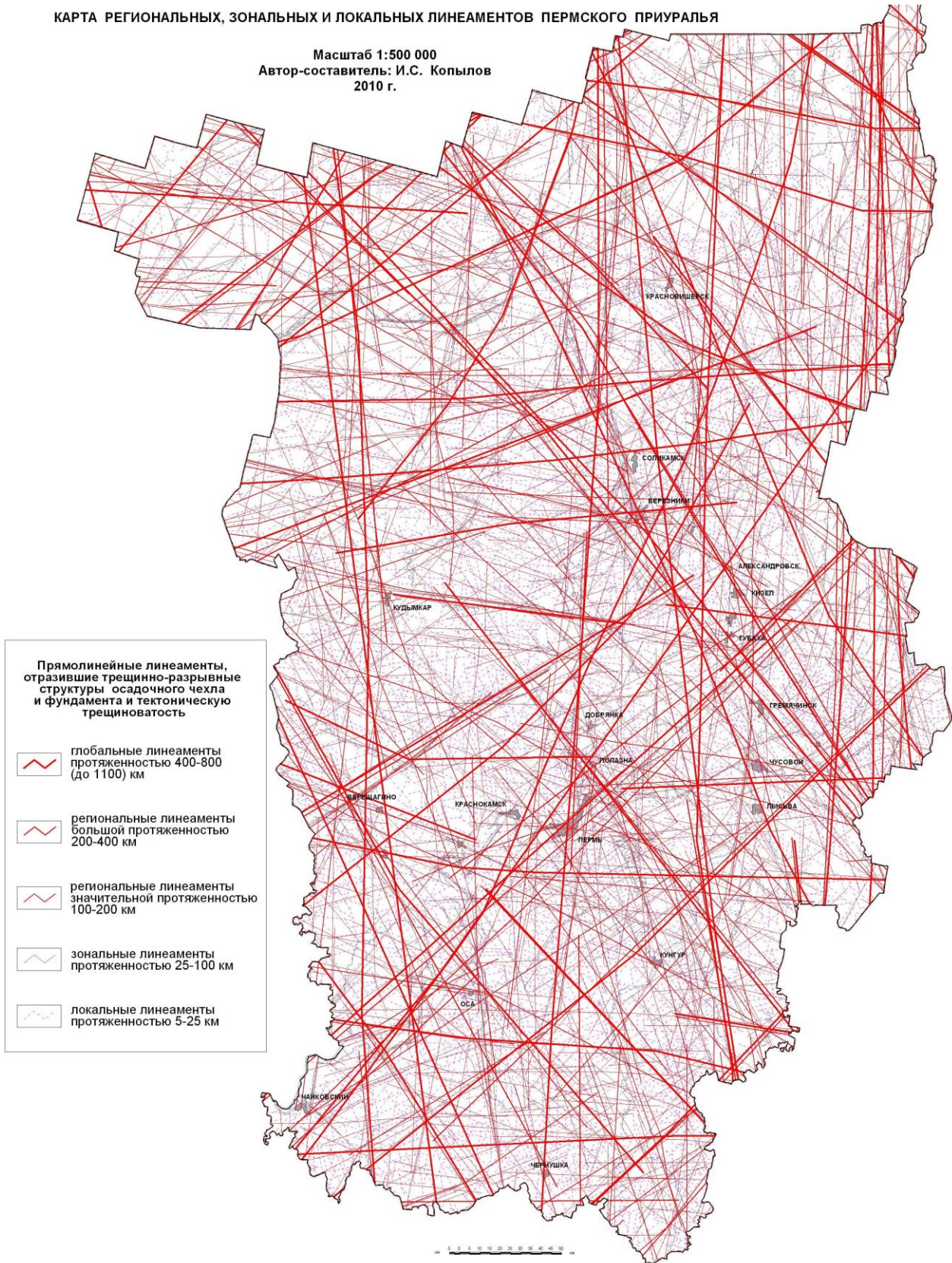


Рис. 1. Карта региональных, зональных и локальных тектонических линеаментов Пермского Урала и Приуралья

Неотектоническое районирование на основе линейно-блоковой тектоники и составление карты неотектонических блоковых структур

Линейная и линейно-блоковая тектоника и неотектоника Урала и Приуралья рассмотрена во многих работах и достаточно противоречива, как по местоположению основных тектонических нарушений, так и по механизму их образования [1, 2, 3, 29–31].

Карта неотектонических блоковых структур Пермского Урала и Приуралья составлена на основе представлений о блоковом строении земной коры в пределах Пермского Приуралья, изучения закономерностей размещения глубинных разломов (выделенных по геолого-геофизическим данным) и линейаментам, отождествляемым с разломами в фундаменте и осадочном чехле (по материалам космического дешифрирования и структурно-геоморфологическому анализу) [12, 15]. Она отражает формы тектонического рельефа; отражает условную степень активности современных и новейших движений земной коры, отраженных в современном рельефе; уточняет и детализирует развиваемое в настоящее время представление о геоблоках как основной форме делимости земной коры [5, 6, 11, 24].

В основе легенды карты лежит принцип закономерной делимости земной коры на блоки различного иерархического уровня: геоблоки – мегаблоки – макроблоки – мезоблоки – локальные блоки и оценки степени неотектонической активности по интенсивности проявления неотектонических движений в современном рельефе [14]. Выделение блоковых структур производилось в соответствии с принципами линейно-амонной тектоники [4]. Границами блоковых структур послужили отрезки протяжённых прямолинейных линейамонтов, контролирующих геологические структуры, неотектонические блоки. Все неотектонические блоки характеризуются определенными орографическими уровнями поверхностей рельефа.

В качестве основы для неотектонического районирования на структурно-блоковой основе до уровня выделения геоблоков (но с уточнением их пространственных границ) взята карта геолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала) масштаба 1:1 500 000, под редакцией В.И. Бабака и Н.И. Николаева [1]. В основу районирования положен единый структурный принцип разделения территории независимо от ранга или классификационного уровня выделяемых подразделений, а именно выделение выраженных в рельефе, соподчиненных по размерности и происхождению, активных на новейшем этапе неотектонических структур разного ранга и глубины заложения – от материковых платформ и орогенов до локальных структур (табл. 1).

Пермское Приуралье (в границах Пермского края) входит в пределы планетарных геоструктур – Восточно-Европейской материковой платформы (в пределах субпланетарных геоструктур Русской и Тимано-Печорской плит) и Уральской складчатой системы.

**Неотектоническое районирование Пермского Приуралья
на структурно-блоковой основе**

Таксоны неотектонического районирования				
Надрегионы (глобальные геострук- туры)	Регионы		Области (мегаблоки)	Районы (макроблоки)
	I порядка (субгло- бальные)	II порядка (геоблоки)		
А. Восточно-Европейский	А. Русский	а. Центральный (Московский)	I. Сысольский	1. Черноречинский 2. Верхнетимшерский 3. Веслянский 4. Кельтменский
		б. Вятско-Камский (Волго-Уральский)	II. Верхнекамский	5. Верхнекосинский 6. Верхнеиньвинский 7. Верхнеобвинский 8. Верхнечепецкий
			III. Камский	9. Косинский 10. Уролкинский 11. Кондасский 12. Иньвинско-Обвинский 13. Верецагинский 14. Оханский 15. Среднекамский 16. Нижнекамский 17. Буйский
			IV. Уфимский	18. Усинский 19. Тулвинский 21. Иреньский 21. Красноуфимский 22. Таныпский
		в. Предсреднеуральская структурная зона	V. Предсреднеуральский	23. Северо-Соликамский 24. Южно-Соликамский 25. Косьвинско-Чусовской 26. Сылвинский
		Б. Урало-Новоземельский	Б. Тимано-Печорский	г. Тиманский
VII. Южно-Тиманский	28. Пильвинский			
д. Предсевероуральский	VIII. Верхнепечорский			29. Колвинский
В. Уральский	е. Западно-Уральский		IX. Западно-Североуральский	30. Нижнеберезовский 31. Среднеберезовский 32. Вишерский
			X. Западно-Среднеуральский	33. Яйвинский 34. Губахинский 35. Горнозаводский
	ж. Центрально-Уральский		XI. Центрально-Североуральский	36. Тулымский 37. Кваркушский
			XII. Центрально-Среднеуральский	38. Чикманский 39. Басегский 40. Вижайский 41. Верхнекойвинский

Примечание:

1 – собственные наименования региональных структур (геоблоков) по Восточно-Европейскому региону приведены в соответствии с районированием новейших тектонических структур территории Нечерноземья [1]; другие – по автору [12]; 2 – неотектонические районы (соответствующие макроблокам) выделены и подразделены в соответствии с картой неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья [22]; на подрайоны (соответствующие мезоблокам) без наименований.

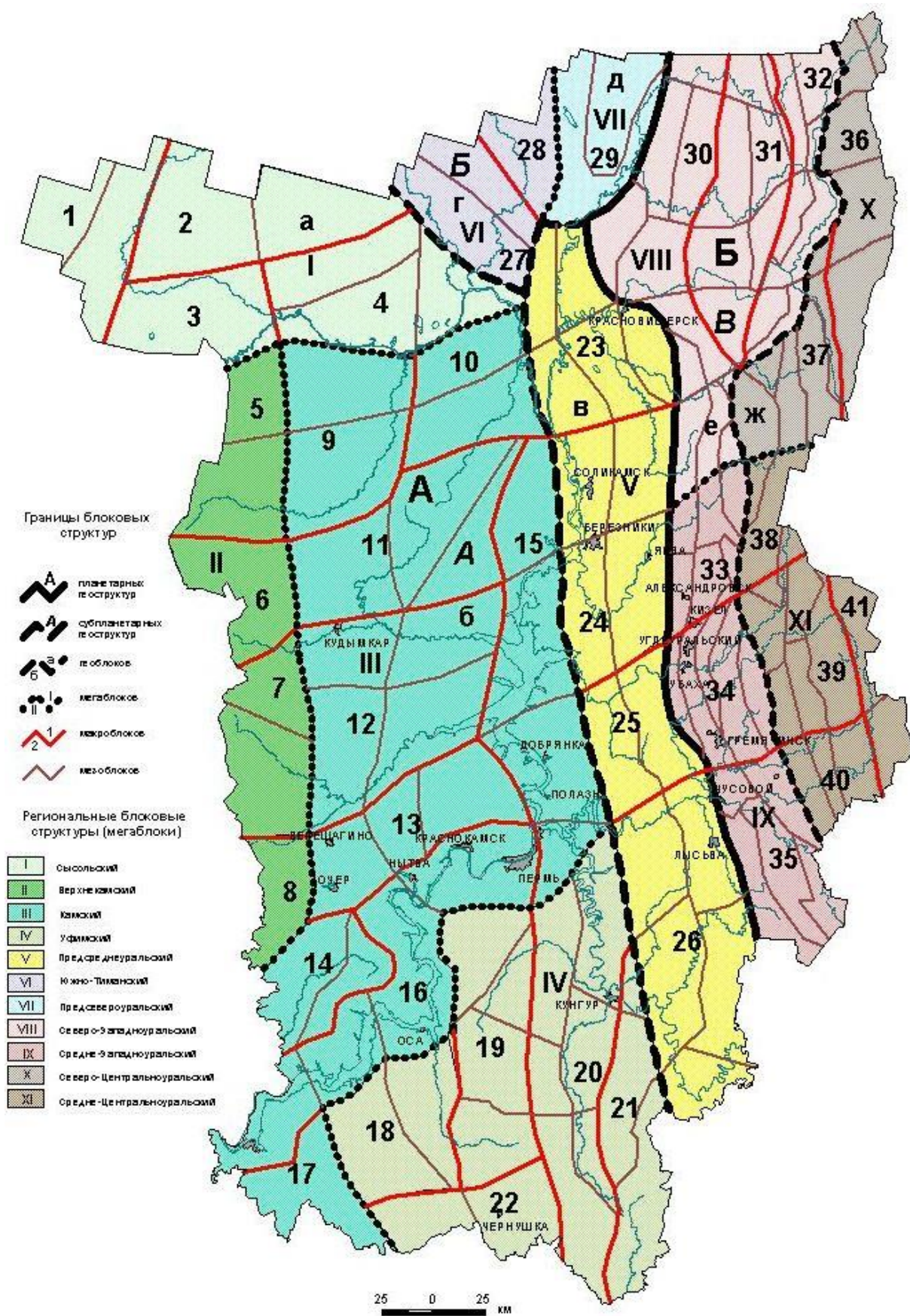


Рис. 2. Неотектоническое районирование на линеаментно-блоковой основе Пермского Урала и Приуралья [22]

На территории Пермского Приуралья выделяются фрагменты региональных блоков: 7 геоблоков, 12 мегаблоков; выделяются частично или полностью 41 макроблок. Макроблоки разделены на сложные блоки – мезоблоки (выделено 140 мезоблоков), которые в свою очередь «разбиты» на элементарные и локальные структуры – блоки (рис. 2, табл. 1) [12, 20, 26].

Восточно-Европейская материковая платформа (А) является геоструктурой планетарного уровня и включает (в пределах Пермского Приуралья) две субпланетарные геоструктуры – Русскую и Тимано-Печорскую плиты. В пределах Русской плиты выделяется три геоблока: Центральная (Московская) и Вятско-Камская (Волго-Уральская) средневысотные геоступени и Предсреднеуральская структурная зона [1]. В пределах Тимано-Печорской плиты выделяется три геоблока: Тиманский кряж, Предтиманская и Предсевероуральская структурные зоны.

Русская плита (А-А).

Центральная (Московская) средневысотная геоступень (А-А-а) выделяется в пределах Пермского Приуралья в северной части. Согласно схемы районирования (Бабак, Николаев, 1983) к Московскому геоблоку по Верхнекамскому тектоническому шву причленена северная часть палеозойской Волго-Уральской антеклизы (Сысольский свод) с новейшими структурными формами Московского простирания. В целом, для геоблока характерно развитие обратных соотношений рельефа земной поверхности и погребенного фундамента. Сысольский мегаблок или свод (А-А-а-1) обладает контрастным рельефом земной поверхности. Региональными и зональными линеаментами разделен на 4 макроблока. Черноречинский (Кажимский) макроблок (А-А-а-1-1) в рельефе соответствует восточной части Северных Увалов и Веслянской низины. Верхнетимшерский макроблок (А-А-а-1-2) соответствует большей части Северным Увалам. Веслянский макроблок (А-А-а-1-3) соответствует большей части Веслянской низины. Кельтминский макроблок (А-А-а-1-4) соответствует большей части Верхнекамской низменной равнины.

Вятско-Камская (Волго-Уральская) средневысотная геоступень (А-А-б) в плане соответствует Волго-Уральской антеклизе и состоит из крупных поднятий и разделяющих их депрессий, выделяемых в качестве мегаблоков. Вятско-Камскую геоступень в пределах Пермского Приуралья составляют Верхнекамский и Уфимский относительно приподнятые мегаблоки, а также Камская относительно опущенная структурная зона. Граница Вятско-Камской геоступени с Центральным геоблоком проходит по Верхнекамскому тектоническому шву, активному на новейшем этапе развития.

Верхнекамский мегаблок (А-А-б-II) занимает западную часть Пермского Приуралья. В рельефе Верхнекамский мегаблок выражен в северной и центральной частях Верхнекамской возвышенностью, а в южной части восточными окончаниями Верещагинско-Васильевских и Оханских увалов. Верхнекамский мегаблок представляет собой обращенную гетерогенную морфоструктуру. На различных структурных этажах он имеет различное внутреннее строение, являясь то сводом, то – моноклиной, то – прогибом. Для поднятия характерно

рен ярусный рельеф; известны реликты позднемезозойской, палеогеновой и несколько уовней неогеновой поверхности выравнивания. По гипсометрическим признакам Верхнекамский мегаблок в пределах Пермского Приуралья подразделяется на 4 макроблока: Верхнекосинский (А-А-б-II-5), Верхнеиньвинский (А-А-б-II-6), Верхнеобвинский (А-А-б-II-7), Верхнечепецкий (А-А-б-II-8).

Камская структурная зона (А-А-б-III) обрамляет с востока Верхнекамский свод относительно узкой полосой пониженного рельефа. В целом, это гетерогенное сооружение, претерпевшее на геологическом этапе довольно существенные структурные перестройки. К концу миоцена она представляла собой восточный склон Вятско-Камской (Волго-Уральской) антеклизы, но плиоцен-четвертичное время испытала значительные дифференцированные движения, сформировавшие сложную зону, переходную от прямых морфоструктур, краевого пояса Русской плиты к обращенным морфоструктурам ее центральной части (Бабак, Николаев [1]). По геоморфологическому строению Камская структурная зона подразделяется на 9 макроблоков, разделенных региональными линейными элементами. По площади и строению они близки выделенным нами геоморфологическим районам (Копылов, 2004), но с более прямыми очертаниями. Косинский макроблок (А-А-б-III-9), соответствует Косинской низменной равнине. Уролкинский макроблок (А-А-б-III-10) соответствует юго-восточной части Верхнекамской низменной равнины, Кондасский макроблок (А-А-б-III-11) соответствует Верхнеконасским увалам. Иньвинско-Обвинский макроблок (А-А-б-III-12) соответствует Иньвинско-Обвинской низменной равнине. Верещагинский макроблок (А-А-б-III-13) соответствует центральной и восточной частям Верещагинско-Васильевских увалов Оханский макроблок (А-А-б-III-14) соответствует восточной части Оханских увалов. Среднекамский макроблок (А-А-б-III-15) соответствует северной части Среднекамской низменной равнины, представляет собой наложенный прогиб с признаками относительных опусканий четвертичного возраста. Нижнекамский макроблок (А-А-б-III-16) соответствует юго-западной части Среднекамской низменной равнины. Буйский макроблок (А-А-б-III-17) соответствует западной части Буйской низменной равнины.

Уфимский мегаблок или свод (А-А-б-IV) выделяется на юго-восточном окончании Вятско-Камской (Волго-Уральской) антеклизы и расположен в юго-восточной части Пермского Приуралья. В рельефе Уфимский мегаблок выражен в основном Уфимским плоскогорьем (плато) и рядом других, более мелких возвышенностей. В пределах Пермского Приуралья подразделяется на 5 макроблоков. Наиболее приподнятыми являются Красноуфимский и Тулвинский макроблоки. Красноуфимский макроблок (А-А-б-IV-21) соответствует Уфимскому плоскогорью с Сылвенским кряжем. В его пределах широко распространена палеогеновая и останцы более древней позднемезозойской поверхности выравнивания. Уфимское плато расчленено древними олигоцен-миоценовыми долинами и снижено широкими мульдами со специфическими карстово-элювиальными и озерными осадками. Тулвинский (А-А-б-IV-19) соответствует Тулвинской возвышенности, где выделяются реликты переработанных поздне-мезозойского и поздне-мелового-палеогенового уровней на отметках 400-450 м.

С более низкими водоразделами 200-250 м связаны остатки миоценовых аллювиальных галечников. Относительно снижены Иреньский (Суксунский) макроблок (А-А-б-IV-20), соответствующий Иреньско-Сылвинской наклонной карстовой низине и Усинский (Куединский) макроблок (А-А-б-IV-18), соответствующий Усинской возвышенности с реликтами олигоцен-миоценовой и позднемиоценовой поверхностей выравнивания. На самых низких орографических уровнях (150-200, с реликтами до 250 м) находится Таныпский макроблок (А-А-б-IV-22), соответствующий восточной части Буйской низменной равнины.

Предсреднеуральская структурная зона (А-А-в) занимает положение, соответствующее структурам Предуральского краевого прогиба (Соликамской и Юрюзано-Сылвинской депрессиям и Косьвинско-Чусовской седловине) и отличается «уральским» субмеридиональным простираем слагающих ее элементов. На новейшем этапе развития Предуральский краевой прогиб был вовлечен в поднятия, проявившиеся с конца олигоцена. Зона включает Предсреднеуральский мегаблок (моноклиналь), состоит из 4 крупных макроблоков. Северо-Соликамский (А-А-в-V-23) и Южно-Соликамский (А-А-в-V-24) макроблоки находятся в пределах Соликамской впадины, где развита пологохолмистая, наклонная на запад аккумулятивно-денудационная равнина. Косьвинско-Чусовской макроблок (А-А-в-V-25) соответствующего Косьвинско-Чусовской возвышенности с орографическими уровнями 300-400 м. Сылвинский макроблок (А-А-в-V-26), соответствует Юрюзано-Сылвинской депрессии, в пределах которой расположена Лысьвинско-Тулумбасская возвышенная эрозионно-структурная равнина, уступами (куэстообразно) понижающаяся на запад.

Тимано-Печорская плита (А-Б). Тимано-Печорская плита отличается от Русской плиты большей подвижностью на неотектоническом этапе развития. Выделяется два геоблока: Тиманский кряж и Предсевероуральская структурная зона.

Тиманский (Канино-Тиманский) кряж (А-Б-г) представляет собой унаследованное складчато-глыбовое сооружение, состоящее из ряда возвышенностей – горстов (абс. отм. 300-400 м) и разделяющих их депрессий – грабенов (150-200 м). Для геоблока характерна, начиная с конца палеозоя, тенденция к воздыманию. В фундаменте ему соответствует крупное поднятие рифейских метаморфических пород, которые в пределах отдельных выступов (так называемых «камней») выходят на поверхность. На остальной территории фундамент погружается местами до 2,0 км и перекрыт платформенными образованиями палеозоя и мезозоя (Бабак, Николаев, 1983). В пределах Пермского Приуралья Тиманский кряж выходит фрагментарно, своей юго-восточной оконечностью. Выделены два мегаблока. Предтиманский (Вычегодский) мегаблок (А-Б-г-VI) включает Верхнекельтминский макроблок (А-Б-г-VI-27), которому соответствует Кельтминская низина. Южно-Тиманский мегаблок (А-Б-г-VII) включает Пильвинский макроблок (А-Б-д-VII-28).

Предсевероуральская структурная зона (А-Б-д) соответствует северному отрезку позднепалеозойского Предуральского краевого прогиба. С конца мезозоя рассматриваемая территория вступила в этап континентального развития общего выравнивания рельефа. Новейшие блоковые дифференцированные под-

нятия, формирующиеся с палеогена, ориентированы согласно простиранию палеозойских Уральских структур. В пределах Пермского Приуралья расположено южное окончание Верхнепечорского впадины (А-Б-д-VII). В пределах этого мегаблока выделен Колвинский макроблок (А-Б-д-VII-29), которому соответствует Колвинско-Вишерская возвышенная равнина, имеющая тенденцию к воздыманию.

Урало-Новоземельская эпиплатформенный орогенный пояс (Б) включает Уральский складчато-разрывной пояс (Б-В), который в пределах рассматриваемой территории разделен на Западно-Уральский и Центрально-Уральский пояса – геоблоки.

Западно-Уральский пояс – геоблок (Б-В-е) соответствует Западноуральской зоне складчатости, в пределах рассматриваемой территории разделен на два мегаблока – Западно-Североуральский и Западно-Среднеуральский. В пределах Западно-Североуральского мегаблока (Б-В-е-IX) выделены три макроблока: Нижнеберезовский (Б-В-е-IX-30), Среднеберезовский (Б-В-е-IX-31) и Вишерский (Б-В-е-IX-32). В пределах Западно-Среднеуральского мегаблока (Б-В-е-Х) выделены три макроблока: Яйвинский (Б-В-е-Х-33), Губахинский (Б-В-е-Х-34) и Горнозаводский (Б-В-е-Х-35).

Центрально-Уральский пояс – геоблок (Б-В-ж) соответствует Центрально-Уральскому поднятию, в пределах рассматриваемой территории разделен на Центрально-Североуральский и Центрально-Среднеуральский мегаблока. В пределах Центрально-Североуральского мегаблока (Б-В-ж-ХI) выделены два макроблока: Тулымский (Б-В-ж-ХI-36) и Кваркушский (Б-В-ж-ХI-37). В пределах Центрально-Среднеуральского мегаблока (Б-В-ж-ХII) выделены четыре макроблока: Чикманский (Б-В-ж-ХII-38), Басегский (Б-В-ж-ХII-39), Вижайский (Б-В-ж-ХII-40) и Верхнекойвинский (Б-В-ж-ХII-41).

Пространственный анализ и неотектоническая активность

Пространственный анализ при совмещении неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала, проведенный в ГИС-технологиях (ArcGIS) показывает на близкое сходство основных границ с геологическими и геоморфологическими структурами.

На рисунках 3-6 показано совмещение неотектонических блоковых структур с геоморфологическими уровнями, геологическими подразделениями, тектоническими структурами, а также – нефтегазовыми месторождениями, отображенных на соответствующих картах.

Проведен морфонеотектонический анализ с определением степени неотектонической активности блоковых структур [17]. Результаты анализа преобладающих тенденций современных блоковых смещений, отраженных в ярусности и расчлененности рельефа Пермского Приуралья отображены в таблице 2.

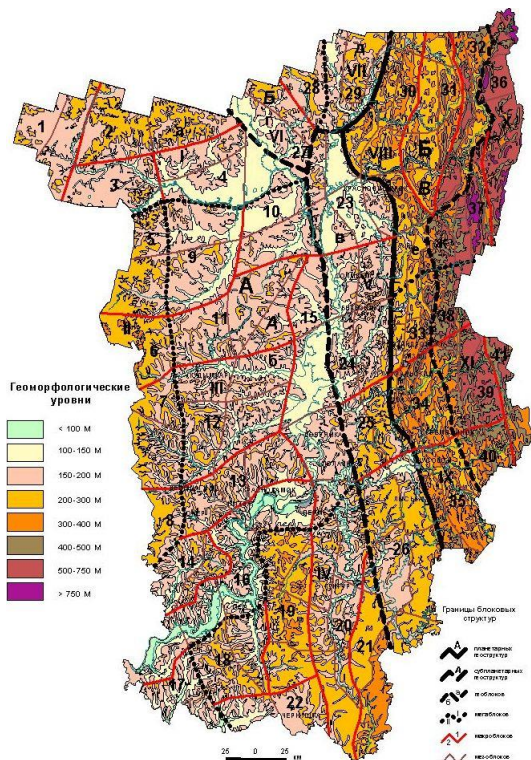


Рис. 3. Совмещение неотектонических блоковых структур с геоморфологическими уровнями

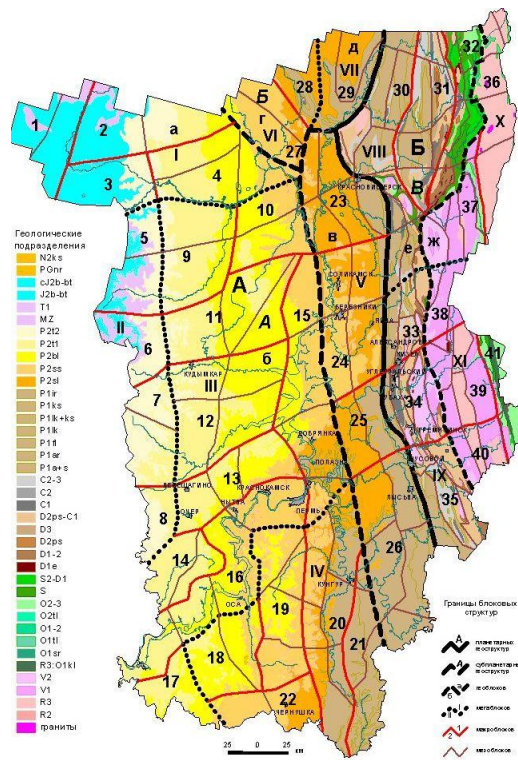


Рис. 4. Совмещение неотектонических блоковых структур с геологическими подразделениями

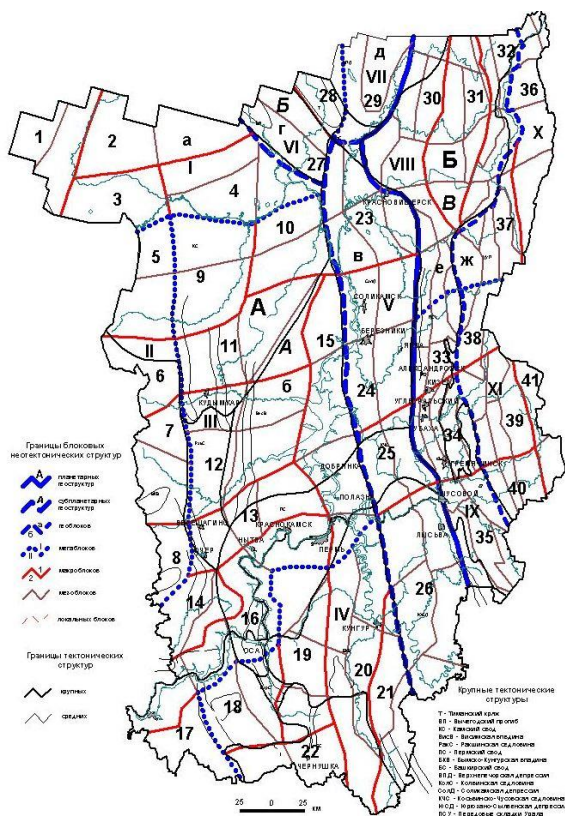


Рис. 5. Совмещение неотектонических блоковых структур с тектоническими структурами

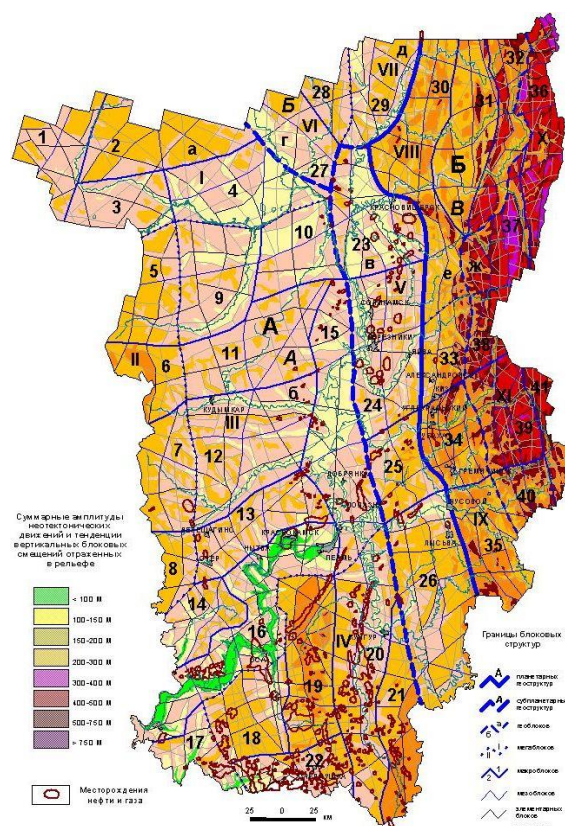


Рис. 6. Совмещение неотектонических блоковых структур с нефтегазовыми месторождениями

Таблица 2

Основные тенденции современных вертикальных блоковых смещений, отображенных в ярусности и расчлененности рельефа Пермского Приуралья

Диапазоны абсолютных высот, м	Восточно-Европейская материковая платформа		Уральский складчато-разрывной пояс	
	Тенденции современных вертикальных блоковых смещений	Номера макроблоков, с преобладанием данных гипсо-метрических уровней поверхности блоков	Тенденции современных вертикальных блоковых смещений	Номера макроблоков, с преобладанием данных гипсо-метрических уровней поверхности блоков
< 100	Блоки, испытывающие относительно сильное опускание	16		
100-150	Блоки, испытывающие относительно слабое опускание	4, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 27, 29	Блоки, испытывающие относительно сильное опускание	
150-200	Блоки, относительно стабильные (фоновые)	1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29	Блоки, испытывающие относительно слабое опускание	
200-300	Блоки, испытывающие относительно слабое воздымание	1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29	Блоки, относительно стабильные (фоновые)	30, 31, 32, 33, 35, 40 с опусканиями в эрозионно-тектонических депрессиях
300-400	Блоки, испытывающие умеренное воздымание	6, 19, 21, 25	Блоки, испытывающие относительно слабое воздымание	30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, 40, 41 с опусканиями в эрозионно-тектонических депрессиях
400-500	Блоки, испытывающие относительно сильное воздымание	19	Блоки, испытывающие умеренное воздымание	30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41 с опусканиями в эрозионно-тектонических депрессиях
500-750			Блоки, испытывающие относительно сильное воздымание	32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41 с опусканиями в эрозионно-тектонических депрессиях
>750			Блоки, испытывающие относительно очень сильное воздымание	36, 37, 39 с опусканиями в эрозионно-тектонических депрессиях

Оценка степени неотектонической активности на основе морфонеотектонического анализа [18, 23, 25] показана на карте неотектонической активности Пермского Приуралья (рис. 7).

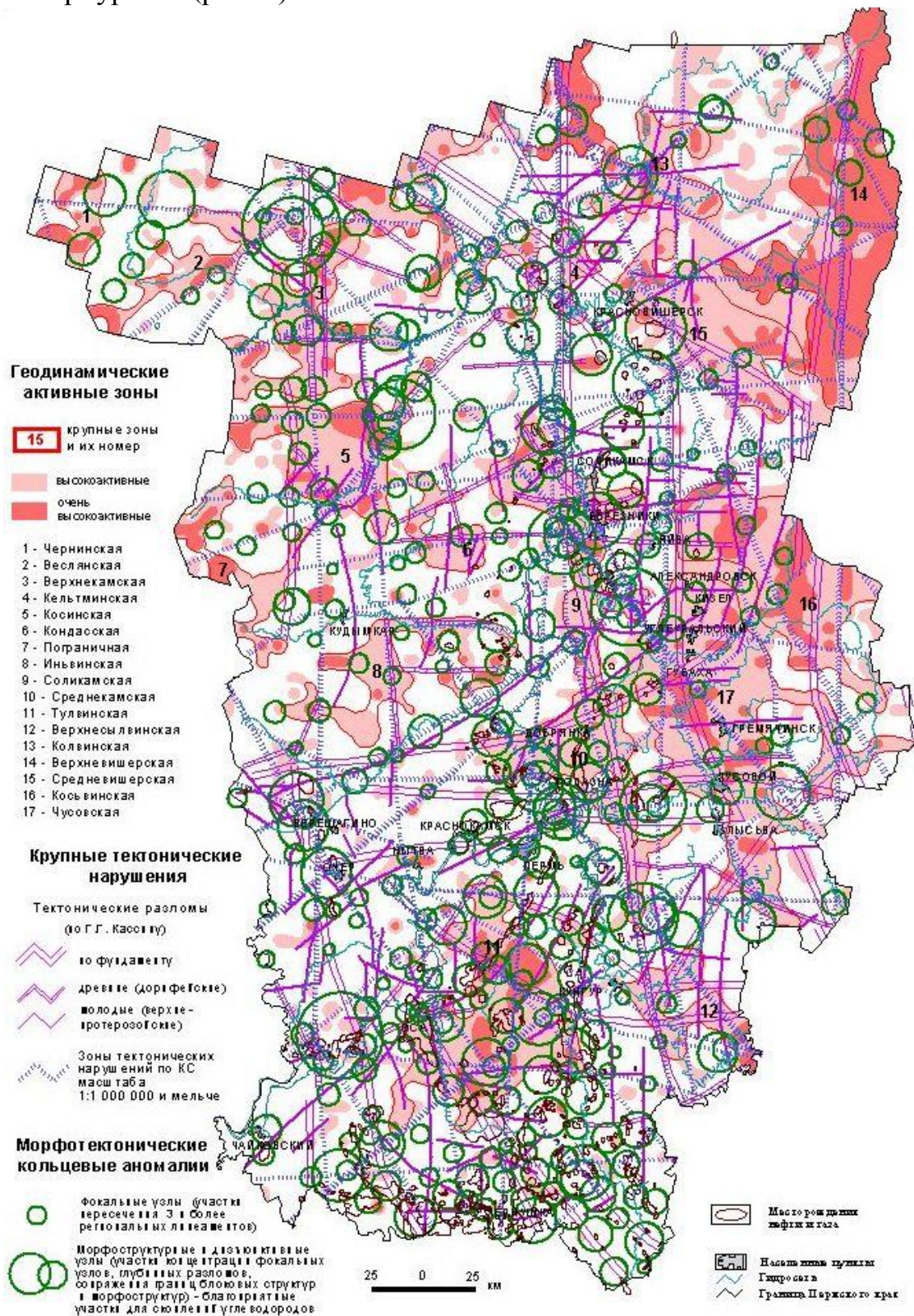


Рис. 7. Карта неотектонической активности Пермского Урала и Приуралья (морфонеотектонический анализ)

КАРТА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ БЛОКОВЫХ СТРУКТУР ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ

Масштаб 1:500 000
 Автор: И.С. Копылов
 2006, 2021

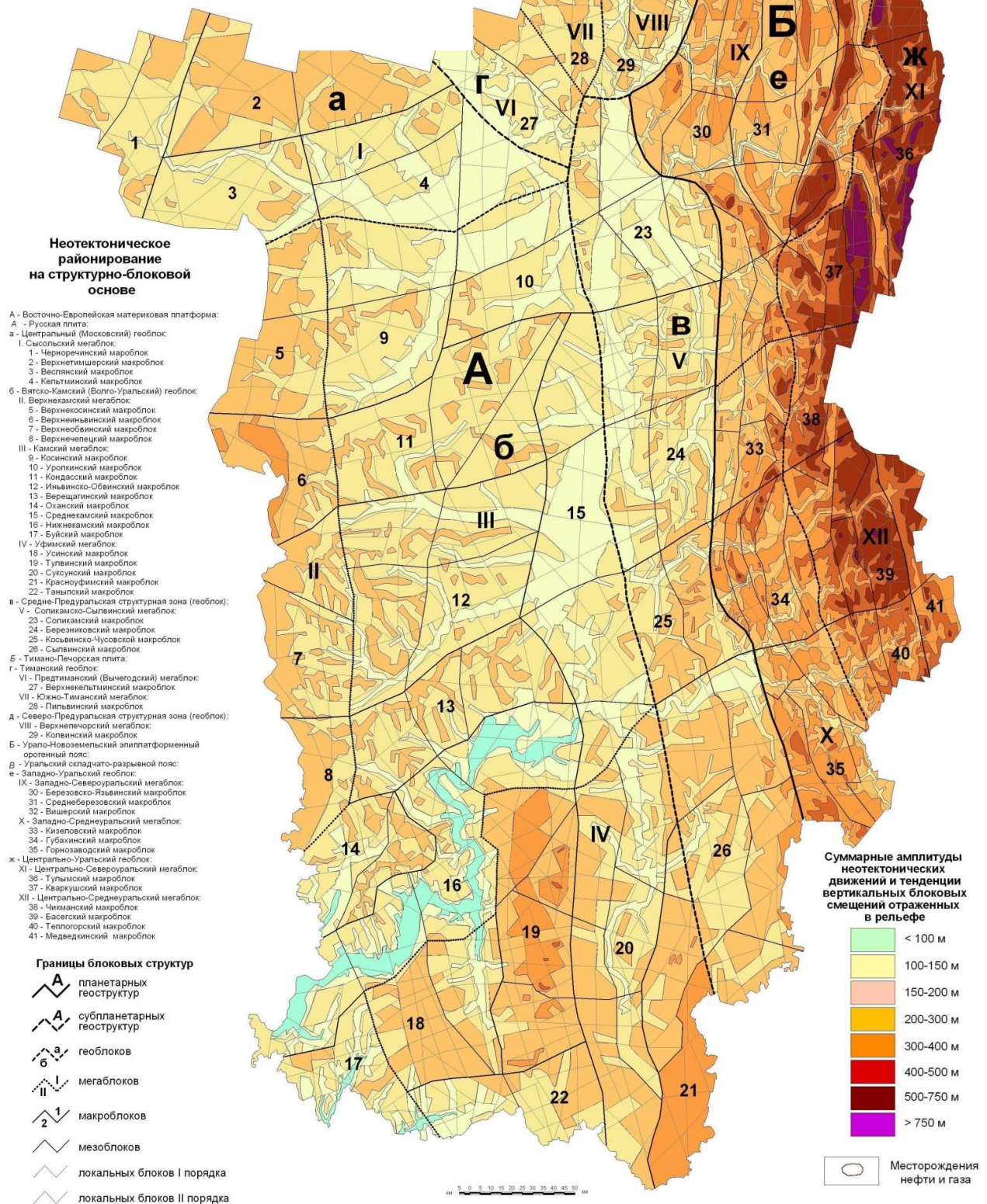


Рис. 8. Карта неотектонических блоковых структур Пермского Урала и Приуралья [12]

Территория ранжирована по показателю неотектонической активности (КНА) на 6 градаций с учетом баллов статистического распределения их интенсивности, выраженных в баллах: 1) низкая (1 балл: КНА – 4–7), стабильная (2 балл: КНА – 8–9), умеренно активная (3 балл: КНА – 10–12), активная (4 балл: КНА – 13–14), высоко активная (5 балл: КНА – 15–17), очень высоко активная (6 балл: КНА – 18–19). На карте отображены зоны с высокой и очень высокой активностью.

На основе изложенной методики и неотектонических критериев составлена карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000, отображающая в легенде и базе данных следующие блоки (рис. 8):

- неотектоническое районирование на структурно-блоковой основе, с символьными обозначениями и индексацией;
- преобладающие тенденции современных блоковых смещений, отраженных в ярусности и расчлененности рельефа;
- линии суммарных амплитуд новейших поднятий;
- участки неотектонической активности, ранжированные по КНА по их интенсивности, от условно стабильной до условно высокоактивной;
- основные геодинамические активные зоны;
- комплекс тектонических нарушений и линеаментов.

Библиографический список

1. Бабак В.И., Николаев Н.Н. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечернозёмной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000. М.: ГУГК. 1984.
2. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР (СВДЗК). Масштаб 1:5 000 000. Гл. ред Л.А. Кашин. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М., 1989.
3. Кассин Г.Г., Шершнев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
5. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
6. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в Калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
7. Копылов И.С. Анализ и обобщение результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 13-42.
8. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.

9. Копылов И.С. *Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
10. Копылов И.С. *Блоковое строение Пермского Приуралья на основе линеаментно-блокового и морфонеотектонического анализа // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов: материалы научно-практической конференции. Пермь: КамНИИКИГС, 2007. С.270-279.*
11. Копылов И.С. *Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.*
12. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.*
13. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.*
14. Копылов И.С. *Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. № 3. С. 18-32.*
15. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
16. Копылов И.С. *Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95.*
17. Копылов И.С. *Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазоносности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.*
18. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
19. Копылов И.С. *Неотектоническое строение Приуральского сегмента в границах главного Пермского поля // В сборнике: Пермская система земного шара – 180 лет. Пермь, 2022. С. 78-87.*
20. Копылов И.С. *Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.*
21. Копылов И.С. *Результаты аэрокосмогеологического анализа Пермского Приуралья и обоснование перспективных объектов и участков с целью поисков залежей нефти // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 38-47.*
22. Копылов И.С. *Составление карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья. Отчёт сектора комплексных геологических исследований. ООО «ПермНИПИнефть», Пермь, 2005. 163 с.*
23. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
24. Копылов И.С., Даль Л.И. *Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.*
25. Копылов И.С., Козлов С.В. *Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.*
26. 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.*

27. Лобацкая Р.М., Кофф Г.Л. Разломы литосферы и чрезвычайные ситуации. М.: Российское экологическое федеральное информационное агенство, 1997. 196 с.
28. Плюснин К.П. Эволюция кинематики и определение возраста разрывных структур Урала /Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.12-23.
29. Пучков В.Н. Тектоника Урала. Современные представления // Геотектоника, 1997, №4. С.42-61.
30. Соболев И.Д., Автонец С.А., Белковская Р.П. и др. Тектоническая карта Урала масштаба 1:1 000 000. Объяснительная записка. Свердловск. Уралгеология, 1983,196с.
31. Спириин Л.Н., Шмыров В.А. Основные черты голоценовой тектоники и палеогеографии Пермского Приуралья // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь: Перм. ун-т, 1984. С. 107-113.
32. Структурная геология и тектоника плит: В 3-х томах. Пер. с англ. / Под ред. К.Сейферта. М.: Мир, 1995.
33. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с.

ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Линеаментно-геодинамический анализ на основе аэрокосмогеологических исследований является одним из основных методов картирования, оценки и прогнозирования геодинамической опасности и выделения геодинамических активных зон на закарстованных территориях. В карстовых районах и городах Приуралья (Уфимское плато, Кизел, Гремячинск, Кунгур, Чусовой, Полазна, Усть-Кшиерть и др.) проведено дешифрирование космических снимков масштаба 1:100 000-1:25 000, выделено 6 тыс. тектонических 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: карст, аэрокосмогеологические исследования, линеаменты, геодинамические активные зоны, геодинамическая опасность. Приуралье.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

LINEAMENT GEODYNAMIC ANALYSIS IN THE KARST TERRITORIES OF THE PERM REGION

Lineament-geodynamic analysis based on aerospace geological research is one of the main methods for mapping, assessing and predicting geodynamic hazards and identifying geodynamic active zones in karst areas. In the karst regions and cities of the Urals (Ufimskoe plateau, Kizel, Gremyachinsk, Kungur, Chusovoy, Polazna, Ust-Kishert, etc.), space images were deciphered at a scale of 1:100,000-1:25,000, and 6,000 tectonic lineaments were identified. A lineament-geodynamic analysis and geodynamic zoning were carried out, local anomalous zones with a high density of tectonic fracturing were identified. All identified local geodynamic active zones in karst areas are potentially hazardous areas with possible karst failures, which must be taken into account when conducting engineering surveys, design and construction work, and developing environmental protection measures.

Key words: karst, aerospace geological research, lineaments, geodynamic active zones, geodynamic hazard. Priurals.

Введение

Одним из главных факторов развития карстовых процессов, является новейшая тектоника и современная геодинамика и их проявления – повышенная трещиноватость пород и геодинамические активные зоны земной коры. 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. Недостаточная глубинность исследований может успешно компенсироваться комплексированием с другими геолого-геофизическими методами. Основой методологии изучения геодинамических активных зон является линейно-геодинамический анализ на основе дистанционных методов [14, 15, 17, 18].

Краткая изученность АКГИ в Приуралье

На Западном Урале и Приуралье дистанционные методы АКГИ системно применяются более 50 лет, при этом изучена в разной степени детальности вся территория Пермского края, что внесло существенный вклад в общую историю изучения геологической среды и ресурсов региона. В 2010 г. автором совместно с В.З. Хурсиком по программе МПР Пермского края, проведено обобщение всех аэрокосмогеологических исследований на территории края, по материалам которых была составлена сводная аэрокосмогеологическая карта масштаба 1:500 000 [11], которая постоянно обновляется.

В последние годы дистанционные исследования в крае проводятся на основе современных цифровых космических снимков (КС) среднего и высокого разрешения, компьютерных технологий дешифрирования и обработки. По новым данным АКГИ были составлены карты неотектонических блоковых структур [13, 19] и карта геодинамических активных зон [10] на всю территорию края масштаба 1:500 000 и более детальные – на отдельные районы.

Основные исследования проводились при выявлении зон повышенной трещиноватости в пределах нефтепоисковых площадей (масштаб 1:1 50 000 – 1:1 200 000) [5]; при прогнозировании твердых полезных ископаемых – алмазов и золота (масштаб 1:1 25 000 – 1:50 000); при составлении карты геодинамических активных зон Верхнекамского месторождения калийных солей для изучения водозащитной толщи (масштаб 1:100 000) и на проектируемых добычных участках (масштаб 1:25 000); при выделении потенциально аварийно-опасных участков магистральных нефте- и газопроводов (масштаб 1:100 000) [5]; при оценке геодинамической опасности территорий муниципальных районов в схемах территориального планирования и разработке генпланов городов (масштаб 1:50 000-1:100 000) [10].

По программе МПР Пермского края автором совместно с В.З. Хурсиком и др. проведены исследования с целью картирования зон повышенной трещиноватости при изучении геоструктурных факторов карстоопасности (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) [6, 7].

Основные методы и результаты исследований

Основные методы и технологии исследований изложены в работах [4, 11, 15 и др.].

В результате дешифрирования КС в закарстованных районах восточной и юго-восточной частях Пермского края выявлена сеть основных прямолинейных линеаментов различных направлений. На изученной территории выделено суммарно 6 тыс. прямолинейных линеаментов. По протяжённости прямолинейные линеаменты ранжированы на 8 таксономических рангов и подразделены соответственно на 6 групп:

- региональные линеаменты большой протяжённости, прослежены на расстояния более 200-300 (до 800) км. Выявлены по КС масштаба 5 000 000-1:10 000 000;

- региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км). Выявлены по КС масштаба 1:1 500 000-2 500 000;

- зональные линеаменты, прослеженные на расстояния от 50 км до 100 км. Выделены дешифрированием КС масштаба 1:1 000 000;

- зональные линеаменты, прослеженные на расстояния от 25 км до 50 км. Выделены дешифрированием КС масштаба 1:500 000;

- локальные линеаменты протяженностью 10-25 км, выделены дешифрированием КС масштаба 1:200 000;

- локальные линеаменты протяженностью 5-10 км, выделены дешифрированием КС масштаба 1:100 000;

- короткие линеаменты протяженностью от 1-2 до 5 км. Выделены дешифрированием КС высокого разрешения масштаба 1:50 000;

- короткие линеаменты протяженностью от 0,5-1 до 2 км. Выделены дешифрированием высокого разрешения КС масштаба 1:25 000.

Установлены прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия северо-западных и северо-восточных 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 330° и 60° ; ортогональная система – 10° и 285° . Необходимо отметить, что подавляющее большинство глубинных разломов, выделенных геолого-геофизическими методами [3], проявляются на космических снимках линеаментами, совпадающими с их осевыми линиями, или трассирующимися параллельно им в непосредственной близости.

Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Отчетливо выделяются крупные геоструктуры, особенно меридионального, северо-западного и северо-восточного простирания. Зональные и локальные линеаменты контролируют большинство средних структур.

Прямолинейные линеаменты отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры.

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность.

На рассматриваемой территории проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости (основной показатель – суммарная протяженность на единицу площади по всем линеаментам) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории.

Плотность линеаментов и на рассматриваемой территории колеблется в широких пределах. Общий фон составляют значения с низкой (2 балл) и средней (3 балл) значениями плотности линеаментов. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями – многочисленные, но небольшие по площади аномалии с повышенной и высокой степенью интенсивности, характерны для участков границ неотектонических блоковых структур. Выделяется более 250 геодинамических активных зон локального уровня (размерами 3-7 x 1-3 км) с очень высокими (5-6 балл) значениями плотности линеаментов [15].

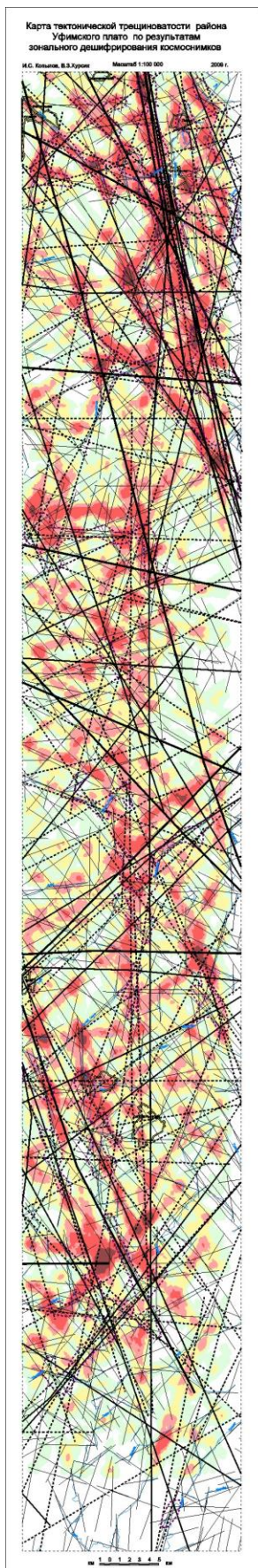
Ниже рассматриваются отдельные карстовые районы, где специально был проведен линеаментно-геодинамический анализ для оценки карстовой опасности.

Карстовый район Уфимского плато (карбонатное поле). Проведены регионально-зональные АКГИ на площади 4 тыс. км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба 1:100 000 (рис. 1-А).

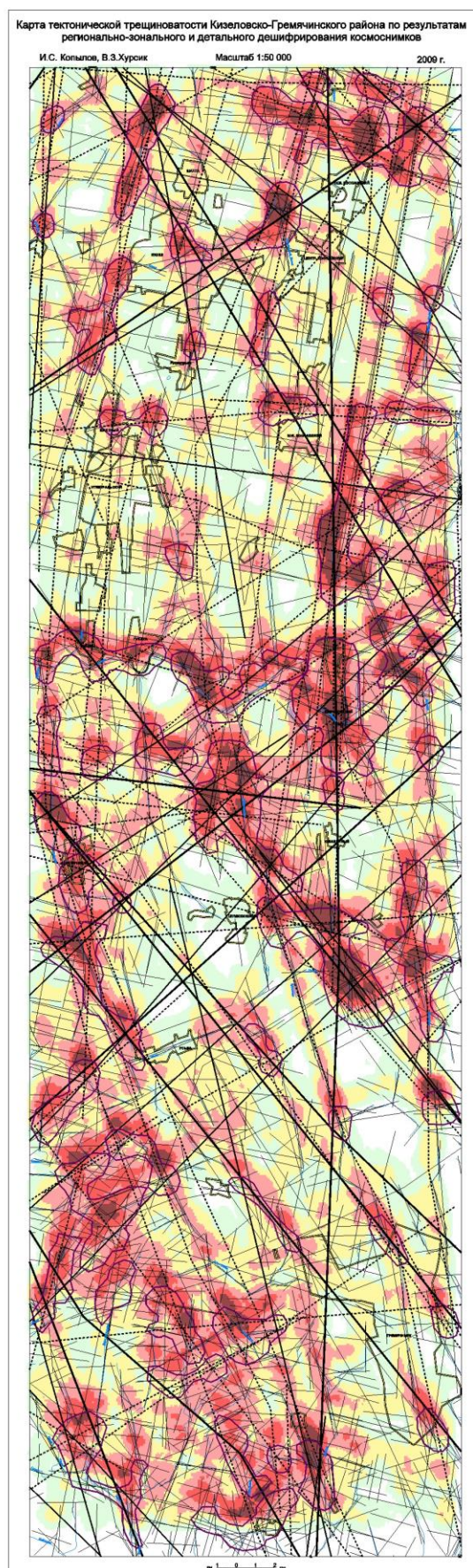
Район находится в основном в пределах восточной окраины Русской платформы и небольшой части Предуральяского краевого прогиба. В геологическом строении района (в верхней части разреза) принимают участие породы палеозоя – нижней перми и мезо-кайнозоя [1, 2, 20].

По неотектоническому и блоковому районированию [1, 12, 19,] территория занимает часть двух крупных геоблоков. Граница их проходит в северо-восточной части территории по крупному региональному линеаменту ССЗ простираения, проходящего через с. Усть-Кишерть.

Основная часть рассматриваемой территории расположена на юго-восточном окончании Вятско-Камского геоблока в пределах Уфимского мегаблока и занимает практически всю площадь Красноуфимского макроблока, в составе которого выделены 3 мезоблока и несколько десятков элементарных блоков.



А



Б

Рис. 1. Тектоническая трещиноватость района Уфимского плато (А) и Кизеловско-Гремячинского района (Б)

В рельефе Красноуфимский макроблок соответствует Уфимскому плоскогорью (плато) с Сылвенским кряжем. В его пределах широко распространена палеогеновая и останцы более древней позднемезозойской поверхности выравнивания. Уфимское плато расчленено древними олигоцен-миоценовыми долинами и снижено широкими мульдами со специфическими карстово-элювиальными и озерными осадками.

Северо-восточная часть территории расположена в пределах Предсреднеуральской структурной зоны (геоблока), Предсреднеуральского мегаблока – юго-западной части Сылвинского макроблока.

Территория характеризуется в основном средней и низкой эрозионной расчлененностью рельефа. Большая часть территории характеризуется стабильной 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. По комплексу морфонеотектонических критериев восточная часть рассматриваемой территории входит в пределы региональной Верхнесылвинской геодинамической активной зоны [9].

По данным ранее проведенных АКГИ в юго-восточной части Пермского Приуралья установлено ступенчато-блоковое строение осадочного чехла. Тектонические ступени отображены в ландшафте земной поверхности морфоструктурными зонами четырёх направлений простирания: СЗ, СВ, субширотного и субмеридионального (Пономарёва и др., 1985ф; 1991ф; Ильиных и др., 1998ф). Наиболее широко развиты морфоструктурные зоны СЗ направления. В границах рассматриваемой площади предшественниками было выделено порядка 24 морфоструктурных зон (выходящих за пределы рассматриваемой площади), протяжённость которых, как правило, 30-50 км, реже – до 100 и более км, шириной от 1,2 – 7,6, в среднем 2-4 км. Морфоструктурные зоны разграничены узкими согласного простирания линейными мобильными зонами, отображёнными в рельефе микродепрессиями, которым в осадочном чехле соответствуют грабенообразные прогибы или микрограбены. Длина микродепрессий соответствует длине морфоструктурных зон, ширина – составляет 0,6-2,6, в среднем 1-1,4 км.

Региональным и зональным дешифрированием космоснимков в рассматриваемом районе выделено 1194 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 км) – 14 линеаментов; региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 34 линеаментов; зональные линеаменты (25-100 км) – 87 линеаментов; локальные линеаменты (5-25 км) – 383 линеаментов; локальные и короткие линеаменты (5-10 км) – 676 линеаментов.

Прямолинейные линеаменты составляют различные системы, при этом, наиболее четко на КС выражена системы северо-западных линеаментов. Вдоль границы описанных выше 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 –

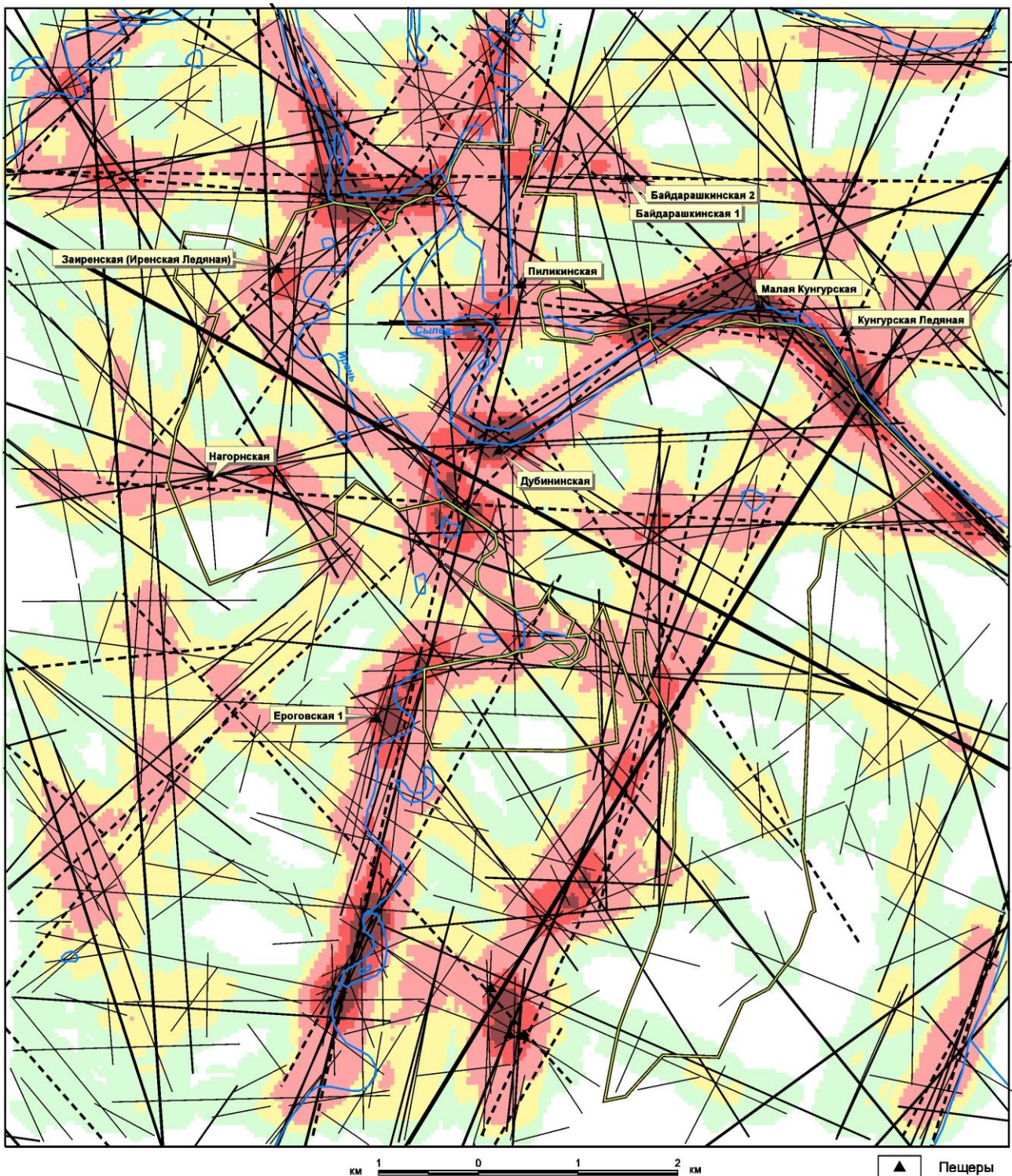
1,3 км. К западу и юго-западу от этой линейной региональной зоны прослеживаются системно региональные линеаменты этого направления через 5-6 км. Через всю рассматриваемую территорию с севера на юг прослеживаются региональные линеаменты субширотного или ЗСЗ направления системно с промежутками от 6-8 до 12-14 км.

По плотности линеаментов и мегатрещиноватости, общий фон составляют значения с низкой (2 балл) и средней (3 балл) и повышенной (4 балл) степенью плотности. Выделяются более 150 небольших по площади участков (размерами от 0,5-1 до 1,5-6 км) с высокой (5 балл) степенью интенсивности. Выделяются около 35 геодинамических активных зон (размерами от 0,5-1 до 1,5-6 км) с очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Они протягиваются вдоль крупных линеаментов, концентрируются в местах пересечений 3 и более линеаментов и имеют, как правило, изометрично-удлиненную форму с преимущественно северо-западным, северо-восточным и меридиональным простиранием.

Наиболее крупные участки с повышенной тектонической трещиноватостью и высокой степенью неотектонической активности на рассматриваемой территории группируются в 28 аномалий с площадями от 5 до 47 км². Крупнейшая геодинамическая зона прослеживается в ССЗ направлении вдоль границы геоблоков, состоит из 3 аномалий с площадями 47,1 км² (по линии Подпавлино – Усть-Кишерт – Низкое – Седа – Мазуевка), 21,7 км² (в районе п.Мазуевка – Дикое Озеро – Советная), 15,6 км² (в 1 км западнее п.Киселево).

В северо-западной части территории установлены 3 аномалии северо-западного направления с площадями 17,8, 9,8 и 7,6 км². В северо-восточной части территории установлены 3 субмеридиональных аномалии с площадями 12,8, 9,5 и 5,5 км². В районе р. Кишертки в районе пп. Моргунова, Сабарка, Куликово установлена крупная аномалия с площадью 38,7 км². В центральной части территории установлены 2 значительных по площади аномалий: субширотная с площадью 21,5 км² (пп. Янчики, Ключики) и субмеридиональная с площадью 9,8 км². Южнее, установлены несколько небольших аномалий с площадями 3-7 км² – по рекам Тюш, Сухой Телес, Кундарыш. Еще южнее – по рекам Сарс и Шуртан установлены несколько аномалий, крупнейшие из них с площадями: 14,6 км² (Бол. Сарс), 12,5 км² (п. В.Шуртан). В южной части территории установлены 2 значительные по площади аномалии: субширотно-северо-восточная с площадью 36,6 км² (пп. Гольцово, Адилево, Уваряж) и северо-западная с площадью 12,8 км² (пп. Мавлюкаево, Малый Сарс).

Карстовый район г. Кунгур. Проведены детальные АКГИ на площади 115 км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба 1:25 000 (рис. 2). Территория города Кунгур примыкает к северо-западной части вышерассмотренной территории Уфимского плато.



Условные обозначения на рис. 3

Рис. 2. Тектоническая трещиноватость и геодинамические активные зоны карстового района г. Кунгур

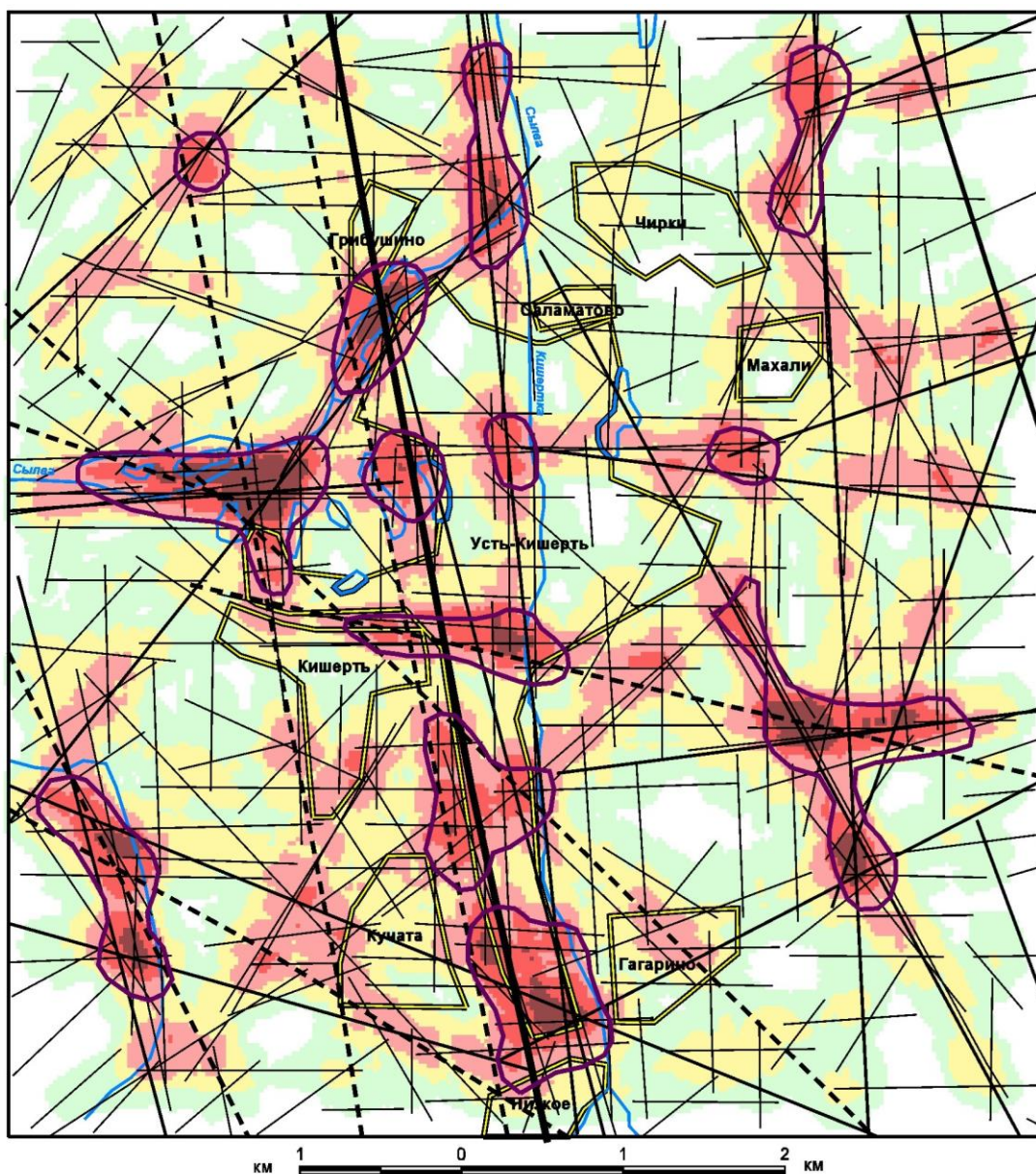
По неотектоническому и блоковому районированию [1, 12] рассматриваемая территория расположена в пределах Вятско-Камского геоблока и Уфимского мегаблока в восточной части Иреньского макроблока на границе с Красноуфимским макроблоком, в составе которого выделены частично 2 мезоблока и несколько локальных блоков.

Детальным дешифрированием КС в рассматриваемом районе, выделено 520 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 км) – 1 линеамент; региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 3 линеамента; зональные линеаменты (25-100 км) – 5 линеаментов; локальные линеаменты (5-25 км) – 38 линеаментов; локальные и короткие линеаменты (5-10 км) – 88 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от 1-2 до 5 км) – 125 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от 0,5-1 до 2 км) – 260 линеаментов.

Линеаментное поле района г. Кунгур имеет сложное строение. Большинство региональных и зональных линеаментов имеют северо-западное и северо-восточное простирание с различным простиранием, причем, северо-западные линеаменты имеют большую протяженность. Крупнейший линеамент, протяженностью 270 км пересекает город в центральной части в СЗ направлении, выходит далеко за его пределы. Линеамент протяженностью 190 км ССЗ простирания пересекает город в южной и западной частях. Линеамент протяженностью 140 км ССЗ простирания проходит в северо-восточной части города через Кунгурскую Ледяную пещеру. Необходимо отметить, что по геофизическим исследованиям глубинных разломов на территории г.Кунгура не установлено, возможно в силу недостаточной изученности. Также необходимо отметить, что все известные карстовые пещеры (Кунгурская Ледяная, Малая Кунгурская, Заиренская, Нагорнская, Ероговская 1, Дубининская, Байдарашкинская 1, Байдарашкинская 2, Пиликинская, Шарташинская, Шарташинский Грот и др.) расположенные в окрестностях г.Кунгур контролируются линеаментами и зонального и локального уровней.

По плотности линеаментов и мегатрещиноватости, общий фон составляют значения со средней (3 балл) и повышенной (4 балл) степенью плотности. Выделяется несколько геодинамических активных зон с высокой (5 балл) и с очень высокой (6 балл) степенью плотности линеаментов. Они группируются в более крупные линейные геодинамические активные зоны, по направлениям крупных линеаментов и, особенно в местах их пересечений другими линеаментами. Геодинамические активные зоны прослеживаются в центральной и северной и особенно – в северо-восточной частях города в долинах рек Сылвы и Ирень. Всего установлены 6 геодинамических активных зон локального уровня с площадями от 0,3 до 2,5 км².

Карстовый район с. Усть-Кишерть. Проведены детальные АКГИ на площади 44,5 км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба 1:25 000 (рис. 3). Данный район имеет местоположение в границах вышеописанного района Уфимского плато, где выполнены зональные АКГИ и детализирует эти исследования.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Линеаменты отождествляемые с тектоническими нарушениями и обусловленные неотектоническими движениями	
По результатам регионального (масштаба 1:1 000 000-1:500 000) и зонального дешифрирования КС (масштаба 1:200 000-1:100 000)	
	региональные линеаменты большой протяженностью > 200-300 км
	региональные линеаменты протяженностью 100-200 км
	зональные линеаменты протяженностью 25-100 км
	локальные линеаменты протяженностью 5-25 км
По результатам детального дешифрирования КС (масштаба 1:25 000)	
	короткие линеаменты протяженностью 1-2 (до 5) км
	короткие линеаменты протяженностью 0,5-1 (до 2) км

Плотность разломов, линеаментов и мегатрещин		
Участки мегатрещиноватости		
Цвет контура	Статистическое распределение (x - сред. арифм.; s - ст. откл.)	Степень плотности мегатрещин
	$< (x - s)$	Очень низкая
	$(x - s) - x$	Низкая
	$x - (x + s)$	Повышенная
	$(x+s) - (x+2s)$	Высокая
	$(x+2s) - (x+3s)$	Очень высокая
	$> (x + 3s)$	Чрезвычайно высокая
	Геодинамические активные зоны локального уровня	
	Границы населенных пунктов	

Рис. 3. Тектоническая трещиноватость и геодинамические активные зоны карстового района с. Усть-Кишерть

Всего в рассматриваемом районе детальными АКГИ выделено 319 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью ($> 200-300$ км) – 1 линеамент; региональные линеаменты значительной протяженностью ($100-200$ км) – 1 линеамент; зональные линеаменты ($25-100$ км) – 7 линеаментов; локальные линеаменты ($5-25$ км) – 18 линеаментов; локальные и короткие линеаменты ($5-10$ км) – 37 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от $0,5-1$ до 5 км) – 255 линеаментов.

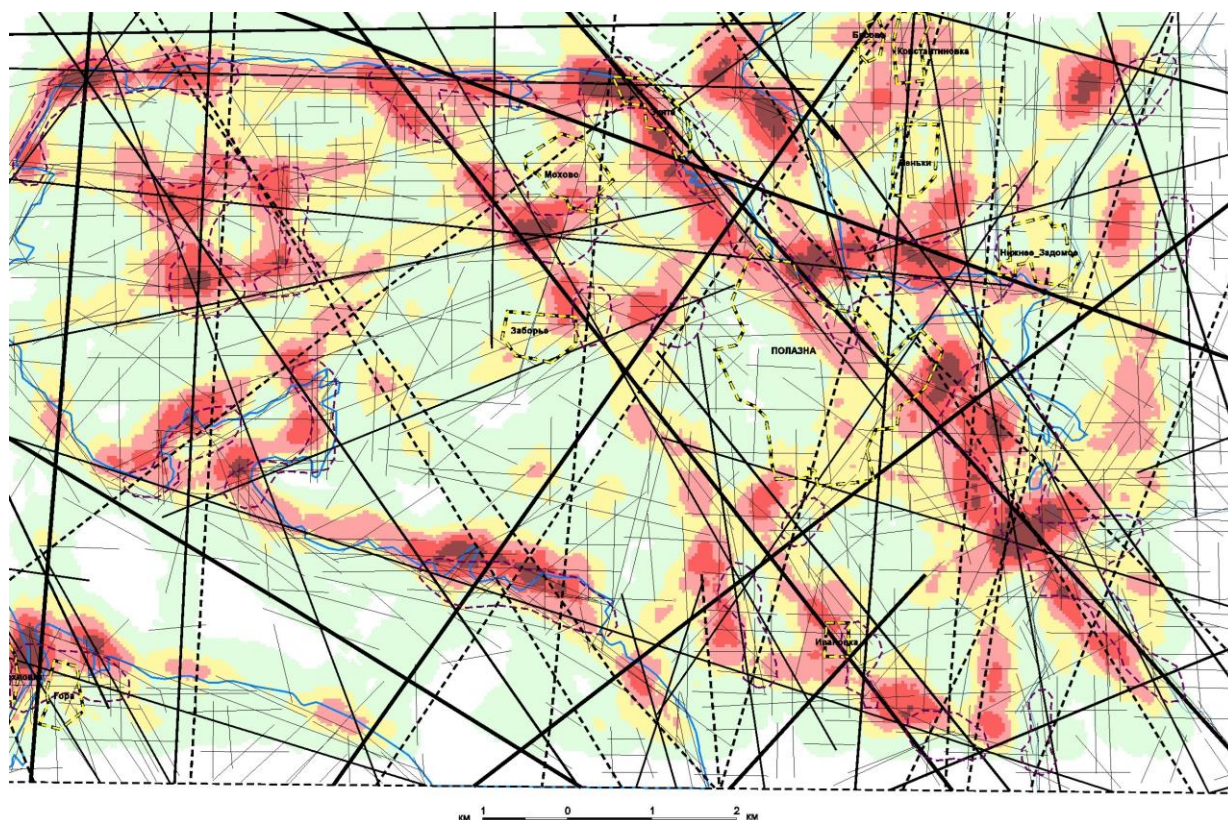
По региональным АКГИ (при дешифрировании КС масштаба $1:500\ 000-1:200\ 000$) рассматриваемый район (особенно его южная половина) попадает в пределы крупной геодинамической активной зоны регионального уровня [9]. По зональным АКГИ масштаба $1:100\ 000$ в рассматриваемом районе выделены 2 геодинамические активные зоны зонального уровня, из них более крупная, (самая крупная на Уфимском плато) прослеживается линейно в ССЗ направлении с юга на север, вдоль границы геоблоков и занимает практически всю площадь с. Усть-Кишерть, но преимущественно в западной части.

При дешифрировании КС масштаба $1:25\ 000$ геодинамическая зона в районе с. Усть-Кишерть «разбивается» на 10 геодинамических активных участков размером от $0,3-0,5$ до $1-1,5$ км. Всего установлены 13 геодинамических активных участков с площадями от $0,1$ до $0,8$ км².

Карстовый район п. Полазна. Проведены детальные АКГИ масштаба $1:25\ 000$ на площади $136,1$ км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба $1:25\ 000$ (рис. 4).

По неотектоническому и блоковому районированию [1, 12] рассматриваемая территория расположена на в пределах Вятско-Камской (Волго-Уральской) средневысотной геоступени (геоблока), в пределах Камской относительно опущенной структурной зоны (Камского мегаблока) и Среднекамского макроблока.

Всего в рассматриваемом районе, выделено 923 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью ($> 200-300$ км) – 9 линеаментов (в западной части проходит региональный линеамент меридионального направления протяженностью 626 км; п. Полазну ограничивают 2 СВ линеамента протяженностью 604 и 327 км и 3 СЗ линеамента протяженностью 286 и 257 км); региональные линеаменты значительной протяженностью ($100-200$ км) – 10 линеаментов; зональные линеаменты ($25-100$ км) – 15 линеаментов; локальные линеаменты ($5-25$ км) – 28 линеаментов; локальные и короткие линеаменты ($5-10$ км) – 81 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от $0,5-1$ до 5 км) – 780 линеаментов.



Условные обозначения на рис. 3

Рис. 4. Тектоническая трещиноватость и геодинамические активные зоны карстового района п. Полазна

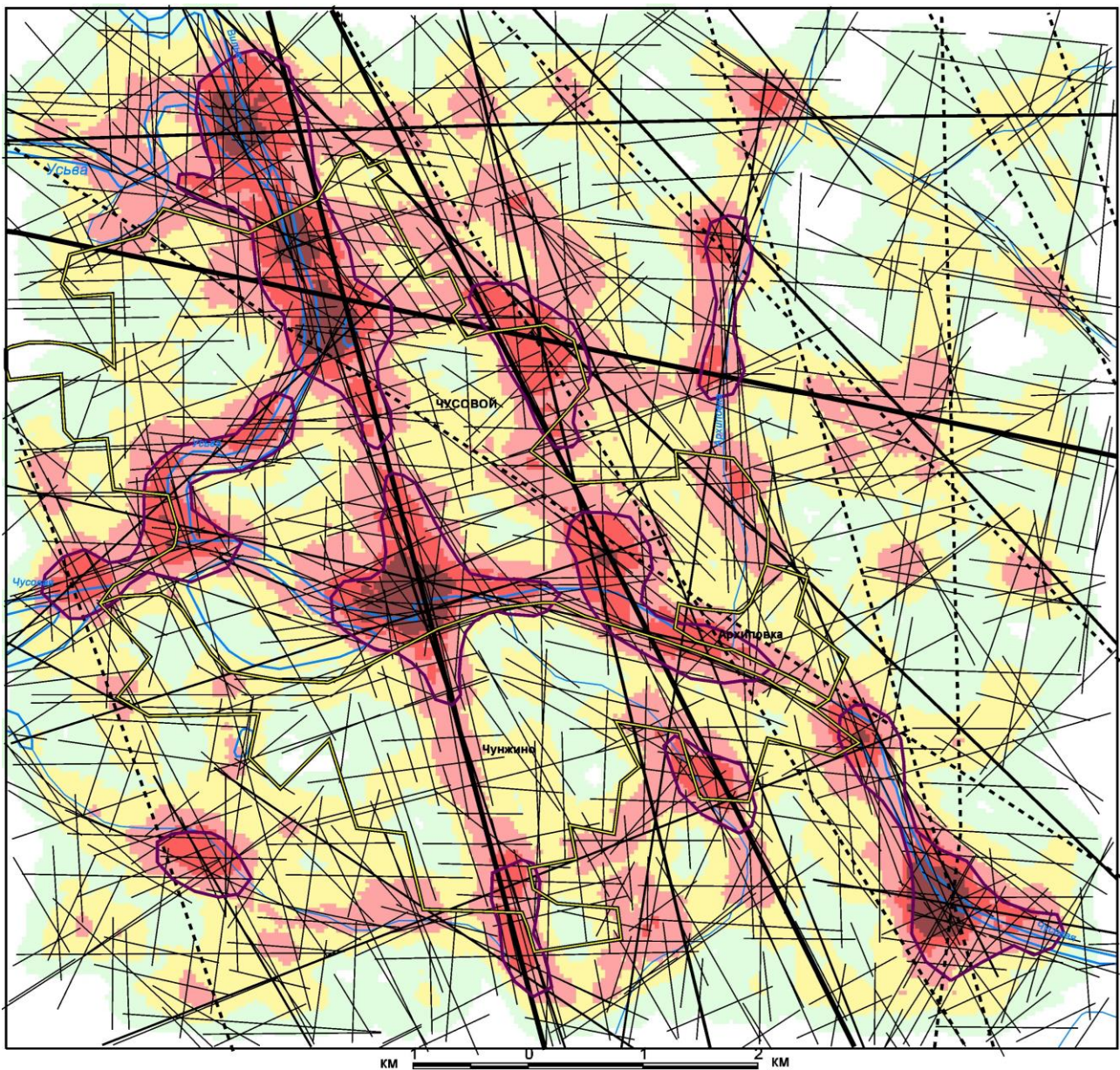
По региональным АКГИ (при дешифрировании КС масштаба 1:500 000-1:200 000) рассматриваемый район полностью попадает в пределы крупной геодинамической активной зоны регионального уровня. При дешифрировании КС масштаба 1:25 000 эта геодинамическая зона «разбивается» на 21 геодинамических активных зон локального уровня размером от 0,3-0,5 до 2-4,5 км, с площадями от 0,2 до 3,3 км².

Большая часть территории п. Полазны характеризуется низкой и средней плотностью линеаментов, северо-восточная часть, характеризуется повышенной и высокой плотностью линеаментов – приурочена к зоне повышенной трещиноватости.

По данным гидрогеологических исследований [16] значительное число геоактивных зон на этой территории совпадает с водообильными зонами, обусловленными карстовыми и геодинамическими процессами.

Карстовый район г. Чусовой. Проведены детальные АКГИ на площади 87,6 км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба 1:25 000 (рис. 5).

По неотектоническому и блоковому районированию [1, 12] рассматриваемая территория расположена на стыке и в пределах двух крупнейших структур Урала и Приуралья.



Условные обозначения на рис. 3

Рис. 5. Тектоническая трещиноватость и геодинамические активные зоны карстового района г.Чусовой

Граница их проходит по крупному региональному линеamentу ССЗ простираения. Западная часть территории г.Чусового расположена в пределах Предсреднеуральской структурной зоны (геоблока), которая занимает положение, соответствующее структурам Предуральского краевого прогиба (Юрюзано-Сылвинской депрессии и юго-восточного окончания Косьвинско-Чусовской седловины). Зона включает часть Предсреднеуральского мегаблока – Сылвинский макроблок, состоящий из нескольких блоков более низкого порядка и отличается «уральским» субмеридиональным простираением слагающих ее основных элементов. На новейшем этапе развития Предуральский крайевой прогиб был вовлечен в поднятия, проявлявшиеся с конца олигоцена. Восточная часть территории г.Чусового расположена в пределах Западно-Уральского геоблока, Западно-Среднеуральского мегаблока, занимает северо-западную часть Горно-

заводского макроблока, в составе которого выделяются несколько других блоков. Эта часть территории характеризуется значительными дифференцированными поднятиями, характерными для западного склона Среднего Урала.

Большая часть территории г. Чусового характеризуется умеренно-активной степенью неотектонической активности, восточная окраина города – высокой степенью, где проявляется высокая эрозионная расчлененность рельефа. Отмечается закономерное увеличение вертикальной расчлененности рельефа с юго-запада на восток с 120 м до 220 м. Преобладающие амплитуды новейших поднятий 100-150 м. По комплексу морфонеотектонических критериев вся рассматриваемая территория входит в пределы региональной Чусовской геодинамически активной зоны.

Детальным дешифрированием КС в рассматриваемом районе, выделено 802 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 км) – 3 линеаменты; региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 4 линеаменты; зональные линеаменты (25-100 км) – 8 линеаментов; локальные линеаменты (5-25 км) – 15 линеаментов; локальные и короткие линеаменты (5-10 км) – 33 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от 1-2 до 5 км) – 110 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от 0,5-1 до 2 км) – 629 линеаментов.

Большинство региональных и зональных линеаментов имеют северо-западное простирание. Крупнейшие линеаменты выходят далеко за пределы рассматриваемой площади. Один из них, проходит по центру города в субмеридиональном направлении, протяженностью 313 км – является пограничным между Предсреднеуральским и Западно-Уральским геоблоками. Второй линеамент в восточной части города – ССЗ простирания, протяженностью 220 км совпадает с глубинным разломом по фундаменту. По северной окраине города проходит линеамент субширотного простирания протяженностью 108 км, также совпадающий с глубинным разломом по фундаменту [3]. В северной части города установлен линеамент ЗСЗ простирания, протяженностью 216 км.

По плотности линеаментов и мегатрещиноватости, общий фон составляют значения с низкой (2 балл), средней (3 балл) и повышенной (4 балл) степенью плотности. Выделяется несколько локальных геодинамических активных зон с высокой (5 балл) и с очень высокой (6 балл) степенью плотности линеаментов. Они имеют размеры 0,5-1,3 км. Участки группируются в линейные геодинамические активные зоны северо-западного простирания, по направлениям крупных линеаментов и, особенно в местах их пересечений другими линеаментами. Такие зоны прослеживаются в центральной и восточной части города в северо-западном направлении, а также в долинах рек Чусовой и Усьвы. Всего установлены 10 геодинамических активных зон локального уровня с площадями от 0,3 до 2,7 км².

Кизеловско-Гремячинский карстовый район (Главная Кизеловская антиклиналь; гг. Кизел, Губаха, Гремячинск). Проведены зональные и детальные АКГИ на площади 1750 км². Составлены карты линеаментов и тектонической трещиноватости масштаба 1:50 000 (рис. 1-Б).

По неотектоническому и блоковому районированию [1, 12] территория расположена в области значительных дифференцированных поднятий западного склона Среднего Урала. Входит в Западно-Уральский геоблок, Западно-Среднеуральский мегаблок, занимает части Губахинского и Горнозаводского макроблоков, в составе их выделены 6 мезоблоков и несколько десятков элементарных блоков. Большая часть территории характеризуется умеренно-активной степенью неотектонической активности с отдельными участками высокой и локально – очень высокой степенью, что подтверждается высокой эрозионной расчлененностью рельефа. Преобладающие амплитуды новейших поднятий 200-300 м. По комплексу морфонеотектонических критериев вся рассматриваемая территория входит в пределы региональной Чусовской геодинамической активной зоны.

Всего в рассматриваемом районе структурным дешифрированием выделено 2256 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 км) – 15 линеаментов; региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 20 линеаментов; зональные линеаменты (25-100 км) – 62 линеаментов; локальные линеаменты (5-25 км) – 150 линеаментов; локальные и короткие линеаменты (5-10 км) – 427 линеаментов; короткие линеаменты протяженностью (от 1-2 до 5 км) – 1582 линеаментов.

Установлены прямолинейные линеаменты различных систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия северо-западных и северо-восточных линеаментов. В восточной части района (с севера на юг через п. Сев.Коспашский – п. Широковский – г. Гремячинск) проходит наиболее крупный линеамент меридионального простирания, протяженностью более 600 км.

Как и во всех изученных районах, наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, и их осевых линиях, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность.

По плотности линеаментов и мегатрещиноватости, общий фон составляют значения с низкой (2 балл), средней (3 балл) и повышенной (4 балл) степенью плотности. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями. Выделяются более 100 небольших по площади участков (размерами 2-9 x 1-3 км) с высокой (5 балл) степенью интенсивности, которые характерны для участков границ неотектонических блоковых структур и участков крупных линеаментов, осложненных более мелкими. Поэтому они имеют удлиненную форму с преимущественно северо-западным, северо-восточным и меридиональным простиранием. Выделяется более 40 локальных геодинамических активных зон (размерами 1-3 км) с очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов.

Всего выделено 57 геодинамических активных зон локального уровня с площадями от 1,0 до 21,7, в среднем 5-10 км². Наиболее крупные участки с повышенной тектонической трещиноватостью и высокой степенью неотектониче-

ской активности расположены: в 1,5 км западнее п.Шахта; 1-2 км севернее п. Сев. Коспашский; на северо-западе п. Центр. Коспашский; на западе п. Юж. Коспашский; в центре г.Кизел, в районах г. Губаха, п.Нагорнский, п. Шахтный; в 2 км восточнее п. Шумихинский, на западе п. Усьва; в долине р. Первый Нюрок; несколько аномалий в долинах рр. Косьвы и Усьвы

Все выделенные (и ранее установленные в Соликамско-Березниковском районе) [8] локальные геодинамические активные зоны в карстовых районах представляют собой потенциально опасные участки для размещения строительных объектов, которые необходимо учитывать при проведении инженерных изысканиях, проектно-строительных работах, разработке природоохранных мероприятий, безопасной эксплуатации инженерных сооружений и в других сферах хозяйственной деятельности. На участках геодинамической активности в условиях карстовой опасности необходимо осуществление постоянно действующего дистанционного мониторинга за состоянием геологической среды с целью инженерно-геологической безопасности.

Заключение

На основе разномасштабных аэрокосмогеологических исследований, проведены линеаментно-геодинамический анализ и геодинамическое районирование карстовых районов на востоке и юго-востоке Пермского края. Материалы сопоставлялись с данными глубинной геофизики (сейсморазведка, гравика).

Закартированы 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.

Библиографический список

1. Атлас Пермского края / под общей ред. А.М. Тартаковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: Уральский рабочий, 2012. 124 с.
2. Водолазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 – Пермь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
3. Кассин Г.Г., Шершнев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
5. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
6. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические исследования и линеаментно-геодинамический анализ для оценки карстовой опасности // Инженерная геология и охрана недр. Пермь, 2012. С. 66-83.

7. Копылов И.С. *Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
8. 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.*
9. Копылов И.С. *Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.*
10. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.*
11. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
12. Копылов И.С. *Линеаментно-блоковый анализ, блоковое строение и карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала // В сборнике Аэрокосмические методы в геологии. № 4. Пермь, 2022. С. 11-28.*
13. Копылов И.С. *Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.*
14. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.*
15. Копылов И. С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
16. 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.*
17. Копылов И.С. *Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ: монография / LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 152 с.*
18. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
19. 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.*
20. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.*

**МЕТОДОЛОГИЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА И РЕЗУЛЬТАТЫ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ
АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА КЕРЧЕВСКОЙ ПЛОЩАДИ (КАМСКИЙ СВОД)**

Проведены аэрокосмогеологические исследования на Керчевской площади в пределах Камского наложенного свода с целью уточнение геологического и тектонического строения территории для постановки нефтепоисковых работ. Показан методологический подход и выполнены ландшафтно-геодинамический и линеаментно-геодинамический анализы для поисков нефтегазоперспективных структур. Построены карты линеаментов, неотектонических блоковых структур, геодинамических активных зон и ландшафтных аномалий. По дешифрированию космических снимков выделены 1430 прямолинейных линеаментов, отражающих трещинно-разрывные структуры осадочного чехла и фундамента. Установлены 104 ландшафтных аномалий, отображающих предполагаемые тектоногенные поднятия брахиантиклинального типа. Рекомендовано 4 участков для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями.

Ключевые слова: нефть и газ, аэрокосмогеологические исследования, ландшафтно-геодинамический анализ, космические снимки, дешифрирование, тектонические структуры, ландшафтные аномалии, линеаменты, геодинамическая активность, Камский свод.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

**METHODOLOGY OF LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS
AND THE RESULTS OF OIL AND GAS PROSPECT FOR AEROSPACE
AND GEOLOGY INVESTIGATIONS ON KERCHEVSKY SQUARE
(KAMSKIY VAULT)**

Aerocosmological studies were carried out on the Kerchevskaya area within the Kama superimposed arch in order to clarify the geological and tectonic structure of the territory for setting up oil exploration. A methodological approach is shown and landscape-geodynamic and lineament-geodynamic analyzes are performed to search for oil and gas prospective structures. Maps of lineaments, neotectonic block structures, geodynamic active zones and landscape anomalies have been constructed. According to the interpretation of space images, 1430 rectilinear lineaments were identified, reflecting the fracture-fracture structures of the sedimentary cover and basement. 104 landscape anomalies were identified, reflecting the supposed tectonic uplifts of the brachianticlinal type. 4 sites are recommended for conducting detailed seismic surveys in combination with gravimetric and geochemical surveys and detailed aerospace geological surveys.

Key words: oil and gas, aerospace geological research, landscape geodynamic analysis, space images, interpretation, tectonic structures, landscape anomalies, lineaments, geodynamic activity, Kamskiy vault.

Введение

Керчевская площадь расположена в Пермском Приуралье на территории Косинского, Чердынского и Соликамского районов Пермского края, в пределах тополистов О-40-II, III и Р-40-XXXII, XXXIII.

В тектоническом плане территория исследований находится на восточной окраине Восточно-Европейской платформы, в пределах Волго-Уральской антеклизы, Камского наложенного свода. По карте термальной мощности литосферы (которая составляет 200-240 км) территория относится высокоперспективным землям [5]. Характеризуется различной геодинамической активностью с выраженными региональными аномалиями геодинамического поля [6, 10]. Современными методами исследований район изучен недостаточно. Территория охвачена региональными сейсморазведочными и гравиметрическими работами [2, 33], южная и восточная части охвачены структурно-поисковым бурением (более 100 скважин), глубокого бурения не проводилось.

В верхней части геологического разреза залегают с запада на восток терригенные уржумские отложения верхней перми, казанские (белебеевские) отложения среднего отдела и уфимские (шешминские) отложения нижнего отдела пермской системы, перекрытые в основном маломощными четвертичными флювиогляциальными, аллювиальными и делювиальными образованиями [28, 31].

В физико-географическом отношении площадь расположена на восточной окраине Восточно-Европейской равнины. По геоморфолого-неотектоническому районированию [11, 28, 33] она расположена в основном пределах района слабых дифференцированных поднятий Косинской и Верхнекамской низменных равнин Северного Прикамья на границе (на востоке площади) с районом умеренных сводовых поднятий Верхнекондасских Увалов Среднего Прикамья. По ландшафтно-геохимическому районированию [30] площадь располагается на границе и в пределах мегагеохоры аккумулятивной равнины Северного Прикамья и мегагеохоры денудационной равнины Среднего Прикамья. Рельеф сильно расчлененный с абсолютными отметками от 110 м до 241 м. Речная сеть представлена рекой Камой (север площади) р. Уролкой (правый приток р. Камы), и их многочисленными притоками. Преобладают лесные ландшафты (пихтово-еловые коренные леса с преимущественным распространением вторичных елово-осиново-березовых лесов) с дерново-подзолистыми, болотно-подзолисто-глеевыми и серыми лесными почвами [11, 22, 29].

Цель исследований: уточнение геологического и тектонического строения территории Камского наложенного свода. Выявление перспективных участков и объектов на основе проведения аэрокосмогеологических исследований для постановки нефтепоисковых работ и лицензирования (в комплексе зонально-региональных сейсмических работ с гравиметрической и геохимической съемками). Разработка методологического подхода ландшафтно-геодинамического анализа для поисков нефтегазоперспективных структур.

Площадь исследований – 2852,3 км² (с обзором – 5200 км²) (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема – Керчевская площадь на космоснимках

Аэрокосмогеологическая изученность

Керчевская площадь аэрокосмогеологическими исследованиями (АКГИ) охвачена в целом полностью, но в основном это материалы 30-40 летней давности, различных масштабов, которые в настоящее время требуют переинтерпретации (рис. 2). Основные работы по АКГИ на этой территории до 2012 г. были проведены Аэрокосмогеологической экспедицией ГПК ПО «Пермнефть» (в последствии – ООО «ПермНИПИнефть») [8, 18, 19, 23, 24].

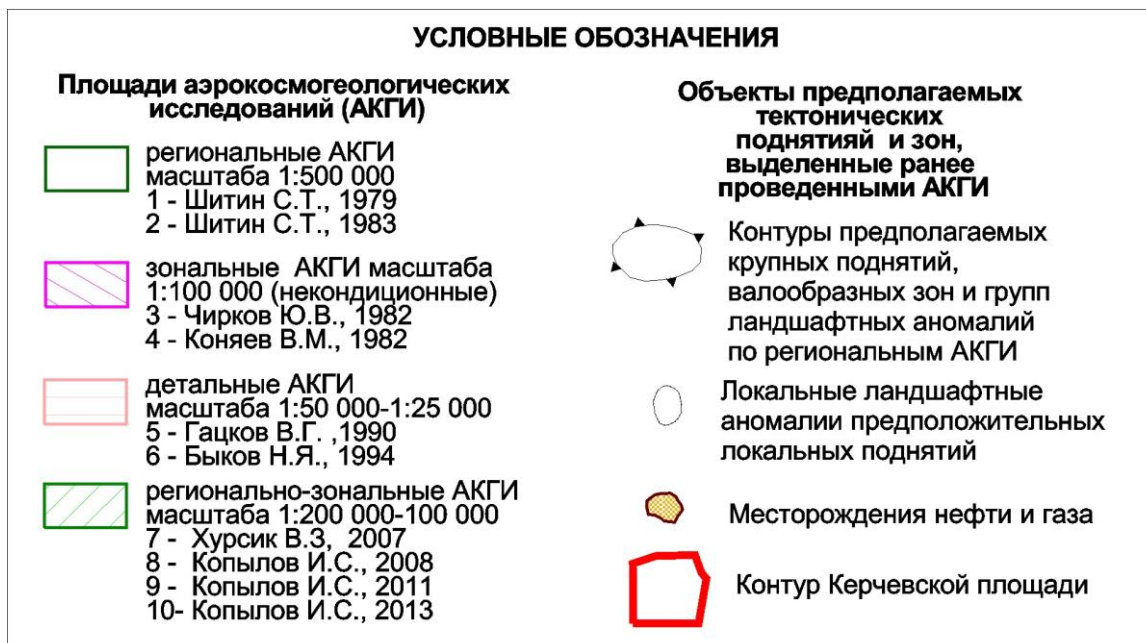
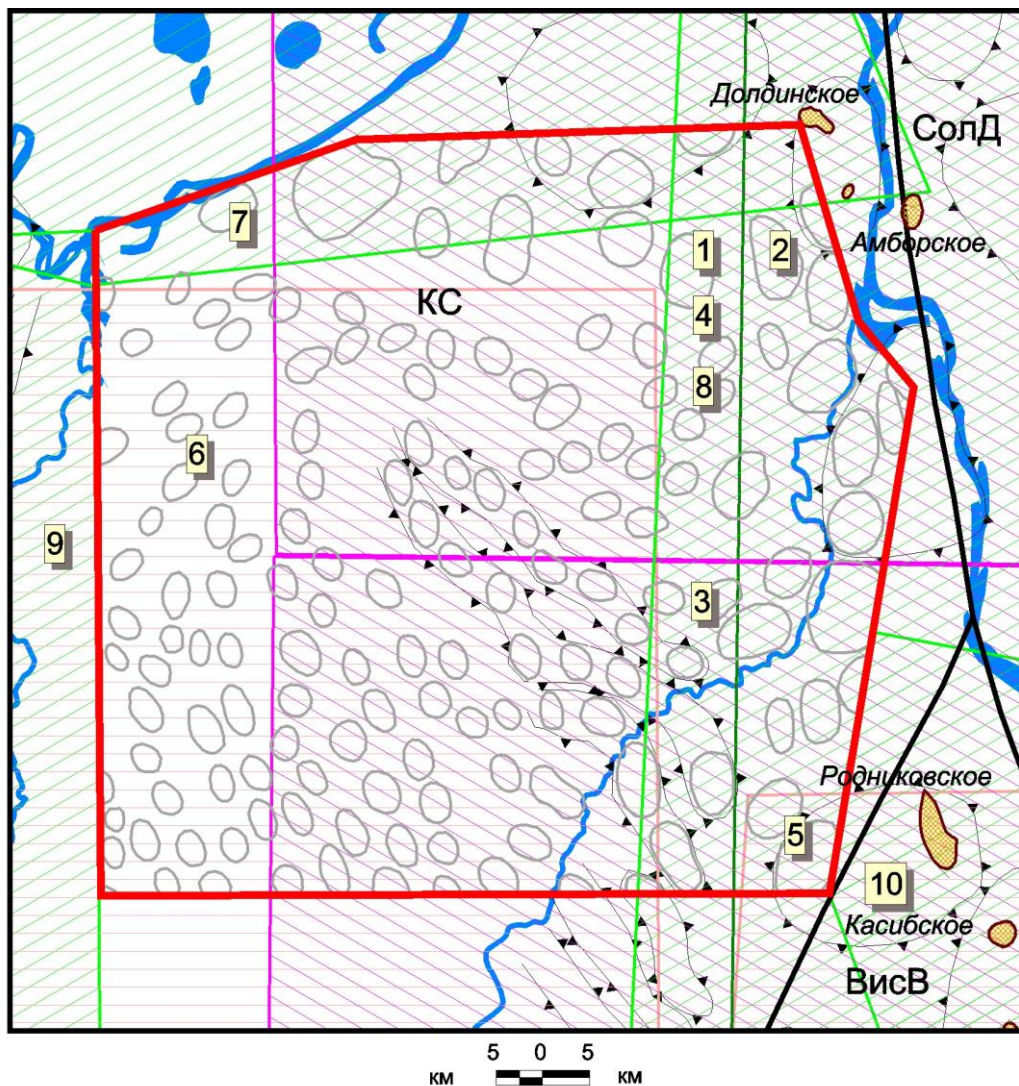


Рис. 2. Карта изученности Керчевской площади нефтепоисковыми аэрокосмогеологическими исследованиями

Вся площадь в 1976-1983 гг. изучалась региональными АКГИ масштаба 1:500 000 (Шитин и др., 1979ф, 1983ф) [34, 35]. В последствии результаты ре-

гиональных работ масштаба 1:500 000 неоднократно пересматривались и были практически полностью переинтерпретированы по линеаментно-блоковому строению (Ильиных, 1992ф, Копылов, 2006ф и др.), а результаты по локальным ландшафтными аномалиям (ЛА), в материалах более поздних и более детальных АКГИ, как правило, не подтверждались (Чирков и др., 1982ф; Коняев и др., 1982; Быков и др., 1994ф и др.). В северной части площади в 2007 г. проводились регионально-зональные АКГИ масштаба 1:200 000. В 1979-1982 в восточной части площади проводились АКГИ зонального уровня масштаба 1:100 000. В 1985-1993 на территории на разных участках проводились детальные АКГИ масштаба 1:50 000 [12].

В 2008 г. Копыловым И.С. в ООО «ПермНИПИнефть» проведены работы по анализу и обобщению результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа. На Керчевской площади исследованиями была охвачена восточная часть площади, где выделены 32 ландшафтных аномалий [6]. Всего на Керчевской площади до 2012 г. были выделены 152 ландшафтных аномалий [31].

В 2008-2010 гг. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком проведено обобщение и анализ всех данных АКГИ, выполнено региональное дешифрирование на основе современных космических снимков (КС) и составлена аэрокосмогеологическая карта территории Пермского края масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф). Анализ сопоставления этих локальных ЛА с результатами настоящих АКГИ (по дешифрированию современных КС) показал, что большинство аномалий предшественников (85% сходимости) установленных детальными АКГИ подтверждены соизмеримыми аномалиями, но иногда с другой ориентировкой по длинной оси. При этом, по современному дешифрированию масштаба 1:100 000 большинство ЛА фиксируется аномалиями соответствующего или несколько большего размера, несколько пар близко расположенных аномалий сгруппированы в более крупные аномалии. Ландшафтные аномалии выделенные ранее региональными и зональными АКГИ подтверждаются лишь в половине случаев (50% сходимости). Особенно это касается региональных работ 70-80 х гг. XX в. [34, 35], когда ЛА выделялись на черно-белых АФС очень схематично, часто они не находят подтверждения в современных материалах космической съемки [31].

Методология и методика исследований

Методологическая основа включала:

– *проведение комплекса аэрокосмогеологических исследований* путем системного анализа (дешифрирования) космических снимков разного масштаба от мелкого – к крупному [12, 13].

– проведение *ландшафтно-геодинамического анализа* территории, представляющего собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, ландшафтных, дистанционных и других методов) картирования ланд-

шафтных аномалий (кольцевых структур, морфоструктур или морфоаномалий) – индикаторов погребенных локальных нефтегазоперспективных структур, для выявления закономерностей их пространственного и глубинного размещения и связей с нефтегазоносностью [11, 13-15];

– проведение *линеаментно-геодинамического анализа* территории, представляющего собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов) картирования тектонических линеаментов, полей тектонической трещиноватости, геодинамической активности с целью районирования территорий, оценки объектов по степени геодинамической активности, выделения геодинамических активных зон [8, 12, 16, 25, 26].

Основными *целевыми задачами и видами исследований* являлись:

– структурное дешифрирование аэрокосмических снимков масштаба 1:50 000-1:100 000 с выделением прямолинейных линеаментов, отождествляемых с тектоническими нарушениями, и локальных ландшафтных аномалий, отождествляемых с локальными тектоническими структурами;

– структурно-геоморфологические исследования и неотектоническое районирование (линеаментно-блоковый, линеаментно-геодинамический, ландшафтно-геодинамический анализы);

– составление результирующих графических приложений масштаба 1:200 000: результатов аэрокосмогеологических исследований (кольцевых структур и линеаментов), неотектонических блоковых структур, геодинамических зон, перспективных участков и рекомендаций по данным АКГИ.

Методика дешифрирования КС, анализ геоиндикационных дешифровочных признаков, линеаментно-блоковой тектоники и кольцевых структур подробно изложена в работах [10, 13].

При проведении АКГИ проводилось компьютерное космогеологическое дешифрирование по авторской методике и заключалась в выявлении по характеру фотоизображения различно ориентированных линеаментов, картировании неотектонических блоковых структур и морфоструктур с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами, с применением ГИС-технологий.

Линеаментно-блоковый, линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы с составлением соответствующих карт проводились по методикам, изложенным в работах [7, 14, 16-24].

Необходимо отметить, что для конкретного масштаба исследований обычно применяется дешифрирование на ранг детальнее т.е. для АКГИ Керчевской площади масштаба 1:200 000 основное дешифрирование проводилось в масштабе 1:100 000. Поскольку на данной площади ранее в значительном объеме проводились АКГИ масштаба 1:50 000, то для сопоставления данных и их переинтерпретации проведено дешифрирование в масштабе 1:50 000. Для рас-

познавания рангов линеаментов проведено обзорное дешифрирование в мелких масштабах.

Таким образом, на Керчевской площади выполнялось комплексное структурно-геологическое дешифрирование аэрокосмических снимков масштаба 1:100 000-1:200 000 (с детализацией до масштаба 1:50 000 и обзором масштаба 1:1 000 000 и мельче) с выделением прямолинейных линеаментов, отождествляемых с тектоническими нарушениями и локальных ландшафтных аномалий, отождествляемых локальными тектоническими структурами.

Для дешифрирования применялись космические снимки среднего разрешения (14-30 м) со спутников Landsat 7, sensor ETM (рис. 3). Снимки очень высокого качества, позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000-1:50 000 и детальнее. Снимки характеризуются высокой геологической информативностью. Они достаточно контрастные с отчетливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов. Отчетливо дешифрируются прямолинейные линеаменты, хорошо выделяются площадные цветотональные и разнотектурные участки ландшафтов, разграниченные линеаментами. С их помощью производился основной объем комплексного дешифрирования на региональном и зональном уровнях.

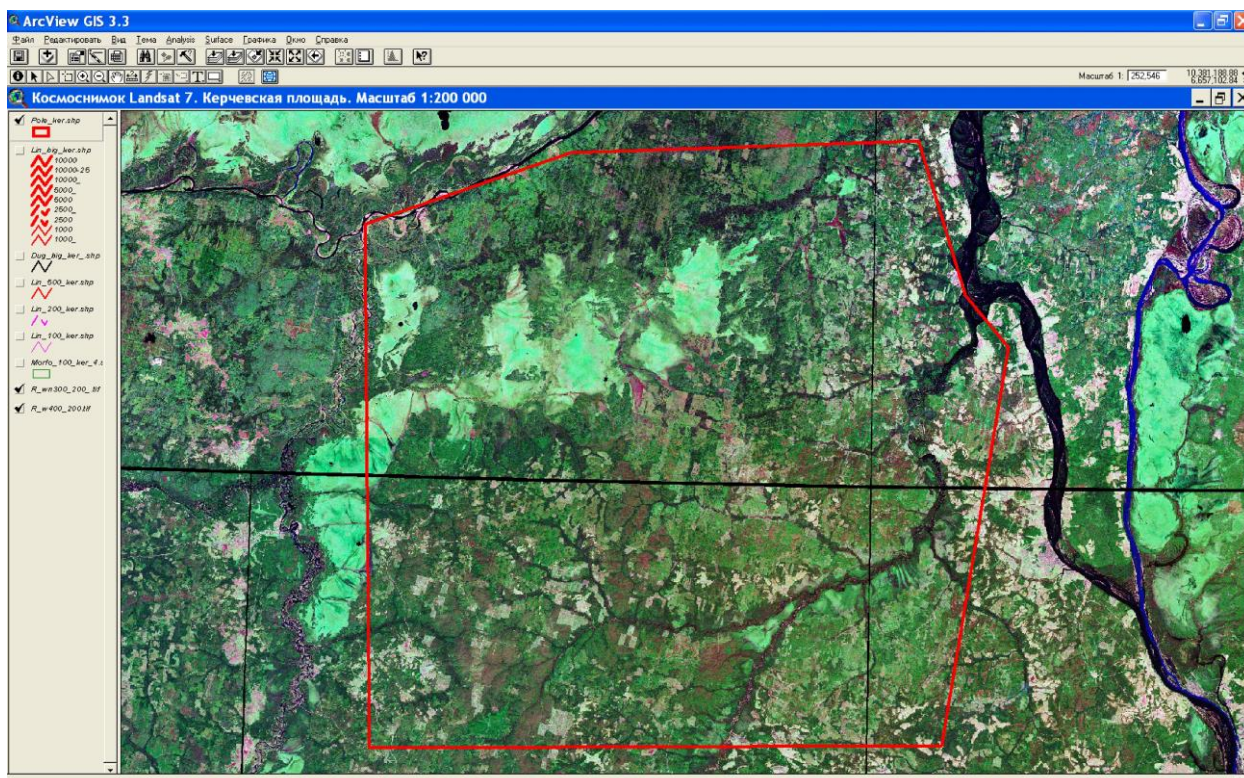


Рис. 3. Космоснимок Landsat 7 (Керчевская площадь)

Результаты аэрокосмогеологических исследований

Прямолинейные линеаменты (предполагаемые трещинно-разрывные структуры)

Согласно методики аэрокосмогеологических исследований для выявления крупных линеаментов изучался район, охватывающий Керчевскую площадь с захватом прилегающей территории (5200 км²), а также учитывались результаты дешифрирования КС всего Пермского Приуралья [13].

В пределах Керчевской площади в результате дешифрирования КС выявлена сеть прямолинейных линеаментов различных направлений и протяженности. Всего выделено суммарно 1430 прямолинейных линеаментов (рис. 4).

По протяженности прямолинейные линеаменты подразделены на 5 таксономических рангов. Результаты дешифрирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Картирование линеаментов Керчевской площади по дешифрированию КОСМОСНИМКОВ

Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Масштаб дешифрирования КС	Количество линеаментов
региональные большой протяженностью	> 200	1:10 000 000 1:5 000 000	11
региональные значительной протяженностью	100-200	1:2 500 000	20
зональные	50-100 25-50	1:1 000 000 1:500 000	29 44
локальные	5-25	1:200 000	223
короткие	1-5	1:100 000	1103

Установлены региональные прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия субмеридиональных (особенно в западной, центральной и восточной частях) и северо-западных линеаментов, а также северо-западные и широтные линеаменты. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 310-330° и 45-60°; ортогональная система – 270 и 350-10°. Прямолинейные линеаменты предположительно отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте.



5 0 5
КМ



Рис. 4. Линеаментное поле Керчевской площади

Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры. Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории – первого и второго порядка и выступают границами неотектонических блоковых структур в осадочном чехле – макроблоков, мезоблоков и крупных локальных блоков.

В пределах Керчевской площади прослеживается несколько региональных прямолинейных линеаментных зон – предполагаемых трещинно-разрывных структур, сформированные серией региональных линеаментов протяженностью свыше 100 км. Все они играют существенную роль в геологическом строении территории. Выделены следующие линеаментные зоны.

1) линеаментные зоны меридионального простирания прослеживаются:

– в западной части площади (линеамент № 12 протяженностью 152 км и ряд линеаментов до 100 км). Зона подтверждается разломом по фундаменту установленным по гравиразведке [2]. Обуславливают границу между макроблоками;

– в центральной части (линеамент № 18 протяженностью 90 км и др.). Зона подтверждается разломом по фундаменту установленным по магниторазведке [2]. Обуславливают границу между локальными блоками I порядка;

– в восточной части (линеамент № 14 протяженностью 123 км и ряд линеаментов до 100 км). Обуславливают границу между локальными блоками I порядка.

2) линеаментные зоны широтного и субширотного простирания:

– в северной части площади (2 линеамента протяженностью 80-90 км). Обуславливают границу между локальными блоками I порядка;

– в центральной части (линеамент № 17 протяженностью 90 км). Зона подтверждается разломом по фундаменту установленным по сейсморазведке [3]. Обуславливают границу между мезоблоками;

– в южной части (линеамент № 6 протяженностью 552 км и ряд линеаментов до 100 км). Обуславливают границу между макроблоками.

3) линеаментные зоны северо-западного простирания – выражены наиболее крупными линеаментами:

– в северо-западной – юго-восточной части площади (линеаменты № 1 протяженностью 897 км, № 2 протяженностью 891 км, № 3 протяженностью 569 км). Обуславливают границу между крупными кольцевыми структурами, вероятно отражающими выступы в фундаменте;

– в северо-восточной части площади (линеамент № 3 протяженностью 592 км). Возможно также контролирует крупную кольцевую структуру.

4) линеаментные зоны северо-восточного простирания двух основных простираний 30° и 60°:

– в западной части площади (линеамент № 7 протяженностью 301 км, Аз. 30°).

– в восточной части площади (линеамент № 20 протяженностью 90 км, Аз. 30°).

– в северной половине площади (линеамент № 13 протяженностью 140 км, Аз. 60°).

– в юго-восточной части площади (линеамент № 9 протяженностью 255 км, Аз. 60°).

Диагональные системы линеаментов чаще всего контролируют кольцевые структуры и обуславливают границы между локальными блоками первого и второго порядка порядков.

Линеаменты зонального и локального рангов во многом контролируют общую ориентацию локальных структур. На отдельных участках Керчевской площади зональные и локальные линеаменты контролируют группировку и расположение ландшафтных аномалий. Отмечается их заметная структуроконтролирующая роль, также они часто являются границами неотектонических блоковых структур первого и второго порядка порядков.

Учитывая современный уровень представлений о природе линеаментов, структурообразующие линеаменты, разграничивающие блоковые структуры с различными неотектоническим режимом и суммарными амплитудами новейших тектонических движений, гипсометрией, расчленённостью и другими морфометрическими и геоморфологическими показателями, строением осадочного чехла, а также зоны сгущения линеаментов трактуются, как геодинамические активные зоны с повышенной деформированностью, трещиноватостью и проницаемостью геологической среды.

При проведении дешифрирования КС Керчевской площади особое внимание было уделено картированию локальных и коротких линеаментов – мегатрещин, изучение количественного распределения которых имеет наиболее важное значение для поисков локальных положительных структур. Наибольшая густота мегатрещиноватости наблюдается в пределах локальных положительных структур, в местах максимального перегиба слоев – на периклиналях, узких сводах, на участках различных структурных осложнений, обусловленных неотектоническими движениями. Разрывы, возникшие в новейшее время, или молодые подвижки, возникшие по древним разрывам, почти всегда, так или иначе, отражаются в строении рельефа.

Неотектонические блоковые структуры

По геоморфолого-неотектоническому районированию Керчевская площадь относится к Восточно-Европейской равнине, Восточно-Русской провинции, Верхнекамской и Камской подпровинций, области слабых и умеренных поднятий равнины Северного и Среднего Прикамья. Большая часть относится к району слабых дифференцированных поднятий Косинской и Верхнекамской низменных равнин, юго-западная часть относится к району умеренных сводовых поднятий Верхнекондасских Увалов с суммарной амплитудой новейших

поднятий в 150–230 м [1]. В геоструктурном отношении это устойчивые части плиты, последовательно вовлекаемые в дифференцированные поднятия на протяжении позднего мезозоя и кайнозоя.

На рассматриваемой территории проведен линеаментно-блоковый анализ с детальностью исследований соответствующий масштабу картирования 1:200 000. Выделение блоковых структур производилось в соответствии с принципами линеаментной тектоники [4]. Границами блоковых структур послужили отрезки протяжённых прямолинейных линеаментов, контролирующих геологические структуры, неотектонические блоки. Все неотектонические блоки характеризуются определенными орографическими уровнями поверхностей рельефа.

В качестве основы для неотектонического районирования на структурно-блоковой основе до уровня выделения геоблоков взята карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР масштаба 1:1 500 000, под редакцией В.И. Бабака и Н.И. Николаева (1983) [1]. Границы региональных неотектонических блоковых структур (мегаблоки, макроблоки, мезоблоки) проведены в соответствии с картой неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000 («Составление карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья». ООО «ПермНИ-Пинефть», ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», 2006ф) с небольшим уточнением их положения. Как было отмечено выше, границами крупных (региональных) неотектонических блоковых структур в осадочном чехле являются линеаменты регионального и зонального рангов, а границами малых (локальных) неотектонических блоковых структур являются локальные линеаменты.

Согласно вышеприведенного неотектонического районирования территория Керчевской площади расположена в пределах Восточно-Европейской материковой платформы, Русской плиты, Вятско-Камского геоблока и Камского мегаблока. В пределах региональной геоструктуры Камского мегаблока выделяются фрагменты трех макроблоков, которые разделены на несколько мезоблоков. Мезоблоки в свою очередь «разбиты» на локальные структуры – блоки разного порядка. Задачей линеаментно-блокового анализа при детальности исследований масштаба 1:200 000 являлось выделение локальных блоков первого порядка.

На изученной территории выделено 10 локальных блоков I порядка, которые обычно разделяются на 3-5 блоков II порядка (рис. 5).

Территория Керчевской площади «разбита» в западной и в юго-восточной частях двумя крупными региональным линеаментам меридионального и субширотного простирания, которые делят ее на три макроблока: западный – Косинский (I), центральный, занимающий основную часть площади – Уролкинский (II) и юго-восточный – Кондасский (III) макроблоки.

Косинский (I) макроблок занимает узкую полосу в западной части Керчевской площади, разделен субширотным линеаментом на два мезоблока: се-

верный – Лологский (I-1) и южный – Среднекосинский (I-2) мезоблоки. Соответственно в них выделены по одному локальному блоку первого порядка – Усть-Косинский (I-1-Г) и Пуксибский (I-2-Г).

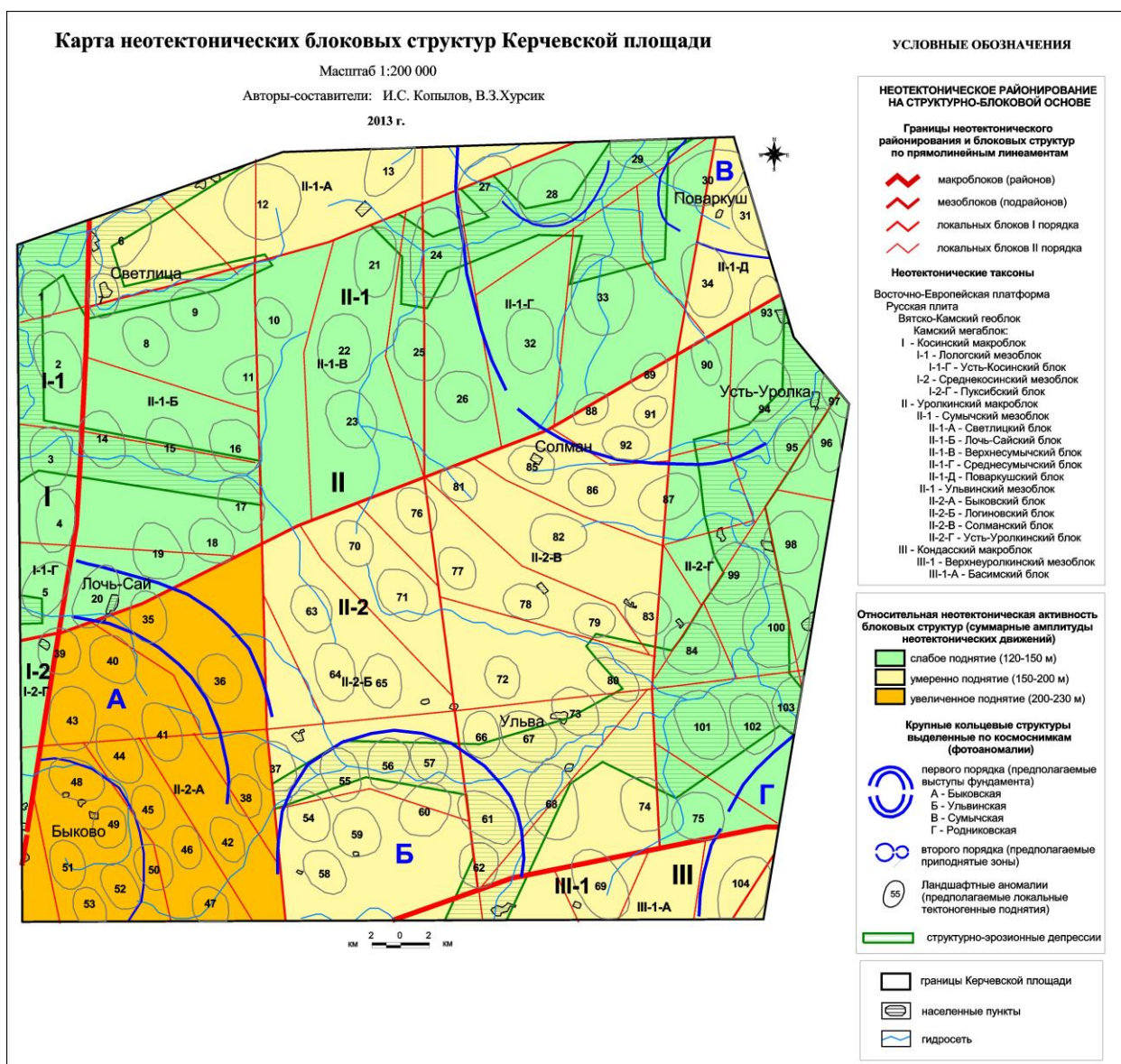


Рис. 5. Карта неотектонических блоковых структур Керчевской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000)

Уролкинский (II) макроблок, занимающий практически всю северную половину Керчевской площади, разделен субширотным линеamentом на два мезоблока: северный – Сумычский (II-1) и южный – Ульвинский (II-2) мезоблоки.

Сумычский мезоблок разделен линеamentами на пять блоков: Светлицкий (II-1-А), Лочь-Сайский (II-1-Б), Верхнесумычский (II-1-В), Среднесумычский (II-1-Г), Поваркушский (II-1-Д) блоки первого порядка.

Ульвинский мезоблок, занимающий большую часть южной половины Керчевской площади, разделен линеamentами на четыре блока: Быковский блок

(II-2-А), Логиновский (II-2-Б), Солманский (II-2-В), Усть-Уролкинский (II-2-Г) блоки первого порядка.

Кондасский (III) макроблок занимает небольшую юго-восточную часть Керчевской площади. Ему соответствует фрагмент Верхнеуролкинского (III-1) мезоблока, в котором выделен один блок: Басимский (III-1-А) блок первого порядка.

Неотектонические блоки разного таксономического ранга характеризуются общими или близкими чертами геологического и геоморфологического строения в пределах каждого блока и относительно устойчивыми тенденциями направления и интенсивности новейших вертикальных неотектонических движений (относительно соседних блоковых структур). Форма блоков самая различная, чаще всего многоугольники, преимущественно 3-4-5 угольники неправильной формы, площадью в среднем: блоки I порядка – 250-450 км², блоки II порядка – 70-100 км².

Проведен анализ степени неотектонической активности локальных блоковых структур. Локальные блоки различаются дифференцированными неотектоническими относительными движениями и энергией рельефа, характером его горизонтальной и вертикальной расчленённости, а также интенсивностью проявления эрозионно-денудационных и аккумулятивных процессов. По неотектоническим критериям (суммарные амплитуды неотектонических движений – А и энергии рельефа – Е) все локальные блоки подразделены на 3 группы:

1) испытывающие слабое поднятие ($A = 120-150$ м, $E = 30-50$ м) – 6 блоков (Усть-Косинский, Пуксибский, Лочь-Сайский, Верхнесумычский, Среднесумычский, Усть-Уролкинский);

2) испытывающие умеренное поднятие ($A = 150-200$ м, $E = 50-80$ м) – 4 блока (Севелицкий, Логиновский, Солманский, Басимский);

3) испытывающие увеличенное поднятие ($A = 200-230$ м, $E = 80-100$ м) – 1 блок (Быковский).

Геодинамические активные зоны

На территории Пермского Приуралья при проведении морфонеотектонического анализа (Копылов и др., 2004ф, Копылов, 2008ф) [7] было установлено большое количество геодинамических аномалий, как с высокими значениями показателей (активные геодинамические зоны), так и с низкими значениями (стабильные геодинамические зоны). Многие аномалии локальные, имеют небольшую площадь, другие занимают обширные поля различной формы. В пространственном отношении основные аномалии сгруппированы в 17 крупных аномальных зон, с площадями 750-6250, в среднем 2900 км². По результатам АКГИ и линеаментно-геодинамическому анализу с детальностью масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) [12, 29] было установлено 60 геодинамических активных зон регионального и зонального уровней с площадями преимущественно 100-200 км² (до 1530 км²).

Одна из них площадью 244 км² (в ее половинном объеме) была установлена в пределах рассматриваемой Керчевской площади в среднем течении р. Уролки – в восточной части Логиновской кольцевой структуры 1 порядка на границе Уролкинского и Кондасского макроблоков. Небольшие фрагменты двух других геодинамических активных зон наблюдаются на границе Косинского и Уролкинского макроблоков в западной и северо-западной частях площади.

На рассматриваемой территории (с обзором) согласно указанной выше методике проведен линеаментно-геодинамический анализ с детальностью исследований соответствующий масштабу картирования 1:200 000.

Плотность линеаментов на всей рассматриваемой территории колеблется в достаточно широких пределах. Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями.

Общий фон составляют значения с очень низкой (1 балл), низкой (2 балл) и средней (3 балл) степенью плотности линеаментов. Они занимают около 65% рассматриваемой территории (из них участки с очень низкой плотностью занимают небольшую часть – 5%).

Территории с повышенными (4 балл) и высокими (5 балл) значениями плотности линеаментов занимают соответственно 20% и 10% рассматриваемой территории. Первые из них, как правило, они имеют линейную форму с размерами в длину от 20-30 и более километров, в ширину 2-3 до 5 км. В их пределах локализуются зоны с высокими значениями плотности линеаментов размером 2-3 до 20 км. Выделяется 16 активных линейных геодинамических зон, сосредоточенные в основном в пределах и на периферии крупных кольцевых структур. Аномалии с очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов имеют размеры 1-2 до 8 км. Они занимают примерно 5% рассматриваемой территории.

Практически все они, по крайней мере, самые крупные из них находятся на границах неотектонических блоков. Размещение их показано карте геодинамических активных зон (рис. 6).

Кольцевые структуры и локальные ландшафтные аномалии

Дешифрированием КС на Керчевской площади выделено около 1 тыс. кольцевых и дугообразных линеаментов. В результате их обработки выделены кольцевые структуры трех порядков: 4 кольцевых структур первого порядка, осложненных кольцевыми структурами второго порядка и 104 кольцевых структур третьего порядка – локальных ландшафтных аномалий.

Крайне неравномерная и слабая геолого-геофизическая изученность территории усложняет интерпретацию результатов аэрокосмогеологических исследований.

Кольцевые структуры первого порядка представляют собой крупные кольцевые фотоаномалии. Предполагается, что кольцевыми структурами отображены выступы в кристаллическом фундаменте, на участках которых, вследствие унаследованного развития структур в новейшее время, возникли неотектонические поднятия.

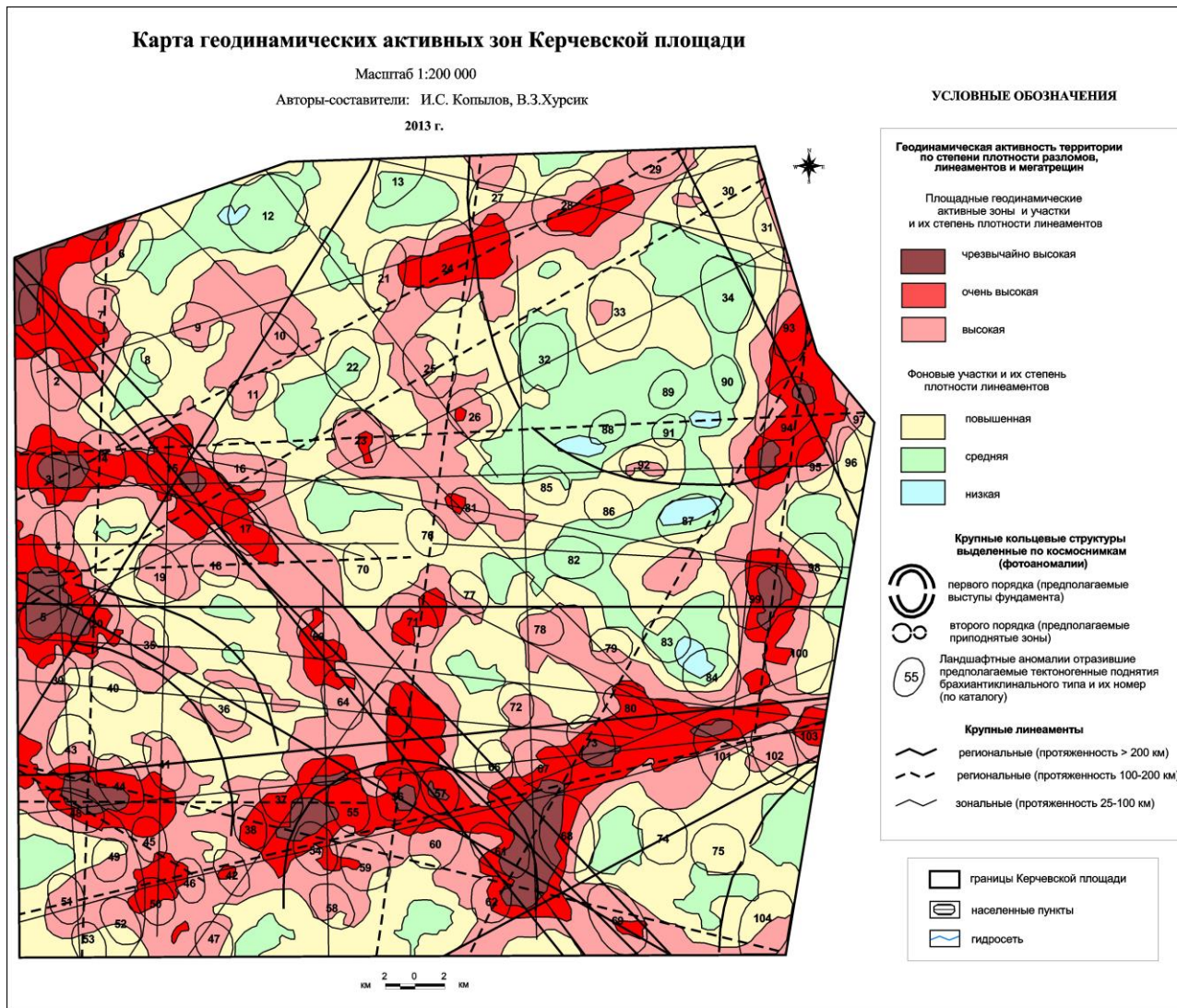


Рис. 6. Карта геодинамических активных зон Керчевской площади (уменьшение с масштаба 1:200 00)

Выделены фрагменты 4 кольцевых структур первого порядка – Быковская (А), Логиновская (Б), Сумычская (В) и Родниковская (Г). Большинство из них представляют собой овалы меридионального простирания размером преимущественно 25-30 км.

В юго-западной части Керчевской площади выделяется фрагмент Быковской кольцевой структуры первого порядка. Ранее она была отмечена в материалах региональных АКГИ (Шитин и др., 1979ф) [34] в виде двух кольцевых структур с размерами 22x15 и 18x14 км. Общие ее размеры составляют 30-40 x 15-20 км. На космоснимке выделяется в виде крупной фотоаномалии, состоя-

щей из нескольких дуг, с запада она ограничивается субмеридиональным региональным линеamentом, проходящим по долине р.Косы. Выходит за пределы Керчевской площади на юг. Представляет собой валообразное поднятие меридионального простирания, может быть продолжением Воскресенского вала.

Восточнее располагается менее крупная Логиновская кольцевая структура первого порядка размером 23-15 км. Она также выделялась ранее региональными АКГИ (Шитин и др., 1979ф) [34] в виде нескольких дугообразных элементов общим размером 30x15 км севено-восточного простирания. Не исключено отображение этой фотоаномалией крупной рифогенной структуры.

В северо-восточной части площади выделяется крупный фрагмент Сумышской кольцевой структуры первого порядка, размером 30-25 км. В ее пределах выделяются две кольцевых структуры второго порядка. Одна из них расположенная в северной части небольшим фрагментом, выделялась ранее, на Пильвенской площади аэрокосмогеологических исследований, как Веселовская кольцевая фотоаномалия. Предположительно она отождествлялась с верхнедевонским рифогенным массивом, а сгруппированные в ней локальные ландшафтные аномалии предположительно отражают структуры облекания рифовых вершин, осложняющих данный массив (Хурсик, Быков, 2007ф).

В юго-восточном углу площади выделяется небольшой фрагмент Родниковской кольцевой структуры первого порядка, закартированной на Вишерской площади аэрокосмогеологических исследований (Копылов, Хурсик, 2013ф). Ее размеры составляют 25-15 км. Отдельные ее локальные структуры нефтегазоносны (Родниковское месторождение нефти).

В пределах Керчевской площади выделено 104 кольцевых структур третьего порядка – локальных ландшафтных аномалий – предполагаемых поднятий в осадочном чехле (рис. 7), в табл. 2 приведена их характеристика.

Форма малых кольцевых структур – чаще округлая, реже эллипсовидная. Строение их чаще простое, они картируются одной окружностью. Реже встречаются «телескопированные» структуры, когда кольца разного диаметра «вложены» друг в друга.

В целом, установлены локальные ЛА с размерами от 2,7 x 2,0 до 6,2 x 5,0 км. Средний размер ландшафтных аномалий в диаметре составляет 3-4 км. Площади ландшафтных аномалий составляют от 3,8 до 21,6 км², в среднем 8-10 км².

Пространственная ориентировка ЛА аномалий преимущественно субмеридиональная и северо-западная. Наблюдается группировка ландшафтных аномалий в небольшие цепи, линейные зоны или небольшие группы согласно регионального структурно-тектонического положения крупных структур.

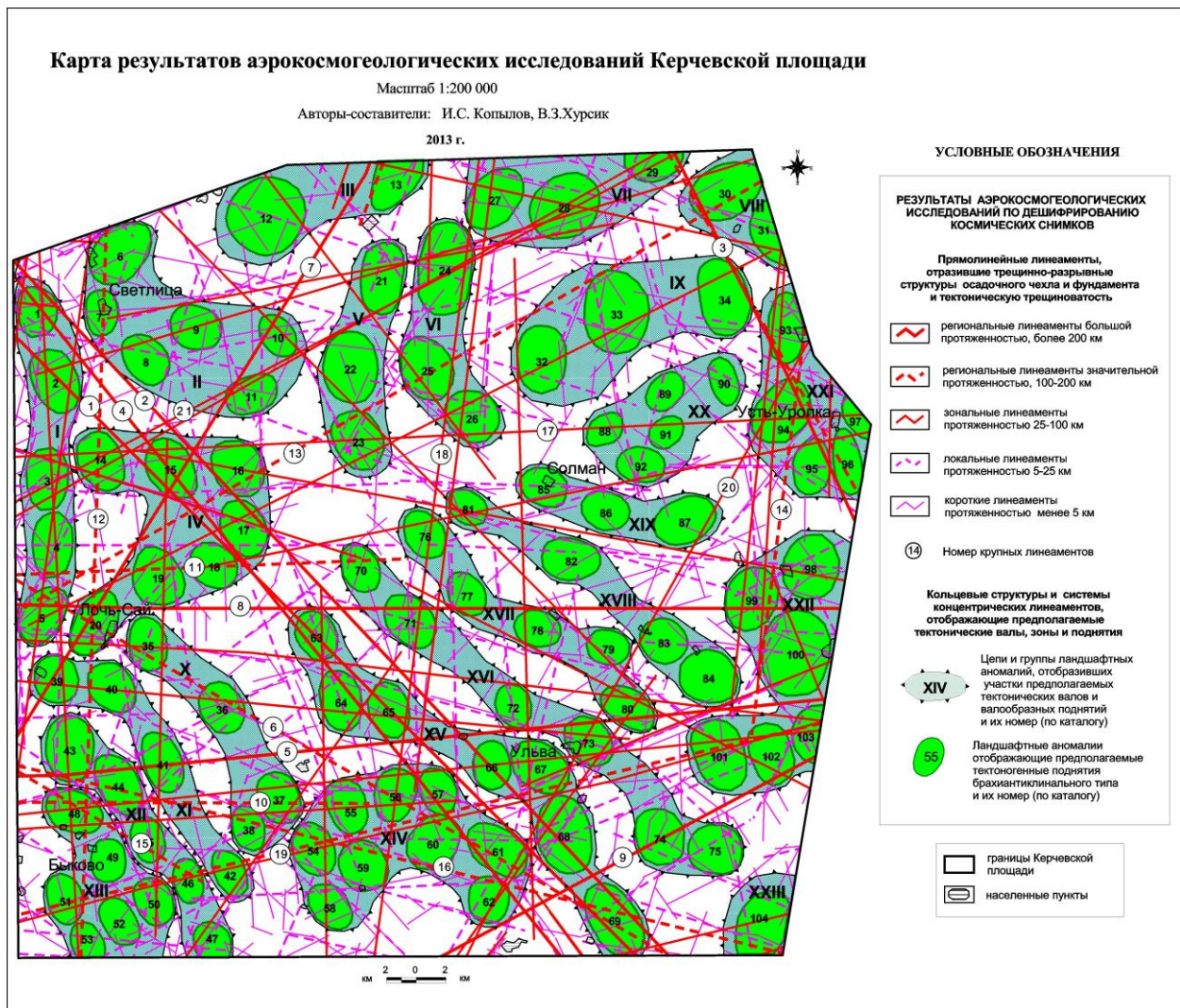


Рис. 7. Карта результатов аэрокосмогеологических исследований Керчевской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000)

Ландшафтные аномалии, отражающие положительные пликативные структуры различного генезиса, в целом, характеризуются довольно близкими геоиндикационными признаками. Критерии для надёжного отождествления выявленных ЛА со структурами различной природы в осадочном чехле установить затруднительно в связи с отсутствием на Керчевской площади участков, изученных сейсморазведкой и бурением, которые можно было бы принять, как эталонные. Учитывая известные сведения по геологии северо-западной части Пермского Приуралья, можно предполагать, что выявленные ЛА могут соответствовать тектоногенным поднятиям брахиантиклинального типа и структурным мысам. Однако полностью не исключается возможность отображения некоторыми из аномалий (особенно – аномалий с изометричной формой) структур, ядра которых осложнены небольшими шельфовыми биогермами позднедевонского возраста.

Каталог ландшафтных аномалий Керчевской площади

№ ЛА	Группировка (цепь или группа ЛА)	Название ЛА	Размер (км), ориентировка	Балл плотности линейных элементов	Первоочередность изучения
1	2	3	4	5	6
1	Усть-Косинская (I)	Усть-Косинская – 1	3,4 x 2,7 (ССЗ)	5-6	I
2		Усть-Косинская – 2	4,5 x 3,1 (ССЗ)	4-5	I
3		Усть-Косинская – 3	4,1 x 2,9 (С)	4-6	I
4		Усть-Косинская – 4	4,4 x 2,7 (С)	4-6	I
5		Усть-Косинская – 5	4,3 x 2,8 (ССВ)	5-6	I
6	Светлицкая (II)	Светлицкая – 1	4,9 x 3,4 (СВ)	2-5	II
7		Светлицкая – 2	3,0 x 2,4 (С)	3-5	I
8		Светлицкая – 3	3,7 x 2,8 (СЗ)	2-3	III
9		Светлицкая – 4	3,5 x 3,8 (СЗ)	3-4	II
10		Светлицкая 5	3,2 x 2,2 (СЗ)	4	II
11		Светлицкая – 6	3,7 x 2,4 (СВ)	3-4	II
12	Ворцевская (III)	Ворцевская – 1	5,2 x 5,0 (ССВ)	1-3	III
13		Ворцевская – 2	4,3 x 2,6 (ССВ)	2-3	III
14	Лочь-Сайская (IV)	Лочь-Сайская – 1	4,1 x 2,9 (ССЗ)	4-6	I
15		Лочь-Сайская – 2	4,4 x 3,0 (СЗ)	4-6	I
16		Лочь-Сайская – 3	4,4 x 3,0 (СЗ)	3-5	II
17		Лочь-Сайская – 4	4,1 x 2,9 (СЗ)	4-5	I
18		Лочь-Сайская – 5	3,5 x 2,7 (СЗ)	3-4	II
19		Лочь-Сайская – 6	4,2 x 3,2 (СЗ)	3-4	II
20		Лочь-Сайская – 7	4,7 x 2,8 (ССВ)	4-6	I
21	Верхнесумычская (V)	Верхнесумычская – 1	4,8 x 2,8 (С)	3-5	II
22		Верхнесумычская – 2	4,8 x 3,8 (С)	2-3	III
23		Верхнесумычская – 3	4,3 x 3,2 (СЗ)	4-5	II
24	Среднесумычская (VI)	Среднесумычская – 1	6,2 x 3,6 (С)	3-5	I
25		Среднесумычская – 2	4,4 x 3,5 (ССЗ)	3-4	II
26		Среднесумычская – 3	3,7 x 3,3 (СЗ)	3-5	II
27	Соплекская (VII)	Соплекская – 1	4,8 x 3,2 (СВ)	3-5	II
28		Соплекская – 2	5,1 x 4,1 (СВ)	3-5	I
29		Соплекская – 3	4,0 x 3,5 (СВ)	4	II
30	Поваркушская (VIII)	Поваркушская – 1	5,0 x 3,6 (СВ)	3-4	II
31		Поваркушская – 2	4,8 x 3,7 (СЗ)	3-4	II
32	Учевская (IX)	Учевская – 1	4,4 x 3,2 (С)	2	III
33		Учевская – 2	5,5 x 4,2 (С)	3-4	II
34		Учевская – 3	5,2 x 3,2 (ССЗ)	2	III
35	Быжгинская (X)	Быжгинская – 1	3,7 x 2,7 (ССЗ)	3-4	II
36		Быжгинская – 2	3,6 x 2,8 (СЗ)	3-4	II

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
37		Быжгинская – 3	3,7 х 2,8 (СЗ)	3-6	I
38		Быжгинская – 4	3,0 х 2,3 (СЗ)	4-5	I
39	Селищинская (XI)	Селищинская – 1	3,2 х 3,0 (ССЗ)	3-5	II
40		Селищинская – 2	3,7 х 2,8 (СЗ)	3-4	II
41		Селищинская – 3	4,2 х 2,7 (ССЗ)	3-5	I
42		Селищинская – 4	3,4 х 2,0 (ССЗ)	3-5	I
43	Апайкинская (XII)	Апайкинская – 1	4,5 х 3,3 (С)	3-6	I
44		Апайкинская – 2	4,5 х 2,7 (СЗ)	3-6	I
45		Апайкинская – 3	3,2 х 2,7 (ССЗ)	4-5	I
46		Апайкинская – 4	3,1 х 2,0 (ССЗ)	4-5	I
47		Апайкинская – 5	2,8 х 3,3 (ССЗ)	3-4	II
48	Быковская (XIII)	Быковская – 1	4,0 х 3,0 (СЗ)	4-6	I
49		Быковская – 2	2,9 х 2,3 (С)	3-4	II
50		Быковская – 3	3,2 х 2,5 (ССЗ)	4-5	I
51		Быковская – 4	3,5 х 2,5 (ССЗ)	3-4	II
52		Быковская – 5	3,4 х 2,5 (ССЗ)	3-4	II
53		Быковская – 6	3,2 х 2,4 (ССЗ)	3-4	II
54	Логиновская (XIV)	Логиновская – 1	3,8 х 2,9 (ССЗ)	4-6	I
55		Логиновская – 2	3,6 х 2,7 (ССЗ)	4-6	I
56		Логиновская – 3	3,7 х 2,9 (ССВ)	4-6	I
57		Логиновская – 4	3,3 х 2,4 (ССЗ)	5-6	I
58		Логиновская – 5	3,5 х 2,5 (ССЗ)	3-4	II
59		Логиновская – 6	3,5 х 2,9 (ССЗ)	3-5	I
60		Логиновская – 7	3,9 х 3,2 (СВ)	3-5	I
61		Логиновская – 8	4,6 х 2,7 (СЗ)	4-6	I
62		Логиновская – 9	3,3 х 2,6 (С)	4-6	I
63	Суземокская (XV)	Суземокская – 1	3,5 х 2,7 (ССЗ)	4-5	I
64		Суземокская – 2	3,9 х 2,8 (ССЗ)	4-5	II
65		Суземокская – 3	3,8 х 2,7 (ССЗ)	4-5	I
66		Суземокская – 4	3,3 х 2,5 (С)	3-5	II
67		Суземокская – 5	4,3 х 2,3 (СЗ)	4-6	I
68		Суземокская – 6	5,3 х 3,7 (ССЗ)	3-6	I
69		Суземокская – 7	5,3 х 3,5 (СЗ)	4-5	I
70	Ульвинская (XVI)	Ульвинская – 1	3,5 х 2,4 (ССЗ)	3	II
71		Ульвинская – 2	4,2 х 3,1 (СЗ)	4-5	I
72		Ульвинская – 3	3,0 х 2,2 (ССЗ)	3-4	II
73		Ульвинская – 4	3,7 х 2,9 (СЗ)	3-6	I
74		Ульвинская – 5	3,7 х 2,3 (ССЗ)	2-3	II
75		Ульвинская – 6	3,8 х 3,5 (ССЗ)	2-3	II
76	Березовская (XVII)	Березовская – 1	3,6 х 2,6 (ССЗ)	3-4	II
77		Березовская – 2	3,2 х 2,3 (ССЗ)	3-4	II
78		Березовская – 3	3,1 х 2,4 (СЗ)	3-4	II
79		Березовская – 4	3,0 х 2,4 (СЗ)	3-4	II
80		Березовская – 5	4,1 х 2,5 (СЗ)	4-5	I

Окончание таблицы 2

1	2	3	34	5	6
81	Моховлянская (XVIII)	Моховлянская – 1	3,0 x 2,1 (СЗ)	4-5	II
82		Моховлянская – 2	3,9 x 2,7 (СЗ)	2	III
83		Моховлянская – 3	3,3 x 3,0 (СЗ)	1-3	III
84		Моховлянская – 4	4,0 x 3,5 (СЗ)	1-4	III
85	Верхнесолманская (XIX)	Верхнесолманская – 1	3,0 x 2,1 (СЗ)	2-3	III
86		Верхнесолманская – 2	4,1 x 2,1 (СЗ)	2-3	III
87		Верхнесолманская – 3	3,7 x 3,0 (СВ)	1-3	III
88	Среднесолманская (XX)	Среднесолманская – 1	2,7 x 2,0 (СВ)	1-2	III
89		Среднесолманская – 2	2,9 x 2,0 (СВ)	2	III
90		Среднесолманская – 3	3,3 x 2,0 (СЗ)	2	III
91		Среднесолманская – 4	2,7 x 2,0 (СВ)	2-3	III
92		Среднесолманская – 5	3,3 x 2,3 (СЗЗ)	3-4	II
93	Усть-Уролкинская (XXI)	Усть-Уролкинская – 1	4,8 x 2,3 (С)	4-5	I
94		Усть-Уролкинская – 2	4,8 x 3,3 (СВ)	4-6	I
95		Усть-Уролкинская – 3	3,7 x 2,5 (С)	3-5	I
96		Усть-Уролкинская – 4	4,5 x 2,0 (ССЗ)	3-4	II
97		Усть-Уролкинская – 5	3,8 x 2,4 (СЗ)	3-4	II
98	Пашибская (XXII)	Пашибская – 1	4,7 x 3,6 (ССВ)	2-5	II
99		Пашибская – 2	4,4 x 3,4 (ССВ)	3-5	I
100		Пашибская – 3	5,9 x 4,5 (С)	3-6	I
101		Пашибская – 4	5,0 x 3,3 (ССЗ)	3-6	I
102		Пашибская – 5	4,3 x 2,5 (ССЗ)	3-4	II
103		Пашибская – 6	4,0 x 3,3 (С)	4-5	I
104	Родниковская (XXIII)	Родниковская – 6	4,9 x 3,4 (ССВ)	3-4	II

Оценка перспективности участков и объектов по данным аэрокосмогеологических исследований

На основании комплексной интерпретации результатов АКГИ на Керчевской площади, имеющих геолого-геофизических данных и буровых работ, опыта многолетних АКГИ в различных районах Пермского Приуралья, в условиях отсутствия эталонных участков все 104 закартированных ЛА подразделены на три группы по степени перспективности и первоочередности изучения (рис. 8, табл. 2). В основу подобного подразделения аномалий взяты: повышенная трещиноватость и плотность линеаментов, неотектоническая активность, увеличенная энергия рельефа, расположение объектов на крупных кольцевых структурах, предполагаемых валлообразных поднятиях.

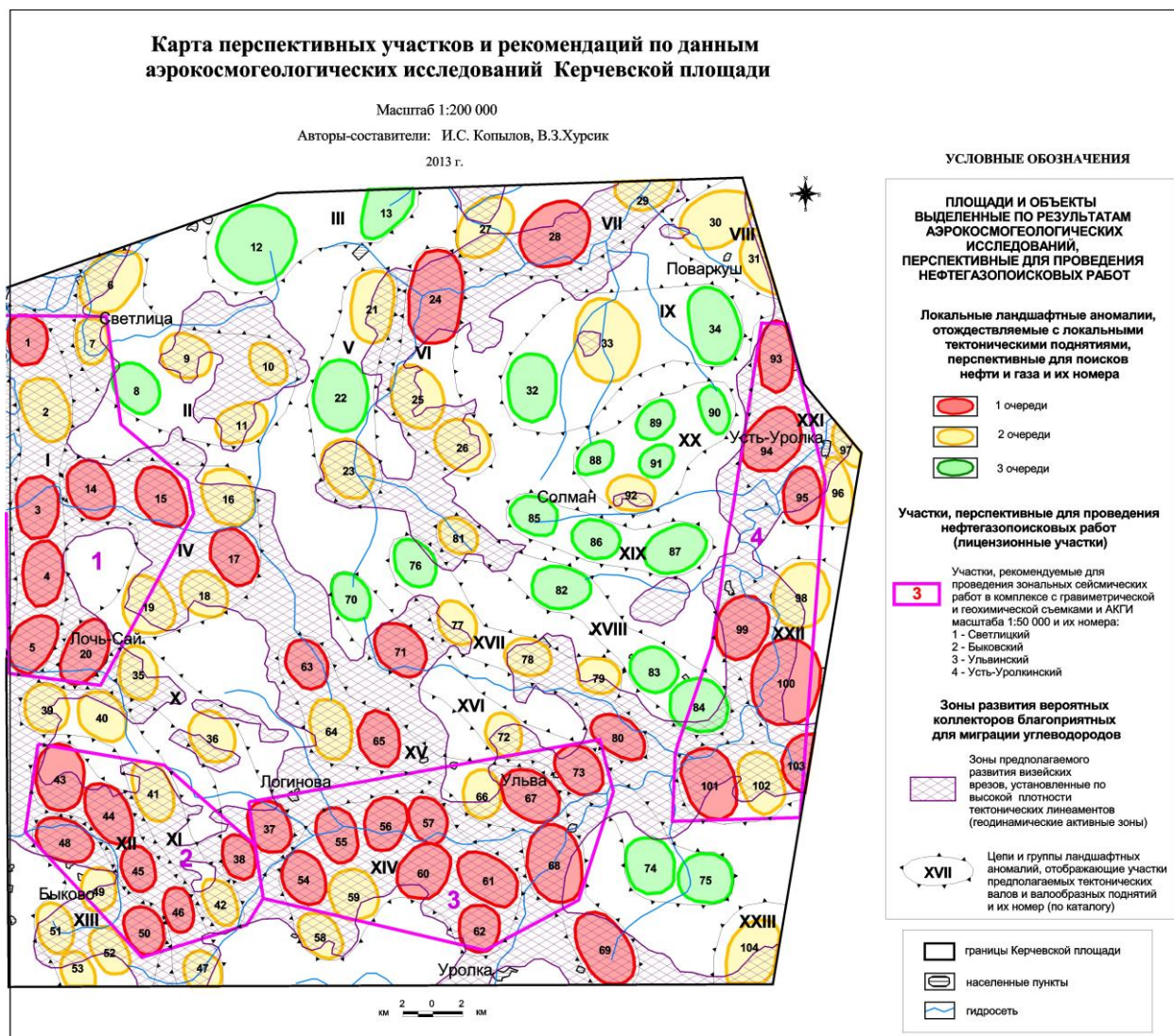


Рис. 8. Карта перспективных участков и рекомендаций по данным аэрокосмогеологических исследований Керчевской площади (уменьшение с масштаба 1:200 00)

Основными критериями для отнесения ландшафтных аномалий являются:

- к объектам первой очереди изучения отнесены ЛА с наличием в их пределах участков с плотностью линеаментов 6 баллов или 5 баллов со значительной площадью (более 30%);
- к объектам второй очереди изучения отнесены ЛА с наличием в их пределах участков с плотностью линеаментов 5 баллов или 4 баллов со значительной площадью (более 30%);
- к объектам третьей очереди изучения отнесены все прочие ЛА.

К объектам первой очереди изучения отнесены 40 аномалии:

Усть-Косинская – 1, Усть-Косинская – 3, Усть-Косинская – 4, Усть-Косинская – 5, Лочь-Сайская – 1, Лочь-Сайская – 2, Лочь-Сайская – 4, Лочь-Сайская – 7, Среднесумычская – 1, Соплекская – 2, Быжгинская – 3, Быжгинская – 4, Апайкинская – 1, Апайкинская – 2, Апайкинская – 3, Апайкинская – 4, Быковская – 1, Быковская – 3, Логиновская – 1, Логиновская – 2, Логиновская – 3, Логиновская – 4, Логиновская – 7, Логиновская – 8, Логиновская – 9, Суземокская – 1, Суземокская – 3, Суземокская – 5, Суземокская – 6, Суземокская –

7, Ульвинская – 2, Ульвинская – 4, Березовская – 5, Усть-Уролкинская – 1, Усть-Уролкинская – 2, Усть-Уролкинская – 3, Пашибская – 2, Пашибская – 3, Пашибская – 4, Пашибская – 6.

К объектам второй очереди изучения отнесены 44 аномалии:

Усть-Косинская – 2, Светлицкая – 1, Светлицкая – 2, Светлицкая – 4, Светлицкая – 5, Светлицкая – 6, Лочь-Сайская – 3, Лочь-Сайская – 5, Лочь-Сайская – 6, Верхнесумычская – 1, Верхнесумычская – 3, Среднесумычская – 2, Среднесумычская – 3, Соплекская – 1, Соплекская – 3, Поваркушская – 1, Поваркушская – 2, Учевская – 2, Быжгинская – 1, Быжгинская – 2, Селищинская – 1, Селищинская – 2, Селищинская – 3, Селищинская – 4, Апайкинская – 5, Быковская – 2, Быковская – 4, Быковская – 5, Быковская – 6, Логиновская – 5, Логиновская – 6, Суземокская – 2, Суземокская – 4, Ульвинская – 3, Моховлянская – 1, Среднесолманская – 5, Усть-Уролкинская – 4, Усть-Уролкинская – 5, Пашибская – 1, Родниковская – 6.

К объектам третьей очереди изучения отнесены 20 аномалии:

Светлицкая – 3, Ворцевская – 1, Ворцевская – 2, Верхнесумычская – 2, Учевская – 1, Учевская – 3, Ульвинская – 1, Ульвинская – 5, Ульвинская – 6, Березовская – 1, Моховлянская – 2, Моховлянская – 3, Моховлянская – 4, Верхнесолманская – 1, Верхнесолманская – 2, Верхнесолманская – 3, Среднесолманская – 1, Среднесолманская – 2, Среднесолманская – 3, Среднесолманская – 4.

В результате анализа материалов АКГИ на Керчевской площади для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными АКГИ масштаба 1:25 000 **рекомендуются 4 участка** (рис. 8).

1. Светлицкий участок – расположен в западной части площади, на правом берегу р.Косы, в бассейнах рек Светлицы, Булач, Лоч. Площадь участка – 227 км². Участок расположен на стыке Косинского и Уролкинского макроблоков в условиях повышенной неотектонической активности. Выделены 10 ландшафтных аномалий, из которых – 7 первоочередных.

2. Быковский участок – расположен в юго-западной части площади, в бассейне р.Вум, верховье р.Ульвы. Площадь участка – 148 км². Участок приурочен к Быковской кольцевой структуре 1 порядка. Выделены 10 ландшафтных аномалий, из которых – 7 первоочередных.

3. Ульвинский участок – расположен в южной части площади, в бассейне р. Ульвы. Площадь участка – 239 км². Участок приурочен к Ульвинской кольцевой структуре 1 порядка. Выделены 13 ландшафтных аномалий, из которых – 11 первоочередных.

4. Усть-Уролкинский участок – расположен в южной части площади, в нижнем течении р.Уролки. Площадь участка – 207 км². Участок приурочен к Сумычской и частично к – Родниковской кольцевым структурам 1 порядка. Выделены 10 ландшафтных аномалий, из которых – 7 первоочередных.

Общие критерии для их обоснования следующие:

– высокие геологические предпосылки для поисков в пределах восточной части Камского свода;

– наличие крупных кольцевых структур – возможно, отражающих выступы в кристаллическом фундаменте, на участках которых, вследствие унаследованного развития структур в новейшее время, возникли неотектонические поднятия.

– наличие перспективных ландшафтных аномалий (рекомендуемых к первой очереди изучения), отобразивших предполагаемые локальные тектонические поднятия (и возможно – структур облекания рифов). Подобные ЛА нашли подтверждение по геофизическим методам на Григорьевской площади регионально-зональных работ, где из 108 ЛА подтверждены сейсмикой (структуры и приподнятые участки) – 38 ЛА (35%), гравикой (гравитационные аномалии) – 78 ЛА (72%) [31];

– повышенная неотектоническая активность, в пределах необходимых для образования залежей и их сохранности (по неотектоническим параметрам близким к неотектоническим условиям ближайших месторождений нефти – Родниковскому, Касибскому, Долдинскому, Амборскому);

– высокая вероятность развития в пределах участков зон высокой трещиноватости (выделяемые по высокой плотности линеаментов), которые могут служить путями миграции углеводородов и повышать коллекторские свойства палеозойских отложений. На Григорьевской площади регионально-зональных работ, выделенные геодинамические активные зоны имеют хорошую пространственную сходимость с так называемыми «визейскими врезами» закартированными геолого-геофизическими методами [16]. Аналогичная закономерность отмечается на Пономаревской площади [15]. Исходя из этого можно предположить, что и на Керчевской площади могут быть развиты аналогичные «визейские врезы».

Заключение

В результате проведения разномасштабных аэрокосмогеологических исследований на Керчевской площади в пределах Камского наложенного свода уточнено геологическое и тектоническое строение территории для постановки нефтепоисковых работ. Показан методологический подход и выполнены ландшафтно-геодинамический и линеаментно-геодинамический анализы для поисков нефтегазоперспективных структур. Построены карты линеаментов, неотектонических блоковых структур (выделены фрагменты 3-х макроблоков, 5-ти мезоблоков; 12 локальных блоков первого порядка, разделяющиеся на 3-5 блоков II порядка), геодинамических активных зон (выделены 16 активных линейных геодинамических зон) и ландшафтных аномалий. По дешифрированию КС выделены 1430 прямолинейных линеаментов, отражающих трещинно-разрывные структуры осадочного чехла и фундамента. Установлены 104 ЛА, отображающих предполагаемые тектоногенные поднятия брахиантиклинального типа. Рекомендовано 4 участков для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями. Прямые геохимические

поиски нефти и газа (ГПНГ) необходимо включать в общий комплекс региональных, прогнозно-рекогносцировочных и прогнозно-оценочных работ, как обязательный вид работ при поисках нефти и газа [20, 21, 27].

Библиографический список

1. Бабак В.И., Николаев Н.Н. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечернозёмной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000. М.: ГУГК. 1984.
2. Бычков С.Г., Неганов В.М., Мичурин А.В. Нефтегазогеологическое районирование территории Пермского края // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2010. URL: <http://www.ogbus.ru>.
3. Кассин Г.Г., Шершнев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
5. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
6. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
7. Копылов И.С. Анализ и обобщение результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 13-42.
8. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
9. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
10. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
11. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
12. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
13. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
14. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
15. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95.
16. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазоносности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.
17. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.

18. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – история и изученность Приуралья аэрокосмогеологическими исследованиями // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 13-24.
19. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – характеристика основных результатов региональных и нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. 2020. С. 13-40.
20. Копылов И.С. Поиски нефти и газа на основе методов АКГИ И ГПНГ // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ. Пермь, 2017. С. 178-186.
21. Копылов И.С. Прогнозирование нефтегазоносных объектов комплексом геохимических и аэрокосмогеологических методов // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 16-17.
22. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
23. Копылов И.С. Результаты аэрокосмогеологического анализа Пермского Приуралья и обоснование перспективных объектов и участков с целью поисков залежей нефти // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 38-47.
24. Копылов И.С. Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 321-328.
25. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
26. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.
27. Копылов И.С., Козлов С.В. О перспективах развития аэрокосмогеологических методов в геологии и неотектонический прогноз нефтегазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2013. № 13. С. 68-73.
28. 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.
29. Копылов И.С., Копылова Л.И. Геоэкологические условия северо-западной части Пермского края // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2022. С. 122-132.
30. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.
31. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Керчевской площади. Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. 66 с.
32. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 135с.
33. Сигов А.П., Шуб В.С. Геоморфологическая карта Урала и объяснительная записка к картам масштаба 1:500 000 г. Свердловск, 1976-1980.
34. Шитин С.Т. и др. Отчет о региональных комплексных аэрогеологических исследованиях в Пермской области в 1976-1979 гг. (бассейны верхнего течения р.Камы и ее притоков). ГПК, Пермь, 1979. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».
35. Шитин С.Т. и др. Региональные аэрогеологические исследования в северо-восточной части Пермской области в 1980-1983 гг. ГПК, Пермь, 1983. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».

И.С. Копылов¹, В.А. Наумов^{1,2}, В.В. Оборин³, Е.Н. Барсуков¹

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Естественнонаучный институт ПГНИУ, Пермь, Россия

³ ООО «Запуралгидрогеология», Пермь, Россия

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСИРОВАНИЮ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПОИСКОВ УРАНА

Проведен анализ перспектив ураноносности в Пермском Приуралье на основе материалов геохимических, гидрогеологических работ и аэрокосмогеологических исследований. Известно, что месторождения урана практически повсеместно приурочены к зонам повышенной трещиноватости пород. Поэтому основной целью данной работы является выявление геологических критериев и установление зон, благоприятных на поиски урана по зонам повышенной тектонической трещиноватости (плотности линеаментов) установленной по дешифрированию космических снимков. По комплексу геологических, геохимических, гидрогеохимических критериев установлены 4 перспективных районов на уран. По дешифрированию космических снимков выделены зоны повышенной трещиноватости перспективные для поисков урана.

Ключевые слова: уран, аэрокосмические методы, гидрогеохимические поиски урана, Пермский край.

I.S. Kopylov¹, V.A. Naumov^{1,2}, V.V. Oborin³, E.N. Barsukov¹

¹ Perm State University, Perm, Russia

² Natural Science Institute of PSU, Perm, Russia

³ LLC Zapuralhydrogeologia, Perm, Russia

METHODOLOGICAL APPROACH TO COMPLEXING AEROSPACEGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL RESEARCH FOR URANIUM SEARCH

The analysis of the prospects for uranium content in the Perm Urals is carried out on the basis of materials from geochemical, hydrogeological and aerospace geological studies. It is known that almost everywhere uranium deposits are confined to zones of increased rock fracturing. Therefore, the main purpose of this work is to identify geological criteria and establish zones favorable for the search for uranium in zones of increased tectonic fracturing (lineament density) established by interpretation of satellite images. According to a complex of geological, geochemical, hydrogeochemical criteria, 4 promising areas for uranium have been identified. According to the interpretation of satellite images, zones of increased fracturing were identified that are promising for the search for uranium.

Key words: uranium, aerospace methods, hydrogeochemical searches for uranium, Perm region.

Введение

Стратегическое значение уранового сырья для России, его возможный дефицит в ближайшие годы в связи с новой экономической ситуацией в мире, труднодоступность и низкая рентабельность освоения известных месторождений, определяет актуальность исследований по поискам урана в новых регионах. Одним из мероприятий межотраслевой программы «Уран России» является проведение опережающих специализированных прогнозно-поисковых работ на слабо изученных территориях, обладающих признаками промышленной ураноносности [26, 27].

Восточную часть Восточно-Европейской платформы и Вятско-Камское Приуралье (ВКП) в частности, где известны многочисленные проявления урана, представляющие практический интерес, можно рассматривать как резервный регион для поисков урана. По районированию ВСЕГЕИ выделяется Верхне-Камская потенциальная урановорудная область, в которой выделен Вятско-Камский урановорудный район, включающий Черепановское и Виноградовское месторождения урана, 10 рудопроявлений и 47 проявлений урановой минерализации, более 200 радиометрических аномалий. Ресурсы урана в районе по категории P_3 , пригодные под отработку способом подземного выщелачивания, составляют 90 тысяч тонн.

Известно [2, 31], что месторождения урана практически повсеместно приурочены к зонам повышенной трещиноватости пород, поэтому основной **целью данной работы** является анализ перспектив проведения аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) на юго-западе Пермского Приуралья, выявление геологических критериев и установление зон, благоприятных на поиски урана по зонам повышенной тектонической трещиноватости (плотности линейментов) установленной по дешифрированию.

Геологические критерии ураноносности

Ведущим и наиболее изученным является урановое оруденение «руслового типа», локализующееся в верхней части разреза верхне-среднепермской континентальной пестроцветной формации.

К основным закономерностям и благоприятным условиям локализации оруденения этого типа относятся:

– формирование урановорудного пояса Приуралья обязано молодым геодинамическим процессам и неотектоническим движениям различных направлений. Уранопроявления расположены в Верхнекамской впадине и прилегающих территориях – в области достаточно интенсивных и дифференцированных блоково-глыбовых неотектонических движений и концентрируются в зонах глубинных разломов, проникающих в осадочный чехол;

– ураноносность территории определяется, в первую очередь, развитием обогащенных ураном отложений верхнепермской континентальной пестроцветной формации и достаточно широкой проявленностью в них урановорудных процессов, приведших к формированию большого количества уранопоявлений;

– большинство урановых объектов локализуется в песчано-глинистых отложениях татарского яруса, в меньшей степени в аналогичных отложениях казанского и уфимского ярусов.

– урановое оруденение связано, главным образом, с отложениями палеорусел и старичных озер, обогащенных органическим веществом [2];

– формирование оруденения связано с экзогенными процессами перераспределения и накопления урана, при участии подземных вод;

– широкое развитие в подземных водах и поверхностном стоке аномалий хрома, ванадия, марганца – рудных элементов, сопутствующих урановому оруденению в отложениях палеорусел, пространственно, а возможно, и генетически связанных с ураном [10, 21];

– формирование аномальных концентраций урана эпигенетического типа в подземных и поверхностных водах связано с глубинным источником его поступления; ряд аномалий в донных осадках могут формироваться за счет техногенного загрязнения;

– основной рудоносный горизонт расположен на глубинах до 300 м, доступных для поисковых буровых работ [30].

Геологическая изученность и оценка перспектив на уран

Рассматриваемая территории изучена гидролитогеохимической съемкой масштаба 1:1 000 000, геологической и гидрогеологической съемками масштаба 1:200 000 с проведением радиометрических исследований. Изученность бурением связана, главным образом с поисками нефти и газа; пробурены сотни глубоких и тысячи структурных скважин с проведением гамма-каротажа. Специальные радиометрические поиски проводились локально.

По данным гидролитогеохимической съемки масштаба 1:1 000 000 [33] в Пермском Приуралье выделены Чайковско-Куединский, Пермско-Кунгурский аномальные районы, Кудымкарский и Косинский аномальный участок общей площадью более 40 тыс. км² с прогнозным ресурсом урана в рудах свыше 43 тыс. тонн (площади не оконтурены). По данным гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000 [3, 4] к этим же районам (за исключением Пермско-Кунгурского) приурочены аномалии урана в подземных водах.

Наиболее перспективными на поиски урана в Пермском крае могут считаться 4 аномальных района: Чайковско-Куединский, Верещагинский, Кудымкарский, Косинский, выделенных по содержанию урана в подземных водах и минеральном остатке [30] (рис. 1).

Наиболее перспективной является Чайковско-Куединская площадь, расположенная на юго-западе Пермского края. В этом районе располагаются крупные геодинамические активные зоны, обусловленные зонами с повышенной тектонической трещиноватостью [9, 13, 14, 18, 23]. На данной территории по результатам комплексных геологических, гидрогеологических и геохимических работ ранее было выявлено несколько участков с аномальными содержанием урана от $4 \cdot 10^{-4} \%$ до $40 \cdot 10^{-4} \%$ и около 200 радиометрических аномалий, что даёт основание рассматривать его в качестве основного района для поисков урана [7, 16, 19, 21, 30, 32, 34].

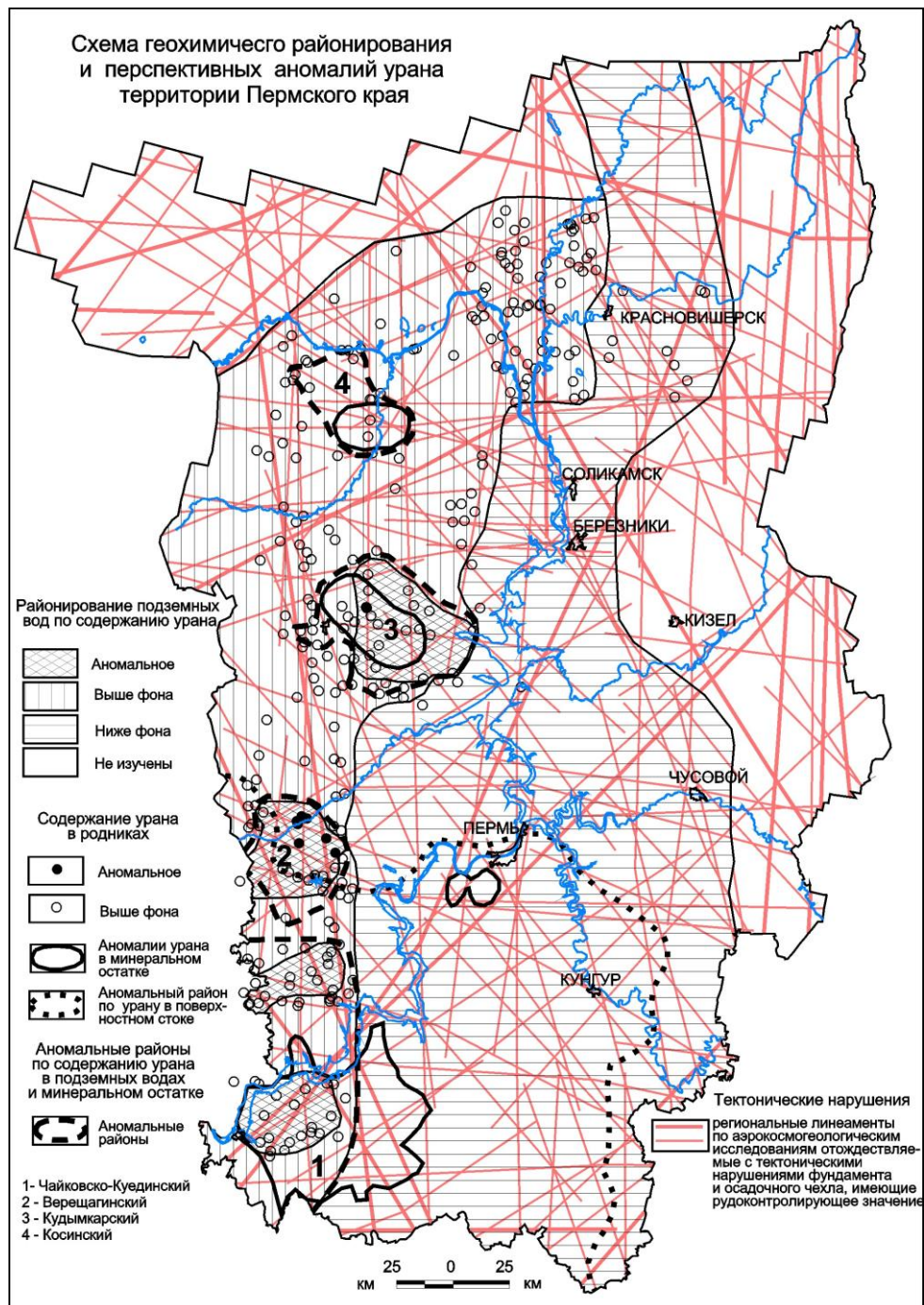


Рис. 1. Геохимические аномалии урана в Пермском Приуралье [30]

Методика и результаты исследований

Территория юго-западной части Пермского Приуралья имеет удовлетворительные природные условия для проведения АКГИ и дешифрирования. В геологическом отношении она расположена в основном в пределах Верхнекамской впадины с распространением на поверхности верхне-среднепермских отложений (глины, алевролиты, песчаники и др.), перекрытых маломощным слоем четвертичных образований. Имеет различные в т.ч. – сложные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Территория характеризуется преимущественно лесными ландшафтами с небольшими урбанизированными и

техногенными участками (населенные пункты, пашни, разработки нефти и газа, дороги и др.) [10, 11, 17, 22, 23, 25]. Ранее на этой территории проводились различные виды АКГИ в основном для поисков нефти и газа, исследования нефтегазопроводов [6, 28, 29], оценки инженерно-геологических и геоэкологических условий [8, 10, 12, 13].

Для исследования рассматриваемой территории с помощью программного обеспечения были взяты космические снимки (КС) (сервис ERS.CR.USGS.GOV и др. ресурсы) и цифровые модели рельефа (ЦМР) в растровом виде (сервис MAPS-FOR-FREE.COM) [1] (рис. 2).

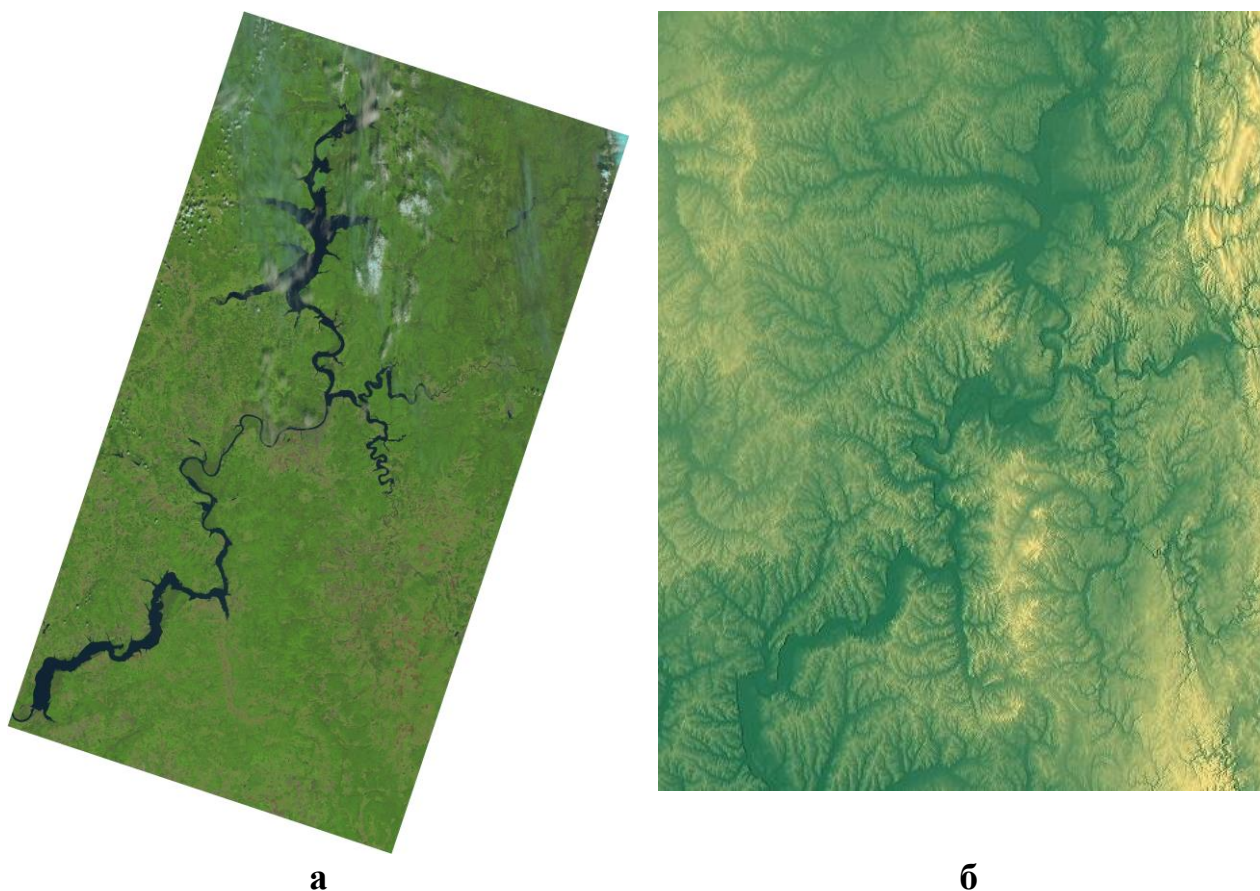


Рис. 2. Космоснимок и цифровая модель рельефа юго-запада Пермского Приуралья

Дешифрование одного и того же района по разным материалам дает возможность более точно выделить тектонические линеаменты. Например, на КС легче выделяются линеаменты по зонам лучшего развития или угнетения растительности. Некоторые линеаменты, наоборот, из-за растительности, облачности и других факторов легче дешифрируются по ЦМР. Методика дешифрирования изложена в работах [7, 12].

Для повышения точности выделения линеаментов на КС, последние подвергаются корректировке контраста, гистограммы и прочих свойств. В данной работе предварительной обработке были подвергнуты космоснимок и цифровая модель рельефа территории Пермского края. Изображения были преобразованы

из цветных в 8-битные полутоновые изображения с помощью программного обеспечения ENVI Classic (рис. 2, 3). Этот метод повышения контрастности изображений базируется на анализе и эквализации гистограмм локальных окрестностей изображения. Контраст каждой части изображения повышается, что связано с изменением формы гистограммы. В результате обработки повышается количество выделяемых линеаментов без потери целостности и протяжённости.

Далее оба снимка были представлены в виде слоев одной карты в программном обеспечении ESRI ArcMap, в результате чего, при дешифрировании можно переключать слои, для более точного выделения линеаментов.

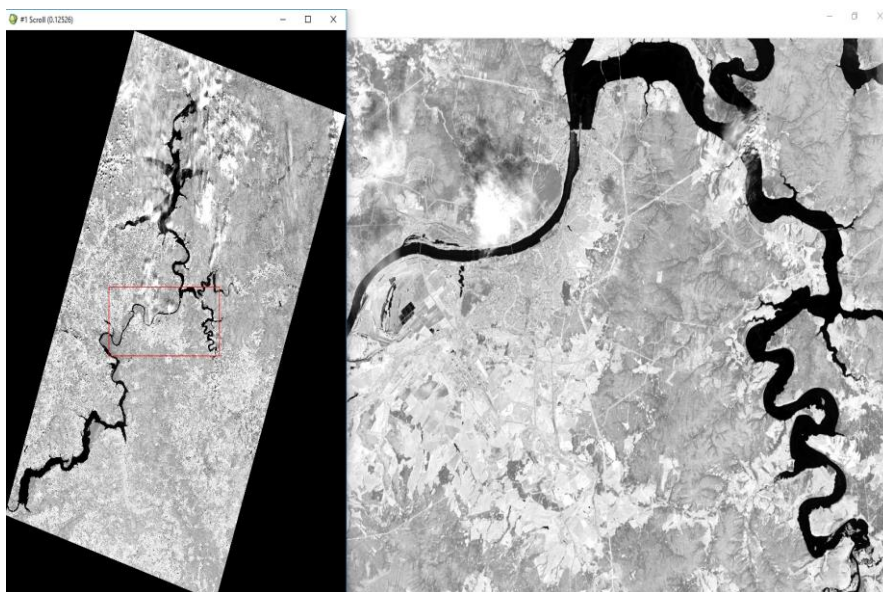


Рис. 3. Предварительная обработка космоснимка

Результаты исследований

Дешифрирование и обработка данных проводились по методикам [5, 6, 7, 14, 15, 20, 24 и др.]; исследования проводились в нескольких масштабах [15]. В результате структурного дешифрирования в юго-западной части рассматриваемого района было выделено 520 линеаментов (рис. 4), преимущественно северо-западного и северо-восточного простираний.

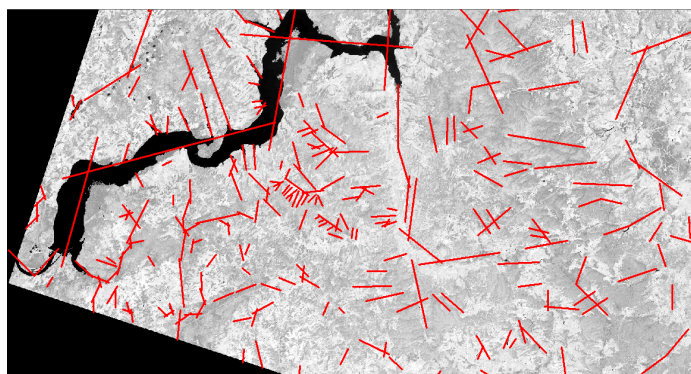


Рис. 4. Фрагмент зонального и локального дешифрирования линеаментов

По результатам дешифрирования был проведен количественный и качественный анализ.

Для количественного анализа было выполнено построение поля плотности линеаментов. Задача выполнялась в программном обеспечении ESRI ArcMap через модуль Spatial Analyst tools, инструмент Плотность линий (Line Density). Вычислялась плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного растра, в единицах длины на единицу площади. В результате было построено поле плотности линеаментов. Количество классов значений плотности – 6. Плотность линеаментов сильно-дифференцирована по площади. Фон составляют значения с низкой (зеленый цвет на карте) и средней (желтый цвет) плотностью; наибольшая ее величина (на карте показана розовым и красным цветом) установлена в восточной части изученной территории. Далее были выделены максимумы плотности и наложены на космоснимок [1] (рис. 5).

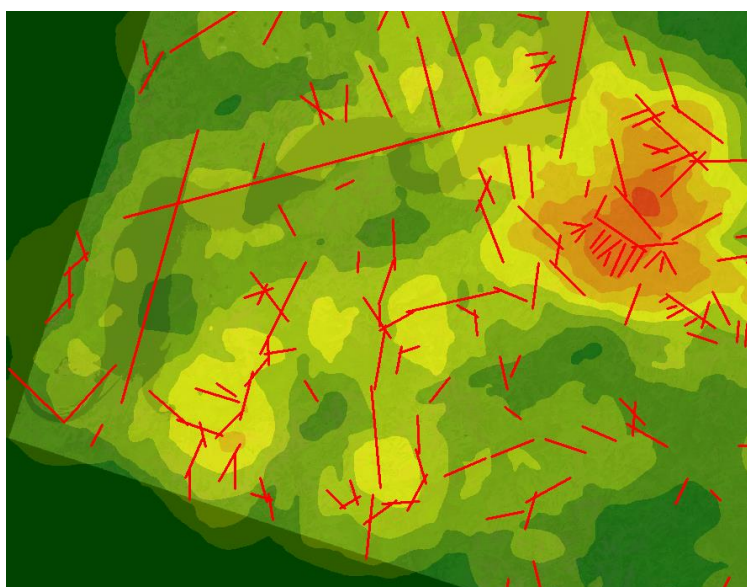
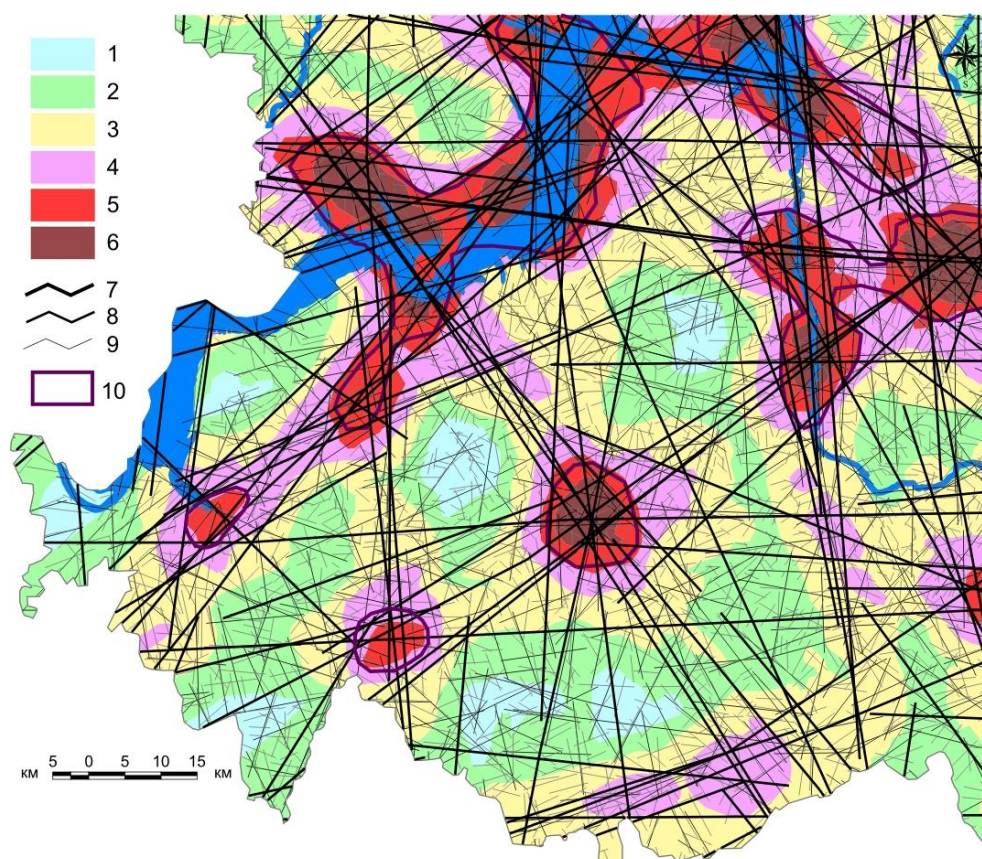


Рис. 5. Фрагмент карты плотности линеаментов зонального уровня

Выделенные максимумы плотности поля линеаментов можно условно считать перспективными зонами на поиски месторождений урана.

На юго-западе Пермского края всего закартировано более 10 тыс. тектонических линеаментов разных рангов. Карта тектонической трещиноватости и геодинамических активных зон на юго-западе Пермского края приведена на рис. 6.

Комплексный гидро-и геохимический анализ показал, что в некоторых геоактивных зонах установлены геохимические и гидрогеохимические аномалии урана. Не исключено, что в пределах этих участков могут находиться и рудопроявления урана. Поэтому эти участки являются перспективными на поиски урана.



Условные обозначения: 1–6 – Геодинамическая активность: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – повышенная, 4 – высокая, 5 – очень высокая, 6 – чрезвычайно высокая. 7–9 – Тектоническая трещиноватость (линеаменты по АКГИ): 7 – региональные, 8 – зональные, 9 – локальные и короткие. 10 – геодинамические активные зоны – участки перспективные на поиски урана.

Рис. 1. Зоны перспективные на поиски урана по АКГИ на юго-западе Пермского края

Рекомендации по дальнейшим поискам урана в Пермском Приуралье на основе комплекса геологических методов с применением АКГИ

Для решения задач по поискам месторождений урана в Пермском Приуралье, рекомендуется провести опережающие региональные специализированные прогнозно-поисковые работы масштаба 1:500 000-200 000, включающих основные методы и виды работ [30]:

- детальный анализ геолого-геофизических, геохимических, гидрогеологических данных и ураноносности региона;
- гидролитогеохимическая съемка масштаба 1:200 000 (Верхнекамская впадина с прилегающими структурами, аномальными участками);
- детальные аэрокосмогеологические, геоморфологические исследования, линеаментно-геодинамический анализ с целью выделения участков активизации неотектонических движений и картирования зон глубинных разломов, картирования русел палеодолин [12, 13];
- уран-изотопные исследования с целью оконтуривания участков поступления глубинных вод и трассирования глубинных разломов [32, 33];

- бурение специализированных скважин глубиной до 200 м с радиогеохимическим исследованием и гамма-картажом (выборочно – на локализованных участках по результатам комплекса проведенных исследований);
- комплексное минерагеническое изучение. Поскольку урановое оруденение часто связано с другими полезными ископаемыми (золоторудный, меднорудный, титан-циркониевый, алмазный и др. металлогенические комплексы) рекомендуется попутное их изучение [30].

Заключение

Результатом анализа данных и проведения, опережающих региональных специализированных прогнозно-поисковых работ должна быть комплексная оценка ураноносности территории с выделением площадей и объектов, перспективных на поиски месторождений урана в верхне-среднепермских отложениях по территориям Пермского края (запад), Кировской области (восток), Республики Удмуртии; комплект карт масштаба 1:500 000 (Вятско-Камский урановорудный район), масштаба 1:200 000 (аномальных районов) с базой данных (ГИС): прогнозная карта на уран; карта проявлений урана на структурно-геологической основе; карта геохимического районирования; карта перспектив ураноносности в верхнепермских отложениях с выделением площадей и объектов для постановки прогнозно-поисковых работ.

Библиографический список

1. Барсуков Е.Н. Анализ перспектив применения аэрокосмических методов для поисков урана на западе Пермского края
2. Иванова Т.А., Грушевой Г.В. Некоторые геоморфологические особенности размещения урановых месторождений на Русской и Скифской плитах // Разведка и охрана недр. 2009. № 3. С. 19-24.
3. Иконников Е.А., Ревин А.В., Бессчетнов Л.В., Копылов И.С. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000 листы О-40-ХІІІ, О-40-ХІХ, О-40-ХХV. Отчет Сылвинской гидрогеологической партии по результатам групповой гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000 листов О-40-ХІІІ, О-40-ХІХ, О-40-ХХV за период 1974-1978 гг. Пермь, 1978. 1481 с.
4. Иконников Е.А., Ревин А.В., Копылов И.С. Отчет по результатам групповой гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000 листов О-40-VII, О-40-VIII, О-40-IX за период 1976-1981 гг. Пермь, 1981. 983 с.
5. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линейной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
6. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
7. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
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. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 4. С. 69-74.
10. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края*. Пермь, 2021. 501 с.
11. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 4.
12. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа*. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
13. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
14. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
15. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов* // автореферат дис. доктора геолого-минералогических наук. Пермь. 2014. 48с.
16. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2011. № 1. С. 26-37.
17. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6.
18. Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 12. С. 172-177.
19. Копылов И.С. *Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ*. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
20. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
21. Копылов И.С. Формирование микроэлементного состава и гидрогеохимических аномальных зон в подземных водах Камского Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2014. № 3 (24). С. 30-47.
22. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2.
23. 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.
24. Копылов И.С., Коноплев А.В. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ // *Геоинформатика*. 2013. № 2. С. 20-23.
25. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-10. С. 2196-2201.
26. Машковцев Г.А., Коноплев А.Д., Мигута А.К., Щеточкин В.Н. Перспективы расширения и совершенствования сырьевой базы урана России // *Разведка и охрана недр*. 2012. № 9. С. 62-71.
27. Машковцев Г.А., Мигута А.К., Наумов С.С., Бойцов А.В. Программа «Уран России» и пути ее реализации // *Разведка и охрана недр*. 2005. № 4. С. 16-20.

28. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 5-6. С. 76-77

29. 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.

30. Наумов В.А., Копылов И.С., Оборин В.В. Геохимические аномалии урана и перспективы его поисков в Вятско-Камском Приуралье // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2015. № 15. С. 74-79.

31. Суражский Д.Я. Методы поисков и разведки месторождений урана / Под ред. чл.-корр. АН СССР В.И. Смирнова. М.: Атомиздат, 1960. 240 с.

32. Тихонов А.И., Копылов И.С. Изотопно-гидрогеохимический метод и перспективы его использования для поисков коренных месторождений алмазов на территории Пермской области // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н.Чирвинского. 2004. № 7. С. 187-192.

33. Тихонов А.И., Копылов И.С. Явление поступления глубинных вод из земных недр и их роль в развитии Земли // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4 (25). С. 43-55.

34. Чувиллин В.А., Болсун В.М. и др. Гидролитохимическая съемка масштаба 1:1000000 по стоку малых рек и озер. Листы О-41, О-40, N-41. ГПП «Зеленогорскгеология», Екатеринбург, 1996. 199 с.

**МАЛЫЕ ГЕОАКТИВНЫЕ ЗОНЫ И ИХ ИНДИКАТОРЫ –
РЫЖИЕ ЛЕСНЫЕ МУРАВЬИ**

В Пермском крае изучено 37 муравейников на площади 34 га в сосняке, пройденном пожарами в 1993 и 2008 гг. Ширина их 50-160 см, высота 20-85 см. Вблизи них методом биолокации определяли малые геоактивные зоны размером от 0,3 до 55,0 м, благоприятные и патогенные. Муравейники в 100% случаев располагались на зонах размером 3 м, а в 92% случаев через них проходила одна или две линии, соединяющие зоны размером 8, 16, 32 и 55 м. При этом в 84% случаев зоны образовывали почти правильный треугольник (70% случаев) и крест (14% случаев), где линии от этих зон к центру муравейника сходились под углом 74–90°. По-видимому, при таком размещении зон происходит интерференция их энергий, что комфортно для муравьев; они даже бросают старые места, когда такое место освобождается после вывала дерева, что показано в фильме «Рыжие лесные муравьи – какие энергии они любят». Так как муравьи выбирают для поселения пояса комфорта этих зон, то можно использовать их индикаторные свойства для обучения операторов биолокации с целью поиска таких мест и детального исследования их физических свойств. Кольцо комфорта зоны 3 м для муравьев данного вида начинается в 27 см и заканчивается в 67 см от ее центра. В нем нужно изучить электрические потенциалы почвы, температуру в солнечные дни, а также другие показатели. В этих точках, вероятно, происходит синергетика излучений Земли с частотой в тысячи и миллионы герц, которые совпадают с излучениями биополей деревьев, растений и насекомых, которые существенно повышают их долголетие. Эти пояса комфорта могут быть использованы после соответствующей проверки и для оздоровления человека.

Ключевые слова: неотектоника, геодинамические активные зоны, биолокация, древо-стой, почва, рыжие лесные муравьи.

M.V. Rogozin

Perm State University, Perm, Russia

**SMALL GEOACTIVE ZONES AND THEIR INDICATORS –
RED FOREST ANTS**

In the Perm Region, 37 anthills were studied on an area of 34 hectares in a pine forest traversed by fires in 1993 and 2008. The width of it is 50-160 cm, height 20-85 cm. Near them, small geoactive zones ranging in size from 0.3 to 55.0 m, favorable and pathogenic, were determined by the method of biolocation. Anthills in 100% of cases were located on zones of 3 m in size, and in 92% of cases one or two lines passed through them connecting zones of 8, 16, 32 and 55 m in size. At the same time, in 84% of cases, the zones formed an almost regular triangle (70% of cases) and a cross (14% of cases), where the lines from these zones to the center of the anthill converged at an angle of 74-90. Apparently, with such an arrangement of zones, their energies interfere, which is comfortable for ants; they even abandon old places when such a place is vacated after the fall of a tree, which is shown in the film "Red Forest Ants – what kind of energy they love". Since ants choose the comfort zones of these zones for settlement, it is possible to use their indicator properties to train biolocation operators in order to search for such places and to study their physical properties in detail. The comfort ring of the 3 m zone for ants of this species begins at 27 cm and ends at

67 cm from its center. It is necessary to study the electrical potentials of the soil, the temperature on sunny days, as well as other indicators. At these points, there is probably a synergy of Earth radiation with a frequency of thousands and millions of hertz, which coincide with the radiation of biofields of trees, plants and insects, which significantly increase their longevity. These comfort belts can be used after an appropriate check and for the improvement of a person.

Keywords: neotectonics, geodynamic active zones, biolocation, tree stand, soil, red forest ants.

В лесных экосистемах физико-электрические свойства почвы почти не изучают, несмотря на не выясненность причин, вызывающих вариацию азота, фосфора и калия в диапазоне 17–115% даже в однородных условиях растительных микрогруппировок [2]. На наш взгляд, лесное почвоведение до сих пор так и не разгадало парадоксальную элювиальную устойчивость лесов – вопрос, который поднимался еще 50 лет назад В. В. Пономаревой [7] и был словно забыт лесными почвоведом, с увлечением проверявшими парадигму сельскохозяйственного почвоведения об истощении почвы при уборке урожая, перенося его идеи на леса, страдавшие от вырубок. При этом почвоведы игнорировали и никак не объясняли факты формирования лесов и в особенности крупных деревьев на крутых каменистых склонах, где собственно почвы почти нет. Множество таких случаев мы описали в наших работах [8, 9, 11].

Первые упоминания об электрических потенциалах почвы в лесу мы нашли в книге И. С. Марченко [4, с. 106] с данными о том, что электрический ток в почве вблизи крупных деревьев почти в 2 раза выше, чем в отдалении от него; аналогичные точки обнаружались и на прогалинах. Безусловно, в таких местах почва более «живая» и ее активность повышена, выше диффузия и адсорбция питательных элементов, что было выяснено А. И. Поздняковым [6]. Это весьма перспективное направление исследований и при составлении почвенной карты какого-либо участка мы сможем наконец понять, как электрические поля влияют на ее химический состав и на продуктивность, например, лесных или плодовых деревьев. И здесь можно сильно продвинуться в исследованиях. На наш взгляд, точки с повышенным электропотенциалом могут быть связаны с расположением так называемых малых геоактивных зон (МГА-зон). Мы изучаем их с 2011г. по 8 благоприятным и патогенным типам, имеющих размерность доли метра – первые десятки метров [11]. В 2009 г. точки выхода патогенных энергий от зон и полос сети Хартмана впервые удалось сфотографировать, т.е. они вполне поддаются объективному контролю, хотя первичное их нахождение осуществляют биолокацией [1].

МГА-зоны обладают как благоприятным, так и патогенным воздействием на биоту, и внешний облик деревьев довольно точно указывает на места их расположения. Ориентируясь на деревья, оператору биолокации остается лишь определить центры таких зон, и точность их нахождения при определенном навыке достигает $\pm 1-2$ см. Благоприятные зоны неоднородны и включают в себя пояс ингибирования в центре и пояс комфорта на периферии. В лесу находить эти зоны довольно легко, если использовать фитоиндикацию [8, 11].

В идентификации точек с геоактивными зонами помогут и насекомые. Так, в Красновишерском районе Пермского края в двух случаях рыжий лесной

муравей (*Formica rufa*) выбирал для поселения МГА-зоны исключительно размером 3 м и избегал зоны размером 1 м [8]. На эту особенность муравьев мы сразу обратили внимание, так как деревья, напротив, использовали для поселения зоны размером 3 и 1 м в равной мере и занимали их на 89-94% [9, 11].

Поэтому в данной работе была поставлена цель – проверить указанное предпочтение трехметровым геоактивным зонам у этого рода муравьев и узнать, можно ли использовать их муравейники в качестве биоиндикаторов этих зон, а также для обучения методу биолокации с одной стороны и объективной верификации этого метода с другой. При этом следует сделать оговорку, что «размер» МГА-зон по мере их изучения в течение более чем 15 лет мы постепенно начали считать не столько линейной величиной, сколько их мощностью и положением в иерархии, которая приближается к ряду чисел Фибоначчи и закону Золотого сечения [11]. Размеры МГА-зон первоначально были определены нами при работах с деревьями ели еще в 2011 г. Для сохранения преемственности исследований мы будем классифицировать их здесь по тем же размерам, однако не исключено, что при разработке специальных приборов, а также при биолокации другими операторами их оценка изменится и будет проводиться по иным физическим параметрам.

Методика работ

В работе использовали биолокацию геоактивных зон, описанную в монографии [11]. Картирование места расположения муравейника включало его привязку по буссоли и мерной ленте к открытым местам в лесу, где можно было точно определить GPS-координаты, к границам выдела и дорогам, или к предыдущей точке. Все места в лесу были пройдены низовыми пожарами, и год пожара определяли по возрасту крупного подростка сосны. Место работы рассчитали от захламления и находили центры МГА-зон шести типов с размерами 1, 3, 8, 16, 32 и 55 м, а по контуру муравейника – центры патогенных зон Хартмана и Курри и обозначали их вешками. Далее от центра муравейника с помощью мерной ленты, рулетки и буссоли определяли условные координаты для центров МГА-зон с дополнительным промером расстояний между ними с точностью до $\pm 1,0$ см. Затем место работы фотографировали с земли, а также иногда с воздуха с помощью квадрокоптера, выставляя яркие метки с обозначением размеров зон.

Объекты работ

Объекты располагались в лесах г. Перми в кв. 61 Нижне-Курьинского лесничества южнее автодороги, идущей на поселок Новый Крым вблизи остановки автобуса «ТЭЦ-14». Изучено 37 муравейников в сосняке брусничниковом, где они сформировались после низовых пожаров, случившихся весной 1993 и 2008 гг., которые затронули все места их поселения. Основная площадь представлена старым сосняком полнотой 0,8, ближе к центру есть большая прогалина с культурами лиственницы и кедра, рядом есть сосново-березовый молодняк в возрасте 15 лет и площадью 1 га, а на севере по опушке старого леса идет узкая полоса березняка в возрасте 30 лет (рис. 1).



Рис. 1. Расположение муравейников в кв. 61 Нижне-Курьинского участкового лесничества на космоснимке. Точка 1: E58°00'45,4"N55° 53'01,2".

Результаты и их анализ

Муравейники располагались в самых разных местах – между деревьями, на старых пнях, вокруг сухих и живых деревьев, на валеже и порубочных остатках – словом, на самых разных элементах лесной среды (табл. 1).

В таблице 1 выделены цветом девять крупных муравейников с объемом конуса более 150%, из которых только один появился после последнего низового пожара 2008 г. Год пожара был установлен по возрасту подроста сосны под пологом леса и он показал, что пожаров было два: первый случился в 1993 г. и затронул площадь 34 га между двумя железными дорогами, включая большую прогалину в южной части массива. Повторный пожар весной 2008 г. затронул среднюю часть массива, исключая фрагменты территории на самом севере, а также к югу от муравейника № 8.

Таблица 1

Размеры муравейников рыжего лесного муравья

№	Расположение муравейника	Размеры, см		Объем, %	Год пожара	
		Ширина, см	Высота, см		1-й	2-й
1	У сосны на 44 см, у ж/д на ТЭЦ-14	125	55	120		2008
2	Старый лежачий столб с крезотом	50	30	11		2008
3	У березки диаметром 8 см	100	45	63		2008
4	От Мурав. №3 на восток 40 м	65	35	21		2008
5	В кусте из 4-х рябинок	130	60	142		2008
6	У сухой сосны диаметром 34 см	130	70	166	1993	
7	У ж/д на ОАО "Галоген"	150	85	268	1993	
8	У трех молодых кедров в культурах	75	45	35		2008
9	Между 2-х сосенок и двух зон по 3 м	130	70	166	1993	
10	К югу от группы из девяти сухих сосен	150	70	221	1993	
11	У кривой березки диаметром 8 см	120	70	141	1993	
12	На низком пне диаметром 48 см у дороги	50	30	11	1993	
13	Вокруг наклонной сосенки диаметром 4 см	160	75	269	1993	
14	У 2-х берёзок	130	50	118	1993	
15	От №14 на ЮВ:55° 17 м	120	40	81		2008
16	От №15 на ЮЗ:5° 14,5 м	80	45	40		2008
17	У сосны 20 см, от №18 на ЮЗ 20° 40 м	65	40	24		2008
18	Муравейник двойной, южный центр	140	65	179	1993	
19	Между 2-х сосен 10 и 14 см, гарь 1993 г.	120	70	141	1993	
20	От №19 на ЮЗ:20° 22 м	120	50	101		2008
21	От №19 точно на юг 35 м	95	35	44		2008
22	На минполосе в центре выдела	90	35	40		2008
23	Вокруг сосенки диаметром 6 см	100	40	56		2008
24	Брошенный, рядом	120	25	50		2008
25	Малый, рядом	80	20	18		2008
26	У дороги между 2-х березок	135	65	166		2008
27	На склоне 40° на краю старой ямы углежогов на пне	95	40	51		2008
28	От №27 на восток 10 м	85	40	41		2008
29	От №28 на север 18 м, новый конус 65×30 см	105	40	62	1993	
30	На упавшей сухой сосне диаметром 22 см	120	60	121		2008
31	У сухой наклонной сосны диаметром 25 см	120	75	151	1993	
32	От №31 на СВ:40° 8 м	80	40	36	1993	
33	В окне среди подлеска из березы, зоны Ха и Ку	120	65	131	1993	
34	На корне ветровальной сосны диаметром 36 см	145	55	162	1993	
35	Брошенный, рядом	135	20	51	1993	
36	От №34 на восток 12 м	100	65	91		2008
37	В кв. 43 южнее культур сосны в 40 м на тропе	115	60	111	нет	нет
	<i>Число (n)</i>	37	37	37	16	20
	<i>Минимум (min)</i>	50	20	11		
	<i>Максимум (max)</i>	160	85	269		
	<i>Среднее значение (X)</i>	109	51	100		
	<i>Стандартное отклонение (Ss)</i>	28	17	70	17	70

Некоторые места поселения показали нам очень неудачными – например, у дороги, среди поросли рябины и, наконец, вокруг наклонного стволика живой сосны, который все более наклонялся и неизбежно нарушал внутреннее устройство их жилища (рис. 2).

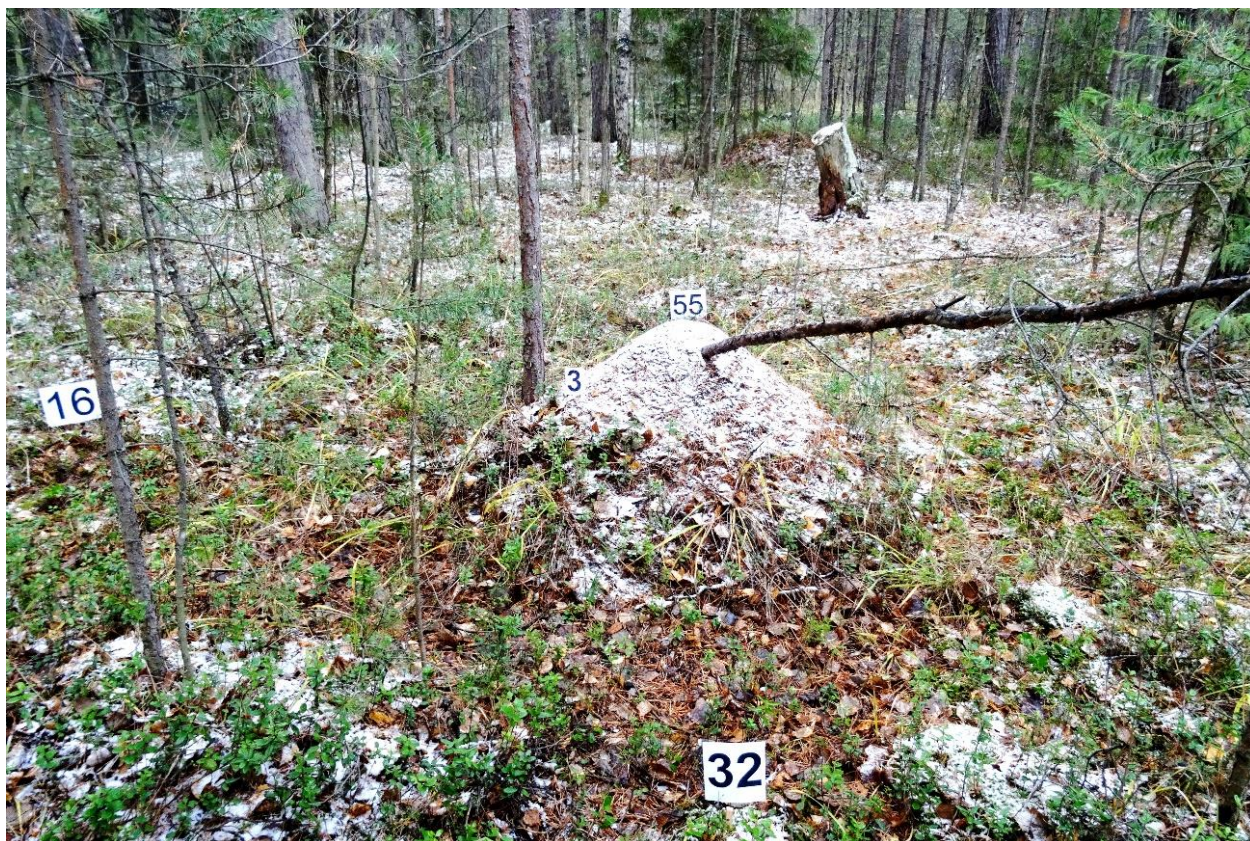


Рис. 2. Муравейник № 13 диаметром 165 см в поясе комфорта зоны 3 м и на линии, соединяющей зоны 32 и 55 м. Справа вне поля фото есть зона 8 м и линия между ней и зоной 16 м пересекает муравейник также точно по его центру

Такое их неудобное размещение стало понятно после систематизации результатов, из которых следует, что МГА-зоны почти всегда располагались по некой определенной схеме и на определенном расстоянии от центра конуса муравейника; при увеличении размеров зон оно также увеличивалось; по аналогии с растениями и деревьями [8, 11] можно полагать, что это расстояние укладывается в параметры поясов комфорта этих зон (табл. 2).

О поясах комфорта следует сказать, что внутреннее пространство МГА-зон неоднородно и включает пояса депрессии (ингибирования) и комфорта, причем вращение энергии в них противоположное, что было установлено нами еще в самых первых работах [11]. Поэтому минимальные расстояния в таблице 2 близки к той границе, где начинаются пояса комфорта зон для муравьев; по-видимому, на меньшем расстоянии их поселений мы уже не встретим.

Таблица 2

Муравейники и расположенные рядом геоактивные зоны

№	Мощность благоприятных зон (в метрах) и расстояние до их центра, см						Повторение расстояний у зон, линия между ко- торыми проходит через муравейник					Интер- ферен- ция*	Поперечная зона	
	1	3	8	16	32	55	3	8	16	32	55		зона	градус
1		30	275	365	370	855		275	365		855	2	32	63
2		33	121	290	358	1296	33		290			3	32	88
3		50	130	563	470	642	50		563			3	16	83
4		41	193	220	336	903		193			903	2	16	83
5		55	194	470	760	1530		194		760		2	16	50
6		39	187	290	350	550		187	290			3	32	80
7		67	189	340	507	1030		189	340		1030	3	32	85
8		44	415	201	612	970		415		612		3	16	20
9		64	228	382	386	1280	64	225				3	32	77
10		56	190	303	417	620	56	190	303		620	3	32	78
11		51	168	363	346	1170		168	363			3	32	90
12		36	266	445	309	323		266		309		3	16	74
13		41	306	273	172	240		306	273	172	240	4	16	79
14		56	205	405	416	740		205	405			3	32	90
15		47	215	182	433	940		215	182			3	32	90
16		44	210	300	194	525			300	194	525	3	8	85
17		40	172	253	350	473			253	350		3	55	87
18		51	230	223	321	417		278	223	324	420	4	16	86
19		57	185	240	350	490		185	240	350	490	3	32	88
20		58	320	360	354	1905		320	360			3	55	85
21		48	166	368	467	990		166	368			3	32	84
22		45	227	225	280	377		227	225			3	32	85
23		38	197	240	350	1017		197	240			3	32	84
24брош		57	190	345	470	958		190	345			3	55	79
25		44	445	393	442	682		нет				нет	нет	нет
26	57	58	350	240	472	1100		350	240			3	32	82
27		59	228	323	268	557		228	323	268	557	4	32	89
28		47	216	204	330	890		216		330		3	16	85
29		42	160	375	560	2205		160	375			2	32	59
30	58	54	240	380	390	1057		240	380			3	32	83
31	77	62	220	266	330	535		220	266			3	32	77
32		47	213	190	317	1120		213	190			3	32	82
33		59	187	260	305	552		187	260	305	552	4	32	89
34		59	193	246	223	330		193	246	223	330	4	55	88
35брош		59	343	445	180	585		343		180		2	16	54
36		47	253	385	310	830			385	310		3	8	81
37		27	194	360	445	805		194	360	445		3	55	75
<i>n</i>	3	37	37	37	37	37		31	28	15	10	36	36	36
<i>min</i>	57	27	121	182	172	240		160	182	172	240	2	8	20
<i>max</i>	77	67	445	563	760	2205		415	563	760	1030	4	55	90
\bar{X}	64	49	228	317	377	851		230	311	342	619	3,0		79
<i>Ss</i>	11	10	71	89	117	424		61	80	160	241	0,5		14

* интерференция: 2 – две (иногда три) зоны выстраиваются в линию, идущую через муравейник;
3 – к этой линии под углом 70-90° подходит вторая линия, идущая от третьей зоны к муравейнику;
4 – через центр муравейника в виде креста проходят две линии, соединяющие четыре зоны.

Так, для зоны размером 3 м это минимальное расстояние равно 27 см, для зоны 8 м – 121 см, для зон 16 и 32 м – 182 и 172 см, для зоны 55 м – 240 см. Вполне логично, что чем больше зона, тем больше и радиус, и некоторое несоответствие для зон 16 и 32 м объясняется небольшой выборкой.

Вблизи муравейников мы обнаружили всего лишь три зоны размером 1 м с расстоянием от их центров до центра муравейника 57, 58 и 77 см; радиус их благоприятного действия, который мы определили ранее по сосне равным 45 см [11], частично захватывал собой склоны муравейников № 26 и № 30 и находился на нем в 2 и 10 см от его края, а у муравейника № 31 – за пределами конуса в 17 см от его границы (см. табл. 1 и табл. 2). Поэтому в целом для всей выборки можно считать, что в 92% случаев (34 случая из 37) муравьи не нуждаются в энергиях зоны размером 1 м, но в 100% случаев им необходима энергия зоны размером 3 м, а также еще четырех зон размером 8, 16, 32 и 55 м.

И здесь мы обнаружили интересное явление. В 62% случаев (23 муравейника) через них проходила линия, соединяющая зоны 8 и 16 м; через 5 муравейников – линия между зонами 8 и 32 м; через 2 муравейника – линия между зонами 3 и 8 м, а у муравейника № 4 через его конус проходила линия между зонами 8 и 55 м. Получаем 84% случаев, когда через муравейник проходила линия, соединяющая две, а иногда три зоны, так как в нее могла встраиваться также зона 55 м (муравейники № 1, 7, 10 и 16). Еще один момент связан с наличием «боковой» зоны, линия от которой к центру муравейника подходит к предыдущей линии под углом 74–90°. Но и это еще не все. У пяти муравейников (№ 13, 18, 27, 33 и 34) через них проходит вторая линия между зонами и в итоге они образуют почти правильный крест из зон (рис. 3, рис. 4).

В итоге получаем, что в 100% случаев муравейники располагались на МГА- зонах размером 3 м, и в 92% случаев через их конус проходила одна или две линии, соединяющие зоны размером 8, 16, 32 и 55 м. При этом в 84% случаев зоны образовывали почти правильный треугольник (70% случаев) и крест (14% случаев), где линии от этих зон к центру муравейника сходились под углом 74–90°. По-видимому, при таком размещении зон происходит более «правильная» интерференция их энергий, что комфортно для муравьев; они даже бросают старые места, когда такое место освобождается после вывала дерева в случае с муравейником № 34, а также с муравейником № 27, который формируется на склоне 40° на краю старой ямы углежогов и на пне сосны; об этих случаях есть фильм «Рыжие лесные муравьи – какие энергии Земли они любят» [16].

В таблице 2 мы не показали патогенные зоны, так как они наблюдались лишь в двух случаях вблизи муравейников № 21 и 30, на которые действовала зона Курри с центром в нижней части их конусов на радиусах 43 и 36 см от центра муравейника. По-видимому, она окажет некоторое влияние на их развитие если считать, что ее действие простирается на то же расстояние, как и у сосны, а именно, до радиуса 50 см [11]. Муравейники пока развиваются успешно и достигли ширины у основания 95 и 120 см, что близко и даже выше среднего значения; далее мы выясним, как они будут развиваться далее.

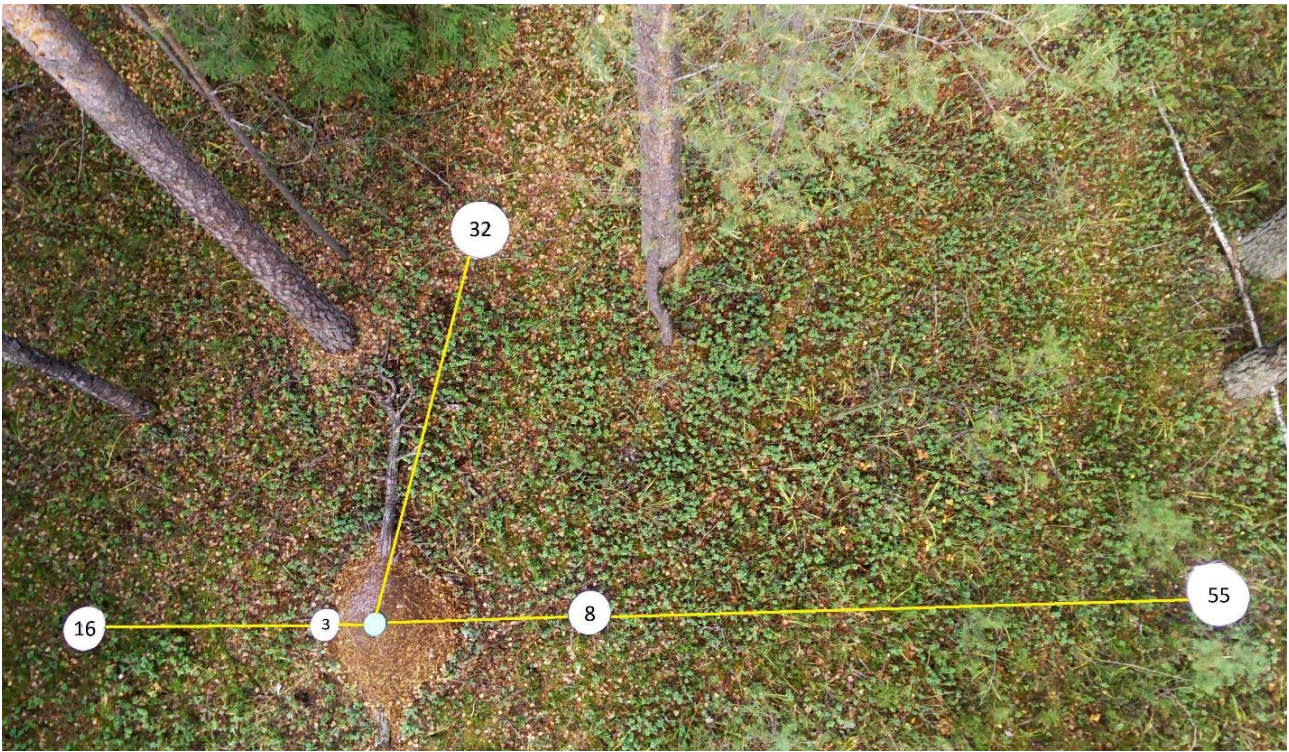


Рис. 3. Муравейник № 10 расположен на линии, соединяющей зоны 16, 3, 8 и 55 м; боковая линия к зоне 32 м подходит к нему под углом 78° к первой линии

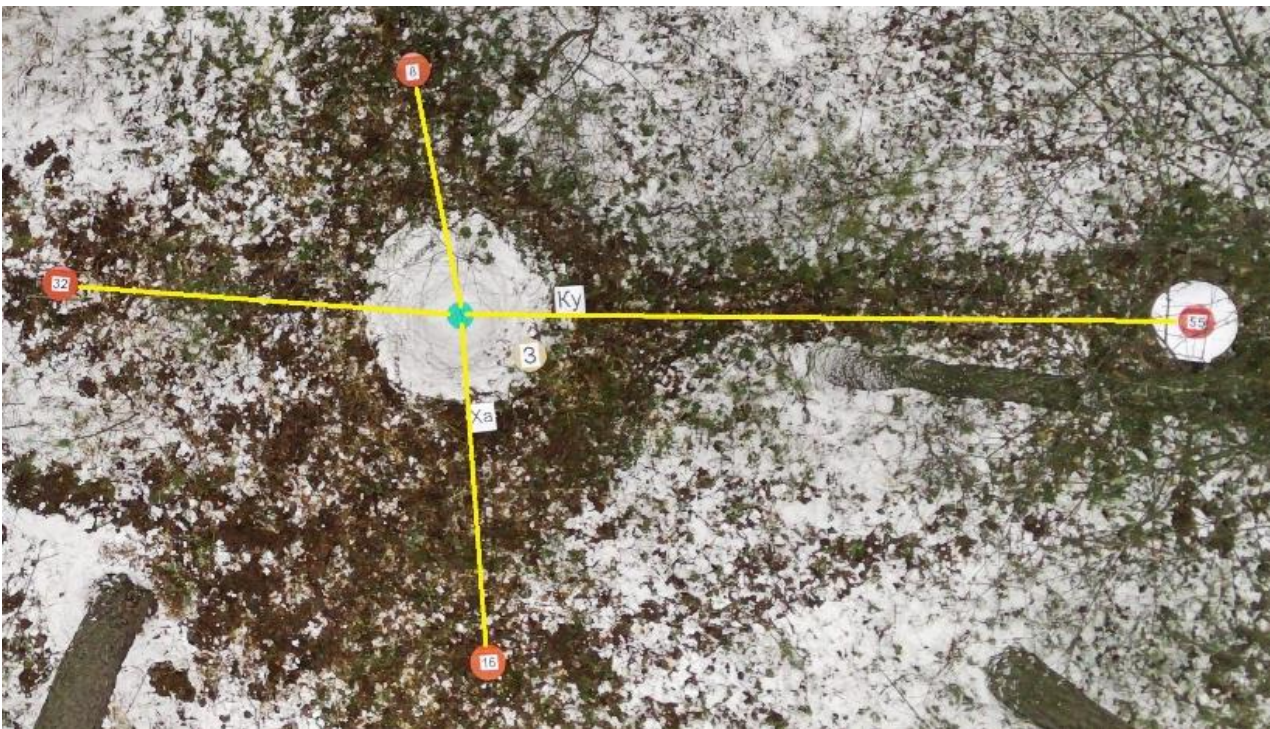


Рис. 4. Муравейник № 33 с диаметром конуса 120 см на кресте из линий, соединяющих зоны 8 и 16 м в направлении север-юг и зон 32 и 55 м в направлении запад-восток

Полученные данные позволяют утверждать, что рыжие лесные муравьи в 92% случаев нуждаются именно в перекрестном расположении МГА-зон. По-видимому, волны их энергий усиливаются в результате интерференции и си-

нергетики (умножения мощности) с образованием мест комфорта. В этих ограниченных местах (буквально точках) муравьи развиваются более успешно. Пока совершенно неясно, какие это энергии и какова их физическая природа. Но обитатели биоты – деревья, растения и насекомые – успешно их используют и нужно приступить к их изучению физическими приборами.

Проведенное исследование показывает, что рыжие лесные муравьи – великолепные биоиндикаторы геоактивных зон. Они буквально указывают на точки выхода глубинных энергий Земли, прежде всего на зоны размером 3 м, а также на точки синергетики зон размером 8, 16, 32 и 55 м. Физическая природа их неизвестна. Есть предположения, что это энергии с частотой в тысячи и миллионы герц, резонирующие с излучениями биополей деревьев [2, 13]. Вполне возможно, что МГА-зоны усиливают также и солнечное излучение, и эта гипотеза появилась сразу после нахождения так называемых «горячих» камней в заповеднике Вишерский. Об этом вышла статья «Гипотеза тонких энергий геоактивных зон: штрихи к портрету нового направления исследований» [9].

Какие же перспективы открываются для научных исследований?

Прежде всего, полученные данные связаны с идеями, вытекающими из научного открытия Ю. И. Фивенского [13, 14] о кольцевых структурах в рыхлых отложениях земной коры, которые были использованы нами ранее для вскрытия связей между неотектоникой и формированием линейных и кольцевых структур в растительности в заповеднике Вишерский [5, 8, 11]. В связи с этим в первую очередь необходимо установить физическую природу малых геоактивных зон. Для этого следует найти точки, где старшие зоны размером 8, 16, 32 и 55 м выстраиваются в виде креста и проходят через пояс комфорта зоны размером 3 м и изучить на них:

- электрические потенциалы в почве;
- магнитные поля;
- нагрев почвы в солнечные дни и другие физические параметры среды.

При этом следует учесть, что зоны мигрируют, и плечо миграции достигает десятков сантиметров и даже метров [10, 11], поэтому работы нужно разнести во времени и повторить. Сдвиг зон происходит *в новолуние*, и биолокацию их центров следует проводить за несколько дней до него, а затем спустя 1-2 дня после. Тогда будет ясна траектория миграции каждой из 5 зон, участвующих в формировании столь благоприятных для биоты точек на поверхности, где формируются крупные муравейники, долгоживущие деревья-лидеры и кольцевые структуры из многолетних растений [8]. При определенном навыке поиск таких точек оператор биолокации сможет осуществить напрямую, давая себе команду найти их, например, в секторе 150-180° на расстоянии до 80-100 м, где они встретятся почти наверняка. И это совершенно новый вектор исследований в геофизике, геоматике, биологии и в целом в науках о Земле.

Заключение

Таким образом, муравьи чувствуют энергии Земли и даже бросают старые места, если рядом появляется точка с синергетикой глубинных энергий Земли, т.е. их мультипликативным усилением. Так как муравьи в 100% случаев выбирают места с обязательным наличием зоны размером 3 м, то они являются ее биоиндикатором и указывают на *канал* выхода энергии именно от этой зоны, располагая муравейник в пределах кольца ее комфорта. Кольцо это начинается на радиусе 27 см и заканчивается в 67 см от центра этой зоны. При этом ранее на выборке из более чем сотни деревьев сосны было выяснено, что это благоприятное кольцо для нее буквально обрывается на радиусе 45 см. То есть кольцо это для муравьев либо больше, либо под землей муравьи помещают матку в самый центр этого кольца. По итогам исследований эта точка будет, по видимому, на расстоянии 49 см от ее центра плюс-минус 10 см (одно стандартное отклонение). Из этого следует, что именно в этих пределах следует располагать приборы для измерения электрических потенциалов почвы, ее магнитной составляющей, температуры и других показателей. В итоге мы подойдем к пониманию физической природы малых геоактивных зон и сможем разработать приборы для их поиска и объективной проверки данных, предоставляемых оператором биолокации. Вполне возможно, что такие места будут востребованы не только в ландшафтном дизайне [8] и лесоводстве [11, 12], но после соответствующей проверки и для оздоровления человека.

Благодарности. За финансовую поддержку исследований Автор благодарит кандидата химических наук Благодатских Светлану Владимировну (г. Москва), а за техническую помощь – Rogozina Анатолия Михайловича и Пушкарева Анатолия Александровича (г. Пермь).

Библиографический список

1. Агбалян Ю.Г. Глобальная энергетическая сеть Хартмана. Мифы и реальность // *Сознание и физическая реальность*. 2009. № 12. С. 14-20.
2. Бахмет О.Н., Медведева М.В., Мошкина Е.В., Ткаченко Ю.Н., Мамай А.В., Новиков С.Г., Мошников С.А., Тимофеева В.В., Карпечко А.Ю. Пространственная вариабельность свойств подзолов в зависимости от растительных микрогруппировок в сосняке брусничном // *Лесоведение*. 2022. № 1. с. 47-60.
3. Горелов А.М. Миколайко В. П., Красноштан И.В. Введение в эниодендрологию. Киев: ФЛП Ямчинский А.В., 2020. 138 с.
4. Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
5. Михалев В.В., Рыбальченко А.Я. Флюидизатно-эксплозивные структуры заповедника «Вишерский» и растительные сообщества // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала [Электронный ресурс]*. Пермь: ПГНИУ, 2021. Вып. 4(41). С. 11-23.
6. Поздняков А.И. Полевая электрофизика почв. М.: МАИК Наука-Интерпериодика. 2001. 187 с.

7. Пономарева В. В. Лес как элювиально устойчивый тип растительности // *Ботанический журнал*. 1970. Т. 55. № 11. С. 1585–1595.
8. Rogozin M. V. Природные феномены, геоактивные зоны и их использование в ландшафтном дизайне // *Бюллетень науки и практики*. 2021. 7. №12. С. 47-63. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/06>.
9. Rogozin M.V. Гипотеза «тонких» энергий геоактивных зон: штрихи к портрету нового направления исследований // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь: ПГНИУ, 2021. Вып. 3. С. 116-133. <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/aerokosmicheskie-metody-v-geologii-2021.pdf>
10. Rogozin M.V., Копылов И.С., Красильников П.А. Биологический аспект геодинамических активных зон // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2017. № 17. С. 223-227.
11. Rogozin M.V., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я. Лесные экосистемы и факторы неотектоники. Пермь: ПГНИУ, 2020. 249 с. <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/mono/rogozin-mikhalev-rybalchenko-lesnye-ekosisemy-i-factory-neotektoniki.pdf>
12. Тихонова И.В. Четыре опоры к фундаменту современного устойчивого лесоводства // *Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость*. Материалы междунар. научно-практ. конф., посвященной 90-летию Института леса НАН Беларуси (Гомель, 13-15 ноября 2020 г.). Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси. 2020. С. 97–101.
13. Фивенский Ю.И. Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры / *Научное открытие*. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22.10.2002.
14. Фивенский Ю. И. Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры // *Геодезия и картография*. 2006. №1. С. 44–52.
15. Ханцеверов Ф.Х. Эниология. Т. 1. Международная академия энергоинформационных наук. М.: АМН, 1996. 282 с.
16. https://youtu.be/rr_jDVzOgbk

Е.М. Шемякина¹, К.А. Воробьев^{1, 2, 3}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

² Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

³ Высшая техническая школа Георга Агрикола, Бохум, Германия
vorobyev_ka@pfur.ru

ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В данной статье описаны возможности применения аэрокосмических методов для решения задач поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. Описано использование дистанционных методов для выявления наличия углеводородов на суше и на морском шельфе. Приводится пример применения аэрокосмических методов и технологий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, геологоразведочные работы, космические снимки, линеаменты, кольцевые структуры.

E.M. Shemyakina¹, K.A. Vorobyev^{1,2,3}

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

³ Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum, Germany

POSSIBILITIES OF SATELLITE SUPPORT OF GEOLOGICAL EXPLORATION

This article describes the possibilities of using aerospace methods to solve the problems of prospecting and exploration of mineral deposits. The use of remote methods for detecting the presence of hydrocarbons on land and on the offshore shelf is described. An example of the application of aerospace methods and technologies is given.

Key words: remote sensing, geological exploration, lineaments, ring structures, space photography, decryption.

Целью применения дистанционных методов в комплексе геологоразведочных работ на нефть и газ являются изучение пликативных и дизъюнктивных форм осадочного чехла, прогнозирование поисковых объектов, оценка их локализованных ресурсов и перспектив нефтегазоносности месторождения. Данные методы, характеризующиеся большой оперативностью, способствуют повышению геологической и экономической эффективности работ, что нашло подтверждение благодаря проведению многолетних исследований в различных нефтегазоносных бассейнах России и ряда зарубежных стран.

Разведка новых нефтяных месторождений начинается с поиска поверхностных проявлений пригодных ловушек (но во многих случаях они скрыты путем захоронения, и определяют решение о разведке другие факторы).

Отображение поверхностных условий начинается с разведки, и, если это указывает на наличие углеводородов, начинается детальное картирование. Пер-

воначально обе карты требовали полевых работ. Часто, работа с картами упрощалась с помощью аэрофотоснимков.

После картирования большая часть более интенсивной разведки зависит от геофизических методов (в основном, сейсмических), которые могут дать трехмерные конструкции подповерхностных структурных и стратиграфических ловушек углеводородов. Затем потенциальные ловушки отбираются путем разведочного бурения и измеряются их свойства.

Дистанционное зондирование (ДЗ) со спутников или самолетов стремится найти один или несколько индикаторов поверхностных аномалий.

Поверхностная геохимическая экспрессия просачивания нефти может принимать различные формы:

- 1) аномальные концентрации углеводородов в отложениях, почве, воде и даже в атмосфере;
- 2) микробиологические аномалии и образование «парафиновой грязи»;
- 3) аномальные не углеродные газы, такие как гелий;
- 4) минералогические изменения, такие как образование кальцита, пирита, урана, элементарной серы и некоторых магнитных оксидов и сульфидов железа;
- 5) изменения глинистых минералов;
- 6) радиационные аномалии;
- 7) геотермальные и гидрологические аномалии;
- 8) отбеливание;
- 9) геоботанические аномалии;
- 10) изменяющие акустические, электрические и магнитные свойства почв и осадков.

Landsat и другие космические системы визуализации служат мега-фотографиями, на которых изображены большие площади, в пределах которых могут быть очевидны выходы к условиям недр. В общем, большинство очевидных структур, которые имеют поверхностное выражение, были обнаружены и нанесены на карту на большей части мира. Тем не менее в некоторых регионах в 1970-х годах не было должным образом нанесено на карту, так что появление космических снимков с высоким разрешением оказалось благом для энергетических компаний, ищущих новые источники ископаемого топлива. Иногда, снимки особенно чувствительны к тонким признакам внутренних структур. Например, трещины вокруг структур в известных нефтегазовых месторождениях могут расширяться, как видно в когерентных космических изображениях. Кроме того, модели дренажа в более широких масштабах могут отражать контроль подстилающими породами, вовлеченными в потенциальные ловушки. И даже, распространение растительности может раскрыть признаки структуры.

Двумя наиболее полезными показателями, которые могут быть обнаружены в бортовых или космических аппаратах, являются системы трещин (в основном линеаменты), которые могут контролировать или влиять на миграцию газа и нефти на поверхности и геохимические изменения поверхностных пород-коллекторов, которые приводят к композиционным и цветовым изменениям.

Возможности применения аэрокосмических методов для решения задач поиска и разведки месторождений нефти и газа связаны с тем, что вертикальная миграция пластовых флюидов (в том числе и углеводородных) наиболее благоприятна в зонах разломов и повышенной трещиноватости, проявляющихся в виде линеаментов и кольцевых структур [5]. Это может быть зафиксировано на многоспектральных и гиперспектральных космических изображениях. Формирование линеаментов, регистрируемых на таких изображениях, обусловлено тектоническим, ротационным и флюидогеодинамическим механизмами. При этом миграция углеводородных флюидов и тепломассоперенос от глубинных слоев и поверхности Земли вызывает изменение спектральных характеристик почв, грунтов, растительности, а также прозрачности приземных слоев атмосферы. Интегральный эффект от этих факторов приводит к аномалиям, выделяемым на космических изображениях, связанным с изменением напряженно-деформационного состояния земной коры и флюидогеодинамическими процессами [2].

На космических изображениях путем структурно-морфологического анализа выделяются геологические особенности, проявляющиеся в виде систем прямых и дугообразных линеаментов, а также овально-кольцевых образований. Структурно-морфологические особенности линеаментной сети, регистрируемые на космических изображениях, отражают особенности глубинного строения литосферы. Они являются информативными признаками для оценки перспективных нефтегазоносных структур и оценки их углеводородного потенциала.

Мониторинг изменения напряженно-деформационного состояния среды путем регистрации возрастания выраженности систем линеаментов на космических изображениях позволяет регистрировать геодинамические предвестники сейсмических событий на нефтегазоносных территориях, угрожающих объектам нефтегазового комплекса.

Для автоматического выделения линеаментов и овально-кольцевых образований применяются методы компьютерного линеаментного анализа с помощью различных программ обработки космических изображений, например, программные пакеты LESSA, ALINA и др. [7, 8]. Следует отметить, что системы линеаментов можно исследовать и по космическим радиолокационным изображениям (РЛИ).

В областях расположения локальных нефтегазоносных структур возникают также специфические изометрические формы рельефа, выраженные на местности слабыми неотектоническими поднятиями. Зоны тектонических поднятий являются наиболее благоприятными для расположения нефтегазоносных ловушек [5]. Эти структуры могут выявляться на оптических и РЛИ-изображениях по морфологическим, гипсометрическим и морфометрическим признакам. Такого рода неотектонические поднятия могут быть зарегистрированы также методами спутниковой альтиметрии и спутниковой радиоинтерферометрии. Для регистрации и анализа структурных особенностей и специфических форм рельефа нефтегазоносных территорий могут применяться навигационные спутниковые системы GPS, ГЛОНАСС и др.

Углеводородные залежи в ловушках, проявляющиеся в структурном поднятии, приводят к повышению температуры земной поверхности. Это вызывается деятельностью микроорганизмов внутри залежей, а усиление флюидной проницаемости, связанное с новейшей активизацией трещин и, отчасти, обусловленное изостатическим поднятием из-за того, что залежи легче вмещающих пород, приводит к повышению влажности грунта [4, 5]. Эти эффекты могут быть зарегистрированы аппаратурой ДЗ в ИК- и микроволновом диапазонах спектра.

Крупные геологические структуры отражаются также в радиоактивном поле и, в частности, в уровне интенсивности гамма-излучения, зависящем от морфологических особенностей этих структур. Физические механизмы связи поверхностного гамма-поля с глубинным строением, а, следовательно, и с проявлением нефтегазоносных структур, обусловлены тем, что геологические структуры, развивающиеся в процессе осадконакопления, сопровождаются дифференциацией материала и изменением физических параметров осадочных пород (пористости, плотности, трещиноватости и др.), что отражается на распределении радиоактивных элементов [1].

Возможности дистанционного поиска месторождений нефти и газа на морском шельфе обусловлены тем, что ловушки углеводородов приурочены, как правило, к глубоким горизонтам осадочного чехла и отображаются в виде различных структурных форм в донных ландшафтах, а также в толще и на поверхности воды [4]. Аэрокосмические методы определения рельефа дна по эффектам на поверхности и в приповерхностном слое моря, описанные в работах, могут использоваться для исследования глубинных разломов, зон разуплотнения, а также локальных структур. Такие структуры могут быть выявлены с использованием специальных методов обработки оптических и РЛ-изображений морской поверхности.

На основе анализа выявленных таким образом схем линеаментов, овально-кольцевых образований, распределений спектральной яркости и характеристик принимаемых радиосигналов производится структурно-геоморфологический анализ, классификация линеаментных зон, и определяется перспективность исследуемых шельфовых территорий на наличие углеводородов [4].

Для выявления наличия углеводородов на суше и на морском шельфе могут использоваться также дистанционные методы, основанные на регистрации аномалий магнитного и гравитационного полей [3]. Физические механизмы, обуславливающие возможности использования таких методов, связаны с тем, что разрывная тектоника фундамента, а также поднятия и прогибы земной коры, отображающие сдвиговые зоны, проявляются как в первичных регистрируемых гравитационном и магнитном полях, так и в производных, например, в их градиентах. При этом в зонах поднятия наблюдаются отрицательные аномалии гравитационного и магнитного полей, а в зонах прогиба – положительные. Нефтегазоносность усиливает эти эффекты, что позволяет оценивать углеводородный потенциал путем регистрации аномалий магнитного и гравитационного полей [3, 5].

Такие поля могут регистрироваться со спутников MAGSAT, GEOS, CHAMP [6].

На месторождении Patrick Draw в штате Вайоминг США углеводороды протекают в виде газов в различных точках над нефтяным месторождением [9]. На этой карте показаны результаты полевого исследования (как правило, на глубине до 3-4 м), когда извлекают пробы, в дальнейшем анализируемые на пропан (рис. 1).

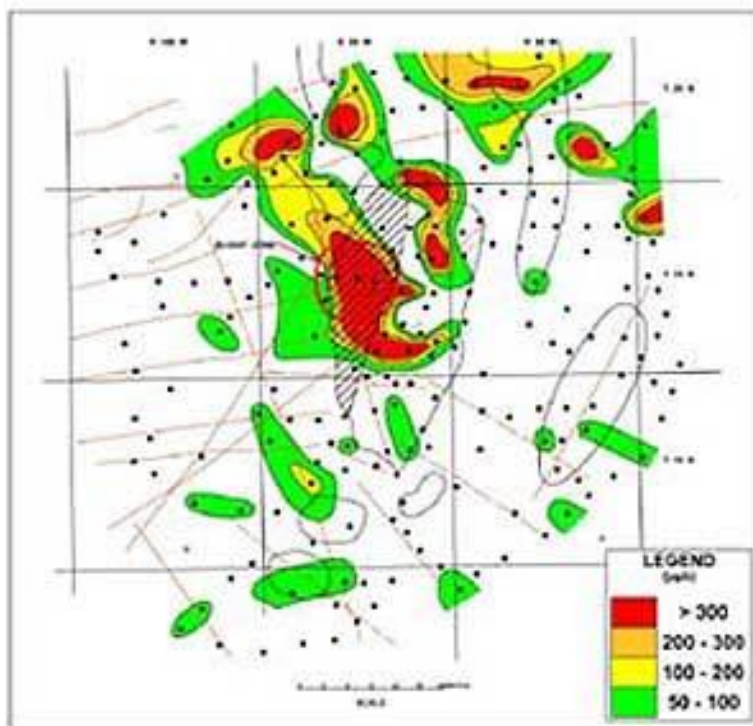


Рис. 1. Карта результатов полевого исследования, когда извлекают пробы, анализируемые на пропан

Когда месторождение Patrick Draw было перекрыто воздушным датчиком ультрафиолетового излучения, была построена карта флуоресцентных аномалий (рис. 2); эти результаты, по-видимому, подтверждают возможность обнаружения газов на поверхностях или над ними, где происходит утечка газов.

Два открытия, вытекающие из исследования Geosat Patrick Draw, являются значительными: 1) карта линеаментов показывает микросепсы на нескольких пересечениях, и 2) имеется отчетливая геоботаническая аномалия в районе и вблизи с Patrick Draw – растения шалфея повреждены за счет выделения углеводородов, и это можно обнаружить в гиперспектральных изображениях

Earth Satellite Corp. (в настоящее время переименованная в MDA Federal, Inc), и другая группа, Earth Search Sciences, продолжала проверять данные, получаемые с датчиков на спутниках и самолетах, как на потенциальные индикаторы подземных месторождений нефти и газа.

Воздушные гиперспектральные датчики, которые пролетают над известными утечками углеводородов (в некоторых условиях, называемых микросегментами), обнаружили, что поглощающая способность около 2,31 мкм (одна из

нескольких в ближней ИК-области) очень чувствительна к количеству конкретного компонента углеводородов.

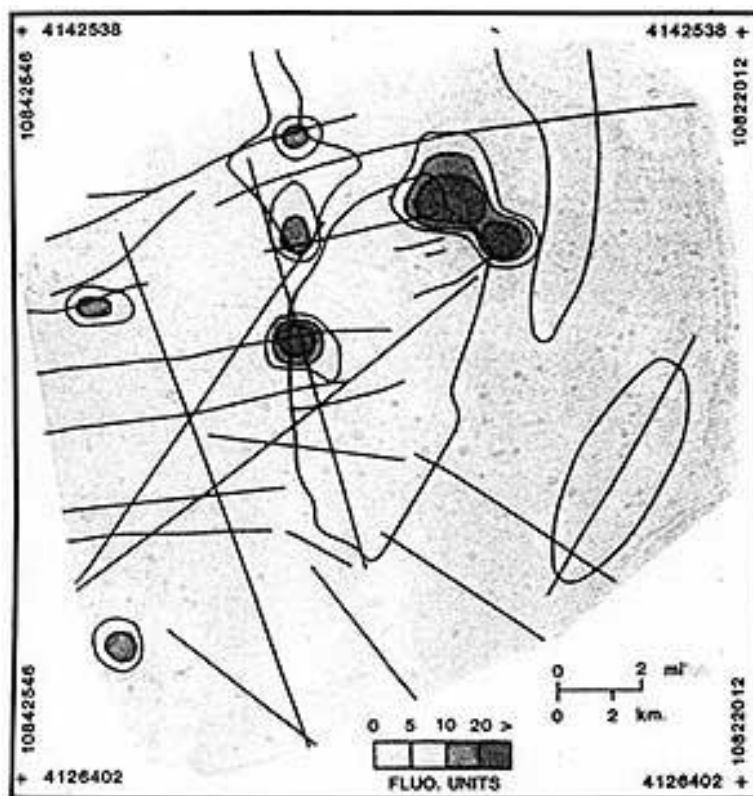


Рис. 2. Карта флуоресцентных аномалий

Отношение двух коэффициентов отражения по обе стороны от этого признака поглощения, деленное на величину уменьшенного коэффициента отражения, на спектральной кривой в нижней точке элемента, улучшает обнаруживаемость углеводорода и количественно определяет его величину.

Большинство успехов достигнуто за счет использования космических снимков (как это делалось ранее при аэрофотосъемке) в испытанном и традиционном способе использования фотографий в качестве базовых карт для анализа и построения структурных моделей и тенденций.

Библиографический список

1. *Аэрометоды геологических исследований / Под. ред. В.К. Еремина. Лаборатория аэрометодов МГ СССР. Л.: Недра, 1971. 704 с.*

2. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линеаментов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // *Исследование Земли из космоса*. 2007. № 1 С. 47–56.

3. Лопатин Д.В. Использование орбитальной информации для изучения тектонического строения Северной Евразии // *Исследование Земли из космоса*. 1996. № 4. С. 93–100.

4. Лялько В.И., Федоровский О.Д., Попов М.О. и др. *Многоспектральные методы дистанционного зондирования Земли в задачах природопользования*. Киев: Наукова думка, 2006. 357 с.

5. Трифонов В.Г. 30 лет геологических исследований с помощью космических средств. Тенденции, достижения, перспективы // *Исследование Земли из космоса*. 2010. № 1. С. 27–39.
6. Харитонов А.Л., Хассан Г.С. Серкерев С.А. Изучение глубинных неоднородностей тектоносферы и мантии Земли по спутниковым магнитным и гравитационным данным // *Исследование Земли из космоса*. 2004. № 3. С. 81–87.
7. Щепин М.В., Евдокимов С.В., Головченко Ю.В. Выявление кольцевых структур по результатам обработки изображений космических снимком // *Исследование Земли из космоса*. 2007. № 4. С. 74–87.
8. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // *Comp. Geosci*. 1997. V. 23. № 1.
9. <http://www.eti-geochemistry.com/pdraw/>

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
КАРТИРОВАНИЯ, ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, РЕГИОНАЛЬНОЙ
И НЕФТЕГАЗОПОИСКОВОЙ ГЕОЛОГИИ
APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR SOLVING
PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, SEARCHING FOR SOLID
MINERALS, REGIONAL AND OIL AND GAS PROSPECTING
GEOLOGY

УДК 553.3/.9

В.Н. Голдырев¹, А.Л. Артемов¹, А.В. Заводов¹, В.С. Коротаев²

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² ООО «Сибгеоконсалтинг», Красноярск, Россия

**АРГИЛЛИЗИРОВАННЫЕ ПОРОДЫ КАК КРИТЕРИЙ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ
РУДНОГО ПОЛЯ КУМРОЧ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА)**

Продемонстрированы результаты геологоразведочных работ на рудном поле Кумроч. Космическая съемка данной территории позволяет выделять зоны аргиллизированных пород. Целью исследования является обнаружение пространственной и генетической взаимосвязи зон развития аргиллизированных пород с эпитегрмальным и порфировым оруденением. Рассмотрены поисковые признаки, установленные в пределах данных зон. Представлено сравнение морфологии самородного золота пород различных литологических разностей.

Ключевые слова: аргиллизация, порфировые, эпитегрмальные месторождения, золото, гидроксиды железа.

V.N. Goldyrev¹, A.L. Artemov¹, A.V. Zavodov¹, V.S. Korotaev²

¹ Perm State University, Perm, Russia

² LLC "SGC", Krasnoyarsk, Russia

**ARGILLIZED ROCKS AS A CRITERION FOR PREDICTING GOLD
MINERALIZATION WITHIN THE KUMROCH ORE FIELD (CENTRAL
КАМЧАТКА)**

The results of geological exploration at the Kumroch ore field are demonstrated. Satellite imagery of this area allows you to identify areas of muddy rocks. The aim of the study is to detect the spatial and genetic relationship of the zones of development of argillized rocks with epithermal and porphyry mineralization. The search signs established within these zones are considered. A comparison of the morphology of gold rocks of various lithological differences is presented.

Keywords: argillization, porphyry, epithermal deposits, gold, iron hydroxides.

Введение

На многих слабоэродированных месторождениях вулканогенных поясов отмечаются надрудные зоны аргиллизированных пород – аргиллизитовые «шляпы» [14, 16]. Эти зоны имеют алуниит-цеолит-гидрослюдисто-каолинитовый состав. На формирование данных шляп оказывают влияние экзогенные и эндогенные факторы, поэтому вопрос различия каолинитов кор выветривания от гидротермальных образований является дискуссионным и не имеет единого подхода. Актуальным является и вопрос связи «шляп» и оруденения вулканогенных поясов [1, 3, 4].

Аргиллизитовые «шляпы», как правило, свидетельствуют о наличии мощной гидротермальной системы, которая не всегда является рудной. Однако в отдельных случаях они самостоятельно представляют промышленный интерес, образуя эпитермальное высокосульфидизированное (high-sulfidation) месторождение.

Ранее на территории Валунистого рудного поля (Чукотский АО) нами было установлено, что они являются косвенным поисковым признаком наличия золотой эпитермальной минерализации [5, 6]. Результаты полевых работ подтвердили, что в местах развития «шляп» находятся геохимические аномалии золота-серебра, значительное количество штуфных проб с высокими содержанием благородных металлов, а также выходы гидротермальных образований.

Данная работа направлена на обнаружение взаимосвязи наличия зон развития аргиллизированных пород и золотой минерализации рудного поля Кумроч.

Методика исследования

Полевые работы на территории рудного поля Кумроч были выполнены в процессе проведения геологоразведочных работ предприятием ООО «Арджейси» геологами Коротаевым В.С., Артемовым А.Л. в 2020-2022 гг. Работы включали в себя поисковые маршруты, бурение скважин, проходку канав и траншей, отбор геохимических, керновых, бороздовых, сколковых, штуфных проб. Для изучения характеристик золота были отобраны образцы с траншей различных литологических разностей: кварцевая жила, диорит-порфир, аргиллизит, образованный по туфам.

Лабораторные работы (исследование типоморфных характеристик золота) проведены авторами в лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ) кафедры поисков и разведки полезных ископаемых ПГНИУ. Образцы были подвергнуты дроблению до размера минус 2 мм. Разделение пробы в каждой литологической разности на легкую и тяжелую фракцию осуществлено в бромформе. Просмотр тяжелой фракции осуществлен под бинокулярным микроскопом Nikon SMZ-745. Далее были описаны и сфотографированы частицы золота.

Объект исследования

Рудное поле Кумроч (месторождение Кумроч, рудопроявления Круча, Водопадное, Тополовое) расположено в восточной части Камчатского полуострова, на территории Усть-Камчатского района Камчатского края России в верховьях р. Быстрой, на 35 км ниже по течению впадающей в Камчатский залив.

В геологическом отношении территория исследования расположена в пределах Кумрочско-Валагинской и Тумрокско-Ольховской структурно-формационных зон Курило-Камчатской островодужной системы. Рудное поле Кумроч приурочено к центральной части быстринской палеовулканической постройки миоцен-плиоценового возраста, сформированной на верхнемеловом-палеогеновом фундаменте, расположенной в пределах Восточно-Камчатского антиклинория и наложенного на него Восточно-Камчатского вулканического пояса [2].

Месторождение Кумроч сложено позднемеловыми-палеогеновыми вулканогенно-кремнистыми отложениями хапицкой свиты (лавы андезитов, туфы, туффиты) и палеоценовыми терригенными флишоидными отложениями дроздовской свиты (мелко- и среднезернистые песчаники), прорванными интрузивными и субвулканическими образованиями среднего и кислого состава (преимущественно дайки андезитов, диоритов) миоцен-плиоценового возраста. Местами распространены тела диатремовых брекчий, которые отнесены к рудовмещающим [12].

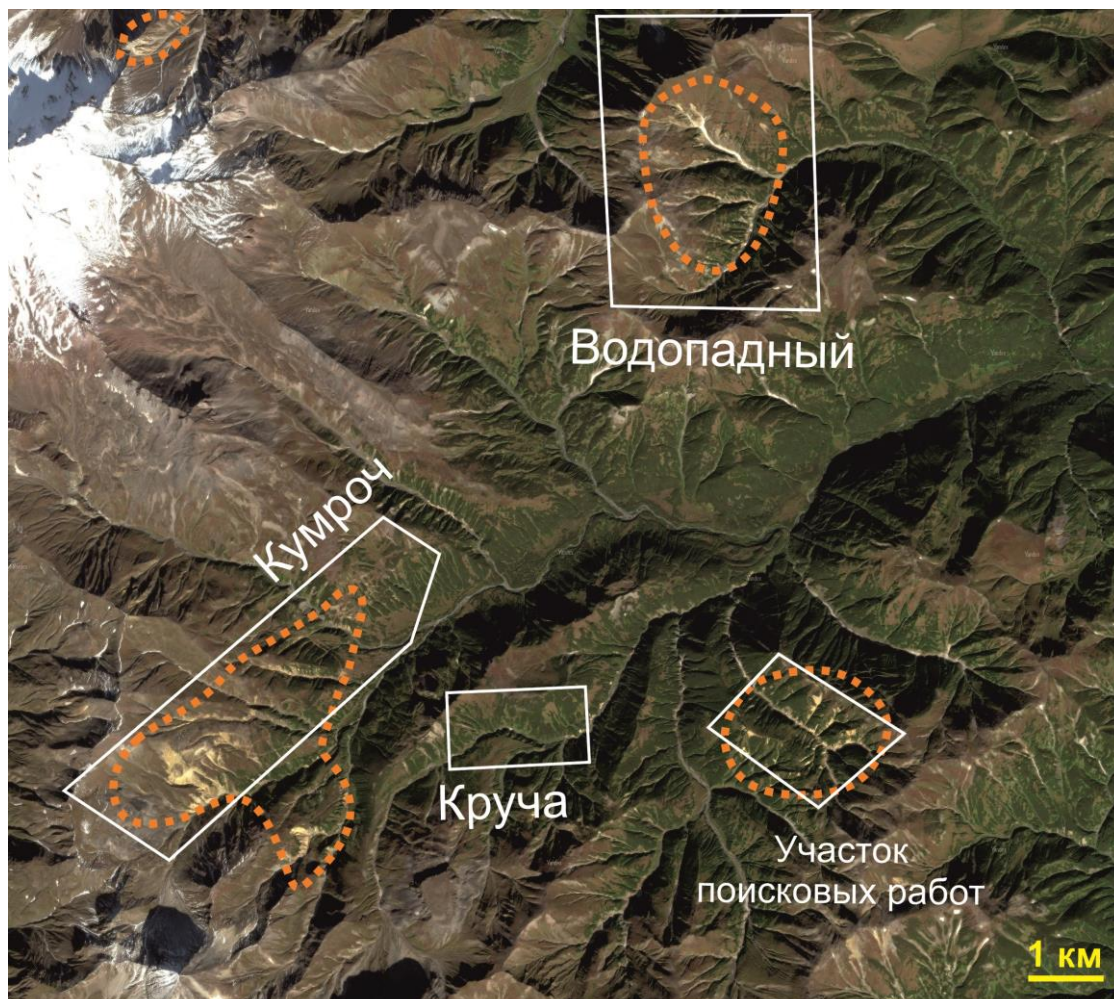
В общем виде месторождение Кумроч представляет собой жильную линейную зону шириной от 0,5 до 2,0 км и протяженностью более 4,5 км, сложенную системой сближенных субпараллельных крутопадающих кварцевых, адуляр-кварцевых, адуляр-гидрослюдисто-кварцевых с сульфидами жил и зон прожилкования со сложной морфологией. Вмещающие породы интенсивно аргиллизированны, окварцованы до образования кварц-серицит-гидрослюдистых пород. Мощность отдельных жил и минерализованных зон меняется от 0,1 до 5,2 м, чаще всего 0,5–1,0 м.

Золото-серебряное месторождение Кумроч по различным геологическим параметрам относится эпитермальным месторождениям низкосульфидизированного (НС) типа. Об этом свидетельствуют: приуроченность рудного поля, и месторождения, в частности, к Быстринской палеовулканической постройке с дифференцированным вулканизмом [2, 9, 15]; жильные рудные тела адуляр-кварцевого состава с убогой вкрапленностью сульфидов; рудам свойственно широкое текстурно-структурное разнообразие [8]; широкое распространение гидротермально- и метасоматически измененных пород среднетемпературного и низкотемпературного ряда (пропилиты, аргиллизиты) [2].

Результаты

Зоны развития аргиллизированных пород. В пределах рудного поля широко развиты зоны измененных пород. Они представляют собой участки кор выветривания, сформированным по вулканитам, ранее подвергнутым интен-

сивным метасоматическим изменениям (аргиллизации). В конечной стадии они представлены сильно ожелезненными глинистыми почвами красноватого или ржавого цвета. Они хорошо заметны при полевых наблюдениях, так и на космических снимках (рис. 1), в виде осветленных участков. В большинстве случаев, этим образованиям соответствуют участки выровненного, сглаженного рельефа; как правило, занимают среднее положение по высоте, отсутствуя как в глубоких врезгах, так и на вершинах.



 Зоны развития измененных пород

Рис. 1. Схема расположения зон развития измененных (аргиллизированных) пород в пределах рудного поля Кумроч

С прогнозно-поисковой точки зрения интерес представляют все выделенные зоны аргиллизированных пород, которыми на данной площади являются разрушенные метасоматически измененные туфы и глинистые образования желтого, белого, голубоватого цвета. Так, месторождение Кумроч расположено в самом крупном ореоле аргиллизитов.

На проявлении Водопадное в результате геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в зоне измененных пород установлена положительная геохимическая аномалия, а в ходе геологических маршрутов обнаружены рудоносные кварцевые жилы (рис. 2).

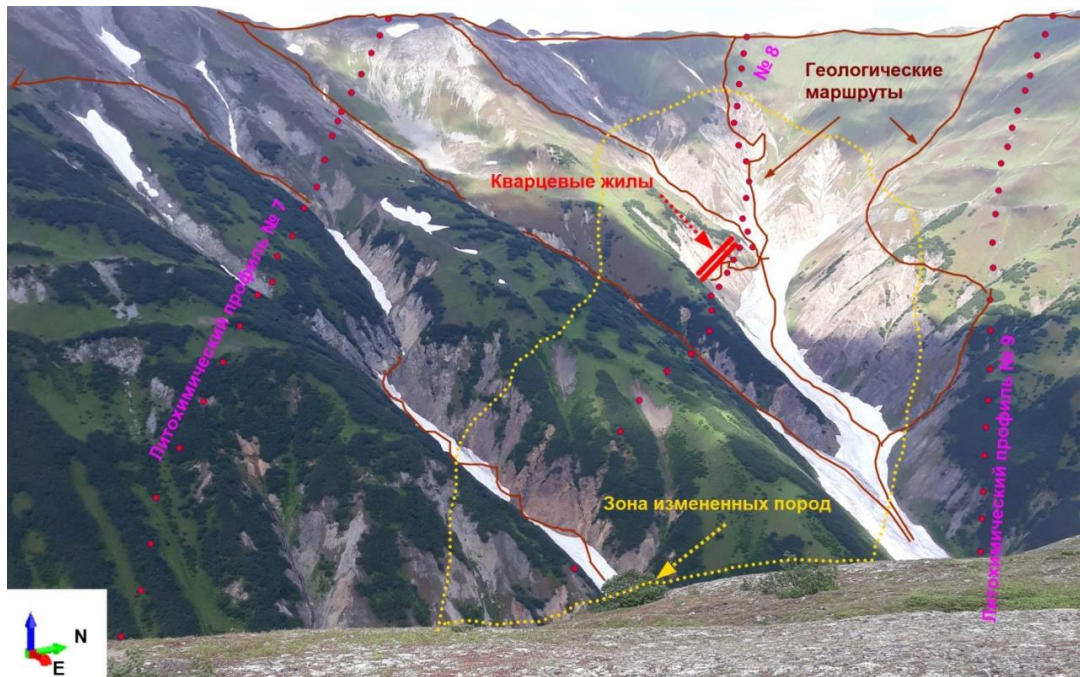


Рис. 2. Обзорный вид рудопроявления Водопадное, вид на северо-запад

Ширина аномалии со значениями Au и Ag втрое выше минимального аномального содержания на всем протяжении зоны. Содержания золота по данным штупфного и сколкового опробования в отдельных гнездах достигают 67,2 г/т, серебра 39,6 г/т. Au, Ag, As, Cu Pb формируют высококонтрастные ореолы, Zn, Ba и Co – менее контрастные и дифференцированные ореолы (рис. 3).

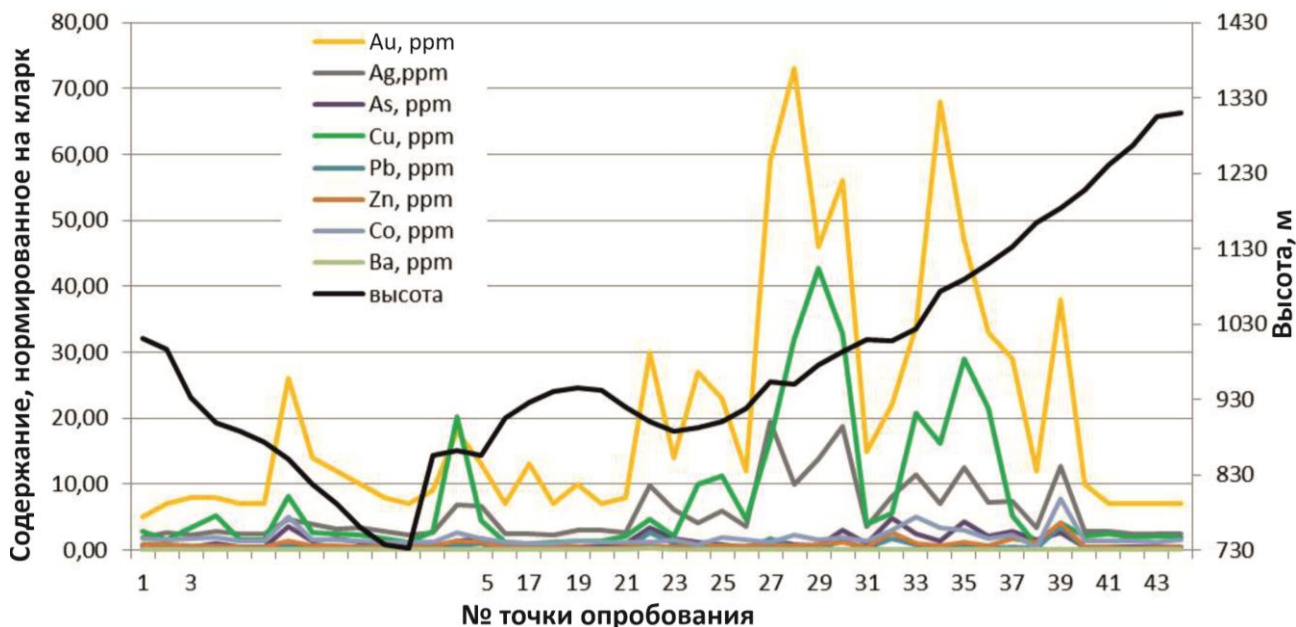


Рис. 3. Содержание, нормированное на кларк, химических элементов во вторичных ореолах, формирующихся в зоне аргиллизированных пород (профиль № 8, рис. 2)

В целом, рудопроявление Водопадное можно рассматривать как слабо-эродированную эпитермальную систему жильного типа. О формационной при-

надлежности и слабой эродированности системы свидетельствует отмеченная вертикальная геохимическая зональность оруденения, характерная для этой формации ($\text{Sn} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{Cu, Zn} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow (\text{Au, Ag})$). Высокие содержания меди указывают на то, что эпитермальна минерализация на ручье Водопадном наложена на медно-золото-порфириновую.

Интерес представляет участок поисковых работ (рис. 1). Он располагается в верхнем течении ручья Скалистый и сложен сильноизмененными псефитовыми и псаммитовыми, реже агломератовыми туфами андезитового состава. Гидротермально-метасоматические изменения проявлены повсеместно и представлены аргиллизацией, окварцеванием по массе. Породы трещиноваты, по трещинам скола развивается лимонитизация. Рудная минерализация представлена рассеянной вкрапленностью сульфидов, представленных кубическим пиритом. На левом склоне ручья развиты кирасы – аллювий, плотно сцементированный гидроокислами Fe. Проведенные ранее исследования [6] позволяют предположить, что бурожелезняковые образования образуются в результате преобразования первичных сульфидов, которые могут содержать золото в своей структуре. В дальнейшем высвобожденное золото оказывается заключенным в железистые новообразованные конгломераты.

На участке выявлены многочисленные зоны аргиллизации, практически все коренные выходы имеют светлую окраску и представляют собой осыпи с обломками аргилизированных пород. Здесь очень редко можно встретить тонкие прожилки кварца и практически отсутствует сульфидно-кварцевое прожилкование. Тем не менее, две штуфные пробы показали высокие содержания золота 1,4 и 0,5 г/т. Участок требует дальнейшего доизучения, в особенности наиболее измененной части на водоразделах, где визуальнo на склонах отмечены интенсивно аргиллизированные и лимонитизированные породы.

Морфология золота. Исследования типоморфных характеристик золота месторождения Кумроч позволило выделить некоторые особенности. Цвет основной массы золотинок золотисто-желтый, зерна слабоокатанные. Поверхность изменяется от ямчато-бугорчатой до шероховатой. Форма преимущественно комковидно-гнездовая, комковидно-угловатая, встречаются уплощенные зерна [10], хотя для самородного золота проявлений близповерхностного генезиса характерно интерстициальная или трещинно-прожилковая морфология, широкое распространение дендритов, дендритоидов, проволоковидных индивидов и их сростков, ленточных обособлений [11].

Золото различных литологических разностей имеет существенные различия. В кварцевых жилах преобладает тонкое золото, размер золотинок варьирует от 0,04 до 0,15 мм. Самородное золото составляет около 10-15% (масса золота – 0,1 г из породы весом 3,5 кг) от полученного гравитационного концентрата. Высокое содержание золота в жилах характерно для рудного поля и может достигать 728,8 г/т.

В кварцевых жилах были обнаружены золотины мелкого и даже среднего класса крупности (рис. 4-А), их размер достигает 0,5 мм. На знаках золота встречаются примазки и пленки глинисто-слюдистого материала и гидроксидов

железа (буроватого оттенка) и киновари (красного оттенка). Встречаются сростки золота с кварцем и с примазками киновари.

Золото диорит-порфиров (рис. 4-Б) преимущественно мелкое, размер изменяется от 0,08 до 0,45 мм. В целом, золотин в диорит-порфирах крупнее, чем в кварцевых жилах, сростков с другими минералами не было обнаружено.

Наибольший интерес представляют золотины аргиллизитов (рис. 4-В, Г).

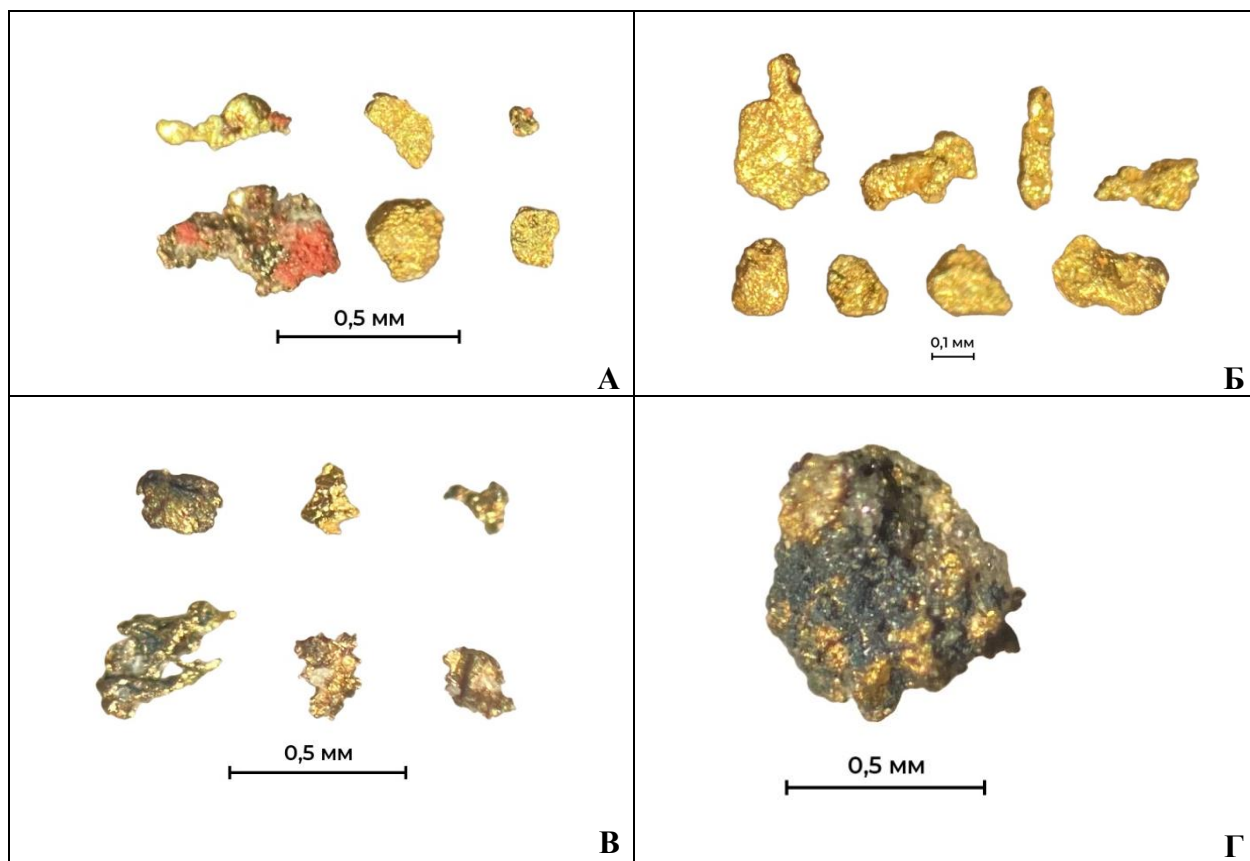


Рис. 4. Золото месторождения Кумрош: А – золотины кварцевых жил, Б – золотины диорит-порфиров, В и Г – золотины аргиллизитов

В отличие от золотин кварцевых жил и диорит-порфиров, поверхности которых в основном чистые и изредка отмечаются прерывистые плёночки, корочки и примазки других минералов, золото аргиллизитов преимущественно находится в виде сростков, либо покрыто пленками и заключено в агрегаты других минералов. Отмечены срастания золотин с кварцем и галенитом, а также в виде вкраплений в галенит-кварцевые агрегаты. Преобладает мелкое золото, размеры золотин изменяются от 0,1 до 0,4 мм. Аргиллизированные вмещающие породы содержат золото в незначительном количестве (0,01 – 0,5 г/т). Отличие золота аргиллизированных пород может быть связано как с эндогенными, так и с экзогенными факторами. Более низкие температуры исходного флюида, вероятно, приводят к отложению золота совместно с сульфидами [17]. Однако образование пленок и кайм других минералов на поверхности золотин может быть вызвано гипергенными процессами преобразования первичных минералов [7, 13].

Обсуждение результатов и заключение

Гипергенные преобразования первичных минералов и золота наиболее проявлены в сильно аргиллизированных породах, которые представляют собой латеритную кору выветривания по метасоматически измененным вулканитам. Установленный факт обильного формирования гидроксидов железа в этих зонах позволяет сделать вывод, что шлиховое опробование может быть продуктивным для выявления коренной золотоносности, несмотря на нероссыпеобразующие формации вулканогенных месторождений. Поэтому интересным направлением для полевых работ в районах вулканогенных поясов является изучение вторичных продуктов преобразования руд: гидроксиды железа и золото в аллювиальных и элювиальных отложениях.

Рудное поле Кумроч представляет собой порфирово-эпитермальную систему с различными типами оруденения. Площадные выходы аргиллизированных пород на ее территории позволяют выделять перспективные объекты эпитермального и порфирового типа, т.е. служат косвенным поисковым признаком благороднометалльной и медной минерализации.

Проведение космической съемки с выделением зон измененных пород имеет большое значение для прогнозирования месторождений в труднодоступных районах Северо-Востока РФ, территория которого в виду отсутствия древесной растительности и слабой эрозии имеет благоприятные условия для данных работ.

Библиографический список

1. Белоусов, Вольфсон А.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Мурашов К.Ю., Галямов А.Л., Сидорова Н.В. Аргиллизитовые "шляпы" рудопроявления "Комплексное", Кайэнмываамское вулканическое поднятие (Центральная Чукотка) // *Вулканология и сейсмология*, 2020, № 5. С. 3-12.
2. Бояринова М.Е. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист N-57-VI, N-58-I (гора Шии). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 172 с.
3. Волков А. В., Галямов А. Л., Белоусов П. Е., Вольфсон А. А. Применение космических технологий в металлогеническом анализе территории Арктической зоны России // *Арктика: экология и экономика*. 2020. № 2 (38). С. 77-85. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-77-85
4. Волостных Г.Г., Михайлова И. С. Прогнозные свойства аргиллизированных пород // *Записки РМО*, 2011. Ч. СХХХХ, № 4. С. 27-37
5. Голдырев В.Н. Прогнозирование и поиск золотого оруденения в Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоне (Чукотка) // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. Т. 21. № 1. С. 72-89.
6. Голдырев В.Н., Наумов В.А., Хусаинова А.Ш. Бурожелезняковые образования – косвенный поисковый признак золотой эпитермальной минерализации // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского*. 2022. № 25. С. 46-54.
7. Наумов В. А., Наумова О.Б., Фиоруччи А. Гипергенные и техногенные преобразования золота в россыпях и техногенноминеральных образованиях // *Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований: труды к 90-летию ИГЕМ РАН*. М.: ИГЕМ РАН, 2020. С. 874–877.

8. Округин В.М., Шишканова К.О., Философова Т.М. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Кумроч, Восточная Камчатка // *Руды и металлы*. 2019. № 2. С. 84 – 96.
9. Петренко, И.Д. Золотосеребряная формация Камчатки: Автореф. канд. дисс. Петропавловск-Камчатский, 2004.
10. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса) / отв. ред. Чухров Ф.В. Москва: изд-во Наука. 1973.
11. Савва Н.Е., Прейс В.К. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. АН СССР, Дальневост. отд-ние, Сев.-Вост. комплекс. НИИ. М.: Наука, 1990. 292 с.
12. Шадрин А.Г. Отчет о результатах I этапа поисковооценочных работ, проведенных на рудном поле Кумроч в 1998–2001 гг. Петропавловск-Камчатский: Камчатский ТФГИ, 2001.
13. Шило Н. А. Учение о россынях. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 632 с.
14. Cook D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls // *Econ. Geol.* 2005. V. 100. P. 801–818.
15. Hedenquist J.W., Browne P.R. Allis R.G. Epithermal gold mineralization. Wairakei, New Zeland. 1988. 169 p.
16. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems // *Econ. Geol.* 2010. V. 105. P. 3–41.
17. Sowkins F. J. *Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics*. 2-d Revised. Springer-Verlag. Berlin. 1990. 461 p.

**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ
(КУРАНАХСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)**

В статье приведены сведения о применении аэрокосмических методов при прогнозах и поисках золоторудных месторождений в Южной Якутии. Был выполнен комплексный анализ, в т.ч. линеаментное дешифрирование, и на его основе выделены перспективные зоны. Выделенные зоны территориально совпадают с существующими промышленными месторождениями золота, на основе чего сделан вывод о достаточной достоверности выбранных методов и возможности прогнозирования новых перспективных зон на золото.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, золото, Куранахское месторождение золота, Якутия.

A.V. Zavodov, K.A. Kalina, N.U. Nafikov

Perm State University, Perm, Russia

**APPLICATION OF AEROSPACE INVESTIGATIONS IN FORECASTING
AND SEARCHING FOR GOLD DEPOSITS IN THE TERRITORY IN
SOUTHERN YAKUTIA (KURANAKH DEPOSIT)**

The article provides information on the use of aerospace methods in forecasting and prospecting for gold deposits in South Yakutia. A comprehensive analysis was performed, incl. lineament interpretation, and on its basis, promising zones were identified. The selected zones territorially coincide with the existing industrial gold deposits, on the basis of which it was concluded that the chosen methods are sufficiently reliable and that it is possible to predict new promising zones for gold.

Key words: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, gold, Kuranakh gold deposit, Yakutia.

Введение

Аэрокосмические методы используются при поисках полезных ископаемых, выявляя различные косвенные признаки их месторождений. На данный момент при геологическом картировании широко применяются дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) в комплексе с другими методами и дают положительные результаты. Актуальны эти методы и при повторном изучении известных горнорудных районов, так как они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубокозалегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. При поисках золота одним из основных объектов дешифрирования являются зоны тектонической трещиноватости – линеаменты и линеаментные зоны [1, 4, 12-15].

Природные условия

Куранахское золоторудное месторождение находится в Алданском районе Республики – Саха (Якутии), на правом берегу реки Алдан, между реками Якокут и Куранах, в 30 км на северо-восток от города Алдан (рис. 1, 2).

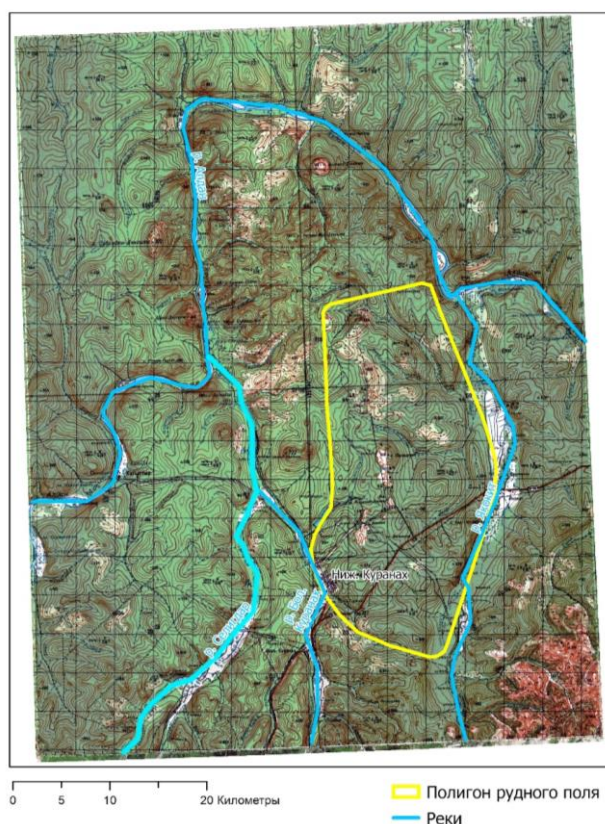


Рис. 1. Обзорная карта исследуемой территории. Тополист О-51-ХП

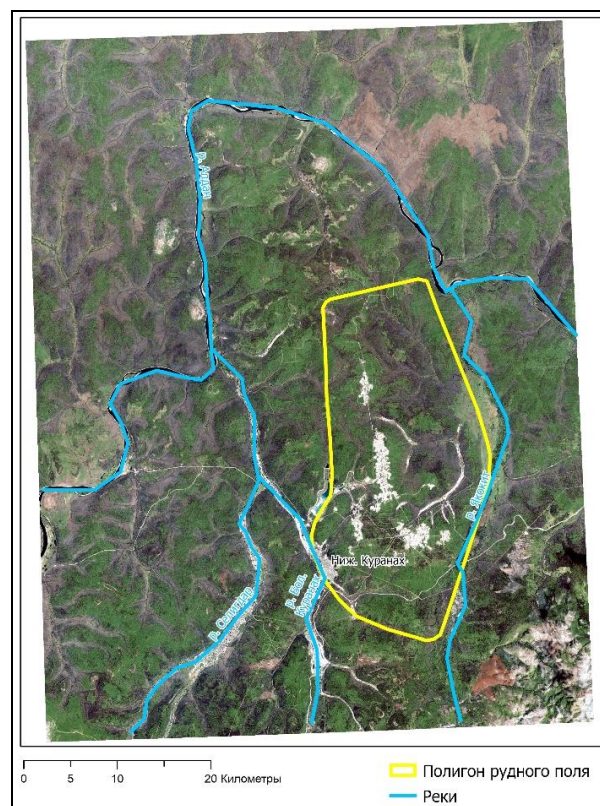


Рис. 2. Спутниковый снимок (Landsat-8)

Рельеф местности горно-таёжный со сглаженными формами и абсолютными отметками 500–700 м, относительные превышения водоразделов над поймами рек 150–200 м.

Климат резко континентален. Зима продолжительная 6-8 месяцев с устойчивыми сильными морозами, абсолютный минимум $-42,4^{\circ}\text{C}$. Лето короткое 2-2,5 месяца теплое. В отдельные дни температура воздуха может подниматься до $+34^{\circ}\text{C}$, но ночи всегда прохладные, ночные заморозки возможны в течение всего лета. Весна и осень очень короткие. Годовое количество осадков незначительное. В холодное время осадков крайне мало, в теплый период их выпадает в 4-5 раз больше. Типичная малая мощность снежного покрова. Осадков за год в среднем выпадает 580 мм.

Район месторождения расположен на деградирующей вечной мерзлоте, поэтому средняя годовая температура почвы на всех глубинах ниже 0°C . На глубинах 20-40 см положительные температуры держатся с мая по октябрь.

Геологические условия и золотоносность

Куранахская группа золоторудных месторождений, на территории которой расположены отвалы, входящие в состав лицензии ЯКУ №01565 БЭ, включает 11 месторождений: «Северное», «Порфиоровое», «Центральное», «Новое», «Канавное», «Дэлбэ», «Боковое», «Якокутское», «Первухинское», «Южное», «Дорожное», а также рудопроявления «Сомнительное» и «Гагарское», расположена на водоразделе рек Б. Куранах, Селигдар, Якокут, принадлежащих бассейну реки Алдан [17].

В тектоническом плане Куранахское рудное поле расположено в пределах одноимённого прогиба в северной части Алдано-Станового щита. Выявлено в послеюрских карстовых зонах, заполненных рыхлыми грубообломочными отложениями с глинисто-песчаным цементом. Месторождения коренные, относятся к геолого-промышленному типу золотоносных кор выветривания. Оруденение приурочено к контактовой зоне кембрийских и юрских отложений (рис. 3), часто ассоциируя с субмеридиональными дайками.

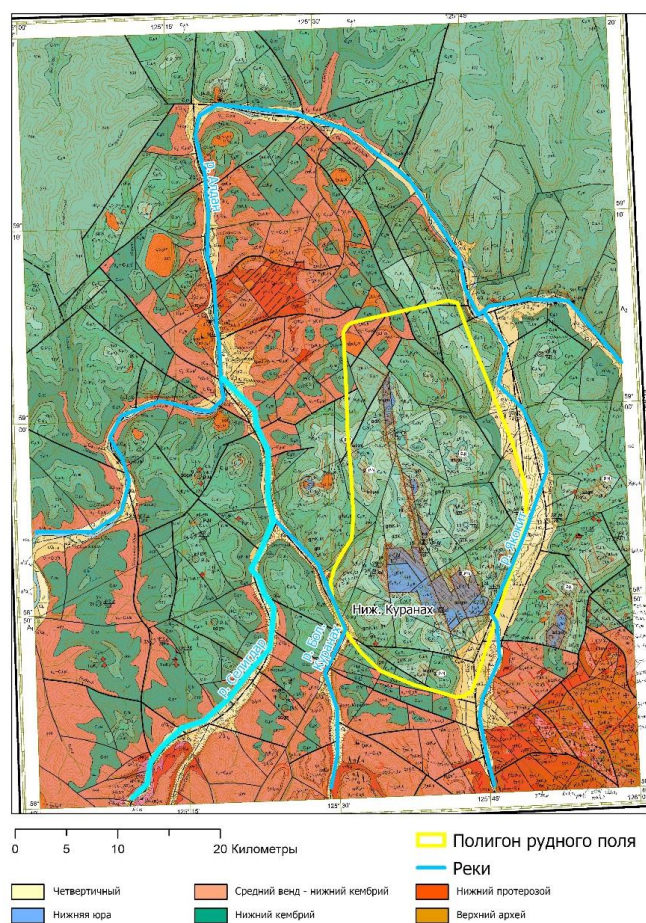


Рис. 3. Геологическая карта листа О-51-ХII. Масштаб 1:200 000 [2]

Золоторудные тела, имеющие в плане лентообразную форму, локализованы вдоль тектонических зон и контролируются сближенными преимущественно крутопадающими субмеридиональными разломами (в местах пересечения вертикальных и горизонтальных рудоконтролирующих зон морфология тел особенно сложная). Рудные тела повторяют рельеф дна предюрской депрессии, располагаясь в её центре и на флангах. Максимальная мощность рудных тел в

карбонатных породах 40 м. Протяжённость залежей до нескольких километров, общая мощность продуктивного горизонта – 150 м. Доказанные и вероятные ресурсы месторождения составляют более 130 тонн золота (2019 г.). За все время работы рудника Куранах, на нем было добыто огромное количество золота – почти 370 тонн (рис. 4) [3, 16, 17]

О-51-ХІІ. Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещений, м-б 1:200 000

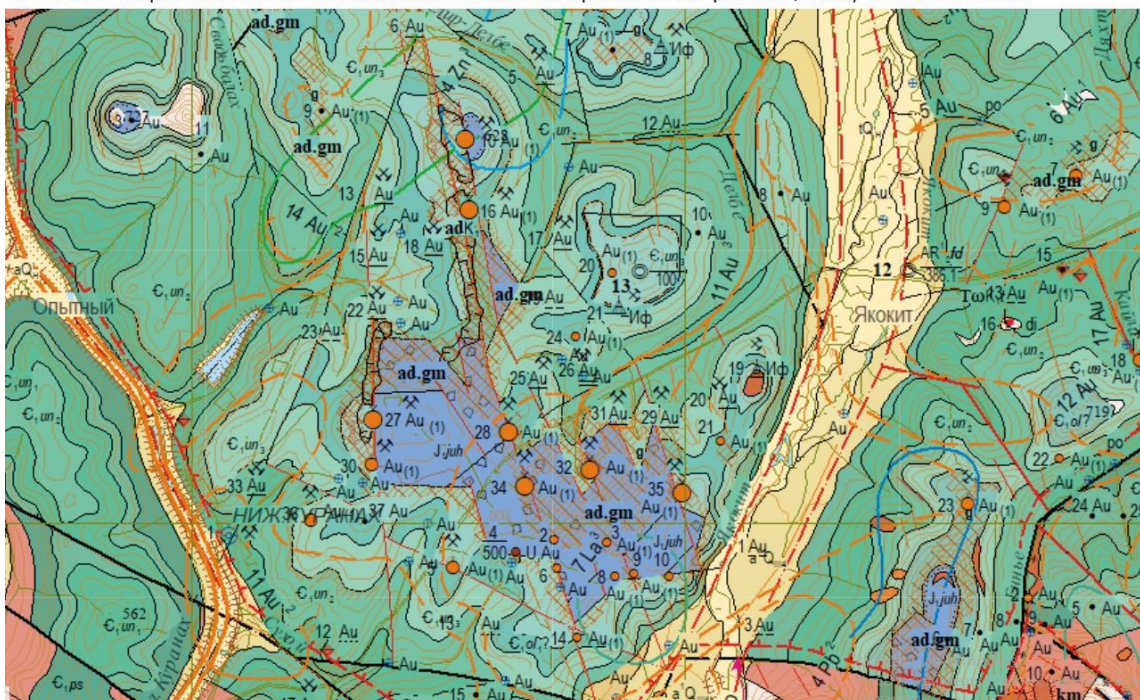


Рис. 4. Фрагмент карты полезных ископаемых (2-го поколения).
Масштаб 1:200 000 [2]

Методика исследований

В методологическом плане проводились аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), включающие: структурное дешифрование космических снимков земной поверхности, комплексный линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы [5-16].

При проведении дешифрования выделялись линеаменты – линейные элементы рельефа, имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре. Кольцевые структуры, отражаемые ландшафтными аномалиями, также указывают на наличие зоны высокой проницаемости [7-8].

При анализе дешифрируемых снимков (Landsat-8, ресурс Google Earth) (рис. 2) применялся комплексный линеаментно-геодинамический метод, в ходе которого строится карта плотности линеаментов, по которой выделяются геодинамические и перспективные зоны. Основными критериями активности участков россыпей золота являются повышенная плотность линеаментов и эрозийная (горизонтальная и вертикальная) расчлененность рельефа.

Выделены некоторые геологические критерии, определяемые на основе АКГИ для прогноза перспективных золотоносных участков:

- 1) линеаментные структуры указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;
- 2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы, чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. золота;
- 3) кольцевые (вихревые) структуры также указывают на возможность существования рудоконцентрирующей или рудоконтролирующей зоны;
- 4) особенно высока вероятность нахождения такой зоны, если кольцевая (вихревая) структура осложнена множеством линеаментов [5-11].

Результаты исследований

Для исследования территории были взяты космоснимки и цифровые модели рельефа. Изображения обрабатывались в программном обеспечении ArcGIS Pro. При различных масштабах, используя инструменты программы выделялись прямолинейные объекты и кольцевые структуры по водоразделам, руслам рек, понижениям и повышениям рельефа (рис. 5). Затем было построено поле плотности линеаментов, где выделены участки с повышенной и пониженной плотностью (рис. 6). Результаты сведены в таблицу 1.



Рис. 5. Карта результатов дешифрирования

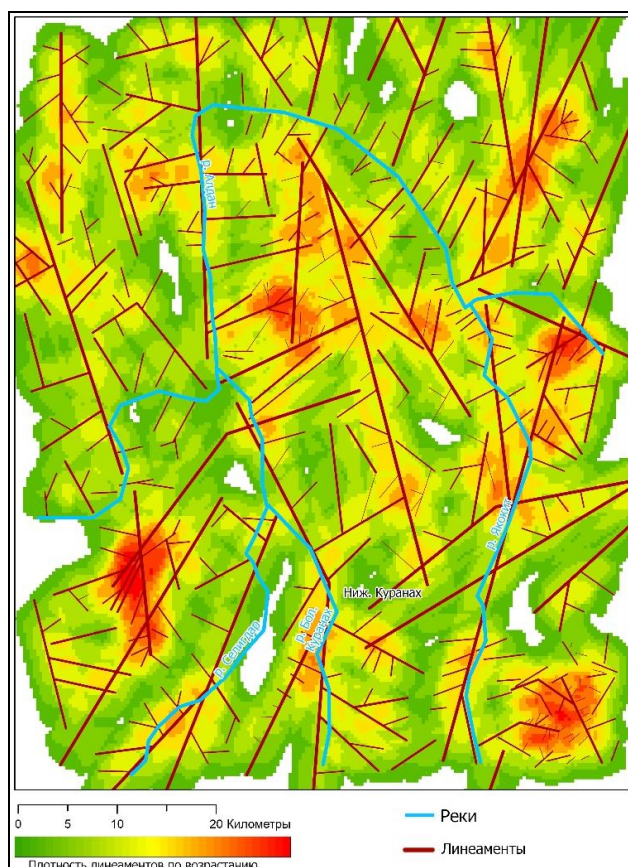


Рис. 6. Карта плотности линеаментов

Результаты дешифрирования

Стадия работ	Масштаб дешифрирования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов	Кольцевые структуры, км	Количество кольцевых структур
Региональная	1:500000	15-50	29	0,3x0,5-1,5x2,0	28
Зонально-региональная	1:200000	5-15	75	1,5x2,0-5x8	63
Зональная	1:100000	1,5-5	222	5x8-15x20	8
Детальная	1:50000	0,25-1,5	81	15x20-30x50	3
Итого			407		102

Аэрокосмогеологический анализ и оценка перспектив золотоносности

Визуально, при наложении линеаментов и кольцевых структур на тектоническую схему карты, отмечается, что крупные прямолинейные и кольцевые структуры совпадают с тектоническими структурами, что подтверждает указанное на схеме тектоническое строение территории (рис. 7).

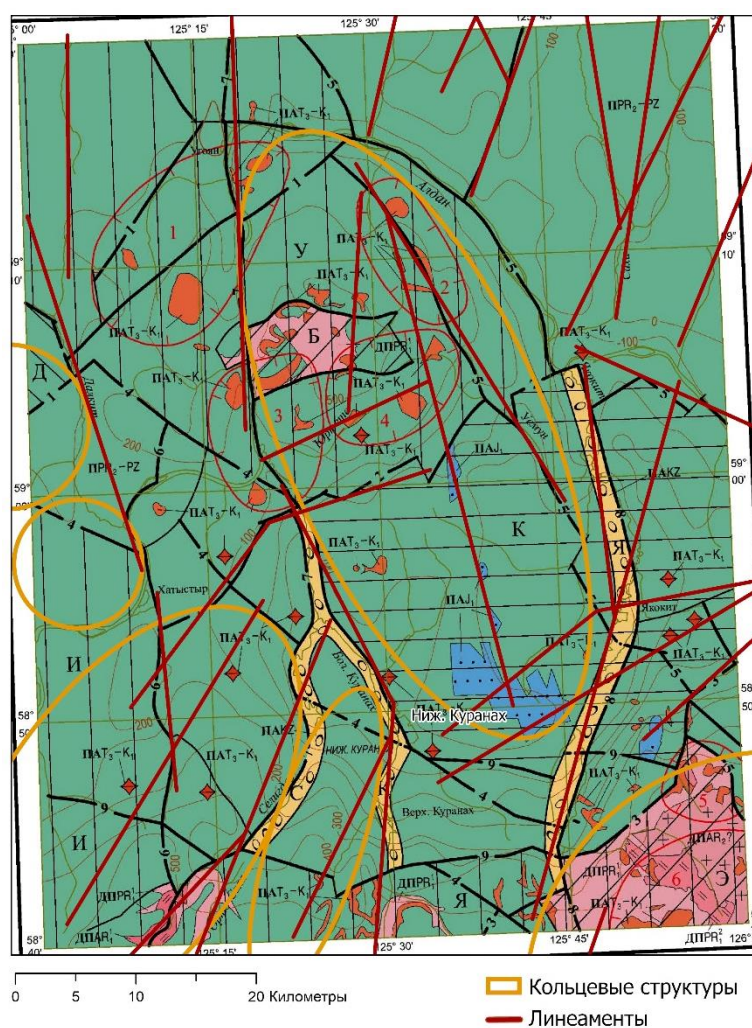


Рис. 7. Поле линеаментов совмещенное с тектонической картой

Конфигурация линеаментов и кольцевых структур, в основном совпадает с тектоническим строением территории. Однако выделяются некоторые участки с высокой плотностью линеаментов не совпадающие с разломами, выделенными предшественниками по геолого-геофизическим данным. Вероятно, они связаны с повышенной неотектонической активностью (отмеченных красным цветом на карте плотности) в геодинамических зонах.

При наложении кольцевых структур на карту плотности линеаментов визуально можно выделить несколько перспективных участков на поиски полезных ископаемых кор выветривания, они отмечаются на местах пересечения кольцевых структур и высокой плотности линеаментов (оранжево-красный цвет) (рис. 8).

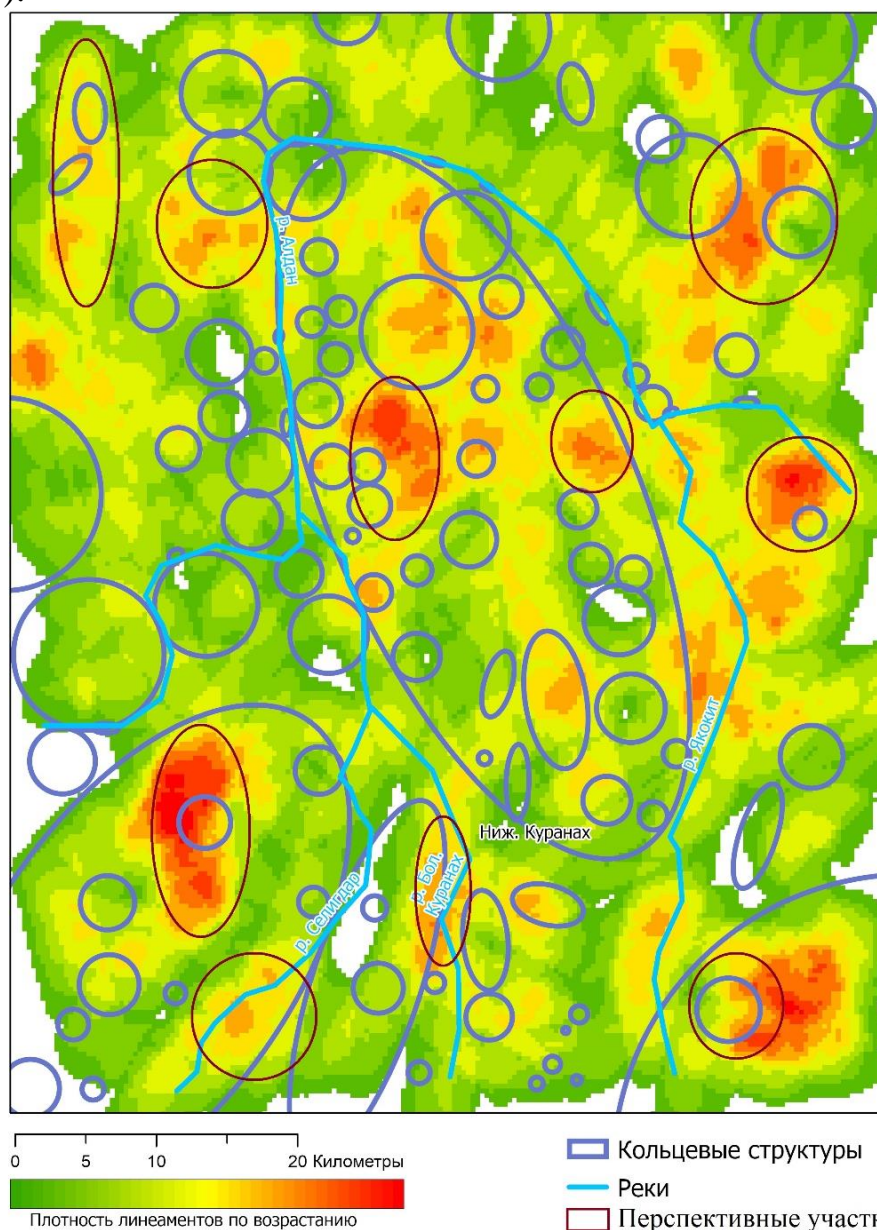


Рис. 8. Карта перспективных участков на поиски золота. Масштаб 1:200 000

Заключение

По результатам проведённых АКГИ выделено 407 тектонических линеаментов разного уровня и 102 малые кольцевые структуры, была установлена

разная степень неотектонической активности территории. Структурным дешифрированием подтверждены ранее выделенные тектонические структуры и намечены новые. Так же были определены перспективные участки для проведения поисковых работ, они приурочены к зональным и локальным структурам. Необходимо проведение детальных АКГИ на перспективных участках.

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 316 с*
2. *Геологическая карта листа О-51-ХП. Информационные ресурсы ВСЕГЕИ. <http://geo.mfvsegei.ru/200k/o-51/o-51-12/7/index.html>*
3. *Золоторудные месторождения России / Под ред. М.М. Константинова. М.: Акварель, 2010. 365 с.*
4. *Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.*
5. *Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.*
6. *Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С.148-158.*
7. *Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
8. *Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
9. *Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
10. *Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. 2020. Пермь, С. 159-166.*
11. *Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Куляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 167-175.*
12. *Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.*
13. *Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.*
14. *Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.*
15. *Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.*
16. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.: Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука. 1996. 352 с.*
17. *Потехин Г.Н., Вохмин С.А., Чустугешев В.М., Григорьев Р.В. Опыт проектирования и разработки карьеров на золоторудных месторождениях Куранахского рудного поля. // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал) 2011. С. 204-215.*

О ДВИЖУЩИХ СИЛАХ МАНТИЙНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В РАМКАХ ГОРЯЧЕЙ ВЕТВИ ДЕГАЗАЦИИ И СВЯЗЬ ИХ С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ

Рассмотрены движущие силы мантийных кимберлитовых тел в рамках горячей ветви дегазации и связь их с алмазонасностью. Представлены общие геологические и гидродинамические аспекты в формировании коренных месторождений алмазов и углеводородов. Установлено, что только определенный коридор значений градиента амплитуд неотектонических движений обеспечивает условия, как образования, так и сохранности месторождений. Открываются новые возможности поисков коренных месторождений алмазов, где одними из ведущих методов могут быть аэрокосмические методы, для изучения активности неотектонических движений.

Ключевые слова: алмазонасность, кимберлиты, углеводороды, глубинное моделирование, тектонические и неотектонические процессы.

S.V. Kozlov

Perm Polytechnic University, Perm, Russia

ON THE DRIVING FORCES OF MANTLE KIMBERLITE BODIES WITHIN THE HOT BRANCH OF DEGASSING AND THEIR RELATIONSHIP WITH DIAMOND POSSIBILITY

The driving forces of mantle kimberlite bodies within the framework of the hot branch of degassing and their connection with diamond content are considered. General geological and hydrodynamic aspects in the formation of primary deposits of diamonds and hydrocarbons are presented. It has been established that only a certain corridor of neotectonic movement amplitude gradient values provides the conditions for both formation and preservation of deposits. New opportunities are opening up for prospecting for primary diamond deposits, where aerospace methods can be one of the leading methods for studying the activity of neotectonic movements.

Key words: diamond content, kimberlites, hydrocarbons, deep modeling, tectonic and neotectonic processes.

Посвящается первооткрывателям якутских алмазов Ларисе Попугаевой и Федору Беликову

Введение

Генезис алмазонасных кимберлитовых трубок «взрыва» в настоящее время освещен во множестве работ, представляющих различные модели. В этих моделях, за редким исключением [3, 9, 12], не обсуждаются механизмы реализации процесса кимберлитового магматизма.

Причиной движения и перемещения вещества в природе является градиент физических полей (концентрации вещества, реологические параметры, давления, температуры, плотности и т. д.). Геологическая эволюция возникновения кимберлитовых трубок, не являются исключением, и тоже, подчиняются законам термодинамики. Являясь сторонником глубинного абиогенного генезиса углеводородов (УВ), автор полагает, что в основе холодной и горячей ветвей дегазации, особенно на заключительном этапе, лежат единые физические процессы, итогом которых являются локализованные скопления углеводородов и алмазов в земной коре.

Общие геологические и гидродинамические аспекты в формировании коренных месторождений алмазов и углеводородов

В настоящее время выявлено около 6400 кимберлитовых тел, из них около 900 (14%) классифицированы как алмазонасные. Разрабатывается только несколько десятков трубок. Но это уже экономический показатель. Указанные цифры, тем не менее, ставят вопрос: почему только каждая седьмая трубка содержит алмазы, и что нам важнее, данное «белое пятно» отражается и на коэффициенте успешности геологоразведочных работ. Попробуем разобраться в действующих причинах наблюдаемых явлений, обратившись к физическим процессам, идущим на путях подъема магмы в литосфере, в частности земной коре. Для этого обратимся к фазовой диаграмме углерода и гидравлическим законам движения магмы как жидкости. При этом акцентируем внимание на силах, которые участвуют в этом процессе. Кимберлит долгое время считали материнской породой алмаза. Сегодня сторонников парадигмы, что алмазы выносятся магматическими расплавами щелочно-ультраосновного состава, как минимум, из астеносферы с глубин 150÷250 км, придерживается большинство специалистов. Горячая ветвь дегазации, зарождение магматического плюма и движущие силы процесса тоже приурочены к мантии. Образование алмазов, как считают большинство специалистов происходит в P-T условиях мантийных координат. Основными элементами, из которых синтезируются углеводороды, являются углерод, водород и гетероатомные соединения (O, N, S). Углерод занимает третье место по распространенности во Вселенной после водорода и кислорода (по другой версии, четвертое после гелия). В земной коре он находится на 11-ом месте. Как указывает М.И. Лоджевская в работе [4], *«самая уникальная черта углерода – способность атомов связываться друг с другом и с другими элементами, образуя длинные углеводородные цепи, кольца и более сложные соединения. Число соединений, содержащих углерод, составляет 14,4 миллионов, в то время как всего в мире установлено 14,5 миллионов, то есть других соединений без углерода всего сто тысяч».*

Для полноты картины масштабов присутствия углерода в составе оболочек Земли следует привести следующие данные [2]. На основе анализа ударно-волновых исследований и метода нахождения скорости звука в веществах при высоких давлениях и плотностях, а также сейсмических исследований рассчитаны плотности при нормальных условиях и средние атомные массы гипотети-

ческих веществ, составляющих внутренние оболочки Земли. Согласно этим расчетам, твердое железоникелевое ядро Земли может содержать 3,4-4,5 % углерода в алмазной фазе (или состоять из карбидов железа и никеля и 0,7-1,9 % свободного углерода в алмазной фазе). Внешнее жидкое ядро может содержать $\approx 6,7$ % углерода в растворе и 2,9-5,0 % алмазной фазы углерода. Низ мантии Земли может содержать до 17,5 % алмазных кристаллов [2, 11]. Приведенные крайние оценки содержания углерода по оболочкам Земли указывают на достаточность исходного вещества для зарождения алмазов.

На рис. 1 приведена фазовая диаграмма углерода по данным В.Д. Андреева с дополнениями различных авторов [1].

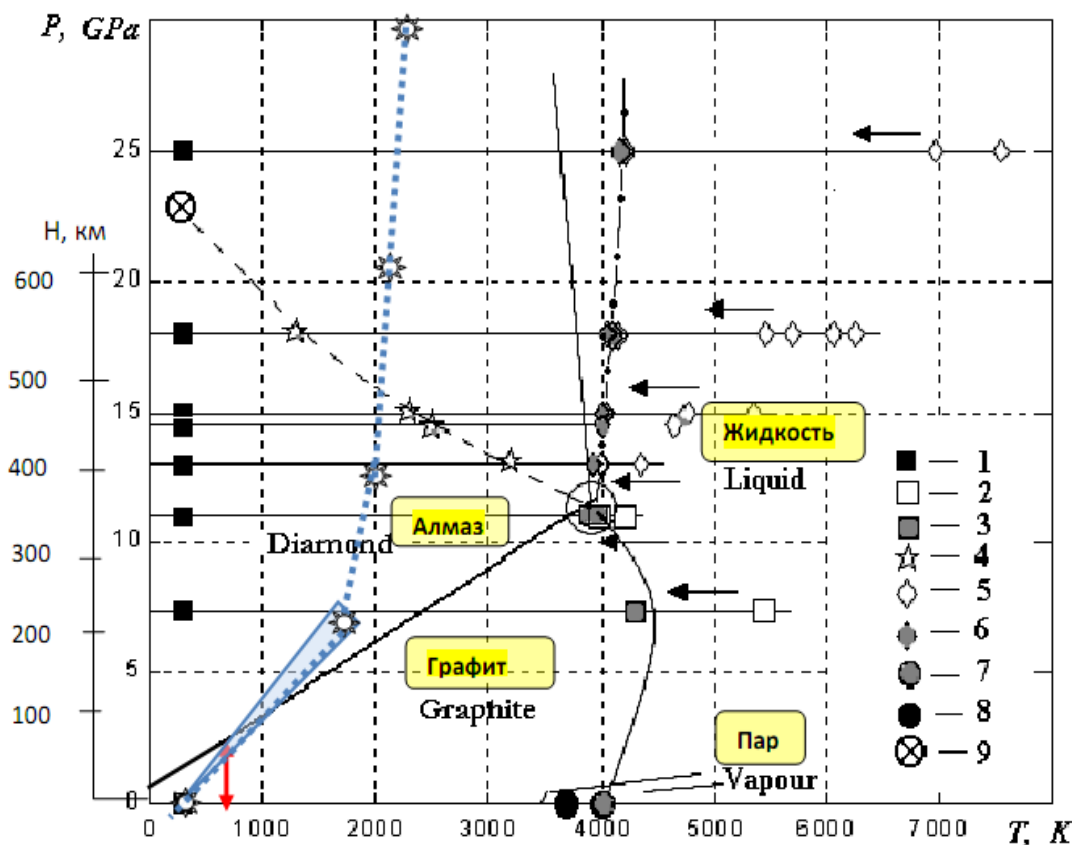


Рис. 1. P-T Диаграмма углерода по Bundy и экспериментальные данные по результатам обработки осциллограмм, полученных от Тогоа:

- 1 – графит в исходном положении перед нагревом; 2, 3 – точки плавления графита, соответственно, без поправки и с поправкой на аномальность теплоемкости;
 - 4 – точки начала аморфизации или метастабильного плавления графита и образования алмаза; 5 – точки плавления алмаза без поправки на аномальность теплоемкости;
 - 6 – точки плавления алмаза с поправкой на аномальность теплоемкости;
- Дополнительные реперные точки: 7, 8 – точки плавления графита по Асиновскому и др.;
- 9 – точка начала аморфизации графита на алмазных наковальнях по Гончарову;
 - О – область тройной точки графит-алмаз-жидкость.

Отметим важные «реперные» точки углерода и его аллотропных модификаций: алмаза и графита. Параметры тройной точки алмаз-графит-жидкость соответствуют давлению $12,5 \div 13,5$ ГПа и $T \approx 3700 \div 4200$ К. Тройная точка: гра-

фит – жидкость – пар $T = 4130^{\circ}\text{K}$, $P = 10,7 \text{ МПа}$. Из приведенных значений нам важно, что температура плавления (и кристаллизации) алмаза находится на уровне 4000°K , т.е. в реальных температурных условиях литосферы-астеносферы алмаз плавиться не должен. При атмосферном давлении и температуре выше 1200°K алмаз начинает переходить в графит. На воздухе алмаз сгорает при $1100\text{-}1270^{\circ}\text{K}$ превращаясь в углекислый газ.

Вышеприведенная диаграмма была дополнена барогеотермой и шкалой глубин (в виде треугольника по различным первоисточникам и синий пунктир по Сорохтину О.Г. [10]), отражающая P-T условия, как наиболее вероятные в пределах литосферы – верхней мантии и областей развития континентальной коры. Продолжение барогеотермы в мантийные глубины показывает метастабильность алмаза. То есть алмаз в этих условиях может существовать неограниченно долго. Именно здесь при давлениях $P \approx 8\text{-}12 \text{ ГПа}$ и $T \approx 2500\text{-}3500^{\circ}\text{K}$ идет кристаллизация алмаза. На глубине примерно 40-50 км магма может попасть в зону равновесия алмаз-графит. Долгое нахождение магматического расплава в этой критической области может привести к переходу алмаза в графит. Как указывает Андреев В.Д. в той же работе [1], «что область перехода алмаз → графит ограничена двумя асимптотами для скоростей графитизации, а именно, температурным барьером $T_{\text{min}} \sim 700^{\circ}\text{K}$ и линией равновесия». Этот важный фазовый барьер, безусловно, обедняет алмазоносную кимберлитовую магму (на рисунке показано красной стрелкой).

Низкое содержание алмазов (или их отсутствие) в кимберлитах может быть обусловлено также дискретностью процесса подъема магмы с ее остановками в так называемых магматических камерах. Покажем это на следующем примере.

Транспортирование частиц алмаза по вертикальному каналу характеризуется абсолютной скоростью частиц алмаза $V_{\text{ч}}$, которая связана со средней скоростью потока магмы $V_{\text{ж}}$ соотношением: $V_{\text{ж}} = u + V_{\text{ч}}$, где u – скорость оседания частиц алмаза в неподвижной магме, м/с [8].

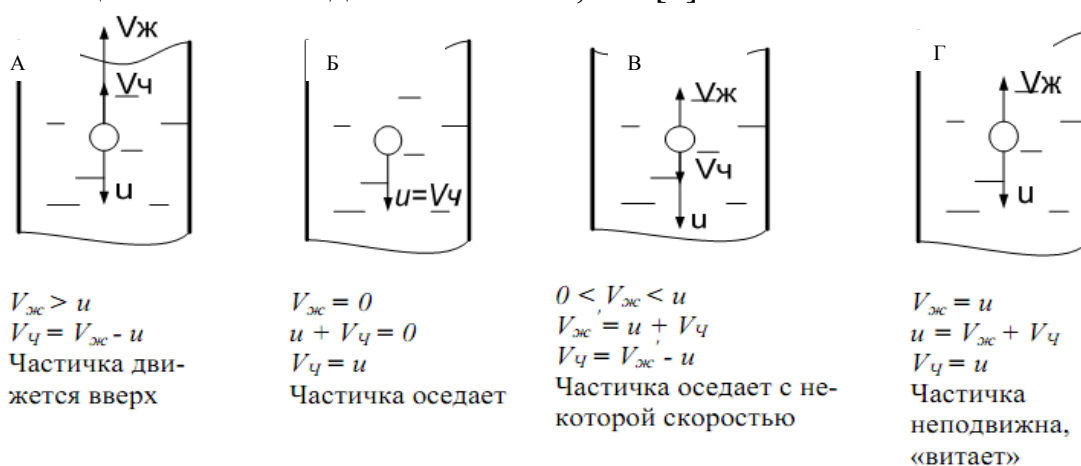


Рис. 2. Схемы возможных соотношений скорости движения магмы и оседания частиц кристаллов алмаза.

Дано: Магматическая камера заполнена магматическим расплавом плотностью $\rho_{\text{м}} = 3000 \text{ кг/м}^3$ - с учетом того, что плотность магмы примерно на 10%

меньше, чем плотность соответствующих горных пород. Вязкость магматического расплава ультраосновного состава $\mu \approx 10 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Ускорение силы тяжести $g=9.81\text{м/с}^2$. В магматическом расплаве (рис. 2, случай Б) оседает алмаз радиусом r_a , массой m_a , объемом V_a и плотностью $\rho_a=3500\text{кг/м}^3$. Габитус алмаза прием в форме шара. Движение алмаза в неподвижной магме определяется действующими на него тремя силами: силой тяжести, которая равна $F_T = \rho_a * V_a * g$, силой Архимеда, которая равна $F_{\text{арх.}} = \rho_M * V_a * g$ и силой трения. По закону Стокса сила сопротивления движению алмаза равна: $F_{\text{тр.}} = 6 * \mu * \pi * r_a * V$. Совместное решение (вывод опускается) трех уравнений позволяет в первом приближении оценить скорость падения алмаза по следующему выражению (1).

$$V = \frac{2r_a(\rho_a - \rho_M)g}{9\mu} \quad (1)$$

Результаты расчета отражены на рис. 3.

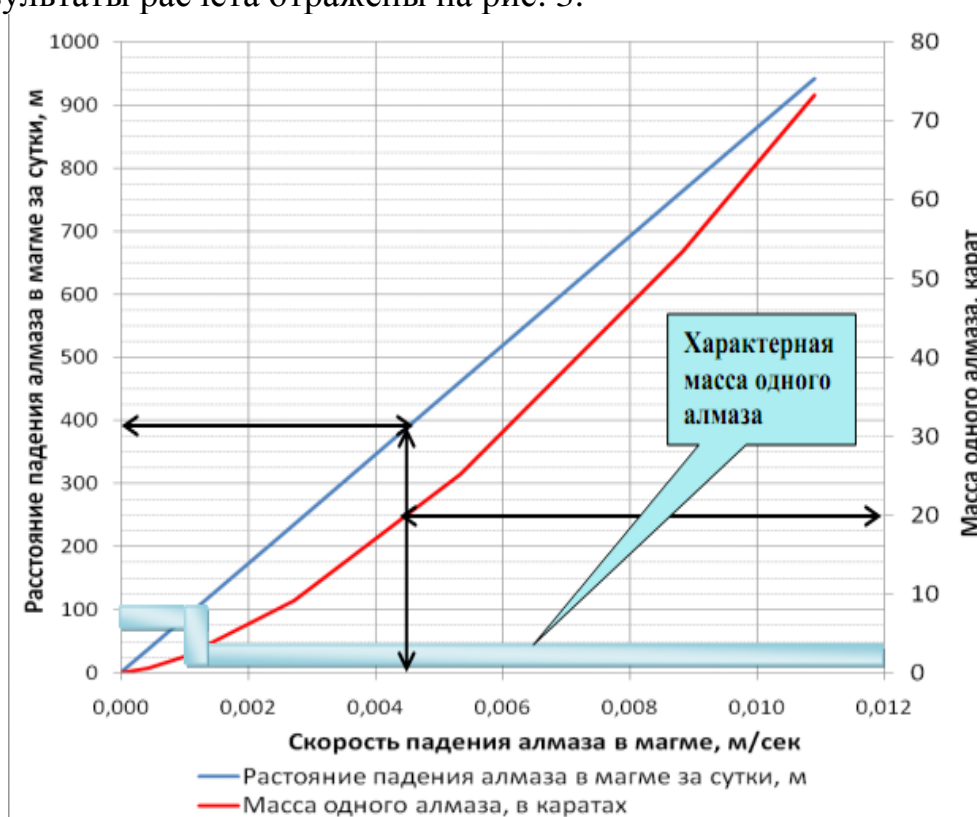


Рис. 3. Зависимость скорости оседания алмазов в неподвижном магматическом очаге с учетом массы алмаза

Как следует из расчетов и проиллюстрировано на графике, алмазы с характерными размерами 1÷6 мм за сутки оседают в магматической камере на 1÷100 метров. Думающий читатель понимает, что это максимальные оценки. Если же взять большой промежуток времени «остановки» флюидов, то отсюда вытекает важное следствие. Некоторая доля алмазов падает на дно камеры или еще ниже и в последующем цикле движения магмы не вовлекается в дальнейший подъем. Так возникают слагаемые потерь на путях движения кимберлитовой магмы.

Основной величиной, подлежащей определению, является критическая скорость восходящего магматического потока или так называемая скорость витания (рис. 2, случай Г), представляющая собой такую скорость течения магмы, при которой кристаллы остаются во взвешенном состоянии, т.е. не увлекаются вверх и не падают вниз [4]. На алмаз также действуют три силы: сила тяжести, подъемная сила Архимеда и сила сопротивления (W), определяемая по общей формуле сопротивления при обтекании тел, которая направлена вверх. $W = (C \cdot F \cdot \rho_M \cdot U_{ж}^2) / 2$. Здесь C – безразмерный коэффициент сопротивления, или коэффициент лобового сопротивления. Для шара и других геометрических тел $C = 0,1 \div 1,3$ при различных структурах течения жидкости. F – сила сопротивления при обтекании. В данном случае равна площади $F = \pi \cdot r_a^2$. Совместное решение (вывод опускается) трех уравнений позволяет вычислить скорость витания по следующему выражению:

$$U_{ж} = \sqrt{\frac{2V_a g (\rho_a - \rho_M) g}{CF\rho_M}} \quad (2)$$

Эмпирическим путем установлено, что скорость жидкости (в нашем случае магмы) должна быть на 10÷30% больше скорости витания, чтобы минеральные агрегаты с плотностью близкой к плотности алмаза не оседали и двигались вместе с магмой с некоторой скоростью: $V_M = (1,1 \div 1,3) \cdot U_{ж}$. Результаты расчета (с учетом 30%) отражены на рис. 4.

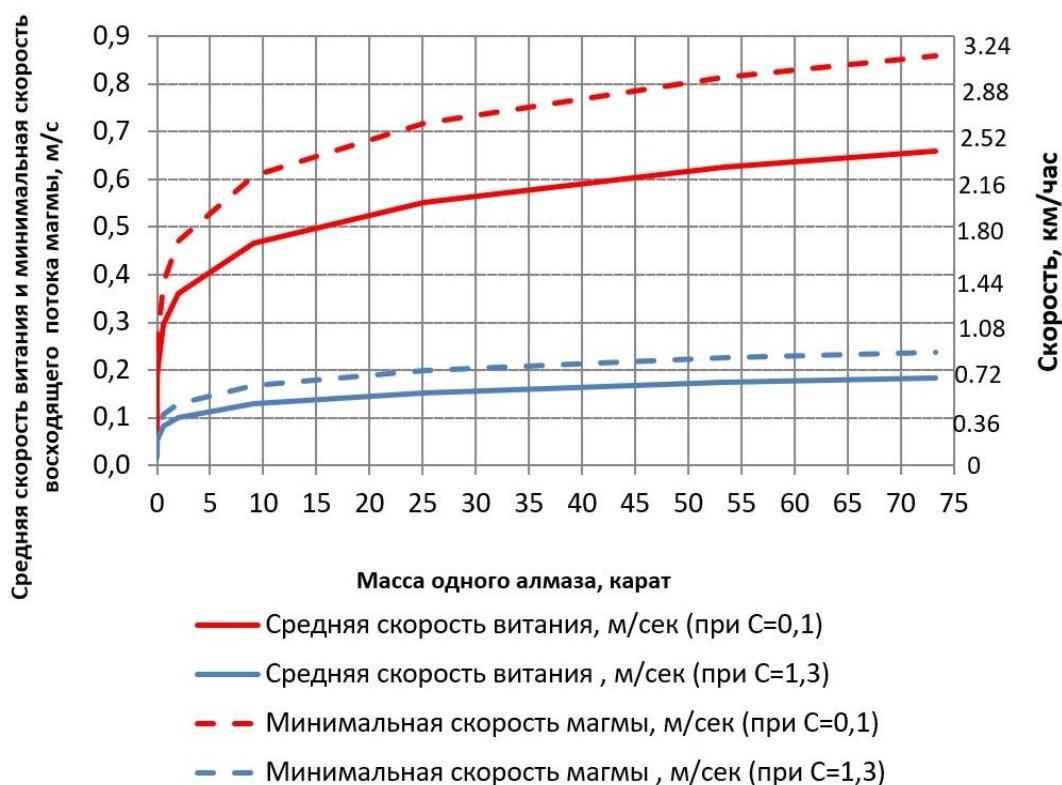


Рис. 4. Зависимость скорости витания и минимальной вертикальной скорости магматического расплава, обеспечивающего движение определенных масс твердых минеральных агрегатов.

Все выполненные оценки в рамках представленной модели характеризуют движение магмы от границы литосфера-астеносфера до границы «М». Оценим характер движение магмы по числу Рейнольдса (Re) при следующих данных.

$$Re = \frac{\rho_M V_M D}{\mu} \quad (3)$$

D-диаметр магматического канала-50м; $\mu=10\div 100\text{Па}\cdot\text{с}$; $V_M=0.1\div 1$ м/сек; $\rho_M= 3000\text{кг}/\text{м}^3$. При данных значениях число $Re=150\div 1500$. Критическое значение числа $Re\sim 2300$, т.е. движение магмы до указанной границы «М» происходит в основном в ламинарном режиме.

Из физики известно, что при понижении давления в жидкости происходит выделение растворенного в ней газа, причем газ выделяется из жидкости интенсивнее, чем растворяется в ней. Нам важно следствие. По мере подъема магматического очага в свободную фазу выделяется все большее количества газа. Газовый плюм сосредоточен в голове магматического очага, который и создает газогидроразрыв пород литосферы и в, конечном итоге, разлом земной коры. Из литературных источников известно, что магма может содержать до $3\div 5\div 10$ весовых процентов растворенных газов и воды, которые резко снижают вязкость расплава. Максимальное количество газов в свободной фазе вероятней всего имеет место на границе «М» и выше. При рассмотрении вопроса определения объема газового плюма в рамках холодной ветви дегазации было получено выражение, позволяющее оценить объем газового «пузыря», вызывающего газогидроразрыв пород литосферы.

$$V \cong \frac{\rho_{cp} h S}{\Delta\rho} \quad (4)$$

Здесь ($\Delta\rho = \rho_{cp} - \rho$ плюм) разность плотностей поднимающегося газового плюма (ρ плюм $=300 \text{ кг}/\text{м}^3$) с объемом (V) и окружающей геологической среды, т.е. средней плотности магматических горных пород (ρ_{cp}) выше границы «М» равной $2800 \text{ кг}/\text{м}^3$; h – средняя глубина залегания границы «М» равна 42000 м или мощность литосферы от границы «М»; S – площадь плюма, м^2 .

Далее найдем объем газового «пузыря» в голове магматического плюма при котором начинается естественный гидрогазоразрыв пород от границы «М», согласно выражения (4). Результаты расчетов отражены на рис. 5.

Замечание к объемам газовой составляющей вызывающей гидрогазоразрыв горных пород. Данные значения отражают статическую ситуацию, т.е. когда плюм остановился в магматической камере. В реальности ситуация скорее динамическая, с привносимым веществом магмы, которое в силу сжимаемости газа повышает общее давление в системе. И это динамическое давление превысит горное давление и при меньших объемах газового «пузыря». Из полученных данных, отраженных на рисунке следует, что доминирующая алмазонасность тяготеет к трубкам определенного диаметра, а именно $250\text{-}600$ метров при определенной суммарной площади трубок $50\text{-}250$ тыс. м^2 выявленных в пределах одного поля.

В представленной работе используются осредненные данные (плотности земных оболочек с учетом модели однородной упругой среды с заданными

свойствами жесткой среды). Понятно, что процедуры осреднения влияют и на расчетные величины (в данном случае – объем газового «пузыря»), т.е. сегодня можно говорить о полученных количественных оценках (здесь и далее), как приближенных.

Установлено, что фазово-минеральные УВ ассоциации в осадочном бассейне представлены по простиранию определенной последовательностью с концентрацией промышленных скоплений нефти и газа, подчиняющихся определенным значениям активности неотектонических движений. Выявлено, что только определенный коридор значений градиента амплитуд неотектонических движений обеспечивает условия, как образования, так и сохранности залежей УВ. Безусловно выявленные закономерности являются очень важными количественными и качественными факторами, определяющими площадную, вертикальную, стратиграфическую зональность.

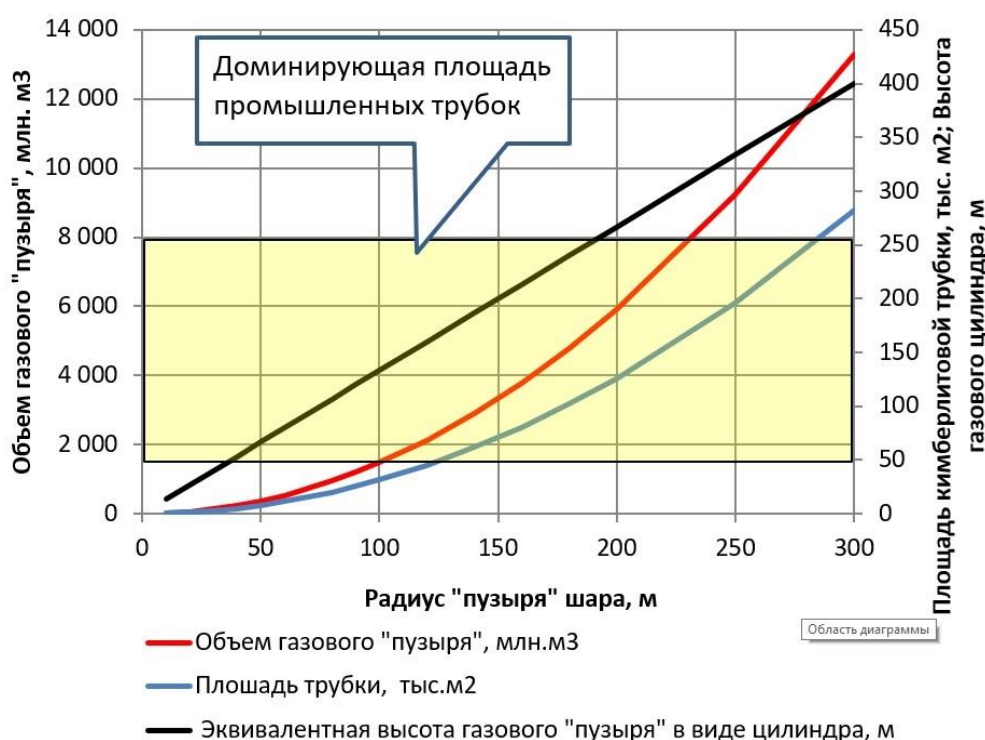


Рис. 5. Зависимость объема газового «пузыря» от площади кимберлитовой трубки вызывающий гидрогазоразрыв пород

С другой стороны, рассматривая всю совокупную неразрывную генетическую цепочку нефтегазоносности (генерация – миграция – аккумуляция – консервация), остаются вопросы: почему в осадочном бассейне центрального типа в осевой, наиболее погруженной части концентрируются газовые месторождения, а в стороны горных массивов традиционные УВ замещаются на тяжелые и битумные нефти? Почему такая дифференциация происходит в геологической среде? Понятно, что механизм здесь единый, это неотектонические процессы, реализуемые через амплитуду, градиент амплитуд и скорость [5, 6].

Осадочные бассейны краевого и центрального типа имеют мощность осадочного чехла 2-20 км и более, где плотность горных пород (аргиллиты, из-

вестняки, алевролиты, песчаники и т.д.) находится в коридоре 2300-2500 кг/ м³ при среднем значении 2300 кг/ м³. Средняя плотность магматических пород, таких как гранит, диорит, габбро, диабаз, базальт, дунит и т.д., составляет 2500-3300 кг/ м³ при среднем значении 2800 кг/ м³. Из этого следует согласно выражения (5),

$$P_{гор} = \rho_{ср}gh \quad (5)$$

что горное давление от бортов складчатых систем к осевой наиболее погруженной части любого осадочного бассейна с учетом только различия плотностей горных пород уменьшается, т.е. $P_{г2} < P_{г3} < P_{г1}$. И это отличие на границе астеносфера – литосфера, для зон максимальной концентрации открытых месторождений УВ, может составлять 1,5-2%, а на границе «М» 2-4% и более. Т.е. наиболее погруженные зоны осадочного бассейна, используя не геологическую терминологию, являются «слабым звеном» для системы плюм – тектоники и подвержены тектоническим разломам в первую очередь. На рис. 6 отражена зависимость плотности горных пород и газового плюма от глубины.

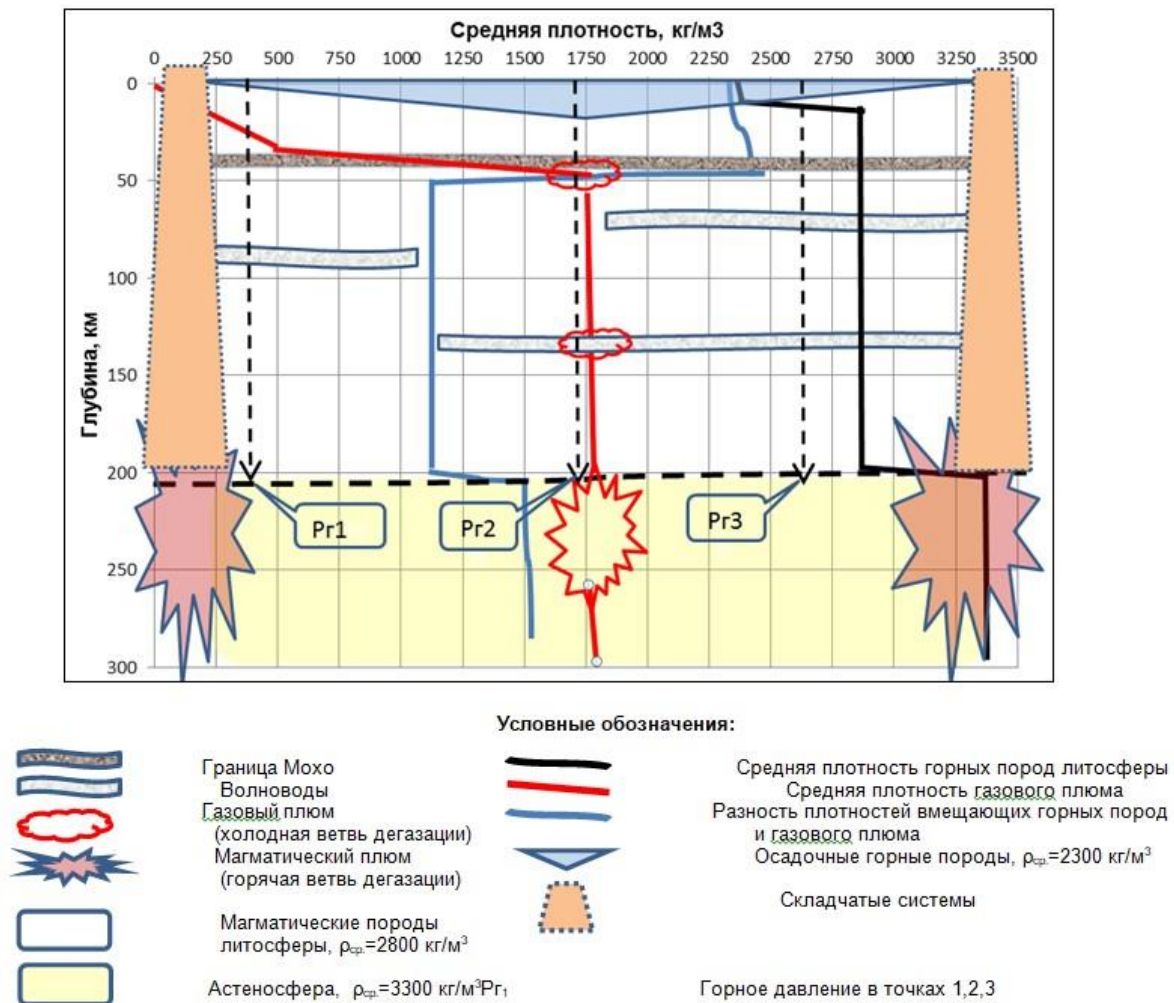


Рис. 6. Зависимость плотности горных пород и газового плюма от глубины

Широко распространены в литосфере волноводы, как по глубине, так и по площади, выделяемые как скоростные геофизические аномалии.

Н.И. Павленкова [7], обстоятельно описывает природу волноводов (сейсмических границ), которые, как указывает, связаны, по всей видимости, с флюидонасыщенными областями. В литосфере такие слои – волноводы – встречаются часто на глубинах 10-15 км, на уровне границы «М», на глубинах 100 км и более. Данные факты и другие результаты сейсмических исследований показывают, что кора и литосфера обладают слоистой структурой. Слои с пониженной сейсмической скоростью не всегда связаны с петрологической неоднородностью пород литосферы. Наличие в породах флюидов может объяснить резкие изменения скоростей и слоистость верхней мантии.

Волновод представляется нами как природный конденсатор, накапливающий энергию газового (газоводяного) плюма за счет подводимых новых объемов порций флюида с последующей разрядкой флюидов в вышележащий волновод или залежь, т.е. процесс обмена энергией и веществом смежных волноводов порождает глубинный разлом с сейсмическим событием с неким дискретным временным шагом.

Перечисленные явления, вероятнее всего, имеют единую природу: они – результат прорыва газожидкостного плюма, набравшего критический объем, который обеспечивает так называемый первичный прорыв, сопровождаемый гидрогазоразрывом горных пород подошвы литосферы. Данный процесс и порождает тектонические процессы, в том числе и катастрофические просадки на различных глубинных уровнях. Безусловно, с процессом гидроразрыва, или параллельно с ним, имеет место кумулятивный эффект прожигания пород, но с подчиненным значением.

Заключение

Начало кристаллизации соответствующих им магм с образованием алмаза и его спутников, происходило в магматических очагах на больших глубинах мантии в период, предшествующий их внедрению в земную кору.

Необходимым условием кристаллизации алмазов является достаточное количество собственно углерода и Р-Т условия, обеспечивающие приток атомов углерода к растущим кристаллам. Повышенная концентрация алмазов в трубке возможна при выдержанном соотношении ксеногенного, магматогенного, а на заключительном этапе флюидогенного материалов. Тектонические нарушения различного характера в фундаменте и осадочном чехле являются «слабым звеном» и наиболее вероятным местом проявления кимберлитового магматизма.

Очевидно, критериями алмазоносности могут быть не только особенности вещественного состава кимберлитов, лампроитов, туффизитов и наличие спутников минералов (или их отсутствие) в выявленных трубках. Это вероятные, а не абсолютные показатели, указывающие на вариативность данного геолого-физического процесса алмазоносности кимберлитовых полей начиная от кристаллизации алмазов до их возможного достижения земной поверхности.

Характерной чертой алмазных кристаллов является постоянное наличие в них следов растворения и перекристаллизации. В результате данного процесса

кристаллы алмаза теряют первичные октаэдрические формы и превращаются в округлые агрегаты.

В рамках предложенной модели идет постоянное увеличение энтропии углеродного алмаза. И только некоторая часть доходит до поверхности Земли.

Открываются новые возможности поисков коренных месторождений алмазов, где одними из ведущих методов могут быть аэрокосмические методы, для изучения активности неотектонических движений.

Библиографический список

1. Андреев В.Д. *Избранные проблемы теоретической физики*. Издательский Дом «Аванпост-Прим», Киев, 2012.
2. Анисичкин В.Ф. Ударно-волновые данные как доказательство присутствия углерода в ядре и нижней мантии Земли // *Физика горения и взрыва*. 2000. Т. 36. № 4. С. 108-115.
3. Бармин А.А., Гордеев Е.И., Мельник О.Э. // *Вулканомеханика. Природа*. №12, 2012.
4. Лоджеская М.И. *Геолого-геохимические свидетельства образования глубинных углеводородов* // М.: Тезисы докладов 2-х Кудрявцевских чтений, ОАО «ЦГЭ», 2013.
5. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
6. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в калтасинском авлакогене с позиций глубинного abiогенного генезиса углеводородов // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
7. Павленкова Н.И. Роль глубинных геофизических исследований в решении проблемы дегазации Земли и формирования неорганической нефти [Электронный ресурс] // *Глубинная нефть*. 2013. Т. 1. № 6.
8. Рабинович Э.З. *Гидравлика* М, «Недра», 1977.
9. Рыбальченко А.Я., Рыбальченко Т.М., Силаев В.И. Теоретические основы прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов туффизитового типа // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2011. Выпуск 1. №5.
10. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. *Развитие Земли* М: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.
11. Тимурзиев А.И. Об объемах глубинного углерода – первичного донора углеводородов на Земле, 2021, *Геофизический журнал* № 1, Т. 43, 2021.
12. Шкодзинский В.С. Генезис алмаза кимберлитов // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2018. №2.

И.С. Копылов, В.А. Кузнецов

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ ЗОЛОТА В БОДАЙБИНСКОМ РАЙОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Рассмотрены геолого-геохимические и аэрокосмогеологические особенности Бодайбинского района Иркутской области. Выделено 4 фактора контролирующей золотоносность района: высокая плотность линеаментов; узлы тектонической напряжённости; кольцевые структуры; литогеохимические аномалии (с пунктами минерализации золота и аномалиями по вторичным ореолам рассеяния). Дешифрированием космических снимков на изученной площади (2 лицензионных участка) выделено 800 тектонических линеаментов и 40 кольцевых структур. Выполнено построение поля плотности линеаментов, выделены максимумы плотности линеаментов – зоны перспективные на поиски месторождений золота. Установлена связь между выделенными линеаментами (их повышенной плотностью) и месторождениями золота, находящимися на изученной площади. Выделены 22 новые перспективные зоны на поиски золота.

Ключевые слова: золото, аэрокосмогеологические исследования, геохимические методы, дешифрирование космических снимков, линеаменты, кольцевые структуры, литогеохимические аномалии, перспективные зоны на поиски золота, Бодайбинский район Иркутской области.

I.S. Kopylov, V.A. Kuznetsov

Perm State University, Perm, Russia

PROSPECTS FOR GOLD SEARCHING IN THE BODAIBO REGION USING AEROSPACE AND GEOCHEMICAL METHODS

The geological-geochemical and aerospace-geological features of the Bodaibo region of the Irkutsk region are considered. Four factors that control the gold content of the region have been identified: high density of lineaments; knots of tectonic tension; ring structures; lithogeochemical anomalies (with points of gold mineralization and anomalies along secondary scattering halos). Interpretation of space images in the studied area (2 licensed areas) identified 800 tectonic lineaments and 40 ring structures. The construction of the lineament density field has been completed, the lineament density maxima have been identified – promising zones for the search for gold deposits. A relationship has been established between the identified lineaments (their increased density) and gold deposits located in the studied area. 22 new promising zones have been identified for gold prospecting.

Key words: gold, aerospace geological research, geochemical methods, interpretation of space images, lineaments, ring structures, lithogeochemical anomalies, prospective zones for gold prospecting, Bodaibo district of the Irkutsk region.

Введение

Золотодобыча является ведущим горнодобывающим направлением в Иркутской области и обеспечивает в стоимостном выражении около 50% общего объема добытого минерального сырья. Сырьевая база золота области представлена рудными и россыпными месторождениями. Золото в основном добывается в Бодайбинском районе, который получил мировую известность благодаря открытию здесь уникальных погребенных россыпей золота, интенсивная разработка которых ведется уже на протяжении полутора столетий. Добыча золота в Бодайбинском районе составляет 95% от всей добычи золота в Иркутской области. За 150 лет из недр района извлечено порядка 1200 тонн учтённого металла [2-4, 22].

К настоящему времени значительная часть таких месторождений отработана и на повестку дня остро встал вопрос пополнения золотых ресурсов данного региона уже не столько россыпным, но главным образом, рудным золотом.

Повышение рентабельности добычи полезных ископаемых достигается не только модернизацией технологий разработки, а также их прогнозирования и поисков. Одним из актуальных методов являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ). На сегодняшний день остается большое количество площадей, которые требуют дополнительного геологического изучения. АКГИ успешно применяются для повторного изучения горнорудных районов, поскольку позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубоко залегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. Бодайбинский район, изучаемый в данной работе, является таким примером.

Целью данной работы является анализ перспектив проведения аэрокосмогеологических исследований на территории Бодайбинского района и выявление зон, благоприятных на поиски золота. Задачами были: дешифрирование космоснимков с выделением тектонических линеаментов; геохимическое опробование, с определением содержания золота; комплексная обработка данных.

Природно-геологические условия и золотоносность

Бодайбинский район географически расположен в пределах Байкало-Патомского нагорья. В административном отношении занимает северо-восточную часть Иркутской области. На севере и северо-востоке граничит с Якутией, на юге и юго-востоке с Бурятией и Читинской областью, на западе с Маско-Чуйским районом. Общая площадь – 91975 кв. км (рис. 1, 2) [22].

Площадь исследований (участки «Дягдакар» и «Ботоло») расположена в северной части Байкало-Патомского нагорья. Рельеф площади среднегорный, с колебанием абсолютных отметок от 1100 до 1350 м и относительными превышениями 200-450 м.

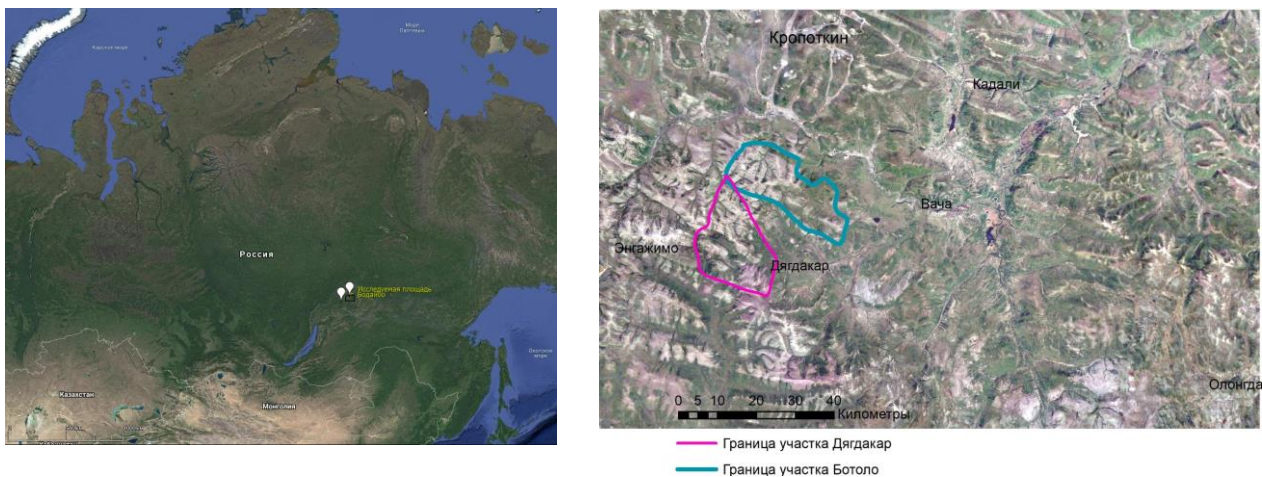


Рис. 1. Район исследований на космоснимках

Гидросеть района типично горная, разветвленная, большей частью, направленная продольно к структурам и древовидная. Продольное направление к структурам имеют значительные по протяженности отрезки долин крупных рек Вачи, Кадали, поперечное – рек Ныгри, Энгажимо, Джегдагара, Жуи [20].

Обнаженность района плохая; выходы коренных пород представлены редкими скальными обрывами. Значительная часть площади лицензируемого объекта покрыта чехлом рыхлых отложений, заболочена.

В районе расположены многочисленные добычные участки на коренное и россыпное золото.

Растительность – типичная для северной тайги, с преобладанием лиственницы, реже сосна. На отметках 800-1200 м склоны покрыты зарослями кедрового стланика. Лиственные породы – береза, ольха, тополь растут по долинам рек, на пологих склонах. Водоразделы выше 1200 м безлесны, с каменными россыпями, мхами и лишайниками (рис. 2).



Рис. 2. Вид с участка Ботоло на площадь исследований

На территории объекта «Дягдакар» распространены стратифицированные образования рифея и венда (Бодайбинская зона), а также четвертичной системы. Рифейские и вендские образования зонально метаморфизованы.

В строении разреза литостратиграфические подразделения различаются достаточно контрастно – по составу, гранулометрии и цвету. Внутреннее строение стратиграфических единиц определяется ритмичным чередованием слоев и пачек переслаивания разной мощности, структурными особенностями пород и их составом.

Тектонические структуры района, картируемые на современном эрозионном срезе, сформированы в результате проявления деформационных, метаморфогенных и магматогенных дислокаций палеозойского этапа тектономагматической активизации.

При районировании складчатости Патомского нагорья в Бодайбинском синклинии выделены зоны проявления одно- и многоактной складчатости. С начальной стадией в условиях зеленосланцевого метаморфизма связана линейная одноактная разнопорядковая складчатость, наблюдаемая в современном срезе Бодайбинской ветви синклинии, со второй – в условиях повышенного метаморфизма – проявилась многоактная складчатость.

В пределах Бодайбинского синклиния традиционно выделяют структуры II порядка, представленные на рассматриваемой территории Маракано-Тунгусской сложной синклиналью, Кропоткинской сложной антиклиналью и Бодайбинской сложной синклиналью. Исследуемый участок расположен в пределах Кропоткинской антиклинали (рис. 3).

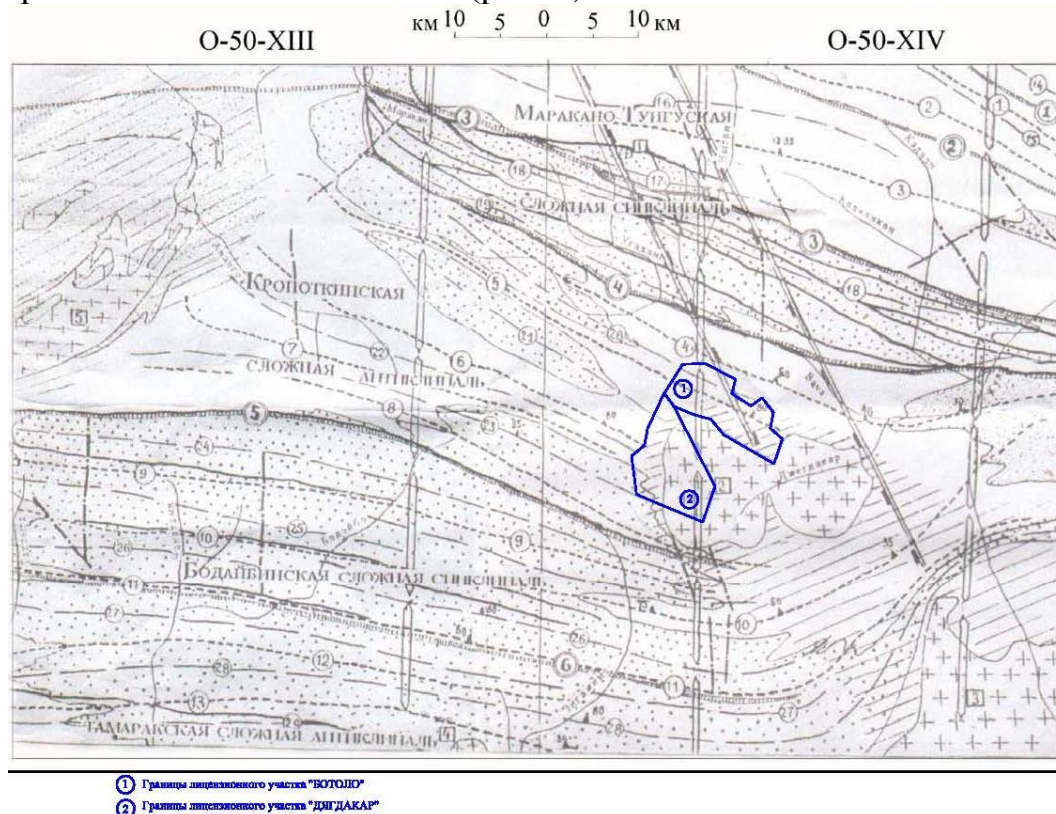


Рис. 3. Структурно-тектоническая схема [21]

Непосредственно площадь пересекают оси складок третьего порядка северо-западного простирания (с севера на юг); Аунакитской и Анангро-Королевской синклиналей с Анангрской антиклиналью между ними, далее на юг Догалдыно-Марковская и Верхне-Бодайбинская антиклинали с Кропоткинской синклиналью между ними. Падение осей северо-восточное под углом от 35° на юге и до 80° на севере [20, 21].

Согласно металлогеническому районированию Ленского золотоносного района лицензионный объект «Дягдакар» находится в пределах Байкало-Патомской металлогенической провинции Мамско-Бодайбинской металлогенической зоне, Бодайбинском золотоносном районе и расположена в зоне сочленения Маракано-Тунгусского и Бодайбинского рудно-россыпных узлов [20] (рис. 4).

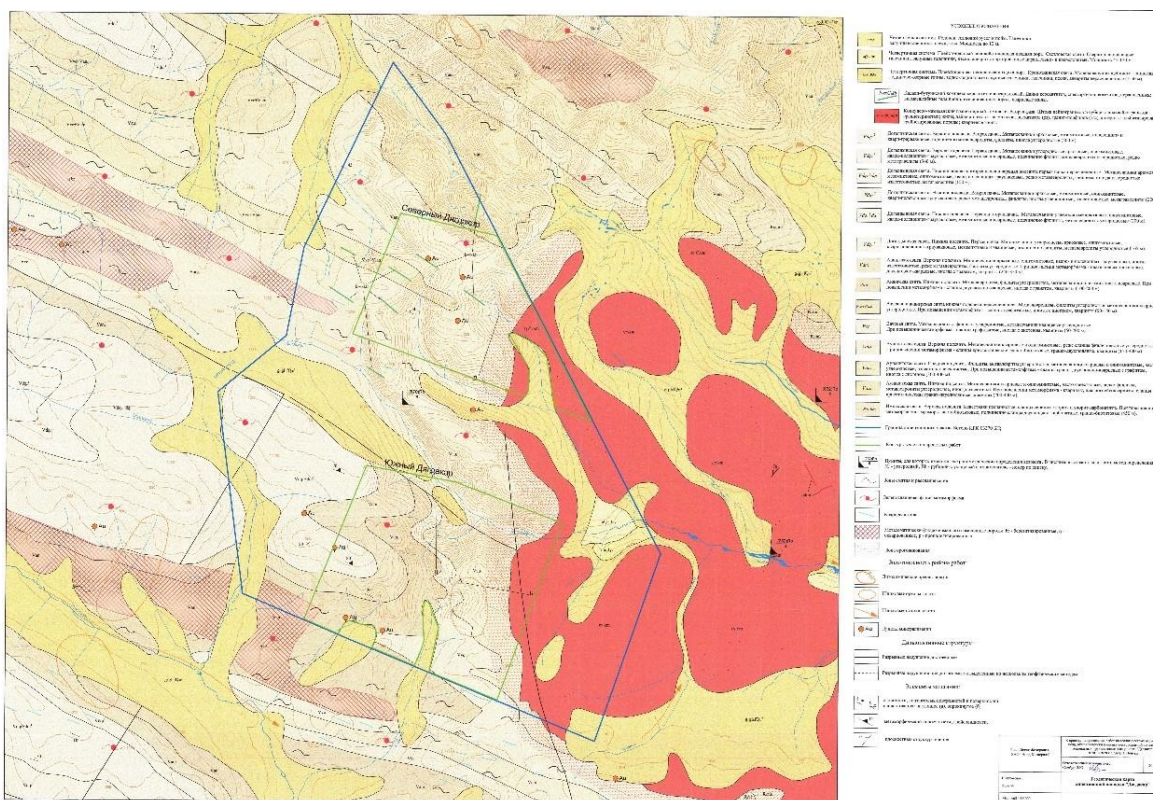


Рис. 4. Геологическая карта лицензионной площади «Дягдакар» с оценкой золотоносности [1, 22]

Оруденение установлено в породах бужуихтинской, хомолхинской, имняхской, аунакитской и догалдынской свит. Имеются предпосылки выявления оруденения в бугорихтинской и илигирской свитах. Оруденение представлено жильно-прожилковым и прожилково-вкрапленным типами руд. Известные в настоящее время месторождения рудного золота сосредоточены в нескольких рудных узлах: Кропоткинском (Сухой Лог, Вернинское, Невское), Хомолхинском (Высочайшее), Мараканском (Ожерелье, Ыканское), Тунгусском (Светловское рудное поле), Артемовском (Кавказ, Копыловское, Догалдынская жила).

В локализации известных золоторудных месторождений и проявлений района можно выделить ряд закономерностей. Все они локализованы в углеродистых горизонтах различного стратиграфического уровня: в хомолхинской (месторождения Сухой Лог, Голец Высочайший), аунакитской (Вернинское, Невское, Ыканское), догалдынской (месторождение Ожерелье, проявление Леприндо), бужуихтинской (проявление Угаханское) свитах. Кроме того, крупные месторождения (Сухой Лог, Голец Высочайший, Невское) приурочены к локальными антиклиналям, осложняющим более крупные синклинали. В соответствии с принятой классификацией золоторудных месторождений выделяются два геолого-промышленных типа: золото-сульфидно-кварцевый (минерализованные зоны и залежи) и золото-кварцевый (жилы, системы жил, линейные зоны и штокверки). На ряде месторождений оба этих типа оруденения пространственно совмещены, и повышенное содержание золота в одном типе указывает на повышенную золотоносность другого, что подчеркивает их генетическое единство [5, 6].

Методика и результаты АКГИ

Для проведения аэрокосмогеологических исследований применялся комплекс методических подходов, технологий и опыт проведения подобных работ в других регионах по применению АКГИ для поисков золота [7-19].

Для исследования территории Бодайбинского района с помощью программного обеспечения «SAS. Планета» были взяты космические снимки (Landsat-8, сервисы Google Карты) и цифровые модели рельефа (рис. 5, 6). Дешифрирование одной территории по материалам различного содержания позволяет выделять линеаменты с более высокой точностью. Например, на КС линеаменты возможно выделять по характерному виду растительности. Напротив, из-за залесённости территории удобнее воспользоваться цифровыми моделями рельефа.

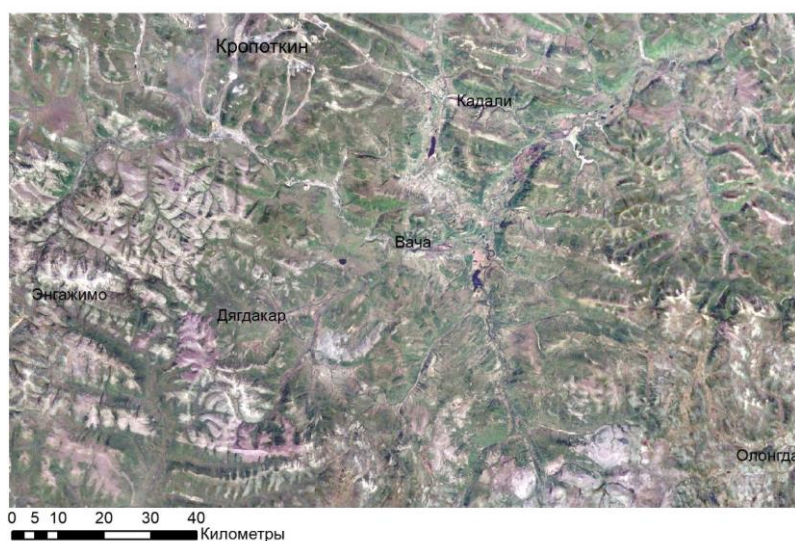


Рис. 5. Космоснимок исследуемой площади

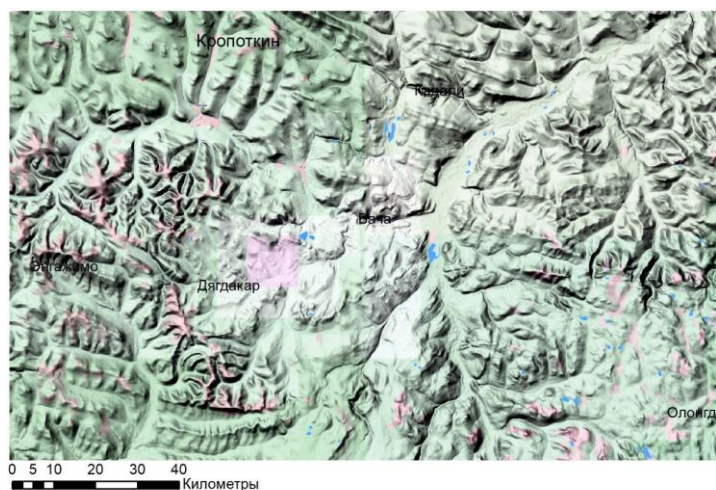


Рис. 6. Цифровая модель рельефа исследуемой площади

Каждое изображение представляется одним из слоёв для карты, которая строится в программном обеспечении ArcGIS ArcMap (рис. 7). Благодаря этому можно попеременно активировать различные слои для более точного и корректного дешифрирования области.

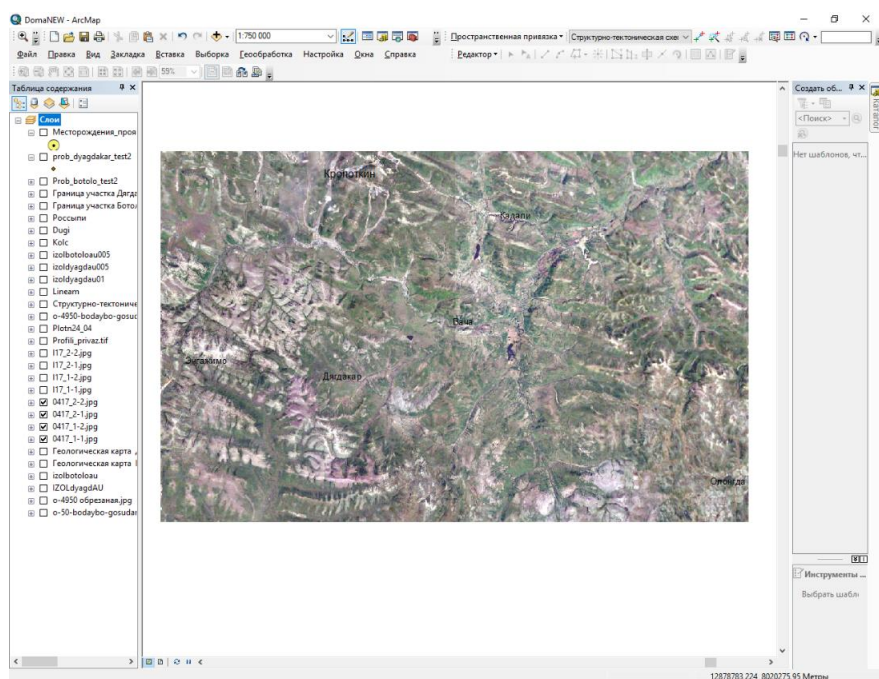


Рис. 7. Рабочая среда ArcGIS ArcMap

Дешифрирование проводилось на региональной и регионально-зональной стадии в масштабах 1:500 000 – 1:200 000 по методикам [7, 12]. Всего было выделено 800 линеаментов, ранжированных на 3 ранга по протяженности:

- региональные и зональные (протяженность 50-100 и более км) – 28 линеаментов;
- локальные (15-50 км) – 172 линеаментов;
- локальные и короткие (5-15 и менее км) – 600 линеаментов.

Были выделены 40 локальных кольцевых структур – ландшафтных аномалий. Результаты дешифрирования представлены на рис. 8, 9.

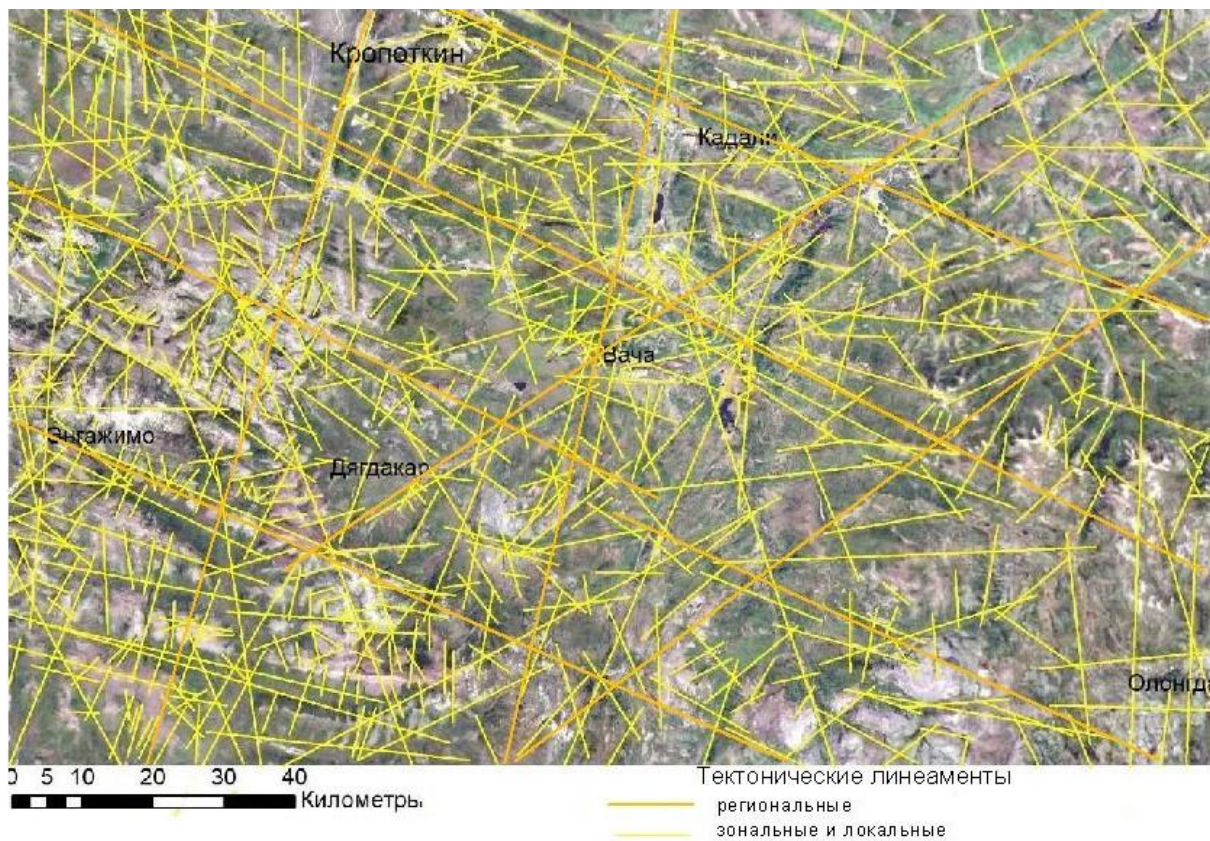


Рис. 8. Схема дешифрирования линеаментов

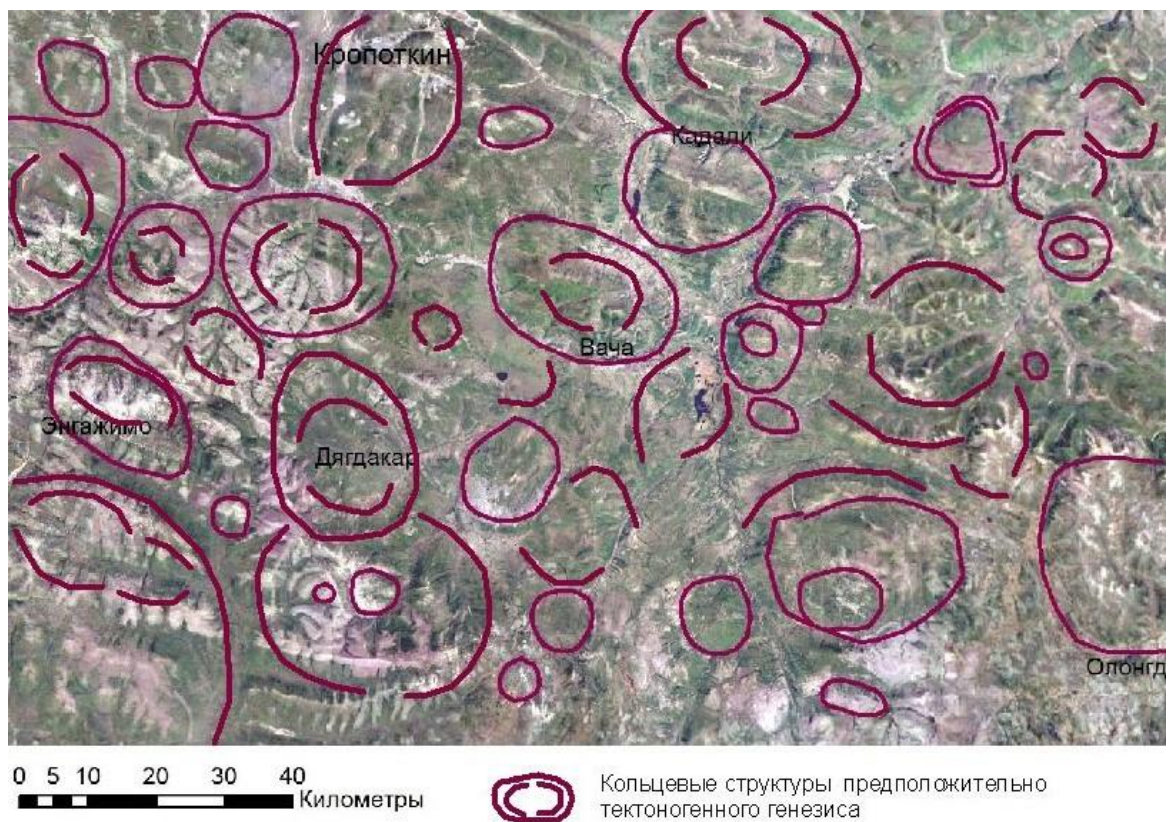


Рис. 9. Схема дешифрирования кольцевых структур

Обработка материалов дешифрирования космоснимков и их анализ

Анализ результатов дешифрирования линеаментов, показывает, что преимущественно на исследуемой площади линеаменты имеют северо-западное и северо-восточное простирания с подчиненным распространением субширотного и субмеридионального простирания. Их ориентировка показана на рис. 10.

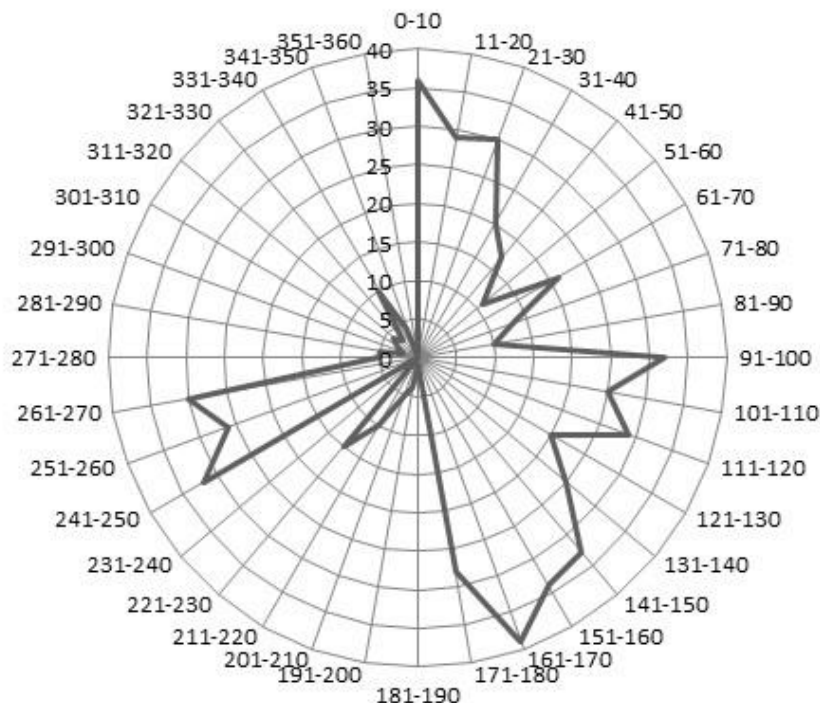


Рис. 10. Роза-диаграмма ориентации линеаментов исследуемой территории

По результатам дешифрирования была построена карта плотности линеаментов (рис. 11). Плотность линеаментов была рассчитана в программном модуле ArcGIS ArcMap через модуль Spatial Analyst tools, инструмент Плотность линий (Line Density).

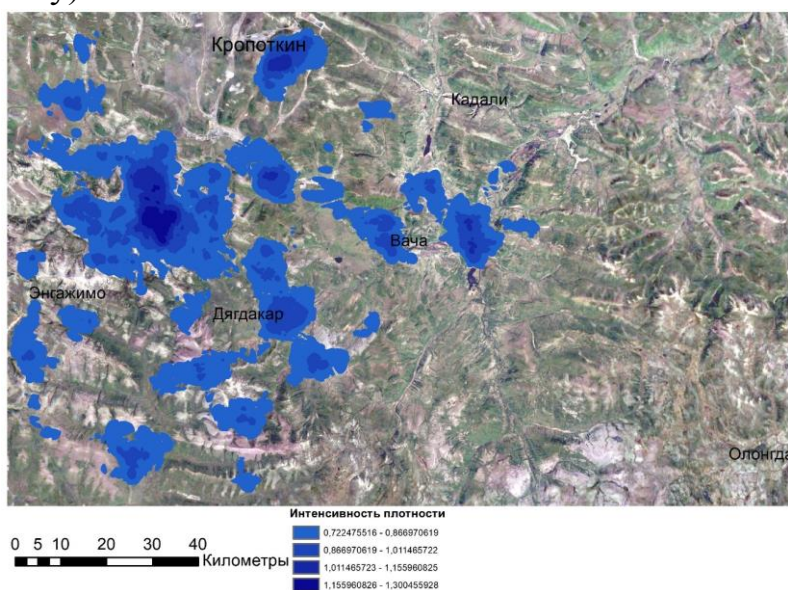


Рис. 11. Схема поля плотности линеаментов

Пространственный анализ совмещения плотности линеаментов показывает на хорошую сходимость с известными проявлениями золота [8] на рассматриваемой территории. Поэтому можно считать выделенные максимумы поля плотности перспективными участками для поиска месторождений золота (рис. 12).

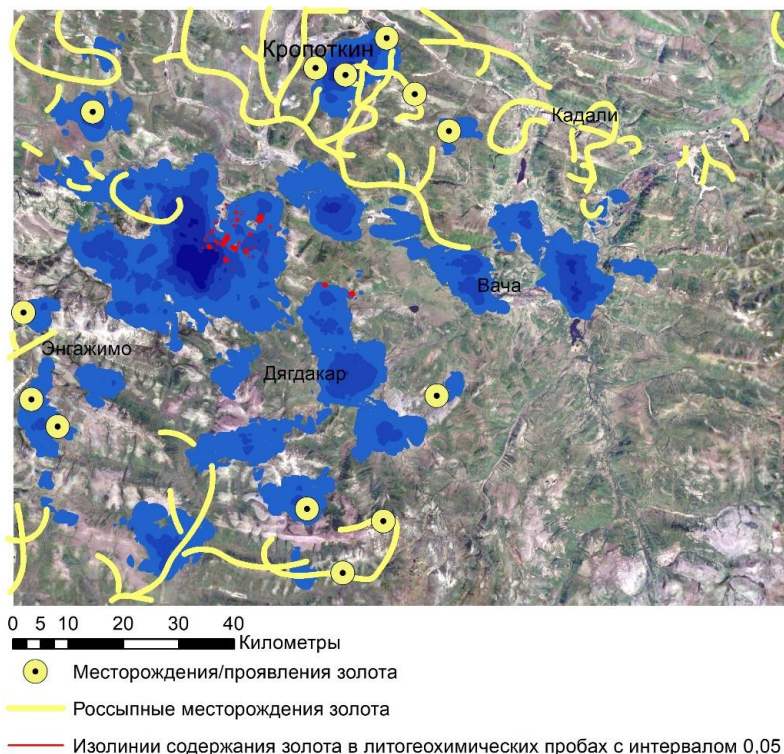


Рис. 12. Космоснимок с результатами анализа и метками месторождений и проявлений золота

Все, известные на площади рудные месторождения золота на площадях «Ботоло» и «Дягдакар» принадлежат к гидротермальному генетическому типу и к золото-кварцевой малосульфидной формации [20].

Для поиска месторождений золота данного типа было проведено литохимическое опробование. Результаты содержания золота вынесены на карту. Суммарно на участке Дягдакар и Ботоло было выделено 660 точек опробования, которые по содержанию золота превышали средние значения. По этим литохимическим пробам было выделено 12 наиболее крупных пунктов минерализации, которые можно определить по построенным изолиниям.

Установлено, что максимумы плотности линеаментов, данные литохимического анализа и расположение уже известных месторождений хорошо коррелируются между собой. Поэтому можно утверждать, что прогнозирование проявлений золота можно проводить по этим показателям.

Выделение зон, перспективных на поиски золота по материалам космической съемки

Перспективы площади определялись в основном по геолого-структурным и геохимическим признакам [20]:

- наличие потенциально рудовмещающих пород хомолхинской и ауна-китской свит;
- наличие антиклинальных структур, развитых в вышеназванных свитах;
- близость гранитного массива (возможного источника рудного золота);
- наличие данных по литогеохимическому опробованию.

Для доказательства эффективности применения космогеологических методов исследования для поисков месторождений золота было проведено дешифрирование территории северной части Байкало-Патомского нагорья (за пределами площади исследований), на территории которого расположено много месторождений золота различного размера. На карту, характеризующую результаты исследования, были нанесены месторождения россыпного и коренного золота, а также участки с максимальной плотностью линеаментов. Установлено, что 11 из 13 коренных месторождений золота расположены на участках с высокой плотностью линеаментов или очень близко к ним. Большинство месторождений золота расположены рядом с крупными линеаментами, которые зачастую совпадают с границами тектонических структур. Из вышесказанного можно вполне уверенно заявлять, что имеется связь между выделенными линеаментами (их повышенной плотностью) и месторождениями золота, находящимися на данной площади. В целом методы АКГИ показывают достаточно высокую результативность при поисках золота на территории Байкало-Патомского нагорья.

Основываясь на результатах анализа и геологических признаках были выбраны следующие критерии:

- высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочено золотое оруденение;
- узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости;
- кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону;
- зоны, в пределах которых выявлен пункт минерализации золота и геохимическая аномалия по вторичным ореолам рассеяния.

Критерии (показатели) были сопоставлены между собой и нанесены на карту. В результате были выделены зоны совпадения нескольких критериев. Эти зоны являются перспективными для поисков месторождений золота. Всего на площади было выделено 22 зоны, которые были пронумерованы в порядке уменьшения очередности при поисках месторождений золота на данной территории с использованием космогеологических методов (рис. 13). В итоге был составлен каталог зон, отсортированный по перспективности (табл. 1).

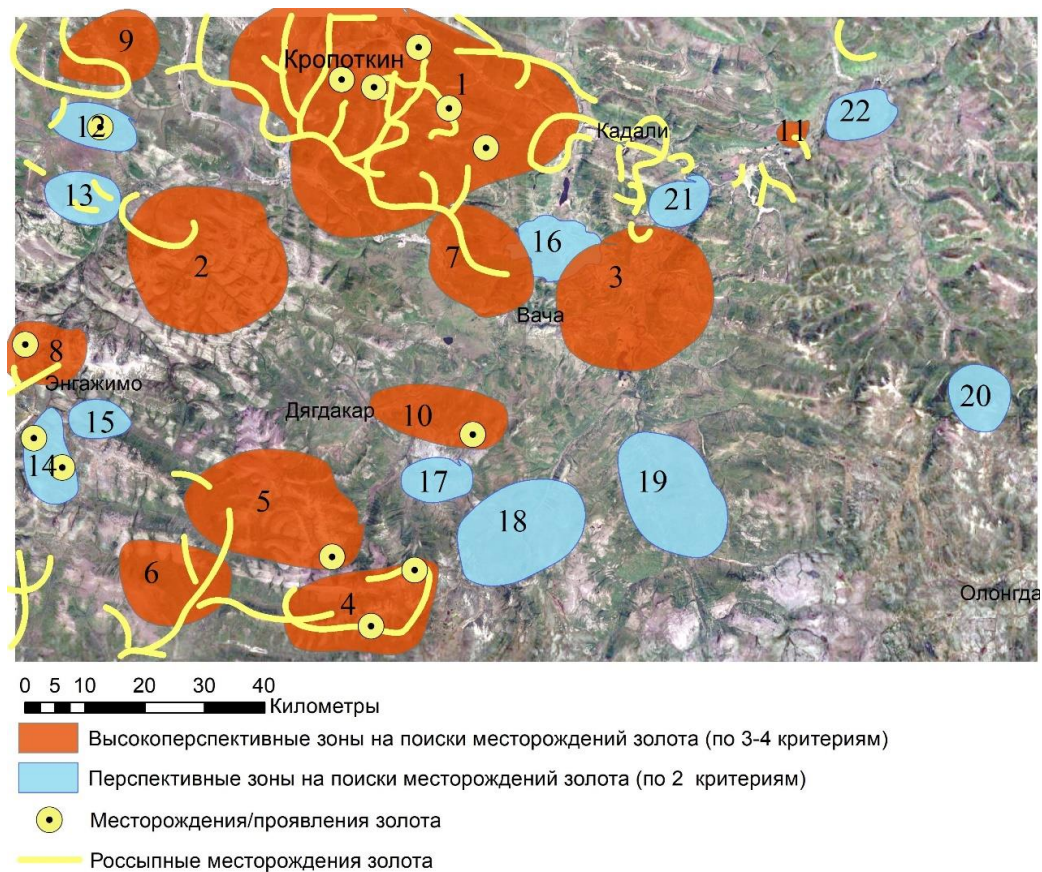


Рис. 13. Карта зон перспективных на поиски месторождений золота

Заключение

Изучались геолого-геохимические и аэрокосмогеологические особенности Бодайбинского района Иркутской области. Выделено 4 фактора контролирующей золотоносность района: высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочено золотое оруденение; узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости; кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону; литогеохимические аномалии (пределах которых выявлены пункты минерализации золота и аномалии по вторичным ореолам рассеяния).

Дешифрированием космических снимков на изученной площади (2 лицензионных участка) выделено 800 тектонических линеаментов и 40 кольцевых структур. Выполнено построение поля плотности линеаментов, выделены максимумы плотности линеаментов – зоны перспективные на поиски месторождений золота. Установлена связь между выделенными линеаментами (их повышенной плотностью) и месторождениями золота, находящимися на изученной площади. Выделены 22 новые перспективные зоны на поиски золота.

Таблица 1

Каталог зон высокоперспективных и перспективных на поиски золота по результатам дешифрирования космоснимков (по неотектоническим и общегеологическим критериям)

Ранг очерёдности	Кол-во критериев перспектив	Географическое положение	Геолого-структурное положение	Золотоносность в пределах зоны	Размер
1	2	3	4	5	6
1	4	На западе ограничен г. Кропоткин, а на востоке посёлком Светлый	БВКГПО, Бодайбинская внутренняя впадина	11 промышленных месторождений	Больш.
2	4	Междуречье Вачи и Дягдакара	БВКГПО, на границе Ангаро-Илигирской позднерифейской впадины и Бодайбинской внутренней впадины	1 промышленное месторождение	Больш.
3	4	Между р. Вача и посёлком Светлый	БВКГПО, на сочленении главного разлома и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	1 промышленное месторождение	Больш.
4	3	Междуречье Энгажимо и Бугарикты	Сибирская платформа, Баргузино-Кропоткинский гранитоидно-плутогенный пояс	3 промышленных месторождения	Средн.
5	4	Междуречье Энгажимо и Дягдакара	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса	3 промышленных месторождения	Больш.
6	3	Правобережье устья р. Энгажимо	БВКГПО, граница Ангаро-Илигирской позднерифейской впадины и Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса	2 промышленных месторождения	Средн.
7	3	Устье р. Дягдакар и р. Вача	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	1 промышленное месторождение	Средн.
8	3	Междуречье Вачи и Энгажимо	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса	2 промышленных месторождения	Мал.
9	4	Водораздел притоков р. Вача, западнее г. Кропоткин	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	1 промышленное месторождение	Средн.
10	3	Междуречье Дягдакара и Бугарикты	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса	1 промышленное месторождение	Средн.

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
11	3	Северо-восточнее посёлка Светлый	БВКГПО, ядро Нечерского зонально-метаморфического пояса	1 промышленное месторождение	Мал.
12	2	Междуречье Маракана и Вачи	БВКГПО, Ангаро-Илигирская позднерифейская впадина	2 промышленных месторождения	Мал.
13	2	Междуречье Маракана и Вачи	БВКГПО, граница Ангаро-Илигирской позднерифейской впадины и Бодайбинской внутренней впадины	2 промышленных месторождения, рудопроявления	Мал.
14	2	Правобережье р. Энгажимо	БВКГПО, граница Бодайбинской внутренней впадины и Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса	2 промышленных месторождения,	Мал.
15	2	Правобережье р. Энгажимо	БВКГПО, Бодайбинская внутренняя впадина	-	Мал.
16	2	Между зонами под номерами 3 и 7	БВКГПО, на сочленении главного разлома и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	-	Мал.
17	2	Междуречье Дягдакара и Бугарикты	БВКГПО, Баргузино-Кропоткинский гранитоидно-плутогенный пояс	-	Мал.
18	2	Междуречье Дягдакара и Бугарикты	БВКГПО, граница Баргузино-Кропоткинского гранитоидно-плутогенного пояса и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	-	Средн.
19	2	Междуречье Жуи и Бугарикты	БВКГПО, ядро Нечерского зонально-метаморфического пояса	-	Средн.
20	2	Междуречье Бол. Дадыхты и Бол. Бугарикты, севернее р. Олонгда	БВКГПО, На сочленении нескольких главных разломов	-	Мал.
21	2	Юго-западнее посёлка Светлый	БВКГПО, ядро Нечерского зонально-метаморфического пояса	-	Мал.
22	2	Северо-восточнее посёлка Светлый	БВКГПО, на сочленении главного разлома и ядра Нечерского зонально-метаморфического пояса	-	Мал.

Примечание БВКГПО – Байкало-Виллюйская краевая геосинклинально-платформенная область

По результатам проведенного анализа сделан вывод, о том, что аэрокосмические методы позволяют достаточно достоверно определить участки, перспективные на поиски золота. В выделенных перспективных зонах располагаются все ныне существующие промышленные месторождения золота Бодайбинского района. Поэтому опережающее использование аэрокосмических методов в общем комплексе прогнозных и поисковых работ даёт возможность сократить как временные, так и материальные затраты.

Библиографический список

1. Аносов В. С., Зинков А. П. и др. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Бодайбинская, лист О-50-1. Объяснительная записка. М., 1973.

2. Вилор Н.В., Кажарская М.Г., Чупарина Е.В., Коткин В.В., Дейс С.Ю. Распределение концентраций золота в месторождениях Бодайбинского района // *Руды и металлы*. 2007. № 1. С. 34-41.
3. Волков А.В. Перспективы золотодобычи в Иркутской области // *Золото и технологии*. № 3(10). М., 2010.
4. Иванов А.И. Золотоносность Байкало-Патомской металлогенической провинции. Автореферат на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. М., 2010. 348 с.
5. Иванов А.И. Закономерности формирования золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района и новые аспекты их поисков // *Разведка и охрана недр* № 8-9, 2004.
6. Информационные ресурсы ВСЕГЕИ. www.vsegei.ru.
7. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
8. Копылов И.С. *Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
9. Копылов И.С. *Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
10. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
11. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
12. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов* // Автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
13. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах* // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
14. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 95-100.
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 77-84.
16. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России*. Пермь, 2015. 131 с.
17. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. *Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI)* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 145-158.
18. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. *Дистанционные методы геологического картирования*. М.: КДУ, 2009. 288 с.
19. Корчуганова Н.И., Костенко Н.П., Межеловский И.Н. *Неотектонические методы поисков полезных ископаемых*. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 212 с.
20. *Проект на проведение работ по геологическому изучению недр, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых (рудное золото) на участке «Ботоло» в 2017-2020 гг.* Иркутск: ЗАО «Сибирская геологическая компания», 2017. 108 с.
21. Скотников В.Н. *Геологическое доизучение масштаба 1:200 000 ранее заснятых площадей и подготовка к изданию комплектов Госгеолкарты-200 листов О-50-ХIII, О-50-ХIV Бодайбинской партии. Информационный отчет по незавершенным работам Бодайбинской партии за 1991-2002 гг. В 2 т.* Иркутск, 2002.
22. <http://bodaybo38.ru/> Официальный сайт администрации муниципального образования г. Бодайбо.

ИЗУЧЕНИЕ ВОРОНЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Проведено изучение территории Воронцовского рудника с применением аэрокосмических методов. Показана актуальность данных исследований и методика проведения работ. По результатам проведённых работ доказана эффективность данного метода при исследовании россыпных месторождений.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, россыпное золото, Воронцовское месторождение, Свердловская область.

D.A. Kuzin, V.A. Shestakova, A.D. Arion

Perm State University, Perm, Russia

STUDY OF THE GOLD-BEARING VORONTSOV DEPOSIT USING AEROSPACE METHODS

The study of the territory of the Vorontsov mine was carried out using aerospace methods. The relevance of these studies and the methodology of the work are shown. The effectiveness of this method in the investigation of alluvial deposits is proved.

Keywords: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, placer gold, Vorontsovskoe deposit, Sverdlovsk region.

Введение

В настоящее время роль дистанционных методов зондирования Земли (ДЗЗ) и аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) возрастает всё большими темпами. Методы ДЗЗ и АКГИ при геологическом картировании используются в комплексе с другими методами и дают хорошие результаты при довольно низких финансовых затратах. Эти методы актуальны и при повторном изучении известных горнорудных районов, так как они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубоко залегающие или перекрытые рыхлыми отложениями.

Целью данной работы является изучение геологического строения, геоморфологии и выявления закономерностей распределения золота на Воронцовском месторождении золота с применением АКГИ на зональном уровне (масштаб 1:100 000). Исходя из цели, были поставлены следующие задачи: провести геологический анализ данного района, подобрать цифровые космоснимки, сделать географическую привязку, провести компьютерное геологическое дешифрирование, провести комплексный аэрокосмический анализ и определить возможности поисков золота в районе.

Геологические условия

Рудник Воронцовский (59°39'5" с.ш., 60°12'56" в.д.) находится в Свердловской области (восточный склон северного Урала), примерно в 370 км к северу от областного центра Екатеринбурга, в 25 км к югу от города Красноуральска в Ауэрбаховском вулканоплутоническом поясе (рис. 1) [4].

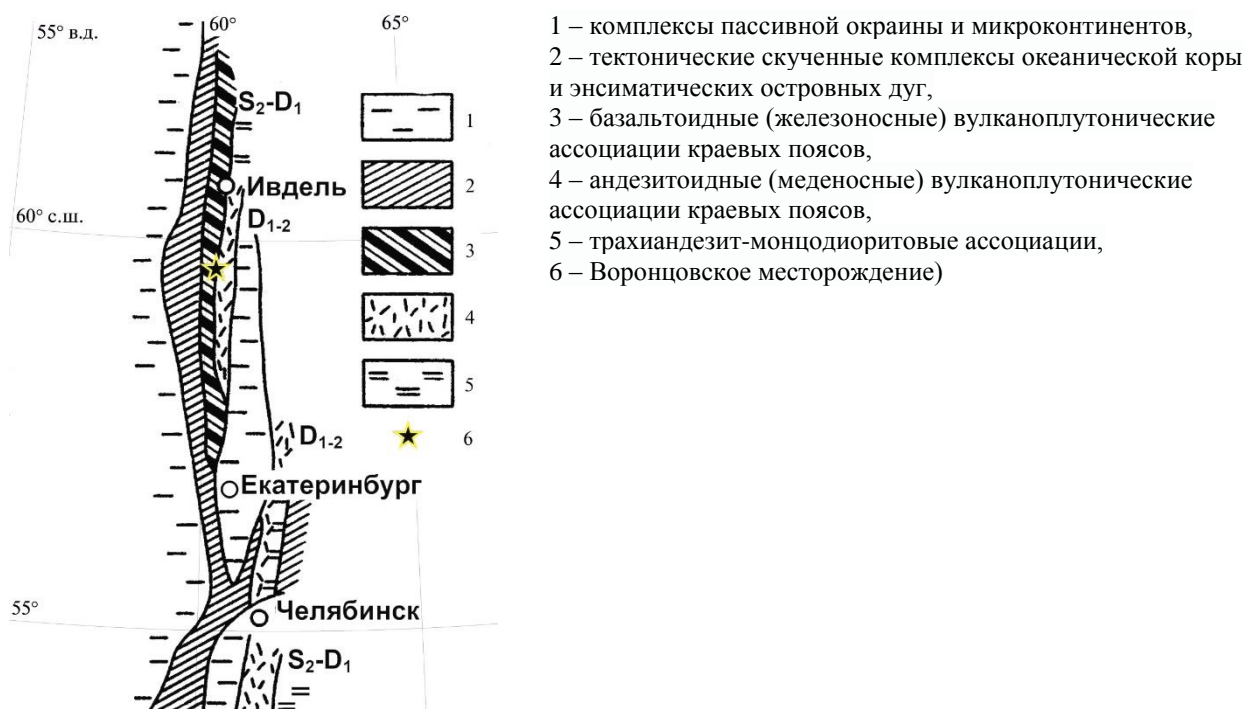


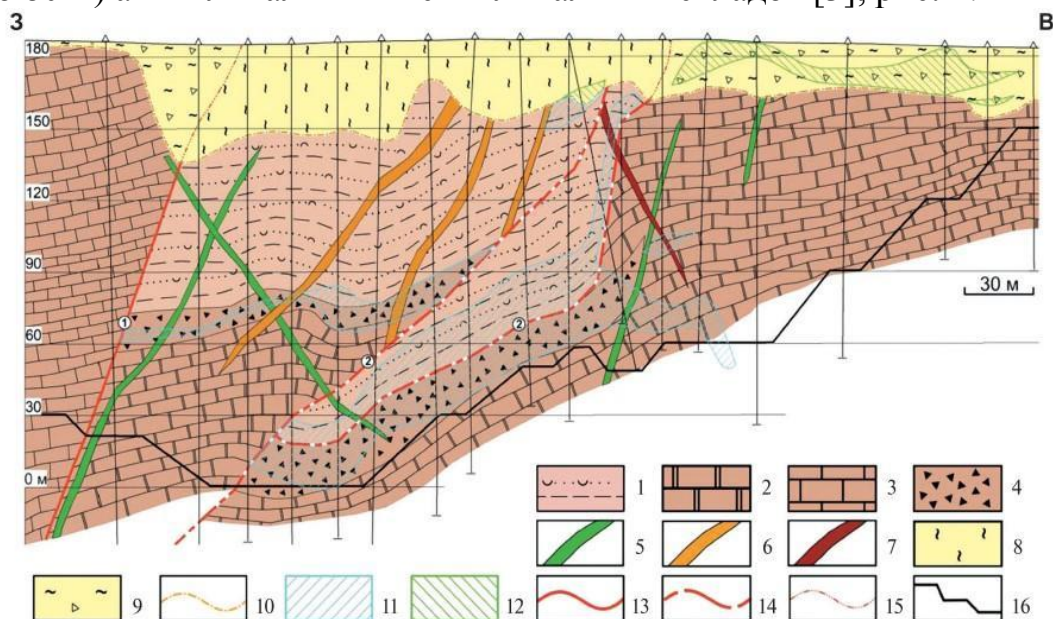
Рис. 1. Позиция Воронцовского месторождения на тектонической схеме средней части Урала [6]

Воронцовское месторождение, залегает среди порфиритов и туфов андезитового состава, туффитов и известняков раннедевонского возраста, местами скарнированных под воздействием Ауэрбаховского массива. Главное рудное тело линзовидной формы – минерализованные брекчии известняков, подвергнутые скарнированию, серицито-кварцевым, джаспероидным и другим изменениям и содержащие кварцевые жилы, и прожилково-вкрапленные зоны. Рудное тело расположено в висячем крыле надвига. Считается, что концентрация золота происходила в процессе джаспероидизации, по другим данным – в результате аргиллизации [19].

Изменения пород и их минерализация происходили в три этапа: 1) вулканогенного; 2) связанного с интрузиями диоритов; 3) сформированного под воздействием интрузий тоналитов.

Образовались следующие минеральные ассоциации руд: 1) ранняя арсенипирит-пиритовая, сопровождаемая пропилитизацией; 2) пирит-реальгаровая, с которой ассоциируются метасоматиты кварц-серицитовый формации; 3) сульфосольно-полиметаллическая (халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, буланжерит, джемсонит) в ассоциации с джаспероидами доломит-анкеритовой фации; 4) полиметаллическая (сфалерит, арсенипирит, пирит, пирротин, халькопирит, галенит, блеклые руды), связанная с джаспероидами кварцевой фации [2].

В региональном тектоническом плане месторождение ограничено на западе Воронцовским разломом (взбросом) меридионального простирания, падающим на запад под углом 70–80°. На юго-западе месторождение ограничивается Южно-Песчанским разломом северо-западного простирания. Разломы имеют додайковый и дорудный возраст, ограничивают, реже вмещают оруденение, а также имеют признаки подновления в послерудное время. В блоке, ограниченном этими разломами и контактом Ауэрбаховской интрузии, рудовмещающие породы слагают моноклираль с пологим падением на запад, осложненную крупной антиклиналью, ось которой имеет северо-западное простирание. Размах крыльев складки достигает 800–900 м, они осложнены серией мелких (размах до 80 м) антиклинальных и синклиналиных складок [3], рис. 2.



Геологический разрез Воронцовского золоторудного месторождения, по материалам Воронцовской геологоразведочной партии (Бобров В.Н. и др.) и с учетом (Черемисин, Злотник-Хоткевич, 1997).
 1–4 – краснотурьинская свита: 1 – вулканогенно-осадочная толща: туфопесчаники, туфоалевролиты с прослоями кремнистых алевролитов и известняков; 2–4 – карбонатная толща (2 – мраморы, 3 – известняки, 4 – известняковые брекчии); 5–7 – дайки диабазовых порфиритов (5), андезитовых и плагиоклазовых порфиритов (6), монцодиоритов (7); 8 – структурные коры выветривания; 9 – перемещенные коры выветривания; 10 – граница развития кор выветривания; 11 – первичные руды; 12 – окисленные руды; 13 – Воронцовский взброс; 14 – Воронцовский рудоконтролирующий надвиг; 15 – проекции разломов в коре выветривания; 16 – контур карьера.

Рис. 2. Геологический разрез Воронцовского месторождения [6]

Методика и результаты исследований

Методологией исследований и картирования зон тектонической трещиноватости является региональный структурно-геодинамический анализ, а также – системный морфонеотектонический и линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы методика которых представлена в работах И.С. Копылова и др. [7-17]. В качестве основного метода дешифрирования Воронцовского месторождения с прилегающими к нему территориями применялось структурное дешифрирование масштаба 1:100 000.

Как известно, месторождения рудного золота, часто, приурочены к объектам, локализованным в областях тектонических нарушений и гидротермальных изменений. На аэрокосмических снимках такие области хорошо дешифрируются в виде линеаментов, а также реже в виде кольцевых и вихревых структур. Линеаменты – это линейные элементы рельефа, имеющие прямую или кос-

венную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре. Индикаторами линеаментов служат линейно вытянутые водоразделы, спрямленные участки русел рек, границ ландшафтных структур и т. д. [18]. Кольцевые и вихревые структуры также указывают на наличие зоны высокой проницаемости. Кольцевые отражают в основном поднятия или опускания элементов земной коры, а вихревые – формируются за счёт вращательных сил [1].

Основными критериями неотектонической активности участков россыпей золота являются повышенная плотность линеаментов и эрозионная (горизонтальная и вертикальная) расчлененность рельефа [10-13].

Некоторые геологические критерии, определяемые на основе АКГИ для прогноза перспективных золотоносных участков:

- 1) линеаментные и кольцевые (вихревые) структуры, указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;
- 2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы, чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в том числе золота;
- 3) кольцевые (вихревые) структуры могут указывать на возможность существования рудоконцентрирующей или рудоконтролирующей зоны;
- 4) высока вероятность нахождения такой зоны, если кольцевая (вихревая) структура осложнена множеством линеаментов [8, 17].

Результаты исследований

В процессе работы авторами выполнено создание базы данных, состоящей из цифровых топографических карт масштаба 1:2500000-1:200000 (ВСЕ-ГЕИ) [5], геологических материалов, а также современных космоснимков из ресурсов Google Earth (рис. 3).



Рис. 3. Космоснимок Landsat исследуемой территории Воронцовского месторождения (масштаб 1:100 000)

Пространственная привязка осуществлялась в программе ArcMap с использованием существующей цифровой гидросети.

Структурно-тектоническое дешифрирование включало в себя визуальное выделение линеаментов и кольцевых структур разных рангов (рис. 4, табл. 1).

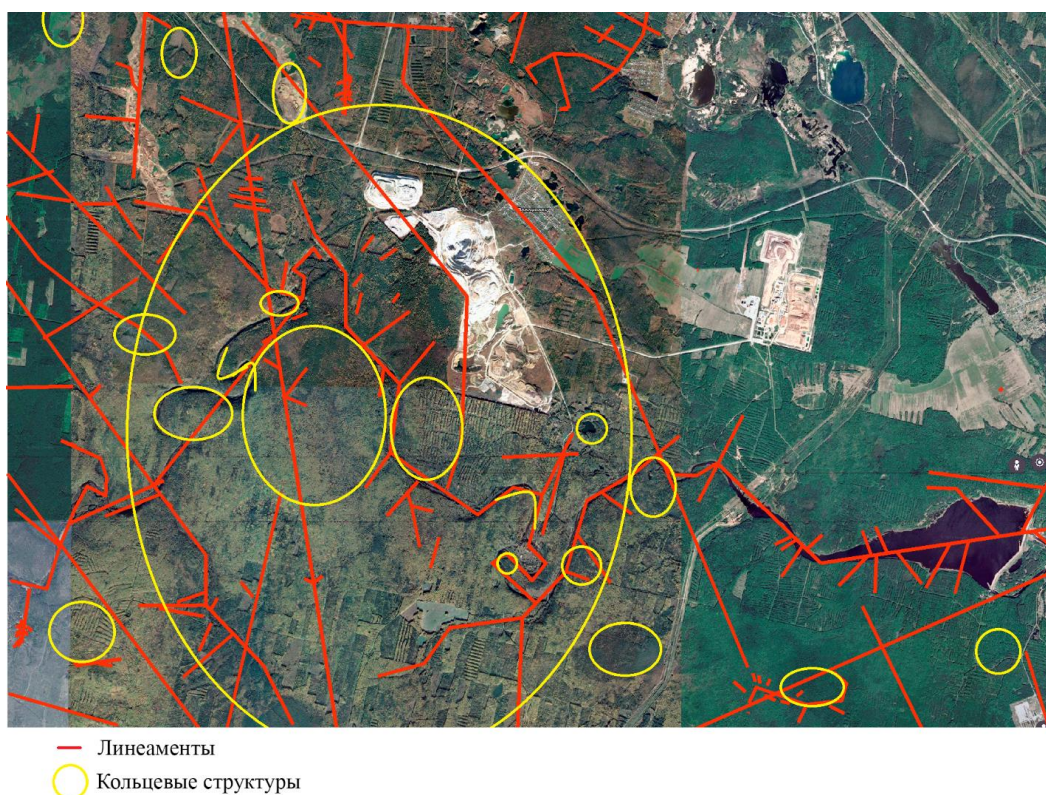


Рис. 4. Космоснимок с выделенными линеаментами и кольцевыми структурами

Таблица 1

Результаты дешифрирования космоснимков

Ранги линеаментов	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов	Кольцевые и дугообразные структуры
Региональные	100-200	2	-
Зональные	15-100	4	15x20
Локальные	5-15	74	5x8 – 10x15
Короткие	1,5-5	80	1x2 – 1,5x2
Итого		160	20

Обработка данных, построение карт проводились с использованием программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst (для расчета плотности линеаментов) (рис. 5).

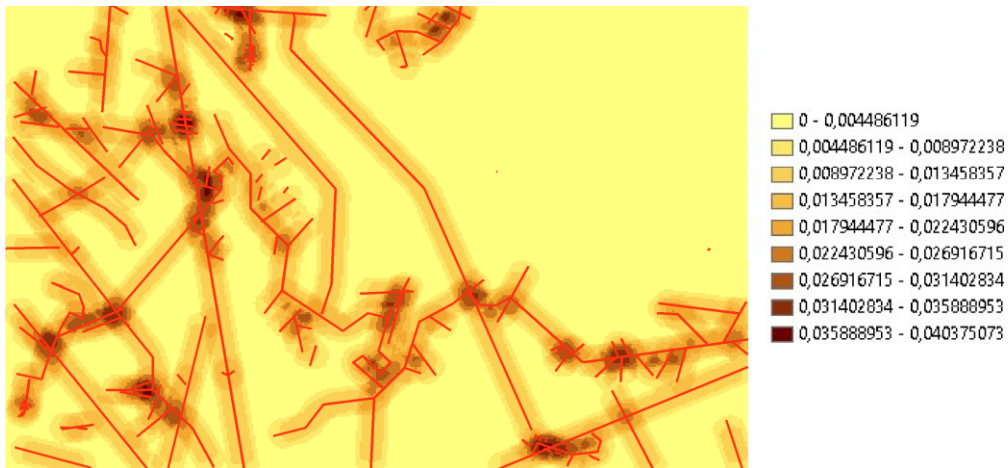


Рис. 5. Поле плотности линеаментов (масштаб 1: 100 000)

Сопряженный анализ результатов дешифрирования (линеаментов, кольцевых и дуговых структур) с геологической основой и показывает, что наибольшая концентрация проявлений золота наблюдается в местах наибольших пересечений линеаментов. (рис. 6).

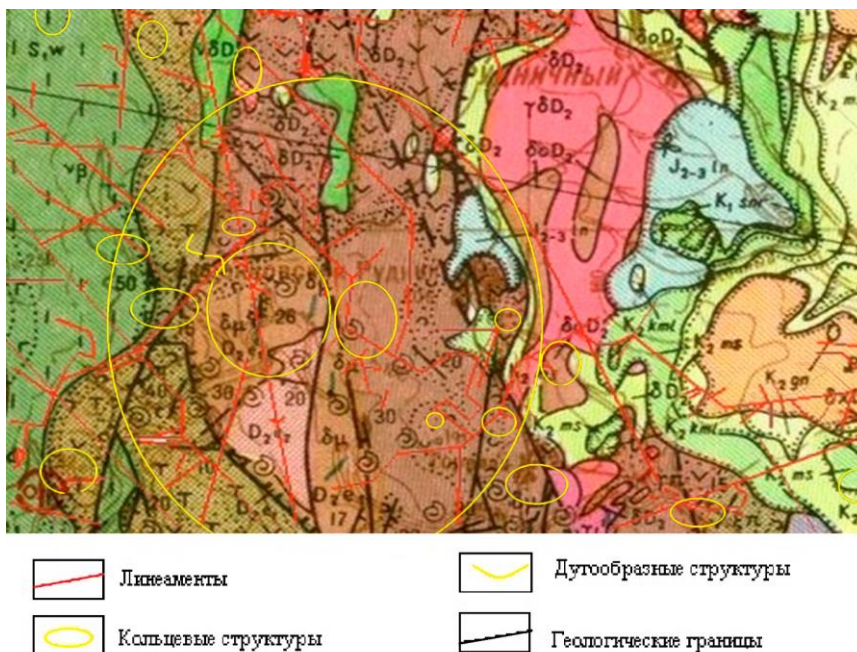


Рис. 6. Результаты дешифрирования на геологической основе (масштаб 1: 100 000)

Заключение

В результате проведенного аэрокосмогеологического анализа по дешифрированию космических снимков района Воронцовского месторождения можно сделать вывод о возможности вести перспективные поиски золота с применением АКГИ. По материалам дешифрирования среднемасштабных космоснимков установлено, что наибольшая концентрация проявлений золота наблюдается в местах наибольших пересечений линеаментов локального ранга. В некоторых выделенных перспективных зонах располагаются все ныне существующие промышленные участки Воронцовского месторождения золота. Проведение детальных АКГИ позволит наметить новые участки поисков золота. Исходя из

этого, опережающее использование аэрокосмических методов в общем комплексе прогнозных и поисковых работ даёт возможность сократить как временные, так и материальные затраты.

Библиографический список

1. Брюханов В.Н., Буш В.А. Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.
2. Воронцовское (Au) месторождение, Урал Северный, Россия // webmineral.ru
3. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис // [Book-all-2-2.pdf](#)
4. Воронцовское месторождение золота. Золотые месторождения России // https://goldomania.ru/gold_deposits/russia/vorontsovskoe.html
5. Информационные ресурсы ВСЕГЕИ. www.vsegei.ru
6. Ковальчук Е.В., Тагиров Б.Р., Викентьев И.В. и др. «Невидимое» золото в синтетических и природных кристаллах арсенопирита (Воронцовское месторождение, Северный Урал) // Геология рудных месторождений. Т.61. №5. 2019. С.62-83. eco-vector.com
7. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
8. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С.148-158.
9. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
10. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
11. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
12. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов // Автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
13. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
14. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
16. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
17. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
18. Корчуганова Н.И., Костенко Н.П., Межеловский И.Н. Неотектонические методы поисков полезных ископаемых. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 212 с.
19. Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. 1997. № 1. С. 59–70.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЕН-ЯХИНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТРОЖДЕНИЯ (ЯНАО)

Проведен аэрокосмогеологический анализ территории нефтегазоконденсатного Ен-Яхинского месторождения. Дешифрированием космических снимков выделено 87 тектонических линеаментов различных рангов и 16 кольцевых и дуговых структур предполагаемых тектонических поднятий. На основе линеаментного-геодинамического анализа выделены геодинамические активные зоны.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, дешифрирование, линеаменты, геодинамические активные зоны, Ен-Яхинское нефтегазоконденсатное месторождение.

V.N. Sizova, S.V. Eltsov, B.N. Bakytzhanova

¹ Perm State University, Perm, Russia

² OJSC «KAZAKHSTANKIPISHOLF», Atyrau, Republic of Kazakhstan

REGIONAL AEROSMOGEOLOGICAL ANALYSIS OF EN-YAKHINSKOE OIL-GAS-CONDENSATE FIELD (YANAO)

The aerospace-geological analysis of the territory of the oil and gas condensate En-Yakhinskoye field was carried out. Interpretation of space images identified 87 tectonic lineaments of various ranks and 16 ring and arc structures of alleged tectonic uplifts. On the basis of lineament-geodynamic analysis, geodynamic active zones were identified.

Key words: aerospace geological research, interpretation, lineaments, geodynamic active zones, En-Yakhinskoye oil and gas condensate field.

Введение

Применение аэрокосмических методов (АКМ) в Западной Сибири в настоящее время очень актуально, т.к. они могут значительно облегчить поиск и разведку месторождений нефти и газа. Региональные линеаменты способны отразить глубинные тектонические разломы, по которым идет миграция углеводородов в ловушки, а по ландшафтным аномалиям можно закартировать ловушки углеводородов на поверхности [4, 16, 17].

Цель работы: проведение аэрокосмогеологического анализа на территории Ен-Яхинского месторождения (листы Q-43-XI, XII) для уточнения геологического строения и поиска нефтегазоперспективных структур.

Для достижения цели, были поставлены следующие задачи:

– провести геологический анализ и анализ природно-геологических условий района;

- провести дешифрование космических снимков; выделить основные тектонические линеаменты; закартировать кольцевые структуры, отражающие погребенные тектонические поднятия (возможные ловушки углеводородов);
- выделить перспективные на нефть и газ объекты.

Природные и геологические условия

В административном отношении территория Ен-Яхинского месторождения входит в состав Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) Тюменской области. Непосредственно на площади исследований населенных пунктов нет. Ближайшими населенными пунктами являются поселки Самбург, Тазовский, Тарко-Сале и г. Новый Уренгой (рис. 1).

В орографическом отношении Ен-Яхинское месторождение находится в северной части Западно-Сибирской низменности. Оно располагается на водоразделе рек Хадуттэ и Таб-Яха, также на территории месторождения изобилие других болот, озер и рек, таких как Нижняя и Верхняя Мьялгохадуттэ, Нерояха, Мораяха и др. (рис. 2).

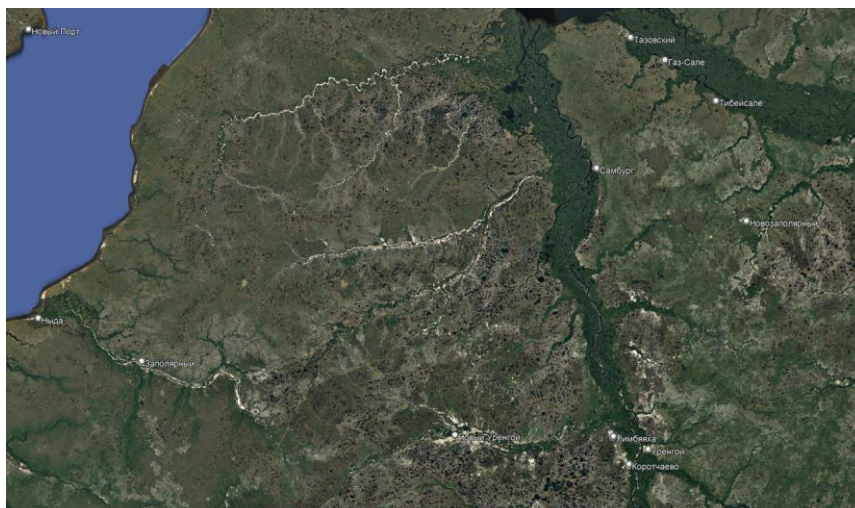


Рис. 1. Обзорный космоснимок района (Landsat-8, 2020)

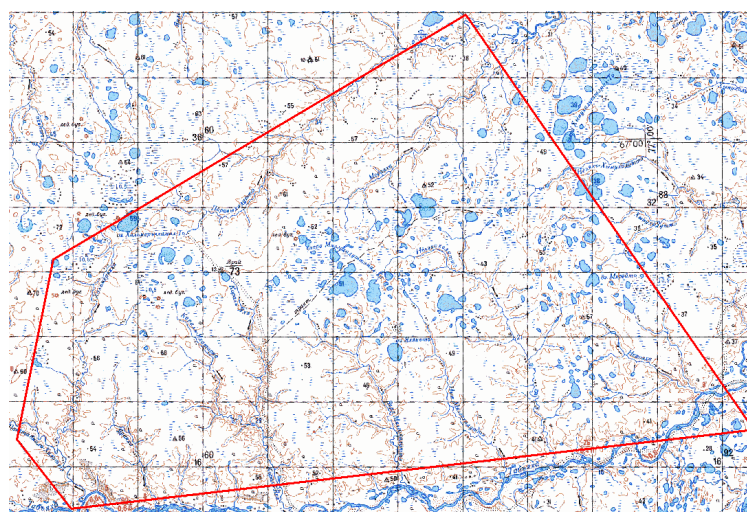


Рис. 2. Топографическая карта Ен-Яхинского месторождения (листы Q-43-ХІ, ХІІ)

Ен-Яхинское месторождение находится на территории одноименного поднятия, которое представляет собой плоскую изометрическую структуру, близкую к квадратной форме. Крыльевые ее погружения отличаются изрезанностью границ, нередко причудливых очертаний. Максимальная амплитуда поднятия достигает 80м [1]. На территории имеются несколько глубинных разломов (рис. 3).



Рис. 3. Тектоническая карта Ен-Яхинского месторождения. Масштаб 1:1 000 000

В геологическом отношении территория месторождения сложена породами люлинворского горизонта восточной части, породами юрковской свиты в центральной части по поймам рек Таб-Яха, Хадуттэ и Паравыхадуттэ, а также породами неогеновой системы в центральной и западной частях (рис. 4)

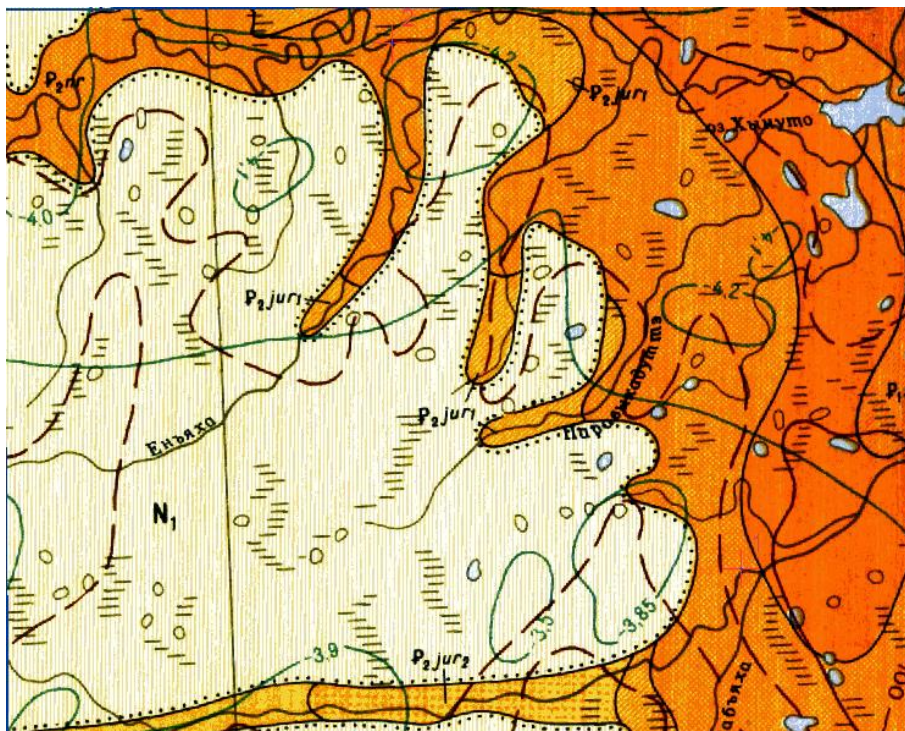


Рис. 4. Геологическая карта Ен-Яхинского месторождения. Масштаб 1:500000 [2]

Нефтегазоносность Ен-Яхинского месторождения связана с мезозойскими осадочными толщами, слагающими чехол равнины. По информации СОБР Роснедра в федеральном реестре скважин Ен-Яхинского месторождения зарегистрировано 85 скважин (из них в 39 скважинах проводятся геологические мероприятия по поиску и добычи нефти, 34 находятся в консервации с целью повторного ввода в эксплуатацию и 12 скважин были ликвидированы, как потенциально опасные). Так же на территории находится одна из самых глубоких скважин в мире – Ен-Яхинская СГ-7 (8 250 м) [2, 3, 18].

Методика исследований

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) проводились в соответствии с методиками, изложенными в работах И.С. Копылова и др. [4-17] и осуществлялись в нескольких этапах.

На первом этапе исследований были получены топоосновы и космические снимки разных уровней и масштабов (рис. 5), затем осуществлялась пространственная привязка топографической основы по координатам и космоснимка по гидросети в программе ArcMap с помощью инструмента «Пространственная привязка» (рис. 6).



Рис. 5. Космоснимок Ен-Яхинского месторождения, масштаб 1:500 000 (Landsat-8, 2020)

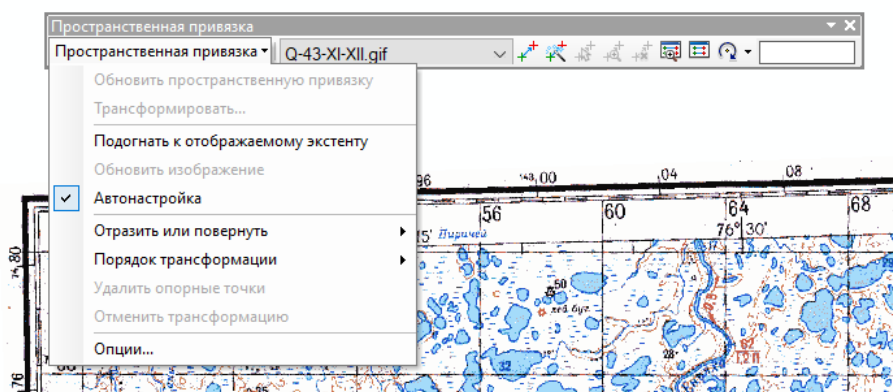


Рис. 6. Пространственная привязка топографической основы (рабочее окно программы Arc Map)

При нефтегазопоисковых работах основным видом работ в комплексе аэрокосмогеологических исследований является структурное дешифрирование. Под структурным дешифрированием понимается выделение на материалах аэрокосмических съемок с помощью геоиндикационных признаков (геоморфологических, ландшафтных, гидрогеологических и др.) элементов структурно-тектонического строения и неотектонических особенностей изучаемой территории. При структурном дешифрировании на снимках выделяются линейные и кольцевые структуры. Далее проводился линейно-геодинамический, ландшафтно-геодинамический, морфонеотектонический анализы [9-15, 19].

Результаты

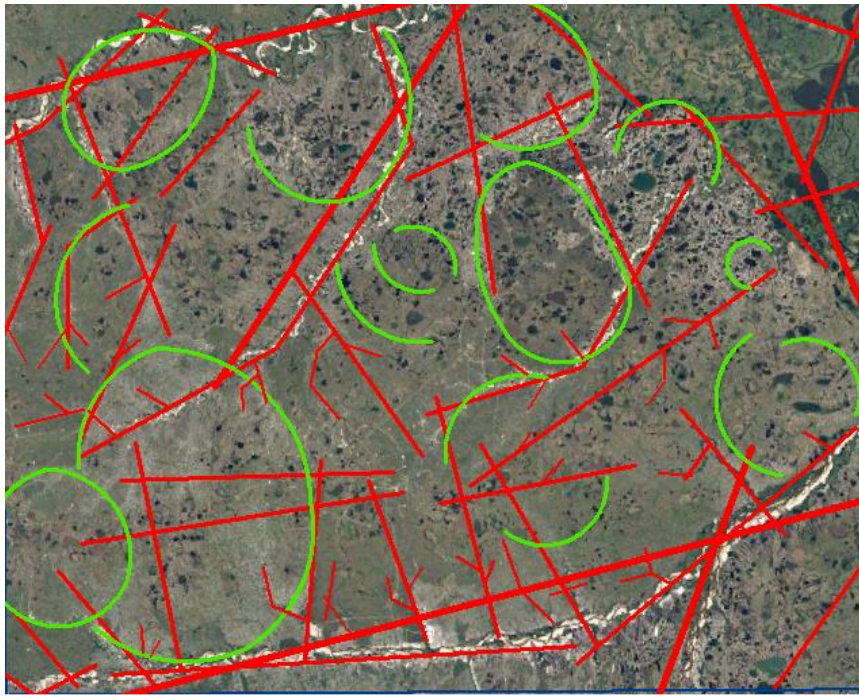
Согласно методике дешифрирования [6, 7, 9], первоначально проводилось выделение региональных линейных элементов масштаба 1:500 000, которые пересекают всю площадь месторождения; далее в масштабе 1:200 000 выделялись зональные и локальные, а также кольцевые структуры (рис. 7).

Результаты дешифрирования были отсортированы с помощью инструмента «Выборка» (табл. 1).

Таблица 1

Результаты дешифрирования космоснимков Ен-Яхинского месторождения

Ранги линейных элементов	Протяженность линейных элементов, км	Количество линейных элементов	Кольцевые структуры, км
Региональные	50-100	5	15x20-30x50
Зональные и локальные	10-50	39	5x8-15x20
Локальные и короткие	2-10	43	-
Итого		87	16



Масштаб 1:500 000
Условные обозначения

а) — б) — в) — г) —

Рис. 7. Космоснимок с выделенными линеаментами (а – региональными, б – зональными, в – локальными) и кольцевыми структурами (г)

Для количественного анализа было выполнено построение поля плотности линеаментов. По нему выделены максимумы плотности линеаментов – зоны повышенной трещиноватости и геодинамической активности (один из критериев перспективности на поиски месторождений нефти и газа). Расчет плотности линеаментов проводился с помощью программного обеспечения ArcGIS инструмента ArcToolbox модуля Spatial Analyst – расчет плотности линий (рис. 8).

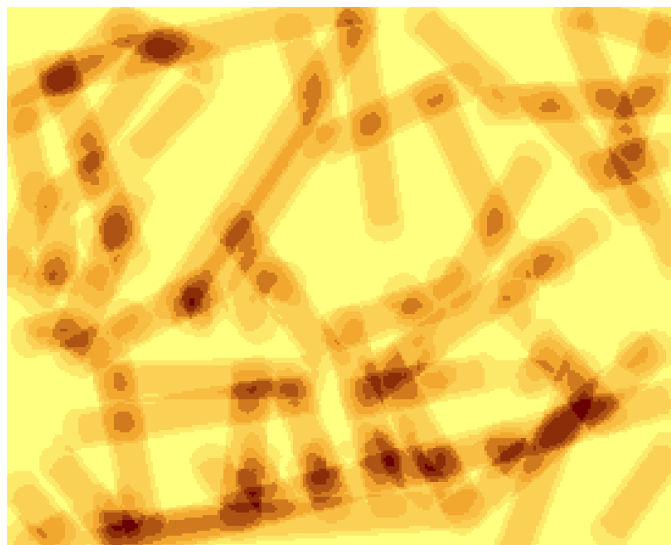


Рис. 8. Поле плотности линеаментов регионального уровня. Масштаб 1:500 000 (желтый цвет – стабильные зоны, коричневый цвет – геоактивные зоны)

Выделено 3 участка повышенной трещиноватости и геодинамической активности. На данных участках отмечаются крупные узлы пересечения меридиональных и широтных сквозных тектонических систем, которые контролируются кольцевыми структурами (рис. 9). Эти участки могут считаться наиболее перспективными для миграции и концентрации углеводородов.

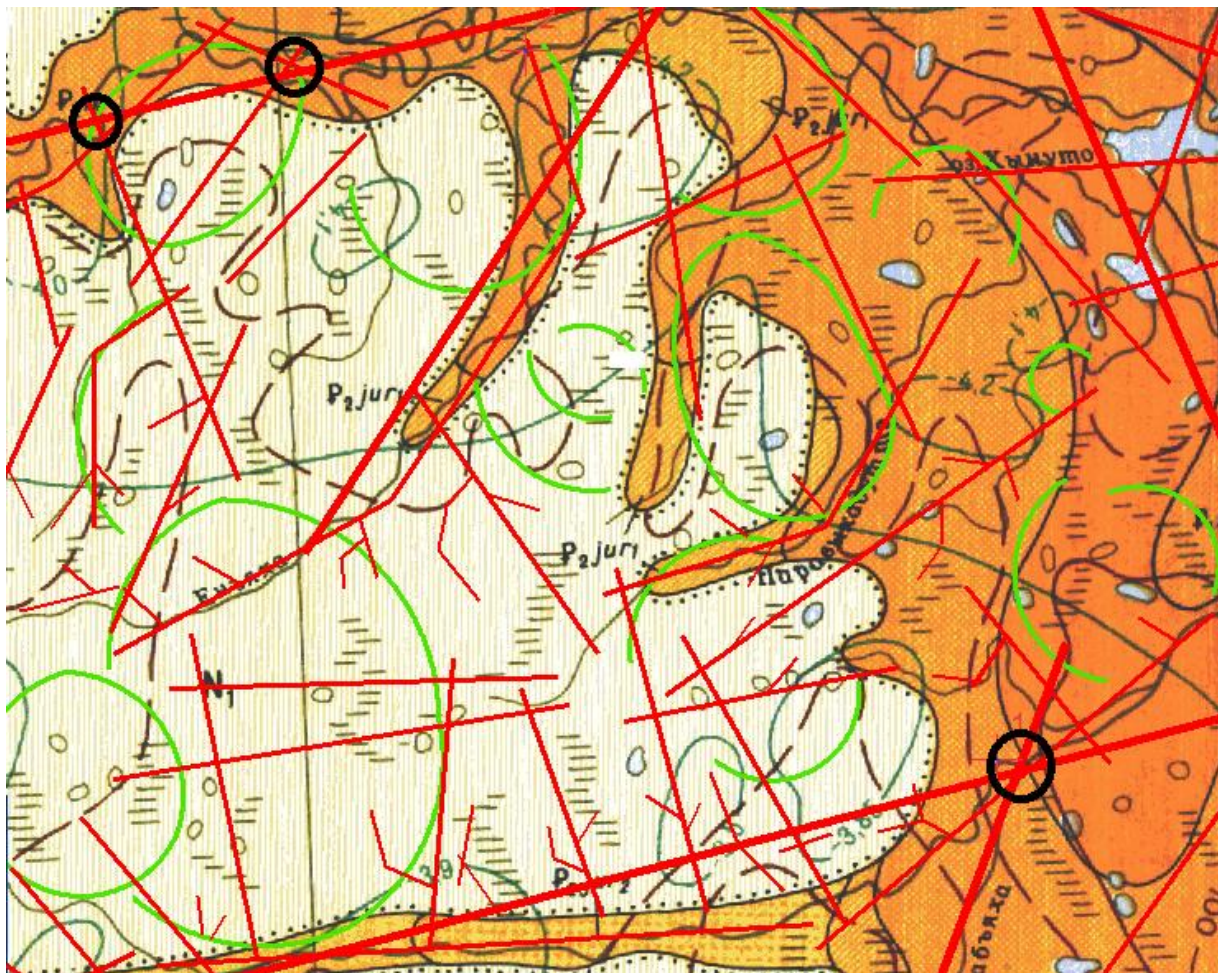


Рис. 9. Сопоставление карты геологического строения и схемы линеаментов

Заключение

После проведенного анализа на основе дешифрования КС, можно сделать вывод о перспективности на поиски углеводородов на всей изученной территории с локализацией на отдельных участках. В трёх наиболее крупных узлах, выделенных при построении поля плотности линеаментов, находятся ныне действующие скважины, давшие притоки нефти, газа и конденсата. Применение аэрокосмических методов может значительно облегчить поиск и разведку месторождений нефти и газа, особенно на начальном нефтегазопроисковом этапе.

Библиографический список

1. Анализ работы абсорбционной установки осушки газа Уренгойского газоконденсатного месторождения [https:// knowledge.allbest.ru/geology/ 3c0b65635b2bd79b5d53b88521216c37_0.html#text](https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0b65635b2bd79b5d53b88521216c37_0.html#text)

2. Геологическая карта ЯНАО. https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/yamalonenetsky_a0/F_07_geol_karta.jpg.
3. Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых / <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=39778>.
4. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
5. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
6. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
7. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
8. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
9. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические нефтегазопоисковые исследования на Ново-Губахинском лицензионном участке // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 224-252.
10. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
11. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
12. Методологический подход к проведению линеаментно-геодинамического и морфонеотектонического анализов в центральной части Красноярского края для оценки геодинамической активности и поисков нефтегазоперспективных структур // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 56-67.
13. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазоносности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.
14. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95.
15. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
16. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.
17. Копылов И.С., Козлов С.В. О перспективах развития аэрокосмогеологических методов в геологии и неотектонический прогноз нефтегазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2013. № 13. С. 68-73.
18. СОБР Роснедра / <https://gis-sobr.geosys.ru/>
19. Kopylov I.S., Bakytzhanova B.N., Dal L.I., Seytekov T.T. Prospects for application of aerospace methods for oil and gas search in western Kazakhstan // В сборнике: Aerospace methods in geology. 2019. С. 48-54.

М.В. Шаньшеров, О.А. Чащин, Д.В. Паршаков

Пермский государственный научный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ
(ТАСЕЕВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЗОЛОТА, ЛИСТ М-50-III)**

Проведено дистанционное изучение тополиста М-50-III Госгеолкарты-200 с применением аэрокосмических методов. На основе структурного дешифрования космических снимков выделено 1824 линейных и 73 кольцевых структур. Выделены геодинамические активные зоны и перспективные участки для поисков месторождений золота.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, золото, Тасеевское месторождение.

M.V. Shansherov, O.A. Chashin, D.V. Parshakov

Perm State University, Perm, Russia

**APPLICATION OF AEROSPACE INVESTIGATIONS IN THE SEARCH
FOR GOLD IN THE TRANS-BAIKAL TERRITORY
(TASEEVSKOYE GOLD DEPOSIT, SHEET M-50-III)**

A remote study of the M-50-III toposheet was carried out using aerospace methods. Based on the structural decoding of space images, 1824 linear and 73 ring structures were identified. Geodynamic active zones and promising areas for prospecting for gold deposits have been identified.

Key words: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, gold, Taseevskoe deposit.

Введение

Аэрокосмические методы приобрели в настоящее время большое значение в решении многих геологических задач, т.ч. при геологическом картировании и поисках месторождений золота. Актуальны эти методы и при повторном изучении известных горнорудных районов, так как они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубокозалегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. При поисках рудного золота одним из основных объектов дешифрирования являются линеаменты, линеаментные зоны и кольцевые структуры [1, 2, 4, 6, 11, 13].

Цель работы: аэрокосмогеологический анализ района тополиста М-50-III, где располагается крупное Тасеевское месторождение золота и выделение активных геодинамических зон, структурных элементов земной коры, контролирующих перспективные участки на поиски месторождений золота в районе.

Физико-географические условия

Территория исследований – район тополиста М-50-III (в районе Тасеевского месторождения золота)

Тасеевское месторождение золота находится в районе города Балей Забайкальского края Российской Федерации, на правом берегу р. Унда у подножья Борщовочного хребта (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная карта исследуемой территории

Рельеф местности среднегорный таежный и лесостепной. Абсолютные отметки рельефа от 590 м (Арбагаро-Холбонская впадина) до 1323 м (г. Петровка). Главные реки района – Шилка, Онон и Унда.

Климат района характеризуется продолжительной суровой зимой, коротким жарким летом, большой амплитудой колебаний суточных температур (до 30-40°C), высоким коэффициентом солнечной радиации (100-110 ккал/см² в год), малым и средним годовым количеством осадков (от 300 до 500-600 мм), основная часть которых выпадает в летнее время. Среднегодовая температура составляет 2-3°C, в связи с чем распространена островная и переходящая к сплошной многолетней мерзлоте.

Геологические условия

В стратиграфическом разрезе района участвуют морские отложения среднего-верхнего девона, нижнего карбона и нижней юры, континентальные осадочные и вулканогенные образования средней и верхней юры и нижнего мела, а также позднеплиоценовые и четвертичные отложения. Описываемая территория охватывает смежные части геоструктурных зон Монголо-Охотского подвижного пояса и Становой области. Проявления золота приурочены к Борщовочному хребту и имеют высокую плотность рудной минерализации (рис. 2) [17].

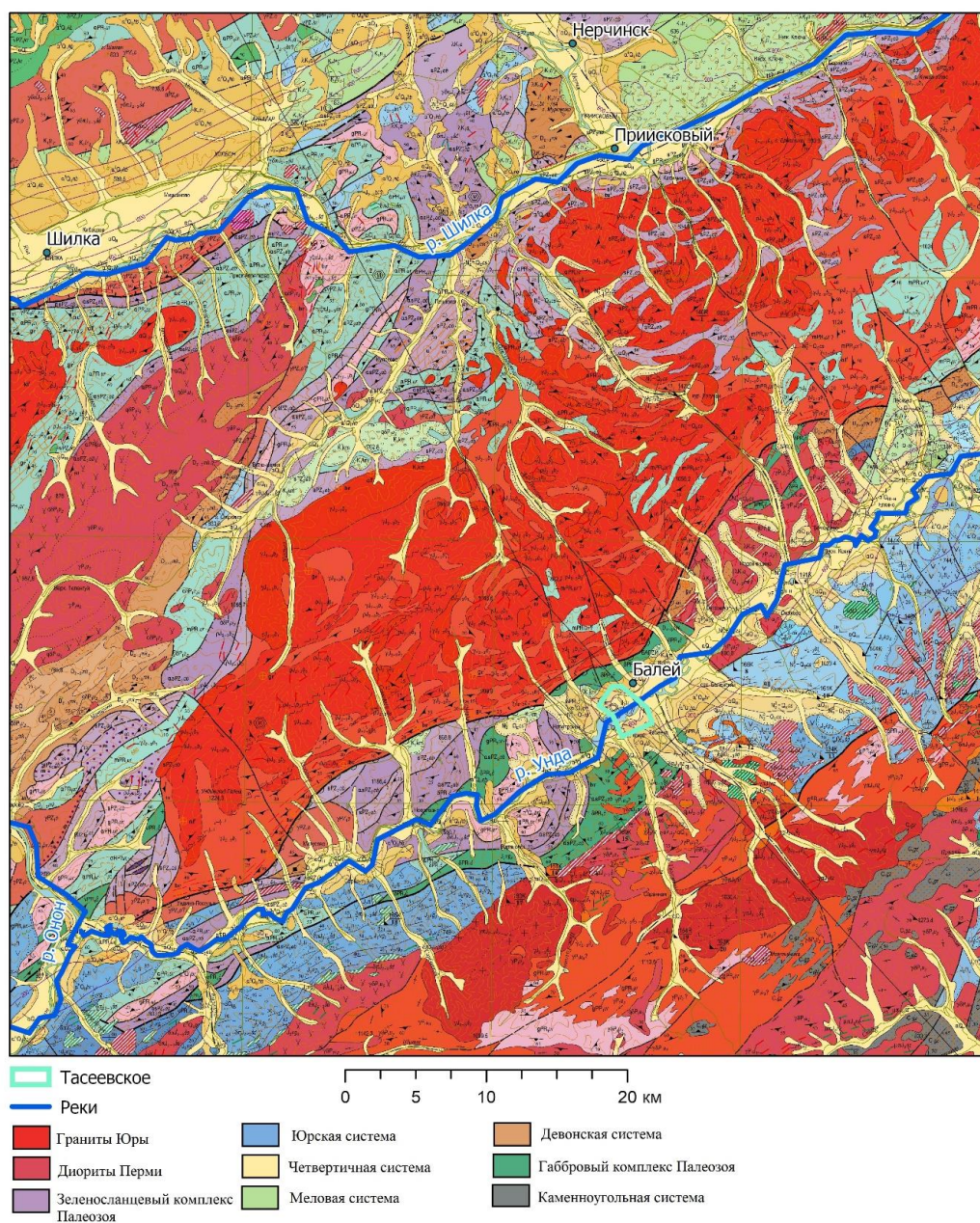


Рис. 2. Геологическая карта исследуемой территории [15]

Тасеевское месторождение – коренное, относится к геолого-пром. типу эпитермальных месторождений золото-серебряных и золото-теллуридных руд,

пространственно связанных с вулcano-тектонич. постройками. Локализовано в осадочных и магматич. породах БалеЙского грабена. Состоит из БалеЙского и Тасеевского (открыт в 1947 г.) участков. Рудные тела представлены золото-кварцевыми жилами. По запасам относится к крупным. Забалансовые и балансовые запасы месторождения составляли более 143 тонн золота (на 2019 г.). За период с 1948 по 1995 год на Тасеевском руднике было добыто более 16 млн. тонн руды и извлечено почти 200 тонн золота. Эксплуатация Тасеевского месторождения была прекращена в связи с резким снижением содержания золота в руде. После остановки производства водоотлив в шахтах был прекращен, и они были затоплены. В настоящее время ведутся работы по восстановлению рудника. По последним данным, компания «HGML» рассчитывает добывать на Тасеевском месторождении около 4 тонн золота в год [3, 18].

Методика исследований

При аэрокосмогеологических исследованиях применялся комплекс традиционных и специализированных исследований [4-16].

Основным методом являлось структурное дешифрование космоснимков (количественный анализ) с выделением линеаментов (линейных структур) и кольцевых структур на поверхности Земли. Был изучен рельеф участка, и структуры выделялись на элементах, расчленяющих рельеф, долинах и руслах рек, различных подъёмах и опусканиях рельефа и на участках временных водотоков. Эти элементы имеют прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре [2, 7].

Проведен линеаментно-геодинамический (качественный) анализ на основе космоснимков с выделенными структурами. По результатам его составлялась карта плотности линеаментов, на которой выделялись геодинамические активные зоны [7, 8].

Геодинамические активные зоны и особенно – пересечение их с кольцевыми структурами позволяет выделить перспективные участки для поисков месторождений золота [13].

Для прогнозирования перспективных золотоносных участков на изучаемой территории можно выделить следующие закономерности:

- 1) линеаментные и кольцевые (вихревые) структуры указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;
- 2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы, чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. золота;
- 3) кольцевые (вихревые) структуры также указывают на возможность существования рудоконцентрирующей или рудоконтролирующей зоны;
- 4) особенно высока вероятность нахождения такой зоны, если кольцевая (вихревая) структура осложнена множеством линеаментов;

5) на данной территории месторождения золота приурочены к руслу реки, проходящей по тектонической структуре регионального масштаба.

Результаты исследований

Аэрокосмогеологическое исследование проводилось по космоснимкам Landsat-8 (рис. 3) и цифровой модели рельефа (рис. 4). Эти материалы были загружены при помощи программы SAS.Планета, которая позволяет загружать карты с установленной географической привязкой. Структурный (количественный) и линеаментно-геодинамический (качественный) анализы проводились при помощи программного обеспечения ArcMap и встроенного модуля геообработки Spatial Analyst. Дешифрование проводилось в нескольких стадиях от региональной до детальной. Всего было выделено 1824 линейных и 73 кольцевых структур (рис. 5).

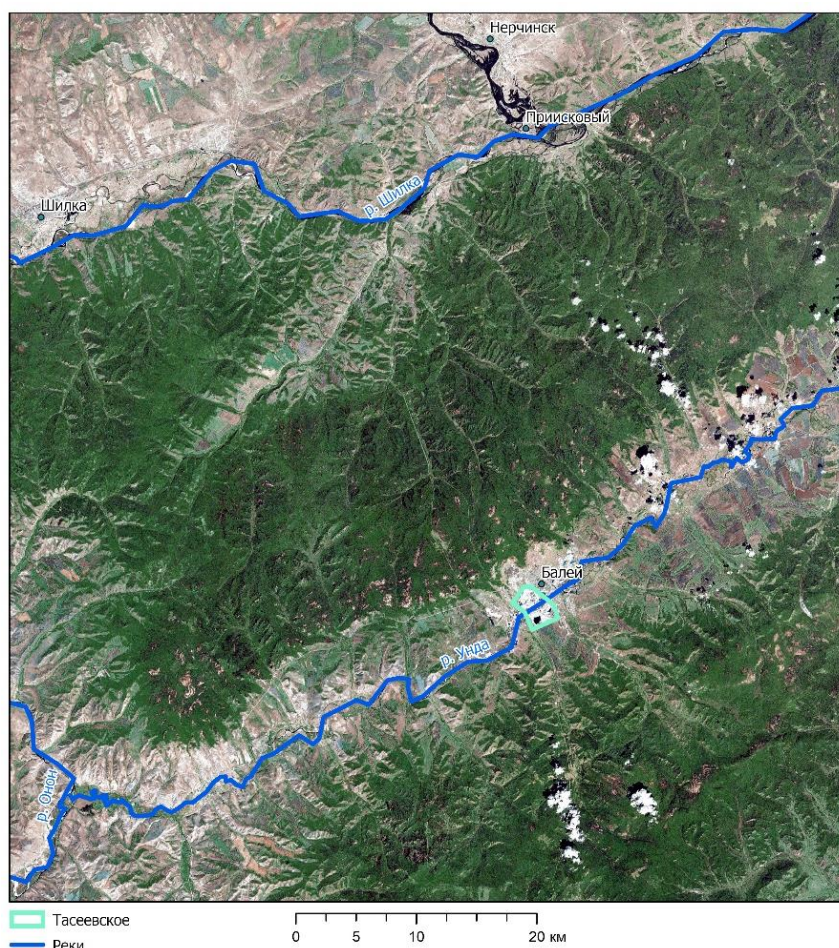


Рис. 3. Спутниковый снимок (Landsat-8) района исследований

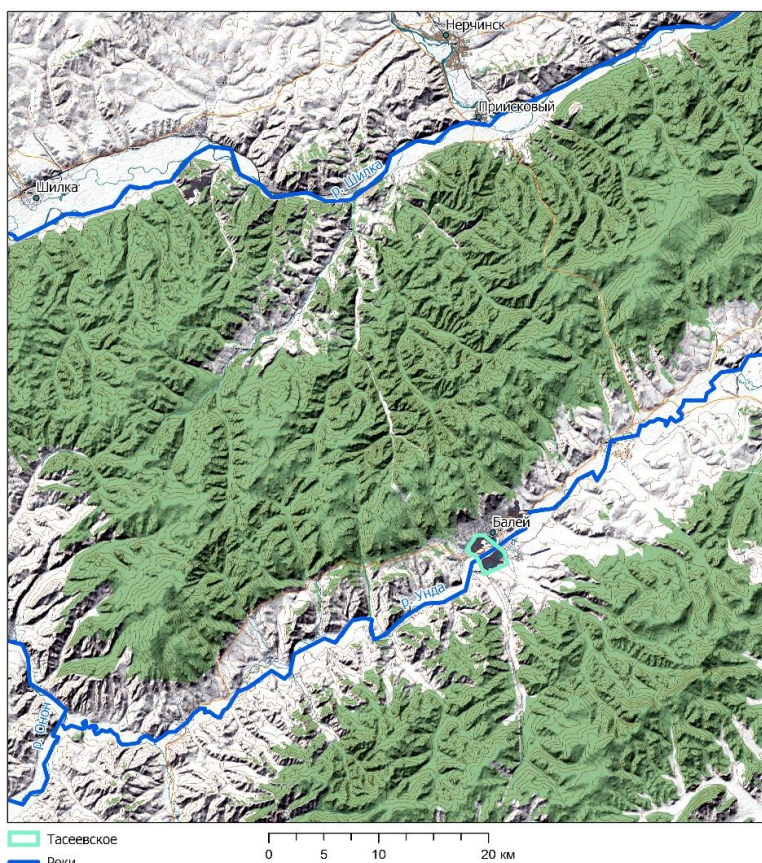


Рис. 4. Цифровая модель рельефа

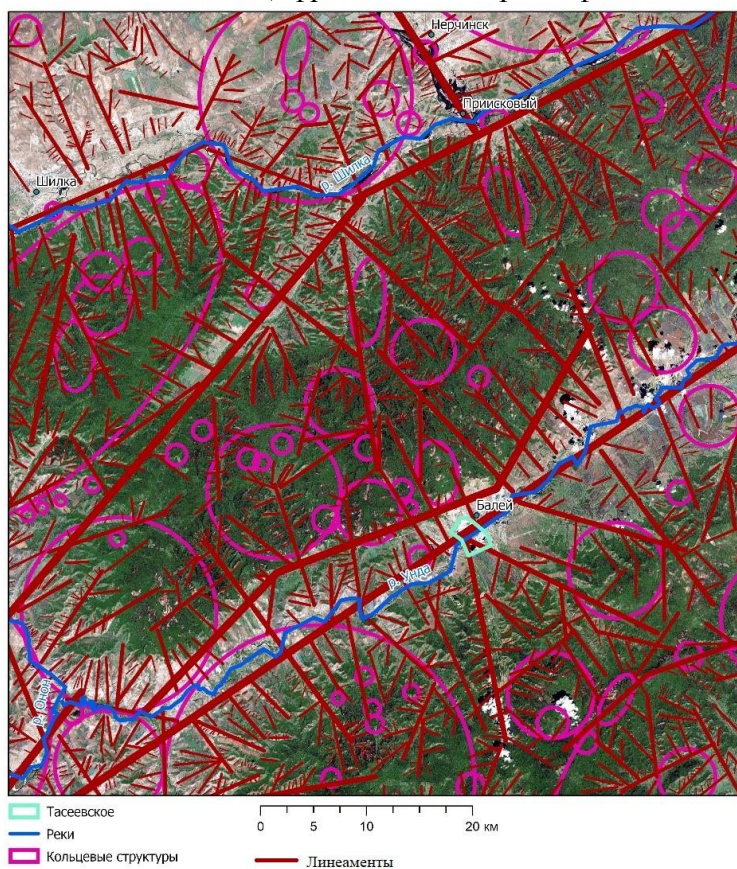


Рис. 5. Карта результатов дешифрирования

При дешифрировании было выделено всего 1897 структур, распределение по масштабам работ и размерам объектов [9] показано в таблице 1

Результаты дешифрирования космоснимков

Стадия работ	Масштаб дешифрирования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов	Кольцевые структуры, км ²	Количество кольцевых структур
Обзорная	1:1000000	50-155	6	1500-2010	1
Региональная	1:500000	15-50	16	300-1500	5
Зонально-региональная	1:200000	5-15	109	40-300	6
Зональная	1:100000	1,5-5	568	3-40	37
Детальная	1:50000	0,15-1,5	1125	0,75-3	24
Итого			1824		73

При выполнении линеаментно-геодинамического анализа была составлена карта плотности линеаментов. Геодинамическая активность выражена градиентом от зелёного к красному цвету, строилась по плотности линеаментов на карте (рис. 6).

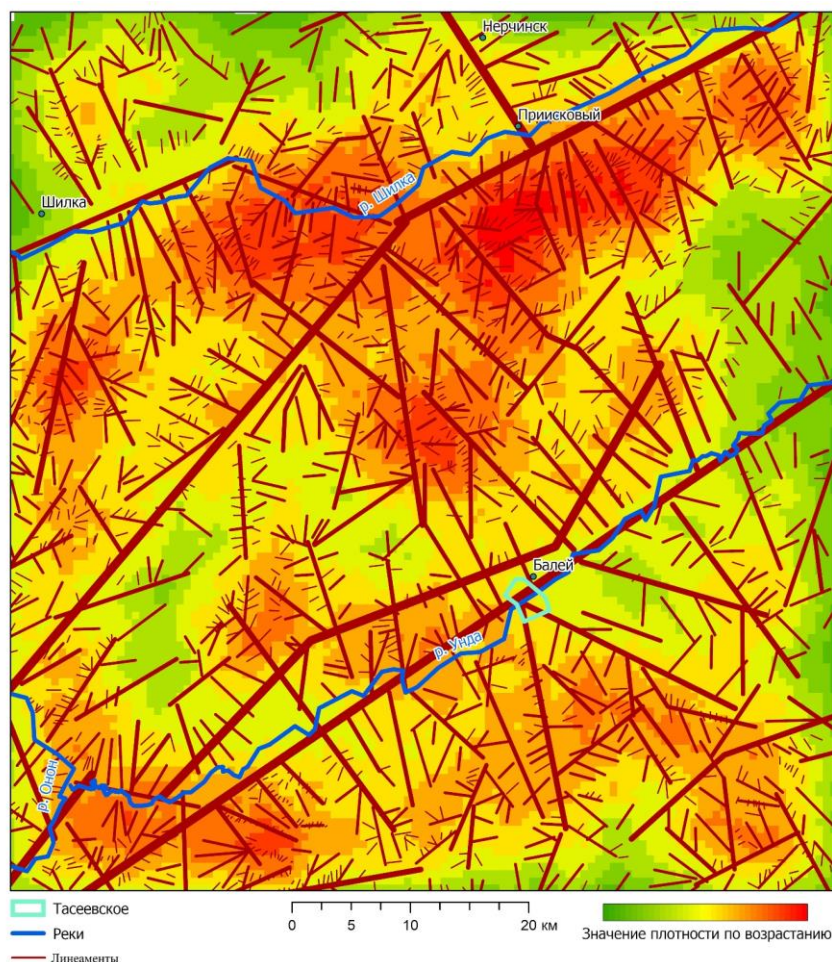


Рис. 6. Карта плотности линеаментов

Аэрокосмогеологический анализ

По карте плотности линеаментов можно определить, что изучаемая территория характеризуется высокой геодинамической активностью, так как почти на половине площади территории имеется высокая плотность линеаментов, эти

участки в основном контролируются структурами зонального масштаба. Однако, большинство структур выделенных на детальной стадии не имеют влияния на выделение геодинамических активных зон, так как приурочены к изменениям рельефа под влиянием временных водотоков и незначительных изменениях речной сети.

На карте линеаментов четко выделяются тектонически значимые нарушения, обрамляющие Борщовой хребет. В основном изменения рельефа контролируются временными водотоками и речной сетью.

При анализе карты плотности с выделенными линеаментами и кольцевыми структурами можно определить возможные перспективные участки для поиска месторождений золота и других полезных ископаемых (рис. 7). Всего выделено 6 перспективных участков на местах пересечения крупных линеаментов вдоль р. Унда по типу строения Тасеевского месторождения, здесь кольцевые структуры не играют роли.

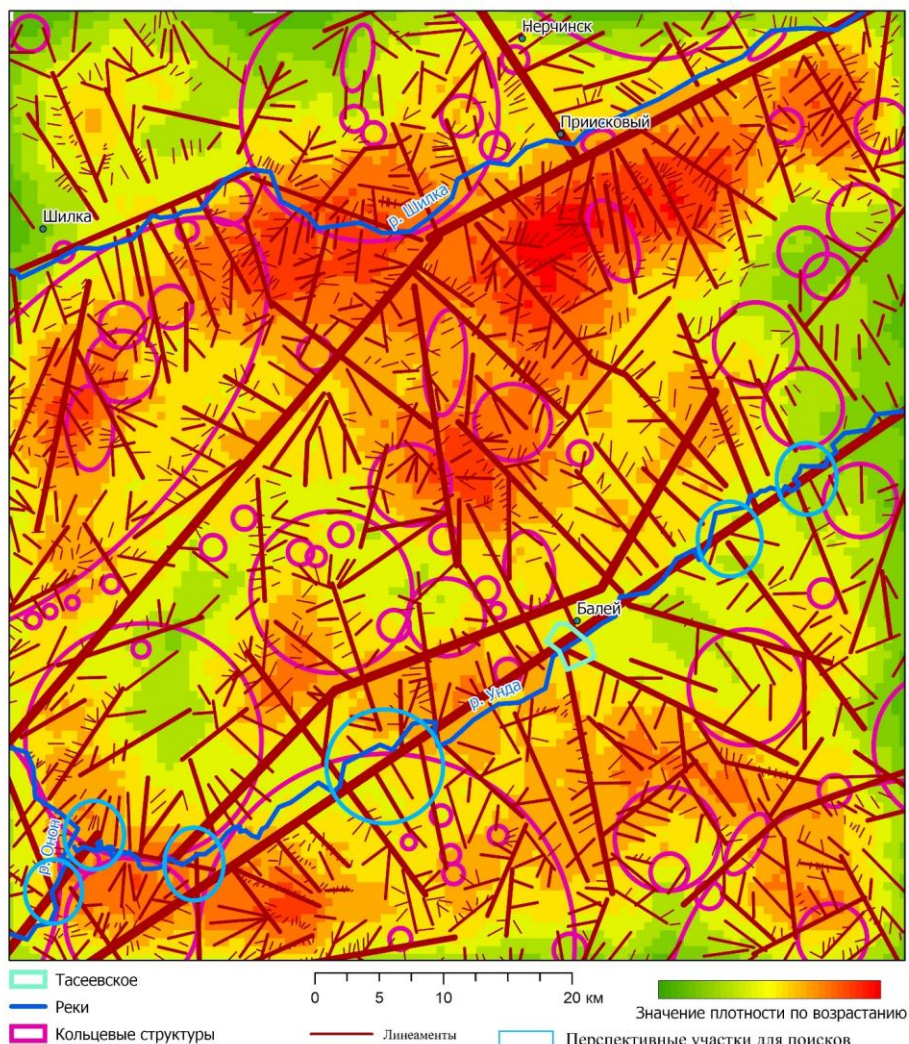


Рис. 7. Карта перспективных участков для поисков золота

Заключение

При аэрокосмогеологическом исследовании территории листа М-50-III были дешифрованы современные космические снимки. Проведен линеаментно-геодинамический анализ. По выделенным тектоническим линеаментам была

составлена карта плотности линеаментов. Установлены участки с высокой геодинамической активностью территории, контролирующей тектоническое строение территории и ее золотоносность. Определены перспективные районы для поисков золота.

Библиографический список

1. Ануфриев А.М. *Аэрокосмометоды в геологии*. Казань, 2007. 82 с.
2. Брюханов В.Н., Буш В.А. *Кольцевые структуры континентов Земли*. М.: Недра, 1987. 184 с.
3. *Золоторудные месторождения России / Под ред. М. М. Константинова*. М., 2010. 365 с.
4. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
5. Копылов И.С. *Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
6. Копылов И.С. *Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
7. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа*. *Вестн Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing*, 2018. 210 с.
8. Копылов И. С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
9. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореферат дис. доктора геолого-минералогических наук*. Пермь, 2014. 48 с
10. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
11. Копылов И.С., Бабеншиев В.М. *Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. 2020. Пермь, С. 159-166.
12. Копылов И.С., Коноплев А.В. *Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Кукляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 167-175.
13. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 95-100.
14. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 77-84.
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России*. Пермь, 2015. 131 с.
16. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. *Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 145-158.
17. Рутштейн И.Г., Богач Г.И., Винниченко Е.Л. и др. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Приаргунская. Лист М-50-III – Балей*. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015.
18. <https://bigenc.ru/geology/text/1847334>

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ, ГЕОГРАФИИ, БИОЛОГИИ

APPLICATION OF AEROCOSMIC METHODS FOR SOLVING
THE TASKS OF ENGINEERING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY,
GEOECOLOGY, GEOGRAPHY, BIOLOGY

УДК 528.71

С.С. Безруков

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА)

Описано развитие нового направления – мониторинг объектов газотранспортной системы с применением беспилотных летательных аппаратов. Предложено решение о развитии нового инструмента – обследования территорий газотранспортной системы на предмет обнаружения утечек метана при помощи беспилотных летательных аппаратов оснащенных портативным лазерным детектором.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг, газотранспортная система, газоанализатор, лесные пожары.

S.S. Bezrukov

"Ural State Mining University", Yekaterinburg, Russia

ENVIRONMENTAL MONITORING USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

The development of a new direction of monitoring the objects of the gas transmission system with the use of unmanned aerial vehicles is described. A decision was proposed to develop a new tool – surveying the territories of the gas transmission system to detect methane leaks using unmanned aerial vehicles equipped with a portable laser detector.

Key words: UAV, monitoring, gas transmission system, gas analyzer, forest fires.

Введение

Анализ состояния и прогноз развития экологической ситуации является основанием для управления качеством окружающей среды. В этой связи особое внимание необходимо уделить техническому развитию системы экологического мониторинга.

Одним из перспективных направлений в данной сфере является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для определения и исследования загрязненных территорий.

Экологический мониторинг – это организованный мониторинг окружающей среды, при котором, обеспечивается постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов [2].

Беспилотные летательные аппараты представляют собой автономные роботизированные системы, основной задачей которых является выполнение полёта, потенциально опасных для человека, по заранее заданной программе с возможностью автоматической или ручной корректировки полетного задания, а также оперативного принятия решений, в зависимости от меняющихся условий полета и окружающего пространства [1].

Воздушное патрулирование объектов газотранспортной системы с применением БПЛА

С 2017 года в ООО «Газпром трансгаз Югорск» проходит эксплуатация воздушного патрулирования объектов газотранспортной системы с применением БПЛА в плановом режиме на базе квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro+. Воздушный патруль осуществляется в рамках проведения производственного экологического контроля (ПЭК), с целью соблюдения природоохранного законодательства.

Объектами контроля (мониторинга) являются:

- 1) Территории компрессорной станции и линейной части магистральных газопроводов (МГ) включая их охранные зоны;
- 2) Объекты капитального и восстановительного ремонта;
- 3) Карьеры.

Показателем результативности проведенных обследований стало своевременное выявление и устранение нарушений природоохранного законодательства в области обращения с опасными отходами и захламления земель, а также минимизация штрафов со стороны государственных природоохранных органов. Воздушное патрулирование, как эффективный инструмент контроля, внедрено на постоянную эксплуатацию в составе группы ПЭК.

В 2018 году был произведен мониторинг подводного перехода, на котором в зимний период проводился капитальный ремонт магистрального газопровода. Результатом наблюдения явилось обнаружение таких природоохранных нарушений как:

- 1) Захламление пригрузами;
- 2) Складирование ЖБИ;
- 3) Складирование изоляции;
- 4) Складирование демонтированной трубы;
- 5) Складирование древесины.

На рис. 1 продемонстрирован пример эффективного использования БПЛА в труднопроходимых местах линейной части МГ.



Рис. 1. Мониторинг подводного перехода линейной части МГ

В 2019 году для усиления контроля, внедряется на базе передвижной экологической лаборатории (ПЭЛ) Инженерно – технического центра универсальная промышленная платформа повышенной эффективности – квадрокоптер DJIMatriceM200 поддерживающий профессиональные модули полезных нагрузок. Данный БПЛА оснащен камерой с тепловизором Zenmuse XT обладающей высокой точностью измерения температуры.

Применение БПЛА в рамках мониторинга и контроля возгораний лесного фонда

В 2020 году осуществлялось воздушное патрулирование (мониторинг) возгорания лесного массива вблизи объектов КС-11 Комсомольского ЛПУМГ и г. Югорска.

На рис. 2-4, 3-5 представлены снимки с камеры БПЛА оснащенного тепловизором верхового горения и скрытого очага горения.

Целью применения БПЛА при тушении лесного пожара в районе КС-11 являлось:

- 1) Координация наземных команд ГУ МЧС России по ХМАО-Югре и пожарных команд лесоохраны;
- 2) Координация специализированной строительной техникой при обустройстве минерализованных полос;
- 3) Поиск новых очагов возгорания в условиях сильной задымленности.



Рис. 2. Скрытый очаг горения



Рис. 3. Верховое горение

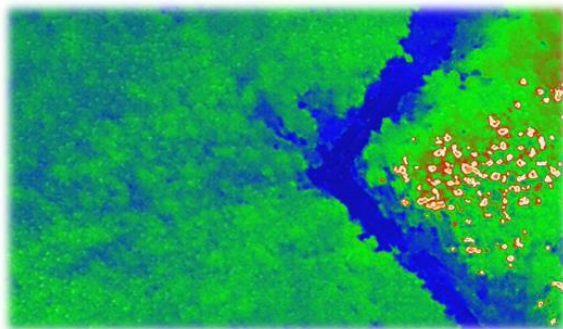


Рис. 4. Скрытый очаг горения
(тепловизионная съемка)

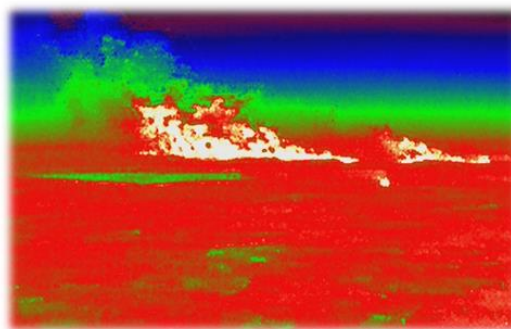


Рис. 5. Верховое горение
(тепловизионная съемка)

Были достигнуты следующие Результаты применения БПЛА при тушении лесных пожаров:

- 1) Обеспечение безопасности объектов газотранспортной системы;
- 2) Оперативная ликвидация новых очагов возгорания;
- 3) Сохранение лесных участков земель лесного фонда.

Применение БПЛА в рамках мониторинга обнаружения утечек природного газа

Положительные результаты воздушного патрулирования позволяют выйти на новый уровень контроля. В 2021 году принимается решение о развитии нового инструмента – обследования территорий на предмет обнаружения утечек метана с помощью беспилотных летательных аппаратов.

На протяжении более 10 лет дочерние общества ПАО «Газпром» эксплуатируют приборы вертолетного базирования для ежегодного облета магистральных газопроводов. Основное преимущество системы дистанционного обнаружения метана на базе БПЛА в мобильности. Для того чтобы обследовать небольшой участок труднодоступной местности нет необходимости поднимать в воздух вертолёт. Требуемое время на подготовку к рабочему режиму полёта БПЛА составляет всего 5-10 минут.

В целях усиления контроля и своевременного обнаружения утечек природного газа, а также недопущения техногенных событий различных уровней, предлагается установка лазерного детектора Laser Methane mini (рис. 7.) дистанционного детектирования метана на базе БПЛА типа квадрокоптер DJIMa-

Заключение

Мониторинг объектов газотранспортной системы ООО «Газпром трансгаз Югорск» на предмет обнаружения утечек метана, осуществляемый одновременно с воздушным патрулированием на базе БПЛА, в рамках производственного экологического контроля, как эффективный инструмент контроля, выводит ПЭК на новый уровень. При использовании которого будет достигнуты следующие характерные эффекты:

Экологический эффект:

1) Усиление производственного экологического инспекционного контроля в рамках дистанционного воздушного патрулирования (мониторинга) на объектах газотранспортной системы.

2) Обеспечение экологической безопасности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Эффект технологической безопасности:

1) Своевременное и оперативное обнаружение утечек природного газа, которое обеспечивает безопасность эксплуатации магистральных газопроводов.

2) Недопущения техногенных событий различных уровней (аварий, инцидентов).

Энергосберегающий и экономический эффект:

1) Снижение технологических потерь газа на объектах газотранспортной системы.

2) Снижение трудозатрат и затрат на аренду техники вертолетного типа.

Библиографический список

1. Дроны и беспилотные летательные аппараты // Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Агентство промышленного развития города Москвы» (ГБУ «АПР»). Москва, 2020.

2. Экологический мониторинг окружающей среды / Д. А. Припутнев, И. Н. Мальцев, В. И. Лукьяненко, А. М. Чуйков // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : сборник статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 15–16 декабря 2015 г. : в 2 частях. Воронеж, 2015. Ч. 1. С. 182–185.

С.Н. Гладких, Н.Н. Семчук
Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

КОМПЛЕКСНЫЕ РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ И ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВАЛДАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

В статье представлены результаты исследований лесных и водных экосистем радиоактивными загрязнениями территории Валдайского Национального парка. Рассмотрено патогенное и рекреационное воздействие радона на человека. Обоснован Чернобыльский след радиоактивного загрязнения Валдайского Национального парка.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, водные и лесные экосистемы, радон.

S.N. Gladkikh, N.N. Semchuk
Yaroslav the Wise Novgorod State University,
Veliky Novgorod, Russia

COMPLEX RADIOLOGICAL STUDIES OF AQUATIC AND FOREST ECOSYSTEMS OF THE VALDAI NATIONAL PARK

The article presents the results of studies of forest and aquatic ecosystems by radioactive contamination of the territory of the Valdai National Park. The pathogenic and recreational effects of radon on humans are considered. The Chernobyl trace of radioactive contamination of the Valdai National Park has been substantiated.

Keywords: radioactive pollution, water and forest ecosystems, radon.

Введение

Валдайский Национальный парк (ВНП) представляет собой уникальный природный объект, который необходимо сохранить для будущих поколений. Оценка современного состояния крайне важна, так как она помогает увидеть объективную картину происходящих в парке процессов, что в результате помогает сохранить ценные экосистемы, поддерживать их биологическое разнообразие путём разработки и проведения необходимых природоохранных мероприятий.

Цель и задачи исследования

Цель работы – исследование современного состояния Валдайского Национального парка радиоактивными загрязнениями.

Для достижения цели решались задачи:

– дать характеристику Валдайского Национального парка, в том числе с использованием современных космических снимков;

– провести мониторинг состояния лесных и водных экосистем радиоактивными загрязнениями современными методами.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленных цели и задач были применены теоретические и инструментальные методы.

Метод литературного обзора-проанализированы теоретические источники [2-5].

Методы комплексного радионуклидного анализа:

– метод выпаривания и измерения удельной активности с помощью установки малого фона (УМФ);

– аспирационный метод основан на прокачивании воздуха через фильтр в течение 5-10 минут, и затем измерении активности фильтра при помощи полевого радиометра;

– трековые методы-позволяют определить содержание различных изотопов по их альфа-активности методом ядерных фотоэмульсий.

Результаты исследований и их обсуждение

География

Парк расположен на стыке Валдайской возвышенности и Северо-Западной низменности, в пределах Волго-Днепровско-Балтийского водораздела. Протяженность его с севера на юг – 105 км, с запада на восток – 45 км.

Располагающийся между двумя крупнейшими мегаполисами – Москвой и Санкт-Петербургом – парк широко известен как в нашей стране, так и за рубежом. Валдайский парк уникален озерно-речной системой, которая в сочетании с лесами и болотами по эстетическому и рекреационному потенциалу не имеет аналогов на территории России. Границами парка стали внешние пределы водосборных бассейнов наиболее ценных и интересных озерно-речных формаций, таких как озера Боровно, Ужин, Валдайское, Велье, северный плес озера Селигер, верховья рек Полометь и Явонь. В то же время эта территория в целом является водосборной площадью рек Мсты и Полы в Новгородской области, Волги и Западной Двины – в Тверской. Здесь находится уникальная озерно-речная система, которая в сочетании с лесами и болотами по эстетическому и рекреационному потенциалу не имеет аналогов на территории России. На территории Валдайского парка насчитывается около 200 озёр, 56 озёр с площадью более 20 га (рис. 1.).



Рис. 1. Объект исследований на космоснимке

Фауна

Основу фауны наземных позвоночных парка составляют следующие виды: лось, кабан, медведь, заяц-беляк, белка, барсук, лисица, куница, рысь и другие животные. Связанные с обитанием в воде: бобр речной, выдра, норка, водяная крыса, а также утки всех видов. Из отряда куриных наиболее многочисленны рябчики, глухарь, тетерев. Численность этих видов животных колеблется по годам, но незначительно. По территории парка распространён волк. Озера и реки парка богаты многообразными видами рыб: щука, лещ, налим, линь, карась, снеток, ряпушка, судак, плотва, окунь, ёрш и другие.

Флора

В растительном покрове представлены еловые, сосновые и берёзовые леса, встречаются участки северных дубрав с лещиной, ясенем, неморальным разнотравьем; есть верховые болота, суходольные луга. Лесные земли парка составляют 86 % площади. Насаждения с преобладанием ели занимают 28 % лесных земель, берёзы – 36 %, сосны – 17 %, осины – 3 %, ольхи серой – 16 %. В лесах произрастает 57 видов древесных растений, в том числе 42 дикорастущих и 15 культурных.

Радон

Великий водораздел, приуроченный к разлому Русской платформы земной коры, относится к относительно неблагоприятным по экологическим ради-

ационным факторам территориям Северо-Запада России. В результате протекания комплекса геологических, геохимических, биогеохимических и других процессов из земной коры поступают в биосферу тяжелые естественные радионуклиды (ТЕРН). Деформации разломных структур приводят к увеличению толщины микротрещин, по которым поднимается радон.

Усиленное выделение радона из подземных слоев земли происходит за счет сжатия микропор горных пород (эффект магнитострикции). В области разломов земной коры на глубине от нескольких десятков до сотен метров залегают урансодержащие породы, связанные с отложениями тульского и алексинского горизонтов нижнего карбона. Естественный радиационный фон сопряжен и с наличием радиоактивных минералов в глинах, песках и черных сланцах и др., которые также являются источниками радиоактивного газа радона. Радон скапливается в местных тектонических впадинах и разломах в больших количествах, очень хорошо растворяется в воде и при контакте подземных вод с радоном, они очень быстро насыщаются последним.

Радон – тяжелый газ без цвета и запаха – является продуктом радиоактивных превращений урана и тория с периодом полураспада в 3,8 дней. В местах повышенной трещиноватости в осадочном чехле, залегающем на дислоцированном фундаменте, формируются участки интенсивного эманирования радона из поровых и свободных вод. Атмосферные осадки и талые воды закупоривают почвенные капилляры, препятствуя выходу газа. Радиоактивность воздуха снижает и ветер. Источники ионизирующего излучения (ИИИ) создают около 70% популяционной дозы, из них 45% составляет радиация, обусловленная воздействием только радона и короткоживущих продуктов его распада.

Патогенное и рекреационное воздействие радона

Под воздействием радиации наблюдается снижение работоспособности, ухудшается память, появляются функциональные расстройства центральной нервной системы, легко развиваются острые респираторные заболевания, бронхиты и пневмонии. Радон вызывает функциональные нарушения: астматические приступы удушья, мигрень, головокружение, тошноту, депрессивные состояния. Распад радона приводит к образованию аэрозолей, которые, в отличие от остальных источников излучений, поступают в легкие людей. Радиоактивные атомы радона избирательно накапливаются в некоторых органах и тканях, особенно в гипофизе и коре надпочечников, этих двух важнейших желез внутренней секреции, определяющих гормональную активность организма и регулирующих деятельность вегетативной нервной системы, концентрируются также в сердце, печени и других, жизненно важных органах. Растворяясь в крови и лимфе, радон и продукты его распада быстро разносятся по всему телу и приводят к внутреннему массируемому облучению. Длительное пребывание в местах с высоким уровнем радона увеличивает риск заболеть раком легких или верхних дыхательных путей. Между началом облучения и заболеванием проходит от 15 до 40 лет. Риск заболевания повышается как от уровня содержания радона, так и при увеличении времени его воздействия. Не исключается связь между постоянным облучением и высокой заболеваемостью различными

онкологическими заболеваниями, по уровню которой область занимает по статистике второе место в России.

С другой стороны, большие концентрации радона в воздухе действуют подобно синдрому стресса – организм получает мощную встряску, активизирует защитные механизмы, использует резервные возможности. Радиоактивный газ оказывает тонизирующее действие на нервную систему и весь организм человека, повышает работоспособность, вселяет бодрость.

Естественный радиационный фон сопряжен и с наличием радиоактивных минералов в глинах, песках и черных сланцах и др., которые также являются источниками радиоактивного газа радона. Радон скапливается в местных тектонических впадинах и разломах в больших количествах, очень хорошо растворяется в воде и при контакте подземных вод с радоном, они очень быстро насыщаются последним.

Около трети населения Новгородской области проживает на разломах и ежедневно получает повышенную дозу радиации за счет природных факторов. Масштаб и уровень экологического неблагополучия региона по фактору «радон» можно оценивать, исходя из геологических особенностей местности.

Поскольку радиоактивные аномалии коррелируют с местами разрывных нарушений в земной коре, наземное выявление локальных разломных структур возможно по уровню фонового гамма-излучения.

В результате измерений установлены места аномального гамма и бета-излучения, отличного от фонового для данной местности (фон в норме не должен превышать 10-20 мкР/ч). Мощность в мкЗв/час измерялась дозиметром-радиометром ЭКО-1 с погрешностью менее 2%.

Поступление и накопление радона обладает суточной вариацией, с максимальным выделением его в ночные и предутренние часы.

Водоисточники

На территории национального парка много источников, пользующихся у населения известностью как целебные. Большинство из них обязано своей популярностью именно радону, который способствует длительному хранению воды.

Для измерений удельной радиоактивности воды использовался дозиметр-радиометр ЭКО-1 в режиме определения значения активности бета и гамма излучающих радионуклидов в кБк/л. Прибор осуществляет автоматическую компенсацию фона в месте измерений.

На сцинтилляционной установке Нуклеар-Чикаго Уфимского научного центра РАН проведены измерения удельной радиоактивности проб воды из нескольких скважин и питьевых источников на территории национального парка. В ряде случаев обнаружено превышение определенного на биодисциплате воды фона более, чем в три раза.

Исследования радиоактивности природной воды из водопровода города Валдая показало активность 130 Бк/л, водопроводной воды поселка Рошино – 85 Бк/л, источников на Богомольной горе – 400 Бк/л, около часовни Иверского монастыря – 200 Бк/л. Измерения учитывают альфа и бета излучения. По нор-

мам радиационной безопасности (НРБ-99), удельная суммарная альфа-активность питьевой воды не должна превышать по альфа-излучению 0,2 Бк/л по бета-излучению – 1,0 Бк/л, по радону 60 Бк/л.

Чернобыльский след радиоактивного загрязнения ВНП В России, по уточненным данным, после Чернобыльской аварии подверглись территории двенадцати областей, в том числе и Новгородская.

Авиационное картирование радиоактивного загрязнения территории СССР геофизиками (г. Санкт Петербург, 1991г.) обнаружило пятна загрязнения цезием-137 в том числе и на территории Новгородской области [2]. Их уровень достигал до 0,8 Ки/км². Таким образом, Чернобыльская авария оставила свой след и в Новгородской области. Позднее карта загрязнения территории области была уточнена. Полученные данные широко, но, к сожалению, не всегда корректно освещались в печати, по радио и телевидению. При этом, Валдайский парк, как и весь район, относился к «чистой» территории. Настораживало то, что рубежами «чистых» и «нечистых» районов служили административные границы. В действительности загрязнение местности продуктами Чернобыльской аварии в принципе повсеместно и не имеет границ. Всё дело в уровнях загрязнения.

При обследовании радиационной обстановки в границах территории Валдайского национального парка использовался переносной сцинтилляционный спектр американо-американской фирмы ОРТЕС, включающий в себя амплитудный анализатор (модель 7.500В) и спектрометрический сцинтилляционный счётчик на кристалле NaJ диаметром 150 и высотой 100 мм (ДГИ – детектор – излучения).

Для раздельного определения цезия -137 и цезия -134 применялся спектрометр фирмы ОРТЕС модели 6800 с германиевым детектором. Тритий при определении концентрации стронция выделяли радиохимическими методами, измерения активности выполнялось на установке малого фона УМФ-1500. Кроме того, в точках геохимического мониторинга проводился отбор проб почвы для лабораторного анализа. Применявшиеся в работе средства измерения имели сертификат, заменяющий аттестацию и проверку.

В результате проведённого исследования автомобильных и пешеходных трасс, баз отдыха и мест под строительство баз отдыха не было обнаружено аномального содержания естественных радиоактивных элементов (урана, радия, тория, калия). Установлено, что в почвах на территории ВНП эти элементы распределены по глубине равномерно и содержание их лежит в пределах: по калию – 0,2–1,8%, по радю – 3,8–8, по торю – 8–30 Бк/см³. Мощность дозы излучения на высоте 1 м составляет 7–14 мкР/ч .

Почва всех объектов, за исключением автодорог, загрязнены радиоактивным цезием (изотопами цезия -137 и -134), который сосредоточен в верхнем слое 10-20 см. Количество цезия, нигде не достигает 0,33 Ки/км², то есть 1/3 доли того уровня (1 Ки/км²), с которого загрязнение считается вредным.

Как уже отмечалось выше, глобальные загрязнения в наших широтах достигают 0,1 Ки/км². Мощность дозы от цезия на обследованных объектах со-

ставляет 0,3-0,6 мкР/ч. На автомобильных дорогах цезия не обнаружено. Очевидно, его смыли талые воды и дожди.

Цезий в почвах на территории ВНП имеет явно Чернобыльское происхождение, так как отношение содержания изотопов Cs-137 к Cs-134 было равно 21,5 на 01.12.93 г., что соответствует чисто Чернобыльскому загрязнению [3]. Глобальный цезий -137 в верхнем (20см) слое почвы обнаружен не был. Наибольшее загрязнение (0,15 Ки/км²) приходится на юго-западную часть парка. Первоначальное распределение загрязнения радионуклидами Чернобыльского происхождения естественно со временем претерпевает изменения.

Местное население Новгородской области и ВНП активно пользуется дарами природы. Поэтому представляет интерес оценка возможного влияния содержащихся в почве радионуклидов на качество местных даров природы.

Нами были проведены исследования по содержанию цезия -137, цезия -134 в грибах, мхе, ягодах. Результаты исследований по грибам следующие (Cs-137, Cs-134 соответственно): грузди черные – 149 Бк/кг, 12 Бк/кг; опята свежие – 620 Бк/кг, 27 Бк/кг; опята сушеные – 910 Бк/кг, 43 Бк/кг; подберезовики – 1769 Бк/кг, 80 Бк/кг; боровик – 1756 Бк/кг, 75 Бк/кг; подосиновики -1698 Бк/кг, 82 Бк/кг.

Приведенные данные говорят о том, что разные грибы в различной степени аккумулируют цезий. Это, по-видимому, связано с разной глубиной проникновения в почву грибницы и другими индивидуальными особенностями грибов.

Полученные данные показывают, что грибы способны вытягивать из почвы цезий в значительно большей пропорции, чем он в ней содержится. Так, при содержании в 1 кг сухой почвы 83 ВК цезия, коэффициент обогащения составляет 22. Таким образом, грибы являются мощными экстракторами цезия, что необходимо учитывать в районах их заготовок. Это указывает также на возможность использования грибов в качестве индикаторных проб на содержание цезия на участках их сбора.

По отечественным нормам допустимый уровень загрязнения цезием – 137+134 составляет 410-8 Ки/кг для свежих и 210-7 Ки/кг для сушеных грибов, или соответственно 1480 Бк/кг и 7400 Бк/кг. Отсюда следует, что уровень загрязнения почвы, на которой еще можно собирать трубчатые грибы (боровики, подосиновики, подберезовики и др.) не должен превышать 0,42 Ки/км², а для опят (сушеных) – 1,0 Ки/км². Сложившиеся на территории ВНП после Чернобыльской аварии условия загрязнения радионуклидами вполне отвечают этим требованиям. Тем не менее, радиационный контроль грибов необходим.

Однако, если ориентироваться на более жесткие международные нормы [1] для цезия которые для всех продуктов питания взрослых людей составляет 370 Бк/кг (в 20 раз ниже отечественных) то даже грибы, собранные в ВНП, и которые являются наиболее чистыми в Новгородской области по международным меркам следует признать несъедобными.

На наш взгляд необходимо отечественные нормы приблизить к международным, особенно в условиях затянувшегося экономического кризиса, когда существенно растет потребление населением грибов и других дикорастущих плодов и ягод. В процессе исследований проводились также измерения содер-

жания цезия во мхе, ягодах, меде, мясе дичи. Получены следующие данные: сухой мох – 10000 Бк/кг, ягоды – 100 Бк/кг (больше в болотных ягодах), мед -50 Бк/кг, мясо дичи (лось) – 3000 Бк/кг.

Проводились также измерения содержания цезия-137 и стронция-90 в древесине в зависимости от содержания в почве. Измерения концентрации цезия выполнялись с помощью полупроводникового – спектрометра, и тритий при определении концентрации стронция выделяли радиохимическими методами, измерения активности выполнялось на установке малого фона УМФ-1500.

Результаты измерений показали, что с внутрпочвенным стоком на глубину почвы 25см ежегодно выносятся не более 0,1% изотопов, уровень загрязненности древесины тем ниже, чем выше возраст дерева.

В целом концентрация цезия -137 и стронция -90 в древесине не превышает допустимых уровней (1000 4000 Бк/кг).

Заключение

Представлены результаты комплексных радиологических исследований лесных и водных экосистем Валдайского национального парка, которые позволяют сделать вывод о том, что радиологическая обстановка находится в целом, в норме. Лишь радиоактивность проб воды из нескольких скважин и питьевых источников на территории национального парка показало, в ряде случаев, превышение фона более, чем в три раза.

Библиографический список

1. B. Bumett, M. Rosenstein: *Status of U.S recommendations for control of accidental radioactive contamination of human food and animal feeds. U.S.Food and Drug administration Washington. DC. Vienna. Austria. 16-20 October 1989.*
2. Гладких С.Н. Особенности миграции радиоактивных загрязнений на территории Новгородской области и Валдайского национального парка /Сб. материалов XXVII Межд. научно-практ. конф. «Предупреждение. Спасение. Помощь», 16 марта 2017 года Химки М. Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2017. С.14-17.
3. Гладких С.Н., Сиверцев А.А. Геохимический мониторинг радиоактивного загрязнения Валдайского национального парка. Материалы межд. научно-практ. конф. «Чернобыль – 30 лет», 21 апреля 2016. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. С.61-63.
4. Гладких С.Н., Степанов В.Н. Радиационный мониторинг территории Валдайского национального парка / Сб. материалов Межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы особо охраняемых природных территорий»12.04-13.04.2018, Дагестанский пед.ун-т г. Махачкала, 2018. С.91-95.
5. Ланцев И.А. Комплексные радиологические исследования на территории Валдайского национального парка //Изучение и охрана природного и исторического наследия Валдайской возвышенности и сопредельных регионов: Материалы межрегиональной научно-практ. конф., посвященной 25-летию национального парка «Валдайский», г. Валдай, Новгородская область, 24-25 апреля 2015 г. Вышний Волочёк, 2015. С. 94-100.

УДК: 55:550.8.052

Т.Г. Ковалёва, Д.А. Балахнин, М.И. Гильманов, Р.Н. Петросян

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
kovalevatg@mail.ru, dbalaxnin@mail.ru, m.gilmanov2000@yandex.ru petrosyan@antikarst.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦИФРОВКИ КАРСТОВЫХ ФОРМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ МОДУЛЯ DEEP LEARNING ДЛЯ ARCGIS PRO

Космическая съемка на сегодняшний день является самым распространённым способом изучения поверхности Земли, в частности поиска и оценки поверхностных карстовых форм. Часто, время, затраченное на обработку такого материала слишком большое. В работе рассмотрены примеры использования нейросети для автоматического поиска и оцифровки карстовых форм.

Ключевые слова: нейросеть, карст, дешифрирование, карстовые формы.

T.G. Kovaleva, D.A. Balakhnin, M.I. Gilmanov, R.N. Petrosyan

Perm State University, Perm, Russia

AUTOMATING KARST DIGITIZATION WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS FOR ARCGIS PRO

Satellite imagery is by far the most common way to study the Earth's surface, in particular, the search and evaluation of surface karst forms. Often, the time taken to process such material is too long. The paper considers examples of using a neural network for automatic search and digitization of karst forms.

Keywords: neural network, karst, aerial photograph interpretation, karst forms.

В современном мире технологии не стоят на месте, в том числе и в геологии. Как известно, популярность использования нейросетей растет с каждым годом. Нейросети лежат в основе большинства современных систем распознавания и обработки изображений. Данный инструмент целесообразно применить и к решению геологических задач, например, дешифрированию космоснимков, которое часто применяется в инженерно-геологических целях.

Дешифрирование космоснимков высокого разрешения является неотъемлемой частью любых инженерно-геологических изысканий и карстологических исследований. Это очень долгий и трудоемкий процесс. Часто, на большие участки исследования, находящиеся в зоне активного развития карстового процесса, тратится от несколько дней, до не скольких недель. Вместе с тем процедура дешифрирования достаточно однотипная и простая, не требующая от исследователя глубоких знаний и навыков. Поэтому возможность сокращения временных и человеческих ресурсов и сил на эту процедуру является актуальной задачей.

Многие исследователи пытались автоматизировать процесс дешифрирования карстовых форм разными способами. Так, например, в статье Е.В. Дробининой [1], используются данные дистанционного зондирования Земли. А именно, облачная платформа Google Earth Engine. Каталог наборов представляет собой: космоснимки, прогнозные климатические модели, карты типов растительности, геофизические и социально-экономические наборы данных и др. Суть метода заключается в расчете вегетационных индексов и выделению участков с различными показателями этого индекса [1].

Процесс обучения нейросети строился следующим образом. На первом этапе был выгружен космоснимок с высоким разрешением из программы Sas-Planet. Вторым этапом работы являлось создание выборки. Иными словами, необходимо обучить нейросеть MaskRCNN выделению карстовых форм. Для этого было оцифровано три наиболее разнообразные карстовые формы (рис. 1) в разных местах, разных размеров и разной цветовой гаммы отображения на снимке.

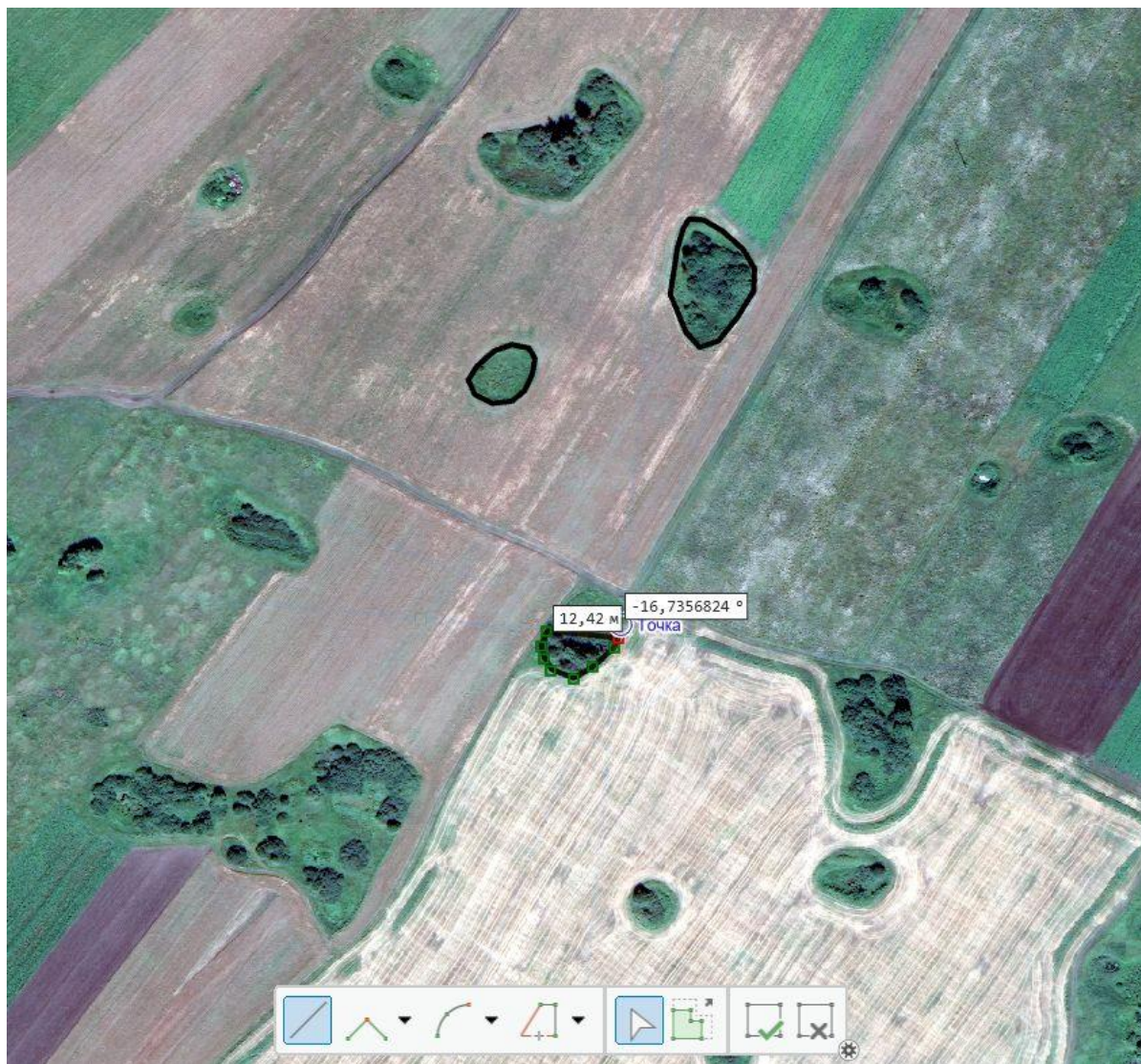


Рис. 1. Оцифровка карстовых форм для обучения нейросети

Необходимо отметить, что чем разнообразнее будет предложенная выборка, тем эффективнее будет справляться с поставленными задачами нейросеть. Также существует возможность создания нескольких нейросетей для более узкого круга поиска. Например, отдельно для карстовых воронок, понижений, логов. Тем самым можно сократить количество ошибок и добиться большей точности оцифровки.

С помощью инструмента Export Training Data for Deep Learning создается обучающая выборка. В качестве выходного формата метаданных указывается RCNN Masks, формат растра TIFF, размер ячейки растра – 0.5 метров [2]. Далее выполняются циклы обучения, запуска обученной нейросети и проверки результатов (рис. 2).



Рис. 2. Результат обработки и запоминания контуров нейросетью

После получения результатов, с помощью инструмента Detect Objects Using Deep Learning в автоматическом режиме нейросеть обрабатывает весь оставшийся участок исследования, создает слой оцифрованных карстовых форм (рис. 3).

Как видно из рис. 3, точность определения оставляет желать лучшего. Это объясняется малым количеством исходных данных (чем больше примеров показать нейросети, тем результат будет точнее). Для качественного обучения нейросети требуется оцифровка более тысячи карстовых форм различных размеров, форм.

Обработка и запоминание ранее оконтуренных карстовых форм у нейросети занимает достаточно много времени, так как нейросеть проходит по ним несколько десятков раз. Например, для участка из приведенного примера, площадь которого составляет 0,7 км², на запоминание и выявление карстовых форм у нейросети ушло порядка 2 часов, человек может это сделать быстрее.

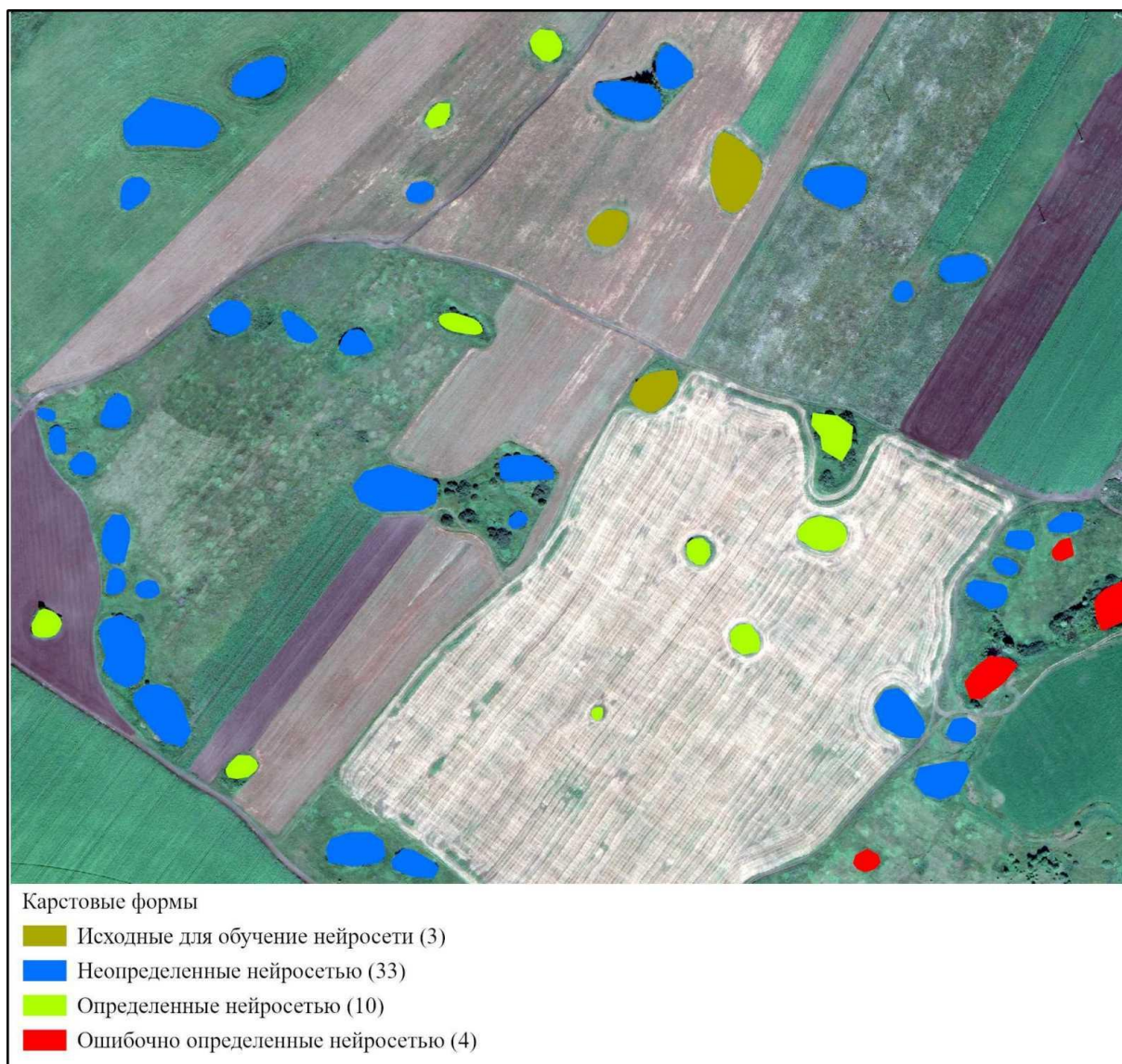


Рис. 3. Результат оцифровки участка с помощью нейросети

Однако, положительный эффект получен: нейросеть научилась определять карстовые формы, при более тщательном обучении и предоставлении нейросети большего количества разнообразных примеров, количество ошибок снизится и процесс дешифрирования крупных территорий упростится и ускорится. Данная задача является предметом дальнейших исследований для создания полноценной нейросети, позволяющей дешифрировать и оцифровывать карстовые формы различного типа.

Библиографический список

1. Дробинина Е.В. Использование платформы Google Earth Engine в инженерно-геологических изысканиях. // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2022. № 5 (42). С. 257-264.
2. Копин Ю. Оцифровка контуров строений с помощью нейросетей: // Esri CIS. 2020. No 17. URL: https://blogs.esri-cis.com/2020/07/24/deeplearning_buildings/. (Дата обращения: 27.11.2022).

Т.Г. Ковалёва, Д.А. Балахнин, З.В. Селина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
kovalevatg@mail.ru, dbalaxnin@mail.ru, zoya.kivileva@mail.ru

ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМОСНИМКОВ И ОРТОФОТОПЛАНОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ

Карстовый процесс является одним из экзогенных геологических процессов, в оценке которого существенную помощь могут оказать космоснимки и ортофотопланы. С развитием современного программного обеспечения и технологий, материал для дешифрирования стал более доступен и широко используется при оценке карстоопасности, особенно на малоизученных территориях. В работе рассмотрены примеры дешифрирования карстовых форм с их последующей проверкой полевым карстологическим рекогносцировочным обследованием.

Ключевые слова: карст, дешифрирование, карстовые формы.

T.G. Kovaleva, D.A. Balahnin, Z.V. Selina

Perm State University, Perm, Russia

AERIAL PHOTOGRAPH INTERPRETATION IN KARST HAZARD ASSESSMENT

The karst process is one of the exogenous geological processes. Cosmos and orthophotofuels can provide significant assistance in its assessment. With the development of modern software and technology, the material for decryption has become more accessible and widely used in karst hazard assessment, especially in poorly studied territories. The work considers examples of decoding karst forms with their subsequent check by field karstological reconnaissance surveillance.

Keywords: karst, aerial photograph interpretation, karst forms.

Карстовый процесс достаточно широко распространен, как в мире, так и на территории нашей страны. На территории России карст развивается в различных физико-географических условиях [1]. Порядка на 30% площади Российской Федерации залегают карстующиеся породы, в ее пределах подвержены опасному воздействию карста 301 город [4]. Кроме того, ежегодно образуется более 100 новых карстовых провалов, ущерб от которых может достигать сотен миллионов рублей. Несомненно, характеристика поверхностной закарстованности является основным этапом оценки карстоопасности территории для будущего строительства.

Космическая съемка стала сегодня одним из самых главных методов комплексного изучения поверхности Земли, в том числе и оценки наличия или отсутствия поверхностных проявлений карста.

Кроме того, ряд нормативных документов устанавливает необходимость выполнения дешифрирования территории при инженерно-геологических изысканиях в районах развития опасных геологических процессов, в том числе кар-

ста, например, СП 11-105-97, ч. II [2, 3]. Анализ материалов космической съемки происходит с применением различных спутниковых систем. Оценка поверхностной закарстованности всегда начинается с изучения общедоступных космоснимков высокого разрешения. При дешифрировании чаще всего применяются снимки высокого разрешения Google Maps, Bing Maps, Yandex Maps, Esri Maps [2]. Используемый масштаб от 1:2000 и крупнее. На получаемых снимках с достаточно хорошей точностью отражены элементы геоморфологии, гидрологии, растительности, зданий и сооружений. Анализ космоснимков, полученных на разные моменты времени, может быть также одним из элементов характеристики интенсивности провалообразования. Особенно это хорошо работает на участках с открытой местностью и достаточно активным протеканием карстовых процессов. Например, на юге Пермского края, при дешифрировании территории Октябрьского района при сравнении снимков с временным различием 2-3 года авторами были выявлены карстовые формы, отсутствующие на более раннем снимке и присутствующие на более свежем. Тем самым установлен ориентировочный возраст карстовых форм, что немаловажно для оценки интенсивности провалообразования при новом строительстве.

Одной из программ, позволяющих оценивать территорию с точки зрения появления карстовых форм во времени, является общедоступная программа Google Earth Pro. С помощью снимков данной программы можно зафиксировать ориентировочное время возникновения карстовых форм, а также ее изменение во времени или ликвидацию (рис. 1).

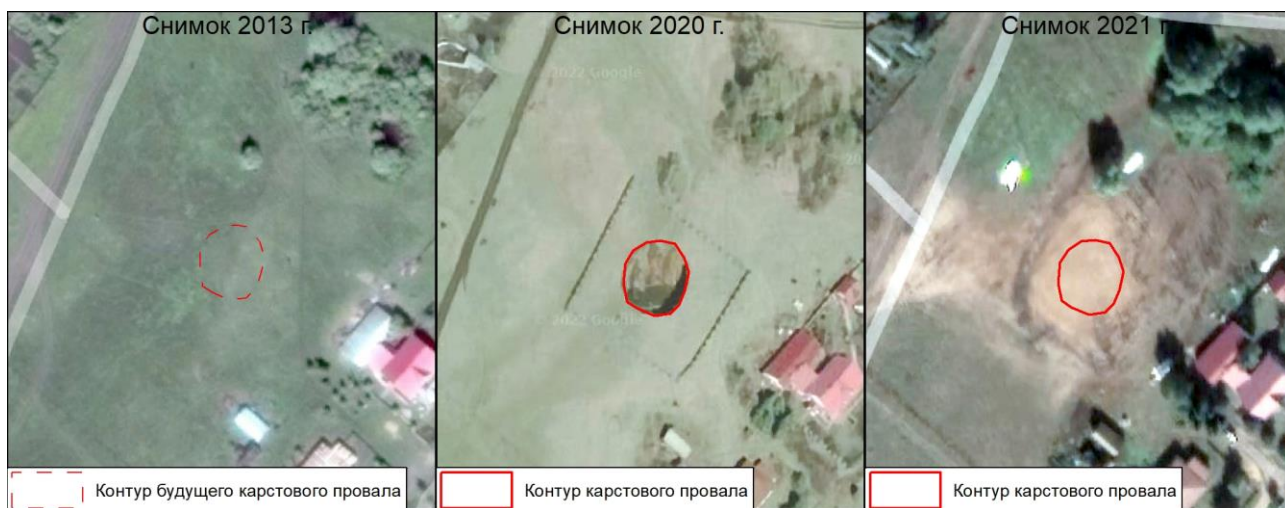


Рис. 1. Снимок Google в различные промежутки времени

Для целей дешифрирования могут быть использованы различные программные продукты, однако, с нашей точки зрения, одной из самых удобных программ является SaSPlanet, позволяющая одновременно просматривать космоснимки различных источников, топографические и геологические карты, а также оцифровывать выделенные элементы. Дешифровочными признаками при исследовании карста являются сами карстовые формы, их количество и морфометрические параметры. Сами формы, как правило, достаточно хорошо разли-

чимы на крупномасштабных снимках (рис. 2), имеют округлые или овальные контуры, на пахотных полях часто выражены островками с деревьями и кустарниками.



Рис. 2. Пример выделения карстовых форм на космоснимке

Выделение карстовых форм осуществляется в полигональный слой, создается kmz-файл в виде метки, который в дальнейшем может быть экспортирован в геоинформационную систему для дальнейшего анализа с созданием ГИС-проект исследуемого участка. У потенциальных карстовых форм при этом предварительно определяется два показателя – это форма в плане и размер. В дальнейшем в ГИС-проекте создается shape-файл с выделенными карстовыми формами и их атрибутами в заданной пользователем системе координат, более удобной, с нашей точки зрения, является система координат WGS 1984.

Еще одним источником получения информации о поверхностных карстовых формах могут быть ортофотопланы масштабов 1:2000 и крупнее. Снимки получают с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) во время аэрофото-съемки. Создание ортофотоплана происходит путем наложения кадров участков местности с перекрытием от 60% и дальнейшего склеивания снимков с целью получения единого изображения с высоким разрешением. Интерпретация данных происходит с использованием инженерных программ, например, программы AutoCAD. Метод обработки данных схож с оцифровкой карстовых форм в программе SasPlanet, AutoCAD также позволяет переносить графическую информацию в ГИС-проекты. Итогом процесса дешифрирования является

сформированный share-файл с контурами карстовых форм с координатной привязкой и атрибутивной информацией, содержащей морфометрические данные и форму в плане.

Следующим этапом оценки поверхностной закарстованности является маршрутное рекогносцировочное карстологическое обследование. Рекогносцировочное обследование проводится с целью подтверждения или опровержения выделенных при дешифрировании карстовых форм, уточнения их местоположения, описания, определения точных морфометрических параметров, установления предположительного возраста.

Рекогносцировка выполняется по данным дешифрирования по заранее проложенному маршруту в виде kmz-файла. С обязательной фотофиксацией участков пересечений маршрута с искусственными и естественными препятствиями: водотоками, асфальтированными автодорогами, железными дорогами, оврагами и логами, ЛЭП. Исследуются и описываются геоморфологические, гидрологические, геоботанические условия местности. Отмечаются следы карстопроявлений.

При описании поверхностных карстопроявлений (воронок, локальных оседаний, понижений) исследуется их форма в плане (округлая, эллипсовидная, сложная) и в профиле (чашеобразная, блюдцеобразная, конусообразная), ориентировочно оценивается возраст карстовой формы. Определение возраста карстовой формы в отсутствие систематического мониторинга – достаточно сложная задача, свежие карстовые формы характеризуются, как правило, незадернованными резкими склонами, в стенках видны следы оползания. Чем древнее карстовая форма, тем растительности на ее борах становится все больше, стенки приобретают пологие очертания, следы оползания отсутствуют. Среди морфометрических характеристик обязательно устанавливаются диаметры по наименьшей и наибольшей осям, а также глубина выявленной формы.

Привязка форм на местности в ходе рекогносцировочного обследования может осуществляться с применением ручного GPS-приемника или телефонного аппарата, оснащенного GPS. При этом может быть наблюдаться некоторое смещение действительного местоположения карстовой формы от координат, определенных в ходе дешифрирования. Величина смещения обычно составляет от 2 до 10 м. Существует погрешность не только в местоположении карстовой формы, но также и ее размерах, что также было отмечено ранее Е.А. Ерофеевым и В.Н. Катаевым [2]. Действительные размеры карстовых форм, установленные рекогносцировочным обследованием, как правило, несколько меньше, чем зафиксированные по результатам дешифрирования космоснимков и ортофотопланов (рис. 3, 4).

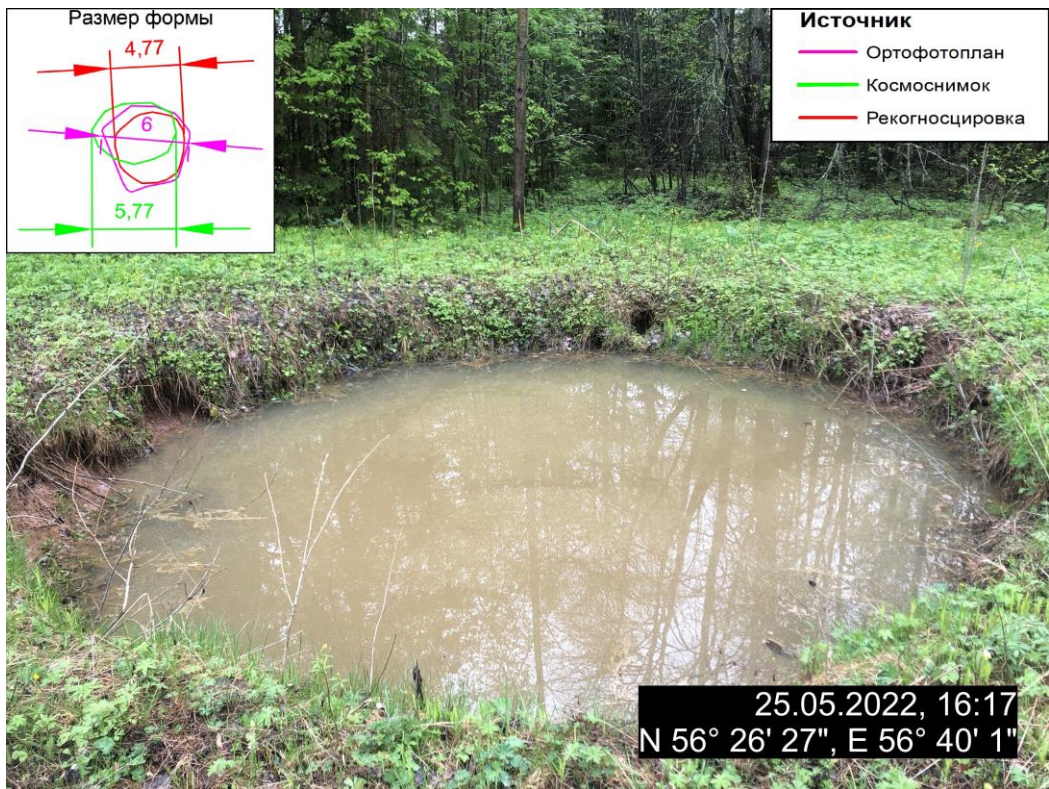


Рис. 3. Фото карстовой формы, заполненной водой, и ее размеры по данным дешифрирования и рекогносцировочного обследования

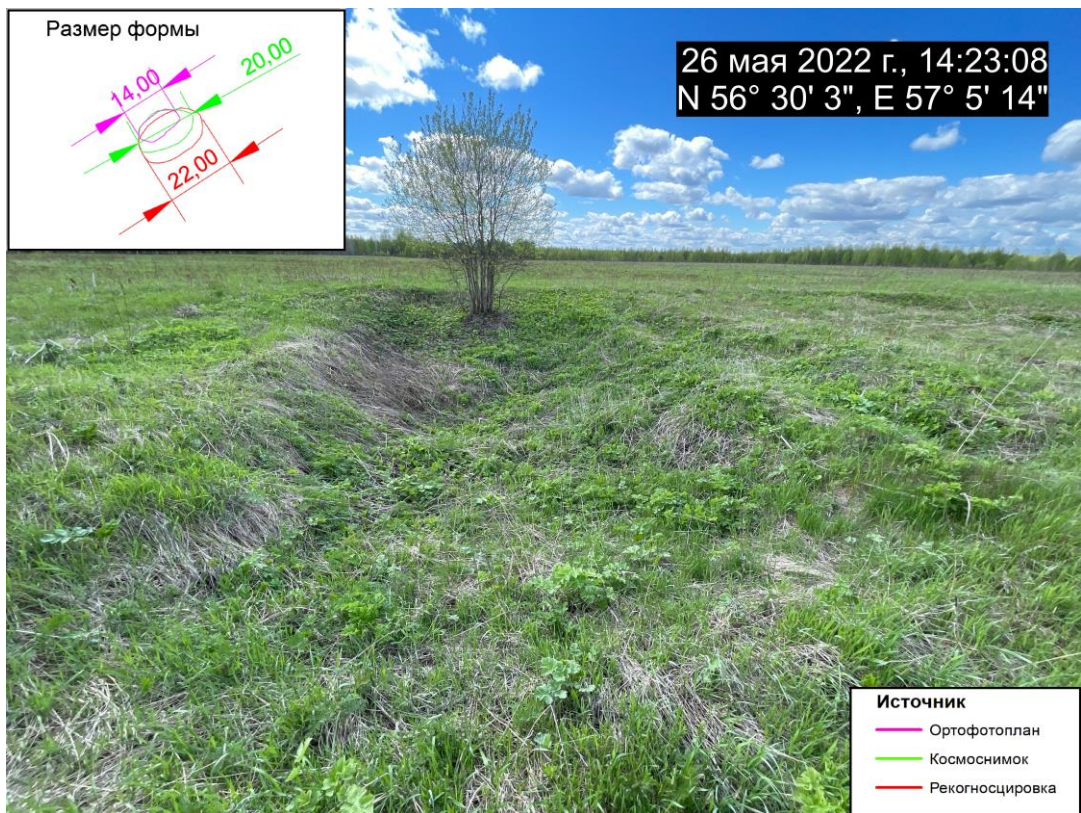


Рис. 4. Фото карстовой формы (понижения) и ее размеры по данным дешифрирования и рекогносцировочного обследования

Отклонение действительных размеров карстовой формы от предполагаемых по дешифрированию может составлять от 1 м до 5-8 м, чем крупнее форма, тем процент отклонения может быть больше (до 15-25% от космоснимков, до 25-35% от размеров, определенных по результатам дешифрирования ортофотопланов). Большая погрешность последних может быть связана с ошибками интерпретации изолиний, полученных при наложении нескольких снимков, а также в связи с изменениями поверхности, происходящими вокруг воронки, которые исследователь может принять за ее край (например, изменение характера растительности).

Кроме того, не все карстовые формы, установленные по материалам дешифрирования, находят свое подтверждение при рекогносцировочном обследовании. Процент подтвержденных карстовых форм в среднем составляет порядка 90%. Форма, выявленная по результатам дешифрирования, в ходе маршрутного наблюдения может оказаться техногенного происхождения (копань) или же это может быть просто место, поросшее кустарниками, либо мочажинной округлой формы.

Таким образом, дешифрирование космоснимков и ортофотопланов является неотъемлемым этапом оценки карстоопасности территории, который выполняется одним из первых и позволяет сформировать первые представления о поверхностной закарстованности, а также интенсивности провалообразования. Для осуществления дешифрирования могут быть использованы общедоступные спутниковые данные и современное программное обеспечение. Результаты дешифрирования должны быть подтверждены маршрутным карстологическим обследованием для установления точных морфометрических и морфологических данных карстовых форм.

Библиографический список

1. Гвоздецкий Н.К. *Карст*. М.: Геогрфиз, 1984, 351 с.
2. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. *Идентификация поверхностных форм карста по материалам спутниковых изображений // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. по материалам Всеросс. науч.-практ конф. с междунар. участием / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 193-197.*
3. СП 11-105-97 ч. II. *Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. ПНИИИС Госстоя России, 2000.*
4. *Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. 348 с.*

ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Проведены региональные аэрокосмогеологические исследования Байкальской природной территории на площади 684 тыс. км². Дешифрированием современных космических снимков выделено 1906 тектонических линейментов глобального, регионального и зонального рангов. Проведен линейментно-геодинамический анализ и геодинамическое районирование. Закартированы геодинамические активные зоны с высокой степенью тектонической трещиноватости, необходимые для оценки экологической емкости геологической среды Байкальской природной территории. Также их необходимо учитывать при проведении инженерных изысканий, проектно-строительных работ, разработке природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, линейменты, геодинамические активные зоны, экологическая емкость геологической среды, Байкальская природная территория.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

LINEAMENT GEODYNAMIC ANALYSIS FOR ASSESSING THE ECOLOGICAL CAPACITY OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

Regional aerospace geological researches of the Baikal natural territory were carried out on an area of 684 thousand km². 1906 tectonic lineaments of global, regional and zonal ranks have been identified by deciphering modern space images. Lineament-geodynamic analysis and geodynamic zoning were carried out. Geodynamic active zones with a high degree of tectonic fracturing are mapped, which are necessary for assessing the ecological capacity of the geological environment of the Baikal natural territory. They must also be taken into account when conducting engineering surveys, design and construction work, and the development of environmental measures.

Key words: aerospace geological research, lineaments, geodynamic active zones, ecological capacity of the geological environment, Baikal natural territory.

Введение

В настоящее время существуют различные подходы к определению понятий «экологической емкости среды» или «экологической емкости территории» [1, 3, 4, 18-20, 22, 24], а вместе с ними и различные методы изучения, оценки и охраны окружающей среды от воздействия техногенеза.

В геоэкологии рассматриваются понятия «геоэкологическая емкость», «экологическая емкость геологической среды». Последнее особенно важно в решении вопросов недропользования и природопользования.

Геоэкологическая емкость территории характеризует способность природно-геологической среды к самовосстановлению и нейтрализации вредных антропогенных воздействий, является мерой максимально допустимого вмешательства техногенеза и антропогенеза. Она определяется: объемами основных природных резервуаров: геологической среды (литосфера, подземные воды, газы и др.), водоемов и водотоков, воздушного бассейна, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны [23]; мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного водно-газового и атмосферного газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивностью биоты; максимальной техногенной нагрузкой, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

Экологическая емкость геологической среды зависит от степени ее прочности и защищенности (или наоборот – уязвимости) от техногенного воздействия. Важнейшим показателем прочности горного массива является степень трещиноватости пород. Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ).

Байкальская природная территория (БПТ) – «территория, в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру Байкал, а также прилегающая к озеру Байкал территория шириной до 200 километров на запад и северо-запад от него» (ФЗ от 1.05.1999 г. №94-ФЗ «Об охране озера Байкал») [21] (рис. 1, 2). Необходимость сохранения природы этого уникального региона доказана многочисленными научными исследованиями и регламентирована законами РФ.

МПР РФ публикуют ежегодные Государственные доклады «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране». Одной их наиболее полной научной сводкой о природе и геологии БПТ с комплексом различных карт является «Экологический атлас бассейна озера Байкал» изданный Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (2015) [25], а в ближайшее время планируется его обновление. Поэтому нет смысла здесь давать характеристику природно-геологических условий этого региона. Приведем только фрагмент геологической карты [2] (рис. 3).



Рис. 1. Обзорная карта Байкальской природной территории

Однако, анализ многочисленной литературы, посвященной геологии БПТ показывает, что недостаточно внимание уделено региональной оценке геодинамической (неотектонической) активности и связанной с ней тектонической трещиноватости – важнейшему критерию экологической оценки геологической среды.

Целью настоящей статьи является – проведение регионального линейно-геодинамического анализа на основе аэрокосмогеологических исследований и картирования геодинамических активных зон с высокой степенью тектонической трещиноватости, необходимой для оценки экологической емкости геологической среды Байкальской природной территории.



Рис. 2. Обзорная карта Байкальской природной территории на космоснимке (Landsat-8)

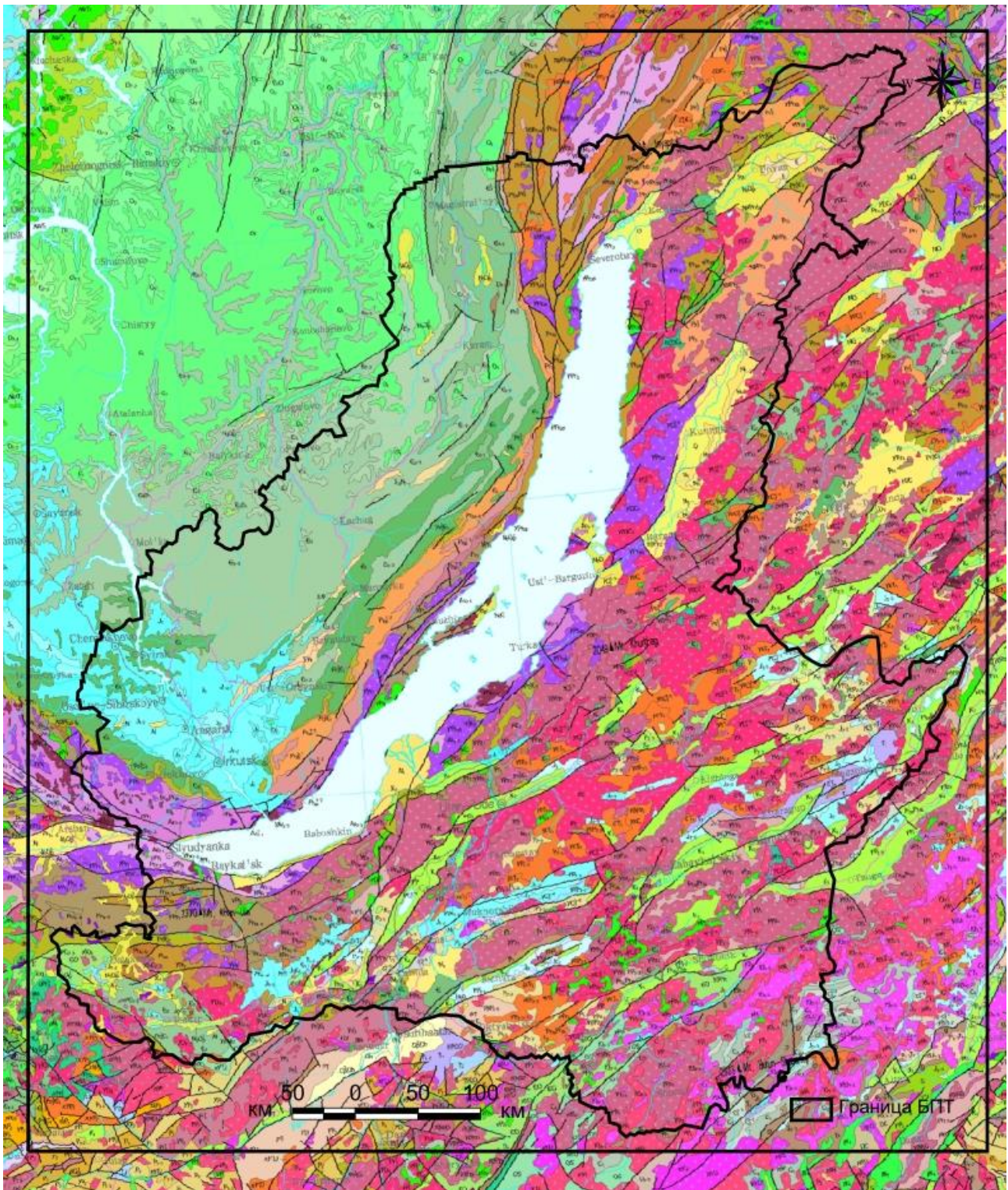


Рис. 3. Фрагмент геологической карты (Байкальская природная территория) [2]

Результаты исследований

Территория проведения аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) охватывает площадь БПТ и прилегающую к ней территорию в прямоугольнике 760 x 900 км, общая площадь 684 тыс. км².

Линеаментно-геодинамический анализ проведен на основе аэрокосмогеологических дистанционных методов, методы и технологии изложены в работах

[5, 7, 8, 10, 11, 14, 17]. Анализ заключался в получении исходной модели линеаментного поля путем дешифрирования космических снимков (КС), далее – в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности и построение ее картографических моделей разного уровня детальности. Методика работ включала: компьютерное дешифрирование цифровых КС различных масштабов (1:1 000 000-1:15 000 000), выделение на них линеаментов разных рангов и обработку данных в ГИС-технологиях. По плотности линеаментов и другим неотектоническим показателям выявлялись зоны с повышенной тектонической трещиноватостью, обусловленные геодинамическими активными зонами [12, 13, 15, 16].

Дешифрирование КС и обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst фирмы ESRI. Использовались цифровые КС среднего (Landsat) разрешения. Выделялись крупные неотектонические линеаменты, составлялись карты линеаментов и их плотности в соответствующих масштабах работ.

Проведено обзорное дешифрирование КС масштаба 1:15 000 000, 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000 и региональное дешифрирование масштаба 1 000 000. Выявлена сеть прямолинейных линеаментов различных направлений. Всего выделено суммарно 1906 неотектонических линеаментов. Из них 9 линеаментов протяженностью 400-800 км, 52 линеамента протяженностью 200-400 км, 116 линеаментов протяженностью 100-200 км, 253 линеаментов протяженностью 50-100 км, 1476 линеаментов протяженностью 15-50 км (рис. 4).

Линеаменты отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексурно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры. Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность. Отмечается, расположение Байкала в 2-х крупных блоках, контролируемых двумя субмеридиональными и двумя субширотными линеаментами глобального ранга.

Линеаментно-геодинамический анализ проведен по распределению плотности тектонических линеаментов (основной показатель – суммарная протяженность на единицу площади по всем линеаментам) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории.

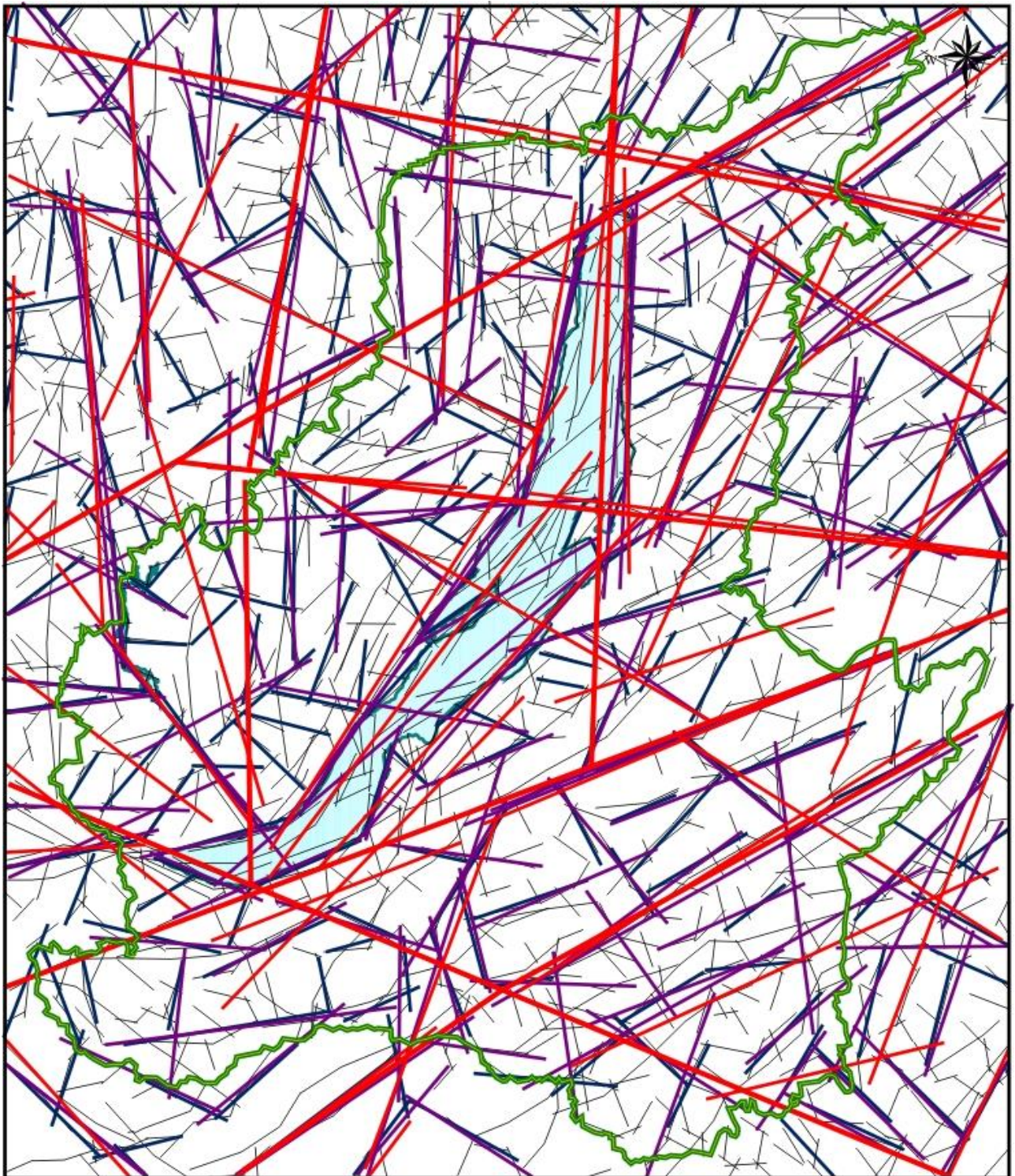


Рис. 4. Линеаментное поле Байкальской природной территории по глобальным, региональным и зональным линеаментам

Плотность линеаментов в целом на территории БПТ колеблется в широких пределах, при этом характерны региональные особенности. Общий фон составляют значения с повышенной (3 балл) и высокой (4 балл) с многочисленными аномалиями очень высокой (5 балл) и чрезвычайно высокой (6 балл) степенью плотности линеаментов (рис. 5).

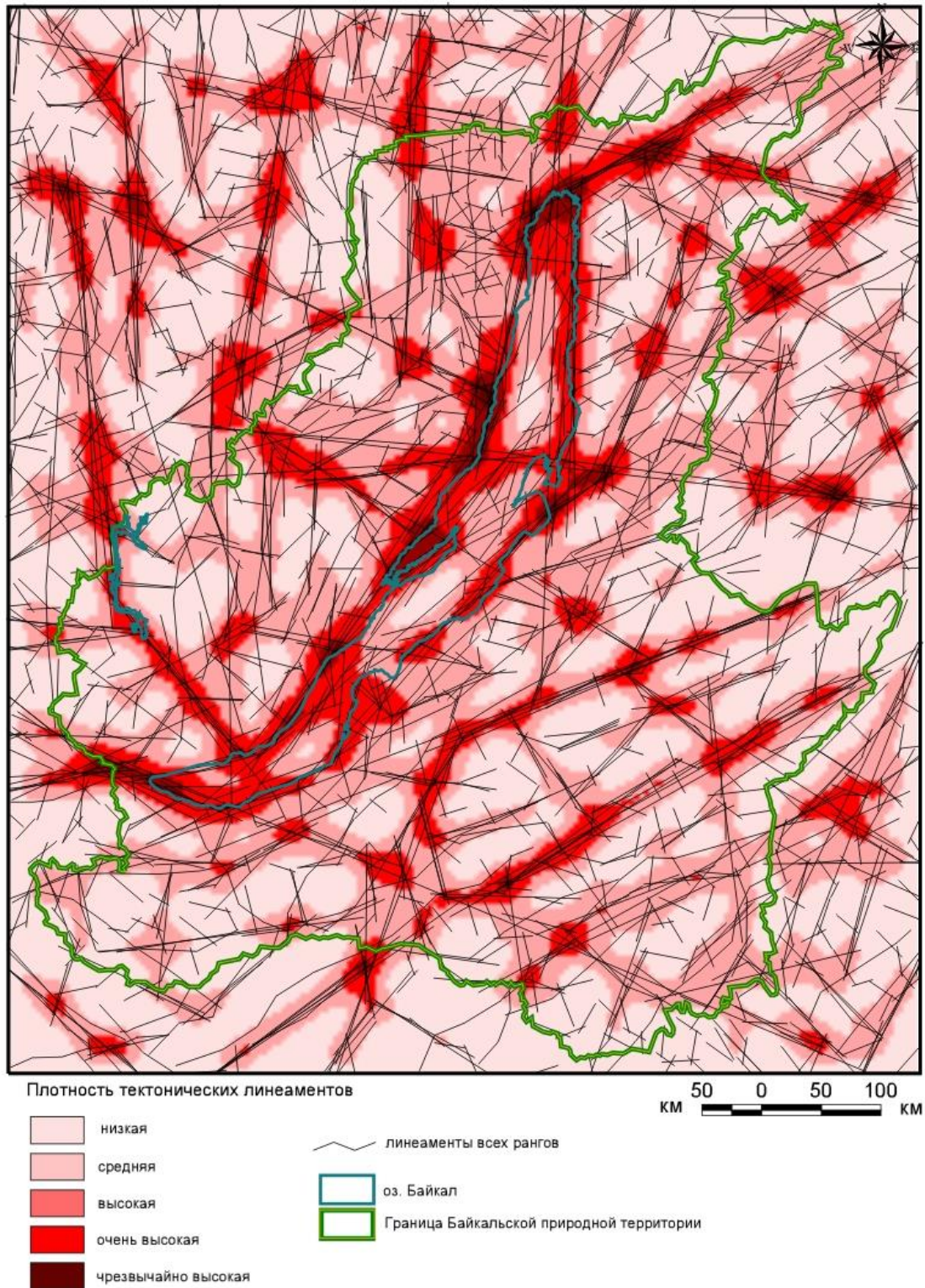


Рис. 5. Карта плотности тектонических линеаментов Байкальской природной территории

На всей территории выделяется более 100 геодинамических активных зон регионального уровня (с площадями 500-5000 км²) с очень и чрезвычайно высокими (5-6 балл) значениями плотности линеаментов (рис. 6).

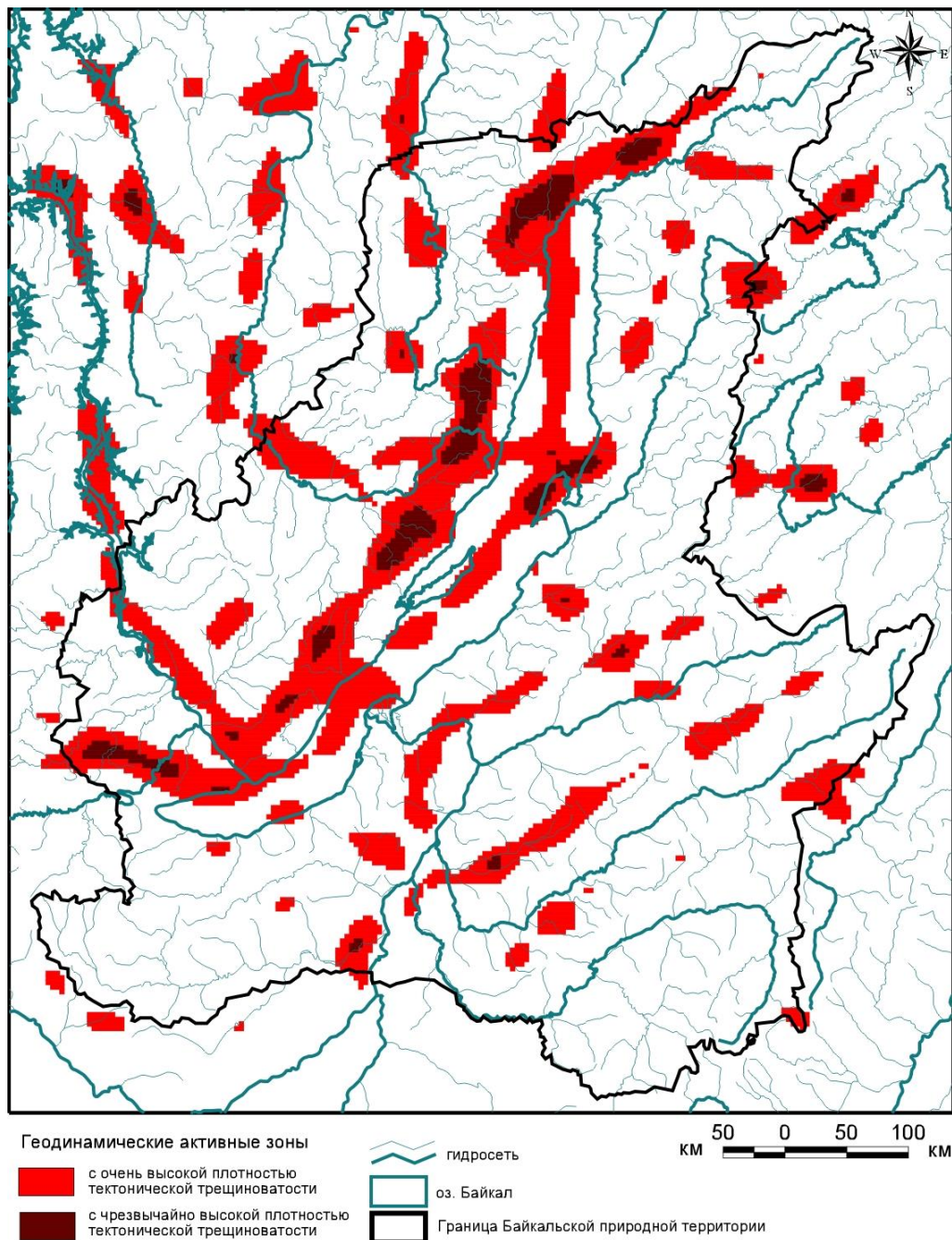


Рис. 6. Карта геодинамических активных зон в Байкальской природной территории

Обсуждение результатов и заключение

Среди многих природных факторов, которые оказывают влияние на экологическую емкость геологической среды ведущая роль принадлежит геодинамическому фактору – современным геодинамическим активным зонам (или просто – геоактивным зонам) – участкам земной коры, активным на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью коры, повышенной трещиноватостью, проницаемостью, и, как след-

ствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности и других процессов в т.ч. – геоэкологических) [7-9]. Геоактивные зоны с различной степенью активности влияют на геоэкологические процессы (под которыми мы понимаются процессы, происходящие под влиянием геологических и других природных факторов, влияющие на биосферу, экологическую обстановку – состояние окружающей среды и здоровье человека и его социально-экономические условия) и принимают участие в формировании геоэкологических условий как главная действующая сила. Таким образом, геоактивные зоны с высокой тектонической трещиноватостью являются одним из ведущих критериев для комплексной геоэкологической оценки и районирования территорий; выявление геоэкологических особенностей природных и урбанизированных территорий, городов, различных объектов в целях оценки геологической и экологической безопасности планируемой хозяйственной деятельности [6].

Практика показывает, что геоактивные зоны имеют мозаичное строение, где имеются, как потенциально благоприятные, так и неблагоприятные геодинамические условия для условий проживания населения, строительства и особенно – для дальнейшей эксплуатации инженерных сооружений, а также – возможности размещения полигонов ТБО. Очевидно, эти геоактивные зоны в виду существования в их пределах высокой тектонической трещиноватости пород, значительно снижают потенциал экологической емкости геологической среды – и в первую очередь подземных вод, снижают степень их защищенности. Необходимо дальнейшее изучение геодинамической активности геологической среды БПТ на основе проведения детальных аэрокосмогеологических исследований.

Библиографический список

1. Беззубов В.А., Часовников С.Н. К вопросу об экологической емкости территории и способам ее оценки // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12-4. С. 751-754.
2. Геологическая карта России и прилегающих акваторий. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. ред. О.В.Петров; ВСЕГЕИ, 2012. <http://www.vsegei.ru/ru/info/gk-2500/jpeg/index.php>
3. Денисенко Т.В. Экологическая емкость территории: принципы оценки и анализ результатов // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск). 2005. Т. 7. С. 206–210.
4. Жук П.М., Лаврусевич А.А. Современные подходы к определению экологической емкости территорий для оценки строительной продукции // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2020. № 1. С. 47-51.
5. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 6. С. 14-19.
6. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 7. С. 67-71.
7. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края*. Пермь, 2021. 501 с.
8. Копылов И.С. *Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы*. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. 166 с.
9. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 9-3. С. 86-90.

10. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
11. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.*
12. Копылов И. С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
13. 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.*
14. Копылов И.С. *Проведение линеаментно-геодинамического анализа Горного Алтая и трассы проектируемого газопровода «Алтай» // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 8-3. С. 398.*
15. Копылов И.С. *Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ: монография / LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 152 с.*
16. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
17. Копылов И.С., Ковин О.Н., Накысбек С. *Инженерно-геодинамический анализ территории на стыке России, Китая, Казахстана и Монголии для строительства магистральных трубопроводов // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2019. С. 197-203.*
18. Корж А.П. *Емкость среды: развитие понятия и его содержание // Ecology and poospherology. 2013. Vol. 24, no. 1–2. С. 94-101.*
19. Корляков К.А. *Емкость среды: монография. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2018. 385 с.*
20. Мусихина Е.А., Айзенберг И.И., Михайлова О.С. *Пространственно-временной метод оценки экологической емкости территорий // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 175-178.*
21. *Об охране озера Байкал: Федеральный закон от 01.05.1999 N 94-ФЗ (ред. от 30.12.2021). – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».*
22. Протасов А.А. *О концепции емкости среды и экологической емкости // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, № 4. С. 3-13.*
23. Rogozin M.V., Kopylov I.S., Krasильников П.А. *Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 223-227.*
24. Франц Герман. *К вопросу об экологической емкости региона [Электронный ресурс]. Режим доступа: file://C:/Users/user/Downloads/100522100819.pdf (Дата обращения: 30.04.2022).*
25. *Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.*

**ПРОВЕДЕНИЕ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ЗОН
ТЕРРИТОРИИ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЧАЙКОВСКИЙ»
(ГРЕМЯЧИНСК – ЧУСОВОЙ – ПЕРМЬ – КЫН)**

Проведены аэрокосмогеологические исследования на территории прохождения трасс магистральных газопроводов на востоке и юго-востоке Пермского края на площади 13,4 тыс. км². Региональным и зональным дешифрирование космических снимков выделено 4696 тектонических линеаментов. Закартированы 5 крупных аномальных геодинамических зон. Непосредственно по трассам магистральных газопроводов выделены 163 локальных геодинамических активных участков. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки для эксплуатации газопроводов.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, геодинамические активные зоны, газопровод, Средний Урал.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

**CONDUCTING AEROSMIC AND GEOLOGICAL RESEARCHES TO
IDENTIFY GEODYNAMIC ACTIVE ZONES OF THE TERRITORY
OF TRANSPORT GAS PIPELINES LLC "GAZPROM TRANSGAZ
TCHAIKOVSKY" (GREMYACHINSK – CHUSOVOY – PERM – KYN)**

Aerospace studies were carried out on the territory of the main gas pipelines in the north and east of the Perm Territory on an area of 13,4 thousand km². 4696 tectonic lineaments have been identified for regional and zonal interpretation of space images. 5 large anomalous geodynamic zones have been mapped. 163 local geodynamic active areas have been identified directly along the routes of the main gas pipelines. They represent potentially dangerous emergency areas for the operation of gas pipelines.

Key words: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, geodynamic zones, gas pipeline, Middle Urals

Введение

Изучение геодинамической активности и зон тектонической трещиноватости является важнейшей задачей для геологической безопасности функционирования магистральных газопроводов. Геодинамические активные зоны (как мобильные зоны трещинно-разрывных нарушений на границах блоковых структур или узлы пересечения разнонаправленных нарушений осложняющие неотектонические блоки; внутриблоковые участки сгущения

сети нарушений) являются потенциальными аварийноопасными участками на линейных трассах [21, 28-31]. Установлено, что определенная часть аварийных ситуаций приурочивается к активным геодинамическим зонам деструкции осадочного чехла и концентрируется на контактах неотектонических блоковых структур [32].

Региональные линеаменты, разграничивающие неотектонические блоки и сопровождающиеся субпараллельными линеаментами меньшей протяженности, образуют на границах блоковых структур линейные мобильные зоны интенсивной трещиноватости. В этих зонах локально возрастают интенсивность эрозионного и денудационного расчленения рельефа, его контрастность, глубина вреза эрозионных форм [5]. Как показали АКГИ на Ново-Губахинском участке в Пермском Приуралье, в таких геодинамических зонах на границах блоковых структур чаще могут возникать на пересекающих их инженерных сооружениях аварийно-опасные и осложненные участки [10].

Целью работ являлось выявление тектонически активных зон в верхней части осадочного чехла на территории прохождения трасс магистральных газопроводов» ООО «Газпром трансгаз Чайковский», могущих оказать негативное влияние на техническое состояние магистральных газопроводов на основе проведения аэрокосмогеологических исследований (АКГИ).

Работы проводились ООО «Пермской геолого-геофизической компанией» в соответствии с техническим заданием, утвержденным ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и Горным институтом УрО РАН и проходили в 3 этапа, соответствующих трем районам исследований [27] (рис. 1). Результаты 1-го этапа были рассмотрены в работе [16].

В настоящей статье рассматриваются результаты АКГИ 2-го этапа, выполненных автором совместно с В.З. Хурсиком. Пространственные границы объекта на 2 этапе: Приволжский ФО, Пермский край. В пределах топографических планшетов масштаба 1:200 000: О-40-ХV, ХVI, ХХI, ХХII, ХХIII (Гремячинск – Чусовой – Пермь – Кын). Площадь исследований 13,4 тыс. км².

Геологические и инженерно-геологические условия

Рассматриваемая территория расположена на Среднем Урале и Приуралье на стыке и в пределах Восточно-Европейской платформы (включает части Висимской впадины, Пермского свода, Быско-Кунгурской впадины), Предуральского краевого прогиба (включает части Косьвинско-Чусовской седловины и Юрюзано-Сылвинской депрессии) и Западно-Уральской зоны складчатости [20, 25]. По ландшафтно-геохимическому районированию площадь располагается на границе и в пределах мегагеохор денудационных равнин Среднего Прикамья и Среднего Предуралья и остаточных горных массивов западного склона Среднего Урала [19]. Рельеф – равнинный, холмистый со средними высотными отметками от 100-150 м на западе до 400–450 м – на востоке. Расчлененность рельефа увеличивается в восточном направлении.

Преобладают таежные денудационные ландшафты Предуралья с дерново-подзолистыми, подзолистыми, лесными, преимущественно супесчаными и суглинистыми почвами. Среди экзогенных геологических процессов

преобладают эрозионные, оползневые и особенно – карстовые процессы с наибольшей интенсивностью в восточной части территории [9, 11, 17, 22-26].

В инженерно-геологическом отношении располагается (с запада на восток) в пределах двух инженерно-геологических регионов первого порядка – Восточно-Европейской (Русской) платформы (включающей два региона второго порядка – Волго-Уральский, и Предуральский) и инженерно-геологического региона первого порядка Урало-Новоземельской горной страны (включающей два региона второго порядка – Западно-Уральский и Центрально-Уральский) [23].

На большей части территории в западной и центральной частях территории на поверхности залегают карбонатно-терригенные породы шешминского и соликамского горизонтов уфимского яруса нижней перми. В восточной части района коридор трассы магистральных газопроводов располагается в пределах Западно-Уральской зоны складчатости, где на поверхности залегают в основном терригенно-карбонатные породы артинского яруса нижней перми и среднего-верхнего карбона, а также преимущественно терригенные отложения девона и венда. Среди четвертичных физико-геологических комплексов, перекрывающих практически повсеместно формации коренных пород преобладают делювиальные и элювиально-делювиальные отложения, а в речных долинах – аллювиальные отложения пойменных и террасовых комплексов [9, 25].

Регион является сейсмически и геодинамически неоднородным, где, современные тектонические движения проявляются по-разному, формируют на фоне относительно стабильных территорий геодинамические активные зоны и участки [6-8, 12-15].

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований

Исследования проводились по методикам, изложенным в работах [2, 7, 14, 16, 31]. Методика исследований на 2 этапе, была аналогичной 1 этапу и включала: комплектацию материалов аэрокосмических съемок (МАКС), анализ и переинтерпретацию результатов предшественников, обзорное региональное дешифрирование аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС), зональное дешифрирование (КС) масштаба 1:100 000, картирование геодинамических активных зон) подробно изложены в работе [16].

Основными материалами для дешифрирования были КС «Landsat 7». Снимки очень высокого качества, с разрешением на местности 30 и 14 м (позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000 и 1:50 000), характеризуются высокой геологической информативностью. С их помощью производился основной объем комплексного дешифрирования на региональном и зональном уровнях.

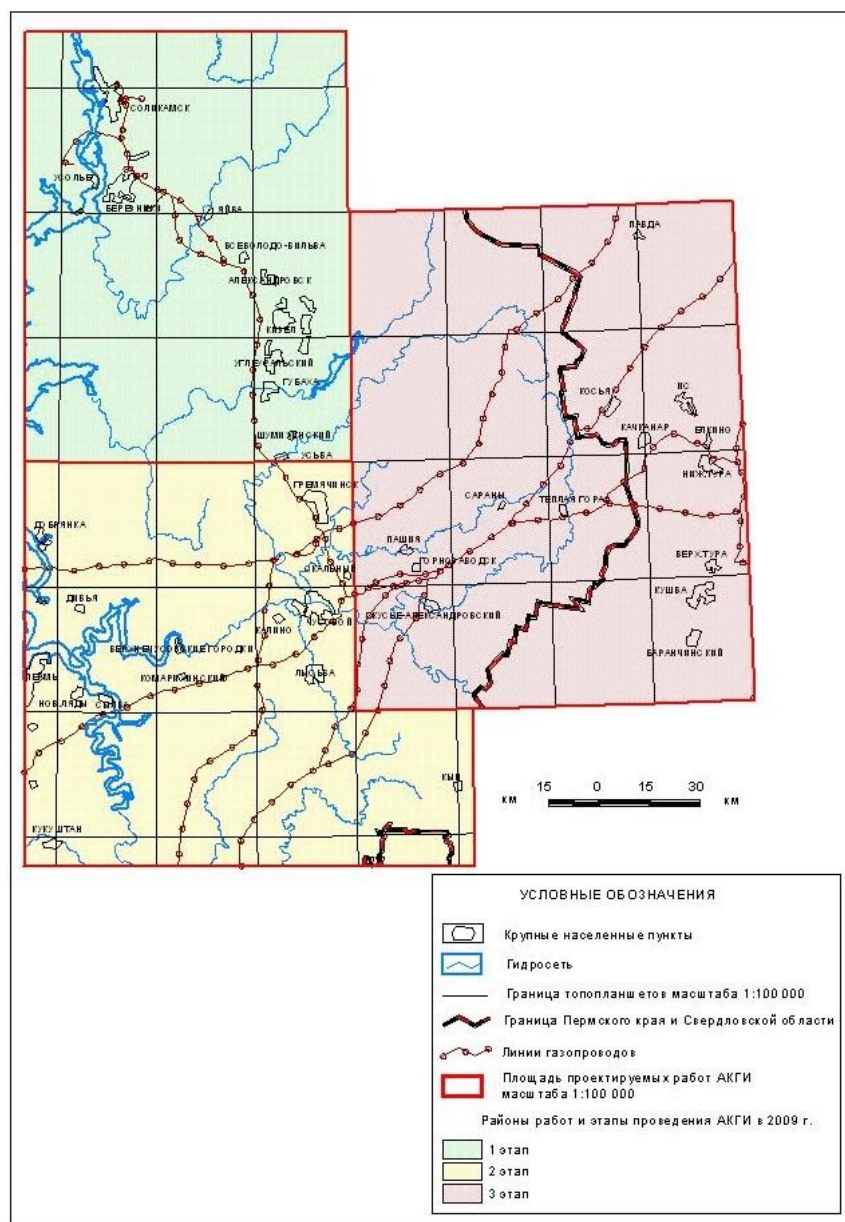
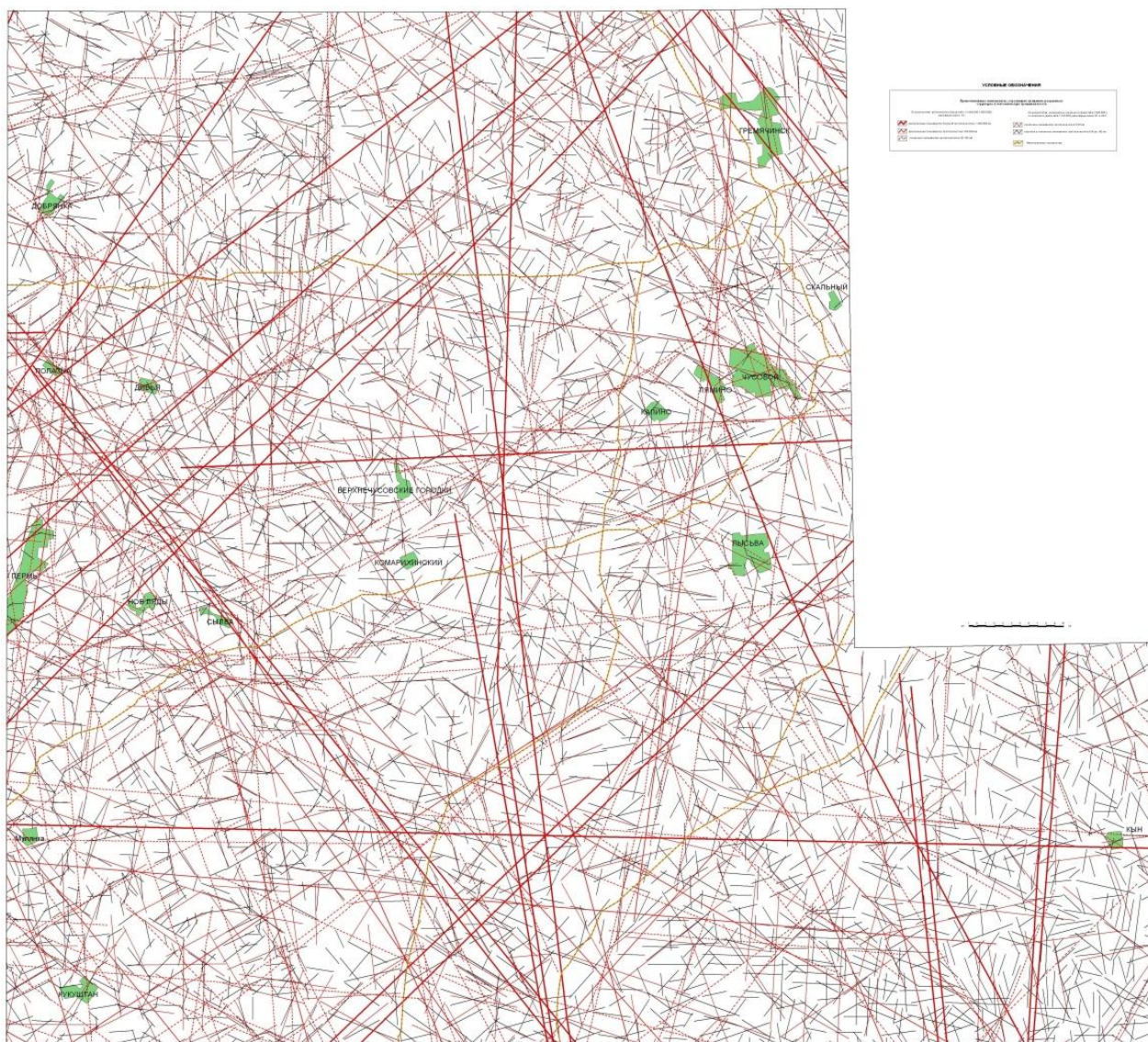


Рис. 1. Обзорная схема АКГИ по этапам [16]

Зональное дешифрирование аэрокосмических снимков масштаба 1:100 000

В результате дешифрирования АФС и КС (в соответствии с методикой, изложенной в работе [] на территории района №2 в восточной части Пермского края (листы О-40- XV, XVI, XXI, XXII, XXIII), на общей площади на площади 13,4 тыс. км² выявлена сеть основных прямолинейных линеаментов различных направлений, предположительно отобразивших активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте (рис. 2).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рис. 2. Карта линеаментов территории трасс магистральных газопроводов (листы О-40- XV, XVI, XXI, XXII, XXIII) по результатам регионального и зонального дешифрирования космоснимков (уменьшение с масштаба 1:100 000)

Региональным и зональным дешифрированием КС в рассматриваемом районе выделено 4696 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги:

- региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 до 1100 км) – 29 линеаментов;
- региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 98 линеаментов;

- зональные линеаменты (25-100 км) – 103 линеаментов;
- локальные линеаменты (5-25 км) – 802 линеаментов;
- локальные и короткие линеаменты (от 2-5 до 10 км) – 3664 линеаментов.

Установлены те же закономерности размещения линеаментов, что и в районе № 1 (многие региональные и зональные линеаменты прослеживаются по обоим районам и выходят за их пределы). Установлены прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия северо-западных и северо-восточных линеаментов, а также субмеридиональные. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем глобальных и региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 330° и 60° ; ортогональная система – 10° и 285° . Необходимо отметить, что подавляющее большинство глубинных разломов, выделенных геолого-геофизическими методами [3], проявляются на космических снимках линеаментами, совпадающими с их осевыми линиями, или трассирующимися параллельно им в непосредственной близости.

Региональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Отчетливо выделяются крупные геоструктуры, особенно меридионального, северо-западного и северо-восточного простирания. Зональные линеаменты контролируют большинство средних структур.

Прямолинейные линеаменты отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексуно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры.

Линеаментно-блоковый анализ

На рассматриваемой территории проведен линеаментно-блоковый анализ с детальностью исследований соответствующий масштабу картирования 1:200 000 (рис. 3).

Выделение блоковых структур производилось в соответствии с принципами линеаментной тектоники [4]. Границами блоковых структур послужили отрезки протяжённых прямолинейных линеаментов, контролирующих геологические структуры, неотектонические блоки. Все неотектонические блоки характеризуются определенными орографическими уровнями поверхностей рельефа.

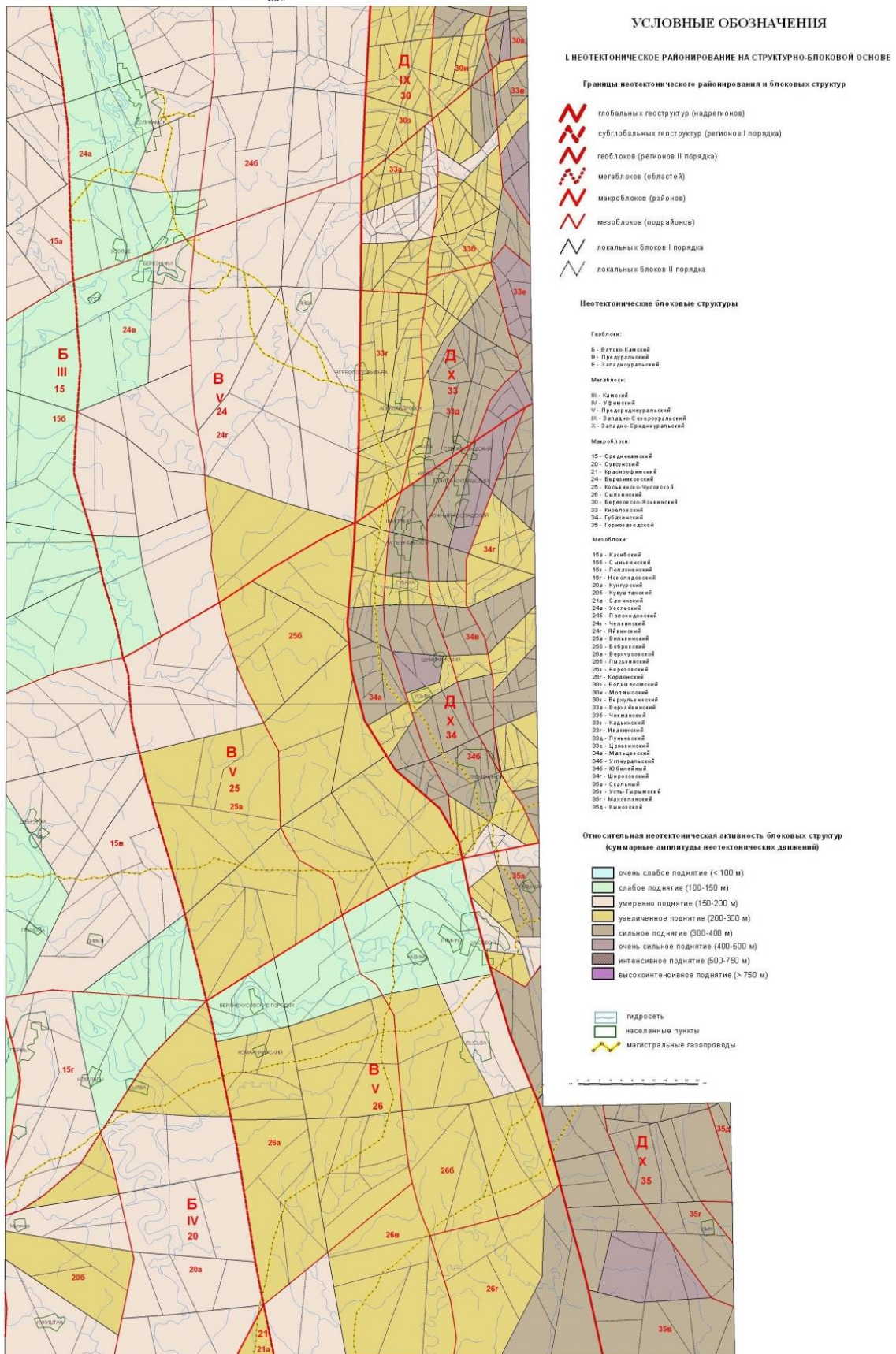


Рис. 3. Карта неотектонических блоковых структур территории трасс магистральных газопроводов по результатам регионального и зонального дешифрирования космоснимков (уменьшение с масштаба 1:100 000)

В качестве основы для неотектонического районирования на структурно-блоковой основе до уровня выделения геоблоков взята карта геолого-неотектонического районирования масштаба 1:1 500 000, под редакцией В.И. Бабака и Н.И. Николаева (1983) [1]. Границы региональных неотектонических блоковых структур (мегаблоки, макроблоки, мезоблоки) проведены в соответствии с картой неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000 [9, 20].

Рассматриваемая территория входит в пределы планетарных геоструктур – Восточно-Европейской материковой платформы и Уральской складчатой системы. Выделяются фрагменты региональных геоструктур: 5 геоблоков (Вятско-Камский, Предуральский, Западноуральский, Центральноуральский, Восточноуральский), которые включают фрагменты 7 мегаблоков (Среднекамский, Уфимский, Предсреднеуральский, Западносевероуральский, Западно-среднеуральский, Центральносреднеуральский, Восточносредне-уральский). Выделяются частично или полностью 17 макроблоков и 56 мезоблоков.

Мезоблоки в свою очередь «разбиты» на локальные структуры – блоки разного порядка. Задачей линеаментно-блокового анализа при детальности исследований масштаба 1:200 000 являлось выделение локальных блоков 1 порядка. На изученной территории (в границах районов № 1 и № 2) выделено более 200 локальных блоков.

Установлено, что на этой территории трассы магистральных газопроводов пересекают границы 18 региональных блоковых структур – мезоблоков и 108 локальных блоков (рис. 3).

Проведен анализ степени неотектонической активности блоковых структур.

Оценка геодинамической (неотектонической) активности и выделение геодинамических активных зон и участков

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная геодинамическая (неотектоническая) активность.

На рассматриваемой территории проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости (по их протяженности на единицу площади) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории (рис. 4).

Плотность линеаментов и мегатрещиноватости (которая рассчитывалась для всей площади по региональным, зональным, локальным и коротким линеамен-там) на рассматриваемой территории колеблется в широких пределах.

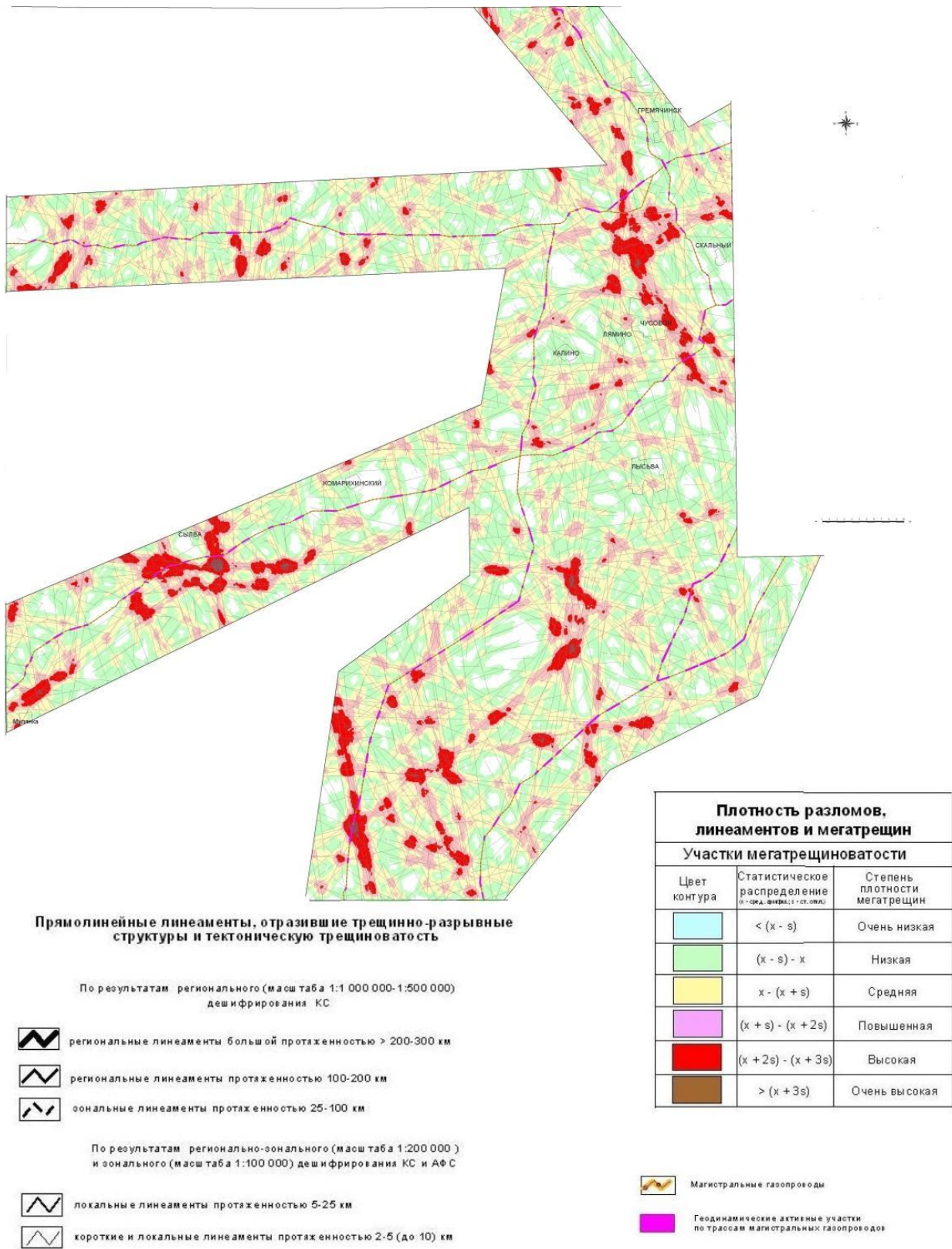


Рис. 4. Карта тектонической трещиноватости и геодинамических активных зон и участков территории трасс магистральных газопроводов (листы О-40- XV, XVI, XXI, XXII, XXIII) (уменьшение с масштаба 1:100 000)

Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями. Многочисленные, но небольшие по площади аномалии с повышенной и высокой степенью интенсивности, характерны для участков границ неотектонических блоковых структур.

Общий фон составляют значения с низкой (2 балл), средней (3 балл) степенью плотности линеаментов. Они занимают около 85% рассматриваемой территории. Участки с повышенными значениями плотности линеаментов (4 балл) занимают около 10% территории. Как правило, они имеют линейную форму с размерами в длину от 2-5 до 7-25 км, в ширину 1-3 км

Аномалиями являются локальные участки с высокими (5 балл) и очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Выделяется более 100 геодинамических активных участков (размерами 3-11 x 0,5-1 км) с высокой и очень высокой степенью плотности линеаментов. Они занимают примерно 5% рассматриваемой территории.

Отдельные участки магистральных газопроводов находятся в пределах геодинамических активных зон и участков с высокой и очень высокой степенью плотности линеаментов.

Непосредственно по трассам магистральных газопроводов в пределах района № 2 выделены 163 линеаментных геодинамических участков (в местах пересечений двух и более линеаментов, а также их сгущений). Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки. В окончательном отчете они будут ранжированы по степени геодинамической опасности.

Наиболее опасными можно считать 4 участка:

- участок (1,5 км) в 14 км северо-западнее г. Чусового (п. Утес);
- участок (2 км) в 4 км южнее г. Чусового;
- участок (7км) в 2 км южнее п. Сылва;
- участок (6км) между дд. Харчуны и Мал. Голышево.

Заключение

На территории трасс магистральных газопроводов (листы О-40- XV, XVI, XXI, XXII, XXIII) региональным и зональным дешифрирование космических снимков выделено 4696 тектонических линеаментов. Закартированы 5 крупных аномальных геодинамических зон. Непосредственно по трассам магистральных газопроводов выделены 163 локальных геодинамических активных участков. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки для эксплуатации газопроводов. В результате исследований составлены карты: линеаментов территории трасс магистральных газопроводов масштаба 1:100 000 (рис. 2); тектонической трещиноватости и геодинамических активных зон и участков масштаба 1:100 000 (рис. 3); неотектонических блоковых структур (района № 1: листы О-40-III, IV, IX, X и района № 2: листы О-40- XV, XVI, XXI, XXII, XXIII) масштаба 1:200 000, где выделено более 200 локальных неотектонических блоков (рис. 4).

Библиографический список

1. Бабак В.И., Николаев Н.Н. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечернозёмной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000. М.: ГУГК. 1984.
2. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использованию их результатов при нефтегазопроисловых исследованиях /Коллектив авторов. Отв. ред. В.В. Стасенков, А.А. Аксенов. Министерство нефтяной промышленности. АН СССР. М.: ИГиРГИ, 1987. 159 с.
3. Кассин Г.Г., Шершнев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линейной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
5. Кочарян Г.Г. и др. Влияние геодинамических факторов на механическую устойчивость протяжённых инженерных сооружений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2001. № 6. – С.489-500.
6. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
7. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
8. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
9. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
10. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические нефтегазопроисловые исследования на Ново-Губахинском лицензионном участке // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 224-252.
11. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
12. Копылов И.С. Линейно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.
13. Копылов И.С. Линейно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
14. Копылов И. С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
15. Копылов И.С. Неотектоническое строение приуральского сегмента в границах главного пермского поля // В сборнике: пермская система земного шара – 180 лет. Сборник научных статей (90-летию геологического факультета посвящается). Пермь, 2022. С. 78-87.
16. Копылов И.С. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром Трансгаз Чайковский» (Соликамск – Кизел – Усьва) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 316-326.
17. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
18. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
19. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.

20. 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.
21. 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.
22. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г., Осовецкий Б.М. Инженерно-геологическое изучение, картографирование, районирование территории Пермского края // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2190-2195.
23. 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.
24. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2196-2201.
25. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
26. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
27. Копылов И.С., Хурсик В.З. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром Трансгаз Чайковский». Отчет по договору ООО «Пермской геолого-геофизической компании» с Горным институтом УрО РАН. Пермь, 2009.
28. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 (1:100000-1:500000). М.: Недра, 1978. 391 с.
29. 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.
30. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 5-6. 2005. С 76-78.
31. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. Москва, Недра, 1979. 223 с.
32. Султангареев Р.Х. Оценка влияния геодинамики на работоспособность магистральных газопроводов // Нефтегазовое дело. Уфа, 2006. Т.2. С. 60-63.

**ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ КРАСНОУФИМСКОГО
МАКРОБЛОКА ПО ДАННЫМ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАРСТООПАСНОСТИ
МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА**

Проведена оценка карстоопасности трассы магистрального газопровода «Уренгой-Новопсков» по инженерным изысканиям на 2-х участках: 1594-1620 км и 1620-1647 км. Одной из задач было картирование тектонической трещиноватости по аэрокосмическим методам. По дешифрированию космических снимков и линеаментно-геодинамическому анализу выделены участки с повышенной тектонической трещиноватостью и высокой степенью неотектонической активности, которые являются потенциальными аварийно-опасными карстовыми участками.

Ключевые слова: карст, опасность, инженерные изыскания, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, геодинамические активные зоны, газопровод, Приуралье, Пермский край.

I.S. Kopylov, Yu.A. Kilin, E.A. Erofeev

Perm State University, Perm, Russia

**TECTONIC FRACTURES OF THE KRASNOUFIM MACROBLOCK
ACCORDING TO THE DATA OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL
INVESTIGATIONS FOR THE ASSESSMENT OF THE KARST
HAZARD OF THE MAIN GAS PIPELINE**

An assessment of the karst hazard of the Urengoy-Novopskov main gas pipeline route was carried out based on engineering surveys at 2 sections: 1594-1620 km and 1620-1647 km. One of the tasks was to map tectonic fractures using aerospace methods. Based on the interpretation of space images and lineament-geodynamic analysis, areas with increased tectonic fracturing and a high degree of neotectonic activity, which are potential accident-hazardous karst areas, have been identified.

Key words: karst, danger, engineering survey, aerospace methods, interpretation, lineament analysis, geodynamic active zones, gas pipeline, Priurals, Perm region.

Введение

Развитие карстовых процессов, обусловлено комплексом геолого-литологических, гидрогеологических, структурно-геологических, геодинамических и физико-географическими факторов [5, 21, 26]. Одним из важнейших факторов является повышенная тектоническая трещиноватость пород и обеспечивающая ее геодинамическая активность, которые являются необходимыми условиями для обеспечения водопроницаемости карстующихся пород.

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) являются ведущими методами картирования и оценки тектонической трещиноватости и геодинамиче-

ской активности. Основой методологии изучения геодинамических активных зон является линеаментно-геодинамический анализ [15-18]. Изучение геодинамической активности и зон тектонической трещиноватости является важнейшей задачей для геологической безопасности функционирования магистральных газопроводов. В работах [3, 4, 7, 8, 22, 23, 27], рассмотрены условия техногенеза и карстогенеза в связи с эксплуатацией магистральных газопроводов а также дана оценка влияния геодинамики на работоспособность магистральных газопроводов, показана необходимость проведения комплексного мониторинга геологической среды карстовых районов.

Район исследований находится на юго-востоке Пермского края, в междуречье рек Сылвы и Ирени.

Целью работ являлось оценка карстоопасности трассы магистрального газопровода (МГ) «Уренгой-Новопсков» по инженерным изысканиям на 2-х участках: 1594-1620 км и 1620-1647 км [24, 25]. Одной из задач было картирование тектонической трещиноватости по аэрокосмическим методам и выявление зон повышенной геодинамической активности, как потенциальных карстоопасных участков.

Геологические и неотектонические условия

Район находится на восточной окраине Восточно-Европейской платформы (Русская плита), на стыке Волго-Уральской антеклизы (Быско-Кунгурская впадина) и Предуральяского краевого прогиба (Юрюзано-Сылвинская депрессия) [1].

В геологическом строении района (в верхней части разреза) принимают участие породы палеозоя – нижней перми и мезо-кайнозоя [2, 19, 20] (рис. 1):

Наибольшее распространение с выходом на поверхность имеют отложения кунгурского яруса нижней перми, которые подразделяются на ряд горизонтов. В западной части района развит филипповский горизонт (известняки) и иренский горизонт, представленный пачками: нижнеиренский подгоризонт (карстовая брекчия); шалашинская пачка (ангидриты с прослоями доломита и гипса); елкинская пачка (доломиты с включениями гипса и ангидрита); демидовская пачка (гипсы, ангидриты, доломиты); туюнская пачка (доломиты, известняки, мергели); лунежская пачка (ангидриты с включениями гипса, доломиты). В восточной части на поверхность выходит кошелевская свита (песчаники с линзами конгломератов, алевролиты, глины, ангидриты, гипсы). Соликамский горизонт уфимского яруса нижней перми (песчаники, алевролиты, известняки, доломиты, мергели) распространен в западной части района (за пределами района изучения). Неоген (глины каолиновые, пески с включениями кварцитовидных песчаников) и палеоген-неоген (глины, пески, галечники) имеют фрагментарное распространение. Выходы мезокайнозойских отложений (белые глины) имеются на берегу р. Сылвы в 3,5 км выше устья реки Кишертки. Породы четвертичной системы (аллювиальные глины, суглинки с дресвой и щебенкой коренных пород, гравий, галечники, супеси, глины) перекрывают коренные породы практически повсеместно.

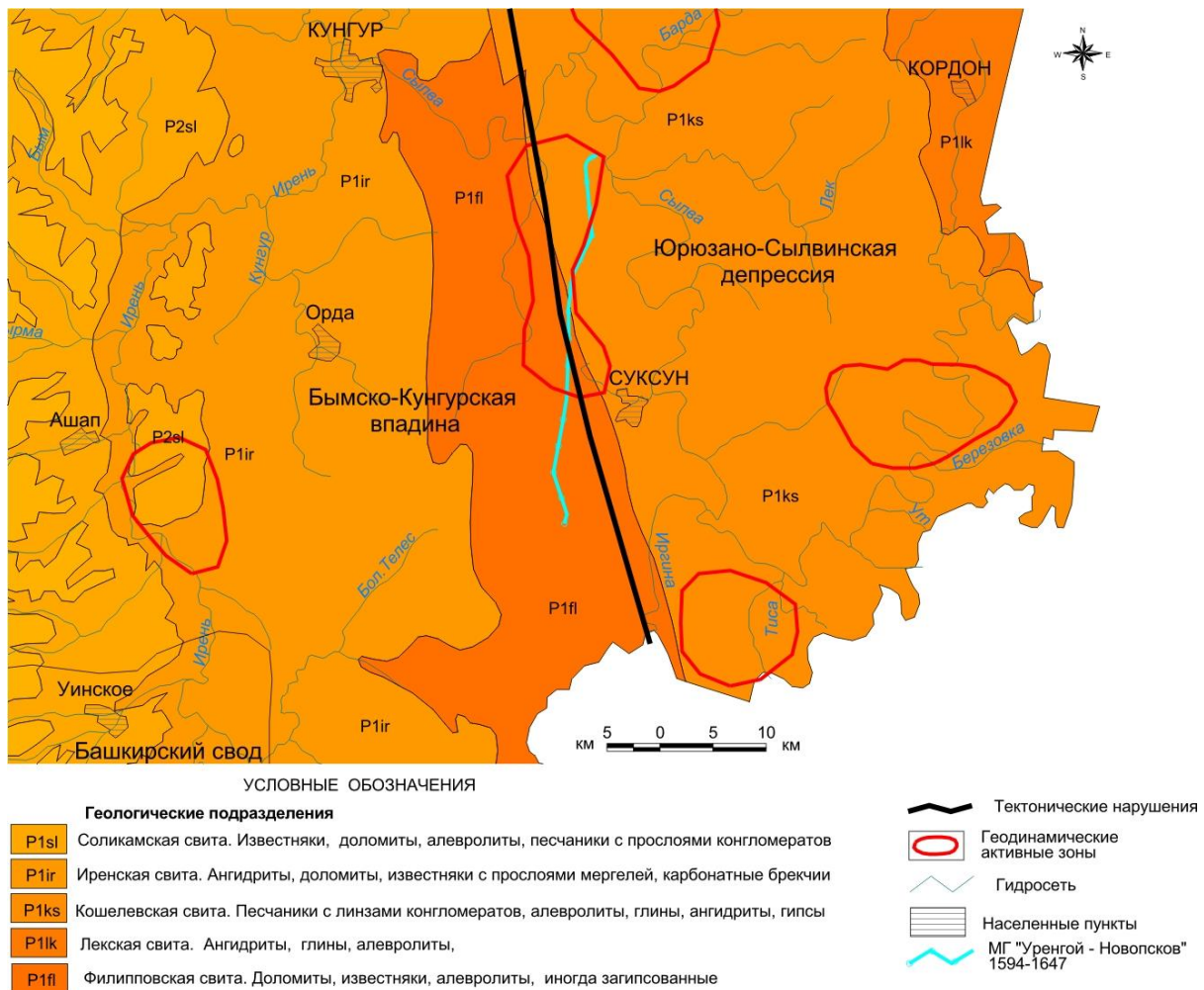


Рис. 1. Геологическая карта района исследований [1, 19]

Непосредственно на участках изысканий магистрального газопровода развит переходный тип разреза, от карбонатно-сульфатного к сульфатно-карбонатно-глинистому (А.А. Оборин, В.З. Хурсик, 1973, 1976). Карбонатно-сульфатный тип разреза сложен из 7 пачек: нечетные пачки представлены ангидритами и гипсами, четные – доломитами, а иногда известняками. Мощность сульфатных пачек в несколько раз превышает мощность карбонатных пачек.

Сульфатно-карбонатно-глинистый разрез обычно описывают под названием «поповской свиты», состав и строение свиты, непостоянны, но в целом она сложена мергелями, аргиллитами, алевролитами, ангидритами. Меньшее значение имеют каменные соли, доломиты, в незначительном количестве присутствуют известняки, песчаники, гипсы.

Гипсы и ангидриты поповской свиты выходят на поверхность у с. Посад-Кишерть и деревень Мазуевка, Бурцево, кроме того, они вскрыты скважинами в с. Усть-Кишерть, д. Советная и д. Дикое Озеро. Вдоль крыла Уфимского вала протягивается полоса карстовых брекчий, ширина которых местами достигает почти 2 км. Брекчии состоят из обломков карбонатных и сульфатных пород, сцементированных карбонатным и карбонатно-глинистым материалом. Карстовые брекчии наблюдаются также в долине р. Советянки, по правобережью р. Иргины, а также встречены в керне скважин у с. Советянки и с. Усть-Кишерть.

По неотектоническому и блоковому районированию [12, 14, 19] территория занимает часть двух крупных геоблоков – мегаблоков (рис. 2).

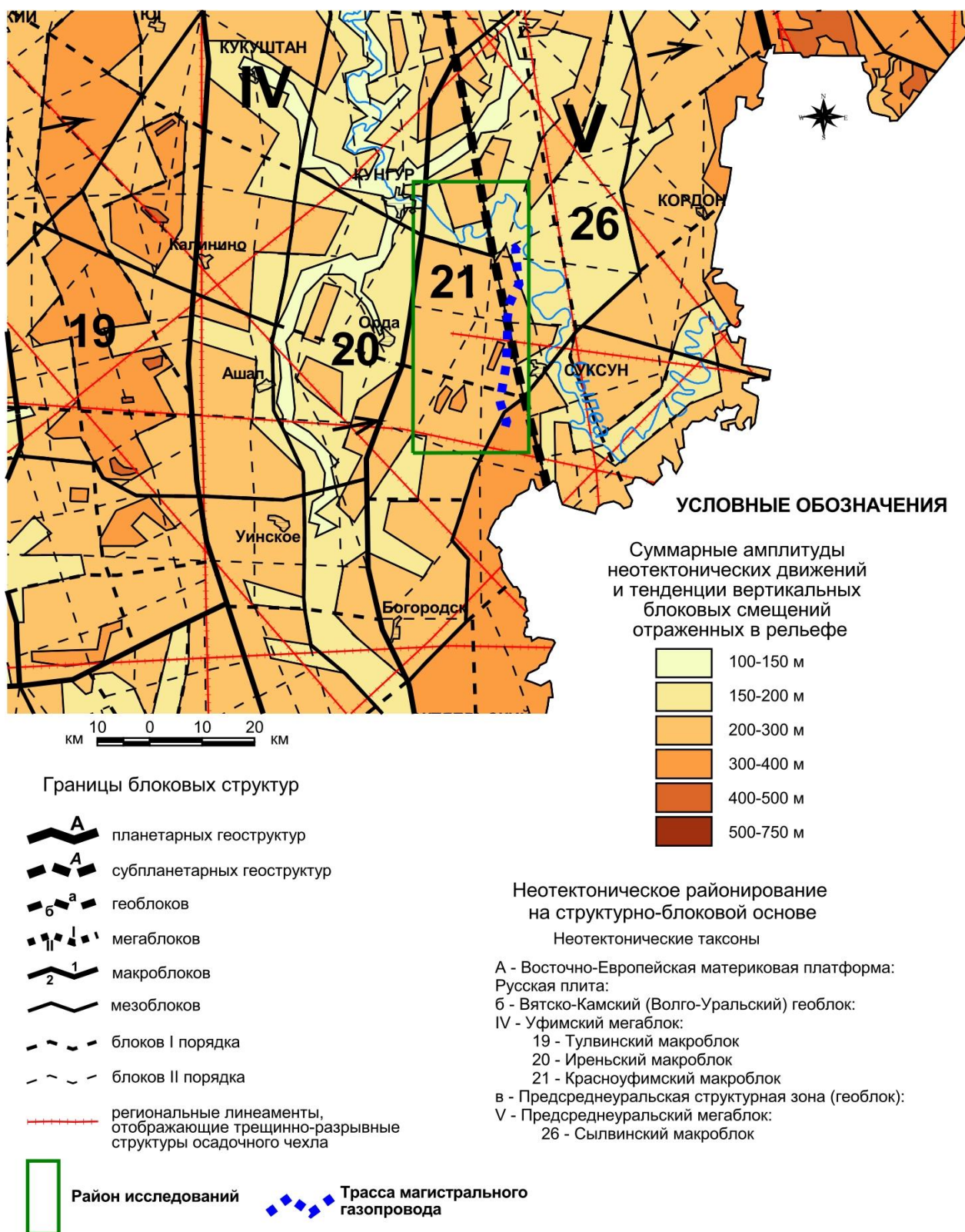


Рис. 2. Фрагмент карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья [14, 19]

Граница их проходит в северо-восточной части территории по крупному региональному линеаменту ССЗ простирания, проходящего через с. Усть-Кишерть. Основная часть рассматриваемой территории расположена на юго-

восточном окончании Вятско-Камского геоблока в пределах Уфимского мегаблока и занимает практически всю площадь Красноуфимского макроблока, в составе которого выделены 3 мезоблока и несколько десятков элементарных блоков. В рельефе Красноуфимский макроблок соответствует Уфимскому плоскогорью (плато) с Сылвенским кряжем. В его пределах широко распространена палеогеновая и останцы более древней позднемезозойской поверхности выравнивания. Уфимское плато расчленено древними олигоцен-миоценовыми долинами и снижено широкими мульдами со специфическими карстово-элювиальными и озерными осадками. Северо-восточная часть территории расположена в пределах Предсреднеуральской структурной зоны (геоблока), Предсреднеуральского мегаблока – юго-западной части Сылвинского макроблока.

Территория характеризуется в основном средней и низкой эрозионной расчлененностью рельефа. Большая часть территории характеризуется стабильной 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. По комплексу морфонеотектонических критериев восточная часть рассматриваемой территории входит в пределы региональной Верхнесылвинской геодинамической активной зоны [16].

Изучение карстовых процессов по дешифрированию космических снимков

Исследования по изучению карста с использованием дешифрирования КС были выполнены сотрудниками кафедры динамической геологии и гидрогеологии ПГНИУ Катаевым В.Н., Ерофеевым Е.А. с участием Килина Ю.А. [6]. Исследования проведены на площадях развития карстующихся пород, которые в схеме карстологического районирования Пермского края соответствуют Нижнесылвинскому (X), Кишертскому (XI), Иренскому (XII) районам развития гипсового и карбонатно-гипсового карста и району карбонатного карста Уфимского плато (XIII) (рис. 3).

Техническую основу дешифрирования составили спутниковые фотоснимки высокого разрешения с сервисов: Google Earth, Google Maps, Bing Maps. Просмотр, загрузка и обработка снимков выполнены в программе SAS Planet. Загрузка и формирование КС и карт осуществлялось в проекции Mercator / WGS84.

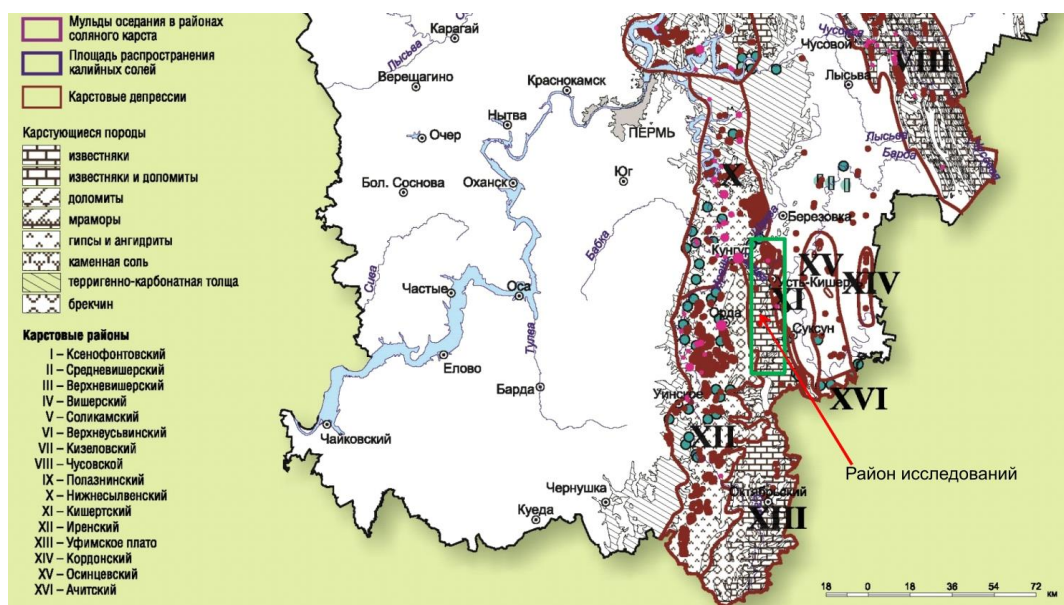


Рис. 3. Район исследований на карте карста Пермского края [1]

Анализ, дешифрирование и визуализация (геометризация) карстовых форм осуществлялось в среде Arc GIS 10.0. Оцифровка карстовых форм производилась в крупных масштабах 1:500–1:2000. Основными дешифровочными признаками являлись сами карстовые формы, их количество и характер распространения по площади, легко узнаваемые по форме в плане, визуально хорошо определяемые на крупномасштабных снимках (рис. 4).



Рис. 4. Поля карстовых форм и их геометризация. Участок в 1,5 км к СВ от пос. Ключи [6, 24, 25]

На КС высокого разрешения четко и однозначно отражаются элементы рельефа, гидросеть, растительность, здания и сооружения. Дешифровочные признаки, как правило, хорошо выражены, а форма и цвет объектов позволяют с достаточной степенью надежности идентифицировать карстовые воронки на открытой местности.

Воронки легко узнаваемы и хорошо выделяются на КС по своей форме в плане (круглая, овальная, вытянутая, симметричная), а также по характеру расположения на местности большими или малыми группами (полями), как правило, хаотично и беспорядочно, но вместе с тем могут встречаться и единичные воронки или их упорядоченные совокупности в виде цепочек вдоль разломов или групп линейных трещин.

Поперечные размеры карстовых форм, выявленных при дешифрировании, сравнивались на предмет их соответствия фактическим размерам в период проведения полевых заверочных работ. Проверка носила выборочный характер, было замерено более 30 воронок с поперечными размерами от 5 до 40 м. По результатам исследований было установлено следующее: размеры форм (от 5 до 30 м), вычисленные дистанционно, в среднем оказались меньше фактических размеров (измеренных рулеткой) на 1-1,5 м. Диаметры форм размером 30 м и более на 1,0–2,0 м превышали фактический размер. Все формы размером менее 1 м были отнесены к точечным объектам и не были геометризованы. Геометризация форм от 1 м, в масштабе 1:500 является более взвешенной, так 4 мм карты будет соответствовать воронка диаметром 2 м. В результате была получена карта-схема плотности карстовых воронок (рис. 5).

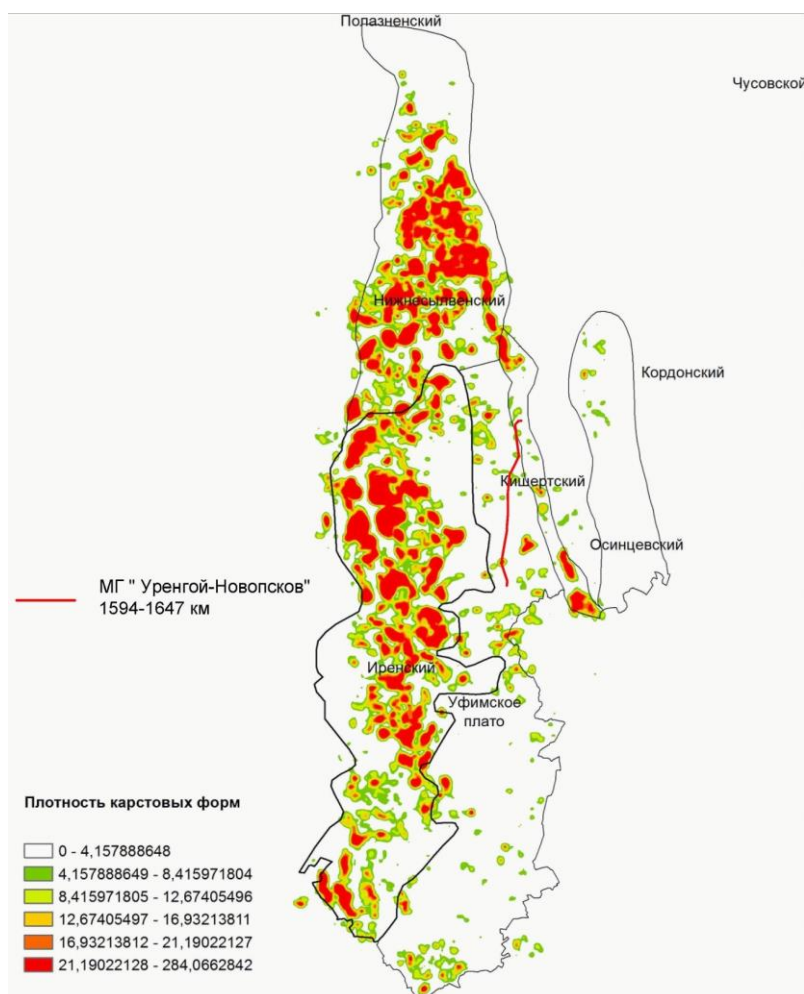


Рис. 5. Карта – схема плотности карстовых воронок [6, 24, 25]

Всего было закартировано 33427 карстовых воронок, из них по Кишертско-Суксунскому району 1296, по Уфимскому плато 1251. Средний диаметр карстовых воронок для Кишертско – Суксунского района 22,8 м, для Уфимского плато 14,5 м. Средние диаметры карстовых воронок в районе трассы МГ в соответствии с картами значительно меньше [6, 24, 25].

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований по оценке тектонической трещиноватости и геодинамической активности

Исследования проводились по методикам, изложенным в работах [9–11,]. Методика включала: комплектацию материалов аэрокосмических съемок (МАКС), анализ и переинтерпретацию результатов предшественников, обзорное региональное дешифрирование аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС), зональное дешифрирование (КС) масштаба 1:100 000, картирование геодинамических активных зон) подробно изложены в работе [13, 17].

Основными материалами для дешифрирования были КС «Landsat 7». Снимки очень высокого качества, с разрешением на местности 30 и 14 м (позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000 и 1:50 000), характеризуются высокой геологической информативностью. С их помощью производился основной объем комплексного дешифрирования на региональном и зональном уровнях.

Региональным и зональным дешифрированием КС (Копылов И.С., Хурсик В.З.) в рассматриваемом районе выделено 1194 прямолинейных линеаментов. По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги: региональные линеаменты большой протяженностью (> 200 – 300 км) – 14 линеаментов; региональные линеаменты значительной протяженностью (100–200 км) – 34 линеаментов; зональные линеаменты (25–100 км) – 87 линеаментов; локальные линеаменты (5–25 км) – 383 линеаментов; локальные и короткие линеаменты (5–10 км) – 676 линеаментов (рис. 6).

Прямолинейные линеаменты составляют различные системы, при этом, наиболее четко на КС выражена системы северо-западных линеаментов. Вдоль границы описанных выше геоблоков через с. Усть-Кишерт 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 прослеживаются системно региональные линеаменты этого направления через 5–6 км. Через всю рассматриваемую территорию с севера на юг прослеживаются региональные линеаменты субширотного или ЗСЗ направления системно с промежутками от 6–8 до 12–14 км.

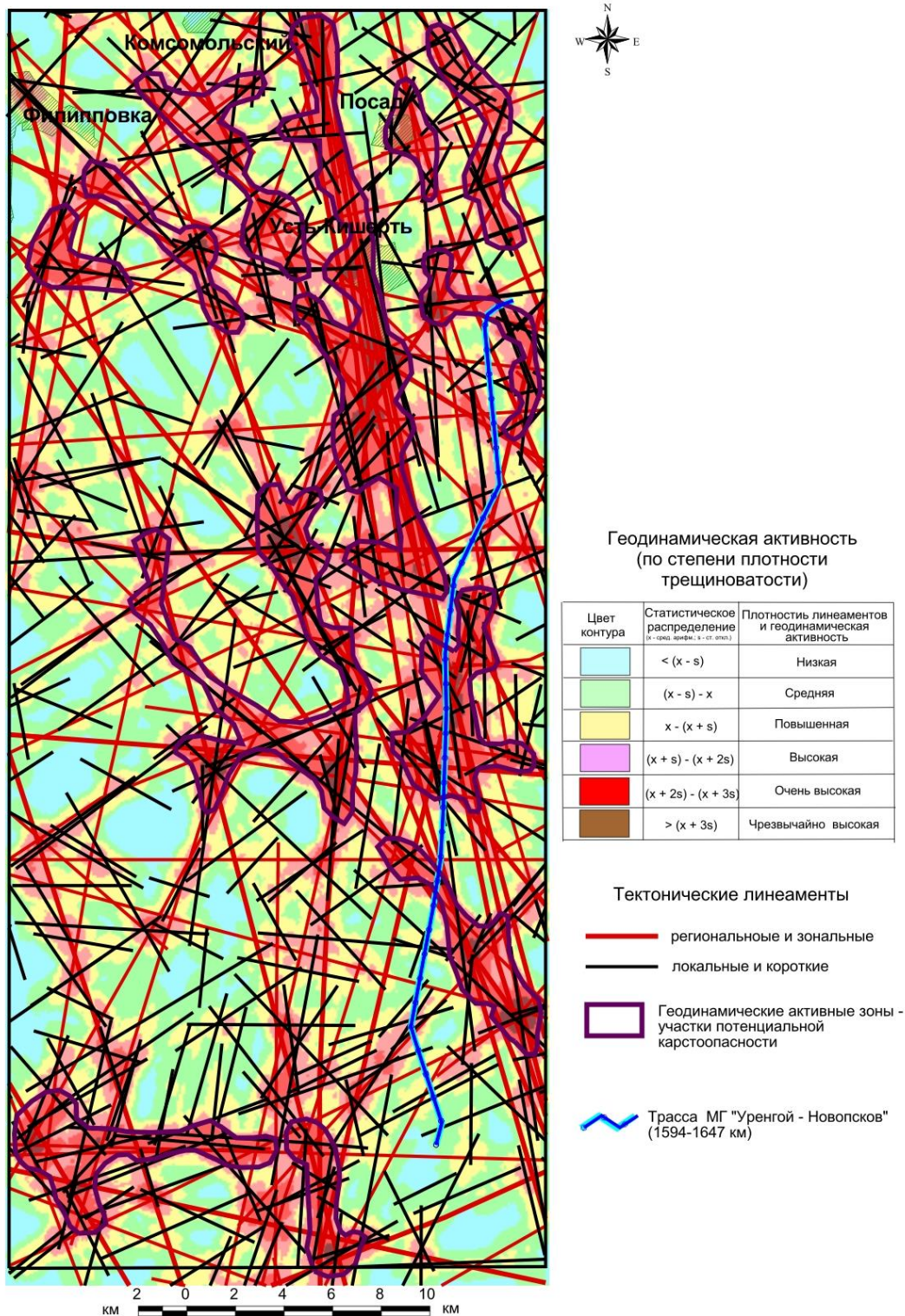


Рис. 6. Оценка тектонической трещиноватости и карстоопасности по регионально-зональным АКГИ

По плотности линеаментов и мегатрещиноватости, общий фон составляют значения с низкой (2 балл) и средней (3 балл) и повышенной (4 балл) степенью плотности. Выделяются более 150 небольших по площади участков (размерами от 0,5–1 до 1,5–6 км) с высокой (5 балл) степенью интенсивности. Выделяются около 35 геодинамических активных зон (размерами от 0,5–1 до 1,5–6 км) с очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Они протягиваются вдоль крупных линеаментов, концентрируются в местах пересечений

3 и более линеаментов и имеют, как правило, изометрично-удлиненную форму с преимущественно северо-западным, северо-восточным и меридиональным простираем.

Наиболее крупные участки с повышенной тектонической трещиноватостью и высокой степенью неотектонической активности на рассматриваемой территории группируются в 28 аномалий с площадями от 5 до 47 км². Крупнейшая геодинамическая зона прослеживается в ССЗ направлении вдоль границы геоблоков, состоит из 3 аномалий с площадями 47,1 км² (по линии Подпавлино – Усть-Кишерть – Низкое – Седа – Мазуевка), 21,7 км² (в районе п.Мазуевка – Дикое Озеро – Советная), 15,6 км² (в 1 км западнее п. Киселево). В северо-западной части территории установлены 3 аномалии северо-западного направления с площадями 17,8, 9,8 и 7,6 км². В северо-восточной части территории установлены 3 субмеридиональных аномалии с площадями 12,8, 9,5 и 5,5 км². В районе р. Кишертки в районе пп. Моргунова, Сабарка, Куликово установлена крупная аномалия с площадью 38,7 км². В центральной части территории установлены 2 значительных по площади аномалий: субширотная с площадью 21,5 км² (пп.Янчики, Ключики) и субмеридиональная с площадью 9,8 км² [16].

Детальное дешифрирование КС в масштабе 1:25 000-1:50 000 (Копылов И.С., 2018) проведено по участкам трассы магистрального газопровода «Уренгой-Новопсков» (1594-1647 км). Результаты детальных АКГИ южного участка трассы МГ отображены на карте карстоопасности по тектонической трещиноватости (рис. 7).

На участках пересечения активизированных систем линеаментов выделены предполагаемые зоны интенсивного развития карста.

Повышенная проницаемость недр, наблюдаемая и предполагаемая вдоль активизированных систем линеаментов, свидетельствует в пользу периодического раскрытия тектонических трещин под воздействием локальных растяжений земной коры, возникающих при микросмещениях соседних блоков. Эти растяжения, как на водоразделах, так и в долинах способствуют преобладанию процессов инфлюации и инфильтрации поверхностных и грунтовых вод в обвально-карстовый горизонт над процессами поверхностного стока.

Инфлюация поверхностных вод происходит через поноры и открытые трещины в днищах и стенках провальных воронок и на расчищенных скальных выходах. Поноры и крупные открытые трещины наблюдаются также в тальвегах оврагов и ложбин. Инфильтрация происходит на обширных пространствах через сеть тектонических микротрещин.

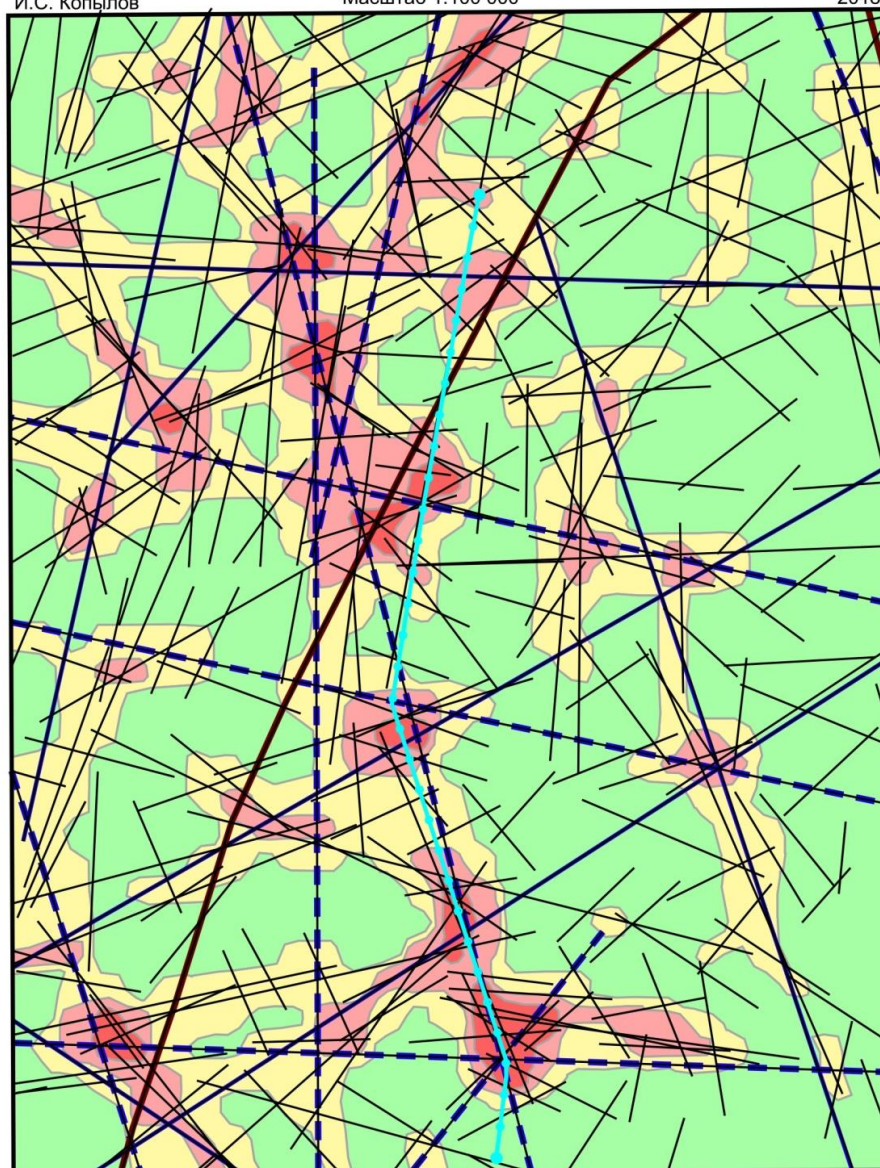
Проникающие в недра поверхностные и грунтовые воды образуют в карстовых полостях системы подземного стока, активизирующие процессы выщелачивания и коррозионно-механического разрушения сульфатных и карбонатных пород.

Карта тектонической трещиноватости центральной части Красноуфимского макроблока

И.С. Копылов

Масштаб 1:100 000

2018



1 0 1 км

Линеаменты отождествляемые с тектоническими нарушениями и обусловленные неотектоническими движениями

По результатам регионального (М 1:1 000 000-1:500 000) и зонального дешифрирования КС (М 1:200 000-1:100 000)



региональные и зональные линеаменты протяженностью >25-100 км



локальные линеаменты протяженностью 5-25 км



По результатам детального дешифрирования КС (М 1:25 000-1:50 000)

короткие линеаменты протяженностью 1-2 (до 5) км



границы мезоблоков



участок газопровода

Степень карстоопасности по тектонической трещиноватости (плотности линеаментов)

низкая

средняя

повышенная

высокая и очень высокая

Рис. 7. Оценка тектонической трещиноватости и карстоопасности по детальным АКГИ южного участка трассы МГ

Эти потоки расширяют и увеличивают объем подземных полостей, начиная от субмиллиметровых трещин до крупных гротов и галерей, способствуют гравитационной просадке и обрушению их кровли, усилению сети трещин и возрождению и расширению уже образовавшихся вертикальных столбов обру-

шения, увеличению и углублению существующих форм и образованию свежих провалов и просадок.

Эти процессы могут вызвать существенные изменения в микрорельефе земной поверхности. Свежие провалы и просадка способны вызвать угрожающие деформации плетей газопроводов вплоть до разрыва их стенок и явиться причиной серьезных аварий. Кроме того, появление свежих провалов существенно повлияет на изменение стока поверхностных вод в непосредственной окрестности карстовых новообразований. Оно способно изменить направление или глубину ложбин и промоин, повысить энергию поверхностного стока на коротких отрезках и привести к усилению размыва засыпки траншей. Появление новых провалов и просадок усилит инфильтрацию поверхностных и грунтовых вод в карстовые полости, а, следовательно, активизирует процессы подземного разрушения верхней части осадочного чехла [24, 25].

Заключение

Проведена общая оценка карстоопасности трассы магистрального газопровода «Уренгой-Новопсков» по инженерным изысканиям на 2-х участках: 1594-1620 км и 1620-1647 км. Для картирования тектонической трещиноватости проведены разномасштабные аэрокосмогеологические исследования. По дешифрированию космических снимков и линеаментно-геодинамическому анализу выделены участки с повышенной тектонической трещиноватостью и высокой степенью неотектонической активности, которые являются потенциальными аварийно-опасными карстовыми участками.

В дальнейшей работе необходимо провести пространственный анализ оценки распространения карстовых воронок (на юго-востоке Пермского края) в зависимости от степени тектонической трещиноватости и дать оценку карстовой опасности непосредственно по трассе МГ «Уренгой-Новопсков».

Библиографический список

1. Атлас Пермского края / под общей ред. А.М. Тартаковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: Уральский рабочий, 2012. 124 с.
2. Водозазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 – Пермь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
3. Гаев А.Я., Килин Ю.А., Хасанов Р.Н., Чичелов В.А. Техногенез на магистральных газопроводах, пересекающих карстующиеся горные породы // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды. Пермь, 1997. С.136-138.
4. Гаев А.Я., Килин Ю.А., Хасанов Р.Н., Чичелов В.А., Тагиров И.Г. О техногенезе и карстогенезе в связи с эксплуатацией магистральных газопроводов // Проблемы геологии Пермского Урала и Приуралья. Пермь, 1998. С.141-142.
5. Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль, 1981. 214 с.
6. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. Идентификация поверхностных форм карста по материалам спутниковых изображений. // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 193-197.
7. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Опыт постановки технического мониторинга на магистральных газопроводах, пересекающих карстовый массив // Проблемы геологии Пермского Урала и Приуралья. Пермь, 1998. С.151.

8. Килин Ю.А., Минькевич И.И., Хасанов Р.Н., Чичелов В.А. О необходимости постановки карстомониторинга в полосе магистральных газопроводов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 1997. С.221.
9. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
10. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
11. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
12. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
13. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
14. Копылов И.С. Линеаментно-блоковый анализ, блоковое строение и карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала // В сборнике Аэрокосмические методы в геологии. № 4. Пермь, 2022. С. 11-28.
15. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
16. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Пермского края // В сборнике Аэрокосмические методы в геологии. № 4. Пермь, 2022. С. 29-45.
17. Копылов И. С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
18. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
19. 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.
20. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
21. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.1, Пермь: Перм. книж. изд-во, 1963. 445 с.
22. 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.
23. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 5-6. 2005. С 76-78.
24. Отчетная документация по результатам инженерных изысканий ООО Проектно-конструкторский институт «ПРОМПРОЕКТ» «Капитальный ремонт инв.№247 «Магистральный газопровод «Уренгой-Новопсков» (Капитальный ремонт магистрального газопровода «Уренгой-Новопсков» (1620-1647 км) Алмазное ЛПУ МГ», 2017. арх.№1556.
25. Отчетная документация по результатам инженерных изысканий, ООО Проектно-конструкторский институт «ПРОМПРОЕКТ» «Капитальный ремонт инв.№247 «Магистральный газопровод «Уренгой-Новопсков» (Капитальный ремонт магистрального газопровода «Уренгой-Новопсков» (1594-1620км) Алмазное ЛПУ МГ». 2017. арх.№1555.
26. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1962. 322 с.
27. Султангареев Р.Х. Оценка влияния геодинамики на работоспособность магистральных газопроводов // Нефтегазовое дело. Уфа, 2006. Т.2. С. 60-63.

¹ Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого; 173003, Великий Новгород, Россия

² Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского ФИЦ РАН. 173516 Борки, Новгородская обл, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АРЕАЛА ИНВАЗИОННОГО ВИДА HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN В ЕСТЕСТВЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

*Работа посвящена проблеме борьбы с инвазионным ядовитым сорным растением *Heracleum sosnowskyi Manden*. Обладая высоким уровнем адаптации к экологическим условиям, этот вид активно внедрился в естественные экосистемы, а также территории заброшенных агроценозов. Распространение *Heracleum sosnowskyi Manden* несет прямую угрозу здоровью людей, поскольку сок растения вызывает серьезные заболевания, которые могут привести к инвалидности или даже летальному исходу. Проведен анализ используемых способов борьбы с этим видом. Рассмотрен бесконтактный способ удаления борщевика Сосновского с контролируемой территории. Особое значение в решении этой проблемы является определение ареала распространения этого инвазионного растения при помощи аэро- и космических снимков. Ведь даже одно растение за счет высокого коэффициента размножения может быстро осеменить большую территорию. В результате через несколько лет площадь его распространения будет существенно увеличена.*

*Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi Manden*, аэросъемка, космические снимки, инвазионный ядовитый вид, ареал, биогеоценоз.*

N.N. Semchuk^{1,2}, S.N. Gladkikh¹, O.V. Balun^{1,2}, Y.M. Abdushaeva¹

¹ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University

² Novgorod Research Institute of Agriculture is a branch of the St. Petersburg FITZ RAS. Borki, Novgorod region

USE OF AERIAL- AND SATELLITE IMAGES TO MONITOR THE RANGE OF THE INVASIVE SPECIES HERACULUM SOSNOWSKYI MANDEN IN NATURAL BIOGEOCENOSES

*The work is devoted to the problem of combating the invasive poisonous weed *Heraculum sosnowskyi Manden*. Possessing a high level of adaptation to environmental conditions, this species has actively penetrated into natural ecosystems, as well as territories of abandoned agro-cenoses. The spread of *Heraculum sosnowskyi Manden* poses a direct threat to human health, since the sap of the plant causes serious diseases that can lead to disability or even death. The analysis of the methods used to combat this species is carried out. A contactless method of removing Sosnovsky hogweed from a controlled area is considered. Of particular importance in solving this problem is the determination of the distribution area of this invasive plant using aerial and satellite images. After all, even one plant can quickly insemminate a large area due to a high reproduction coefficient. As a result, in a few years the area of its distribution will be significantly increased.*

*Keywords: *Heraculum sosnowskyi Manden*, aerial photography, satellite images, invasive poisonous species, habitat, biogeocenosis.*

Введение

Вид *Heracleum sosnowskyi* Manden в середине прошлого века рассматривался как перспективная кормовая культура. Однако негативное влияние на качество получаемой при этом продукции, а также ядовитые свойства растения в процессе вегетации послужили причинами для исключения всех сортов этого вида из Государственного реестра охраняемых селекционных достижений.

Наиболее опасное воздействие на организм человека оказывает сок вследствие содержания в его составе фуранокумаринов. Эти вещества за счет фотосенсибилизирующего эффекта вызывают долго не заживающие ожоги на коже.

В результате из культурного растения он превратился в опасный инвазивный вид. Специфическая норма реакции, широкий диапазон биологических особенностей, устойчивость к экстремальным условиям внешней среды позволили виду занимать доминирующее положение в естественных фитоценозах [7].

Особые свойства борщевика обусловлены активной аллелопатической агрессией, которая основана на биохимических соединениях, угнетающе действующих на соседние растения. Мощная вегетативная надземная масса подавляет онтогенез не только травянистых, но и древесных растений (*Pinus*, *Betula*, *Salix*, *Quercus*). В растении найдены вещества, которые оказывают отрицательное действие на прорастание семян, процессы роста и развития многих растений: фондин, умбеллиферон, бергаптен, ксантотоксин, и другие. Эти соединения выделяются в окружающую среду корневой системой. Кроме того, они также вымываются из надземной части растений борщевика, испаряются с поверхности стеблей, листьев, соцветий, плодов [8, 9, 14].

Растения *Heracleum sosnowskyi* Manden отличаются высокой плодовитостью. В период цветения образуется соцветие, представляющее собой огромный (более полуметра в диаметре) сложный зонтик с большими потенциальными возможностями. Он может насчитывать несколько десятков лучей (рис. 1).



Рис. 1. Формирующееся соцветие растения *Heracleum sosnowskyi* Manden

Хорошо развитое растение может дать несколько десятков тысяч плодов (в среднем 10000-15000). Максимальная плодовитость достигает 35 тысяч плодов.

В результате его ареал начал стремительно увеличиваться. Так, например, в Ленинградской области в качестве кормовой культуры борщевик Сосновского занимал около тысячи гектаров. По результатам целевого обследования установлено, что в 2011 году площади его распространения увеличились в десятки раз и составили более 58 тыс. га. (около трети от общей площади только обследованных территорий). Причем, ареал распространения охватывает различные категории земельных угодий: населенные пункты, поля севооборотов, обочины дорог, берега водоемов, просеки и разреженные лесные массивы и т. п. [2]. Подобные, типичные для произрастания борщевика Сосновского места дислокации отмечены и у других исследователей [12].

Ареал борщевика Сосновского занимает большие площади не только на территории России, но и во многих странах Европы [11, 13].

Материалы и методы

Дистанционное исследование биогеоценозов стало возможным благодаря высокой чувствительности аппаратуры, позволяющей регистрировать электромагнитное излучение в различных зонах спектральной ленты. За счет этого структурные, а также текстурные цифровые картины можно декодировать и в дальнейшем использовать для многостороннего анализа.

Для обследования территории распространения борщевика Сосновского применяют современные технические средства. Фотоснимки получают при помощи высокоточной аппаратуры с использованием спутников, легкомоторной авиации, дронов [6].

Спутниковые снимки отличаются характерной структурированностью и возможностью регуляции качества за счет соответствующей обработки, в частности оптимизации контрастных характеристик [10]. Более того, даже если снимки не передают реальных цветовых оттенков, после специальной обработки можно получить глубокий цветовой контраст, который обеспечивает объективную читаемость по разнице цветовой гаммы [15].

Для автоматической обработки материалов аэрофотосъемки используют компьютерные программы, которые позволяют идентифицировать заросли борщевика. Во время цветения на снимках соцветия растений видны как скопления правильных многоугольников с пятью-семью вершинами [4].

Разработана также технология длительного (от месяца до нескольких лет) мониторинга природных объектов с высокой разрешающей способностью (от одного метра) получения изображений [17]. Это – минимально достаточный для использования спутниковых снимков критерий, поскольку проекция на поверхность хорошо развитого растения *Heracleum sosnowskyi* Manden в среднем превышает 1 м². Если учесть, что этот инвазионный вид очень быстро занимает большое пространство в месте прорастания семян, то определение места дислокации даже разорванного ареала при помощи спутниковых снимков делает этот вариант изучения весьма эффективным.

Следующим этапом после определения места дислокации ареала является разработка эффективных способов борьбы с этим ядовитым инвазионным видом.

В наших исследованиях проведена разработка и апробация биологического метода воздействия на растения *Heracleum sosnowskyi* Manden. Растение относится к группе монокарпических. Зацветает и плодоносит оно один раз только в момент завершения онтогенеза. Однако период вегетации и накопления запасных пластических веществ может проходить как за один год, так и в течение нескольких лет. При отчуждении надземной части растение может вести себя как многолетнее.

Исследования проводили в Новгородском районе в окрестностях села Бронница (рис. 2).



Рис. 2. Спутниковый снимок места дислокации исследований

Результаты и обсуждение

К одному из самых экологически чистых способов борьбы с борщевиком Сосновского можно отнести механический. Он включает в себя выкапывание и уничтожение корней, срезание или скашивание растений, удаление соцветий [13]. Однако помимо того, что этот способ требует много физических усилий и времени он еще является и достаточно опасным [4, 16].

Для уничтожения растений борщевика используют также электрохимический способ посредством гальванического тока [3]. Для этого медный электрод через нижнюю часть побега продвигают до апикальной части корня. Второй электрод (цинковый) размещают в почве около растения. В результате продуцируется гальванический ток и образуется замкнутая электрическая цепь, за счет которой растение погибает.

Широко используются для борьбы с борщевиком Сосновского различные пестициды, в том числе и сильнодействующие (раундап, магнум, ленок, анкор и др.), а также композиции из их смесей. Однако если после обработки ядохими-

катами большая часть растений погибала (эффективность превысила 90% по количеству погибших растений), то на следующий год популяция восстанавливалась до 100% [1].

Нами разработан и апробирован биологический способ борьбы с растениями *Heracleum sosnowskyi* Manden [5]. Суть его заключается в воздействии на наземную часть растения. В частности – проводят изоляцию листьев растения от солнечного света посредством использования мульчирующего материала. Для этого применяется свежескошенная трава или солома. Причем, апикальную часть только одной листовой пластинки оставляют на свету над поверхностью мульчирующего материала (рис. 3). Вследствие этого для растения по существу не нарушается циркадный ритм, так как в апексе листа происходит фотосинтез. Однако количество пластических веществ, которые производит апекс листа, недостаточно для обеспечения процессов дыхания и роста как подземной части растения, так и оставшихся под слоем мульчи листовых пластинок и черешков. Следует отметить, что ростовые процессы у листьев, оказавшихся под слоем мульчи, какое-то время еще продолжают. Нами отмечено удлинение черешков старых листьев, которое произошло еще до их полного отмирания. В данном случае расходуются отложенные в запас питательные вещества корневой системы. В результате уже сформировавшийся фотосинтетический аппарат отмирает.

За счет резерва запасных питательных веществ, оставшихся у растения, формируются новые листья, которые пробиваются сквозь слой мульчи и появляются над ее поверхностью (рис. 4).

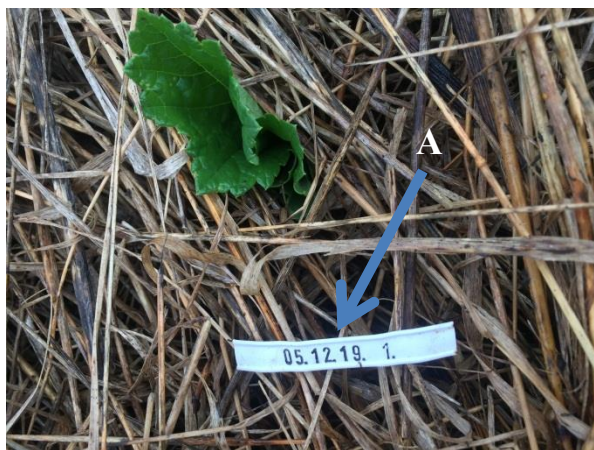


Рис. 3. Апекс листа, оставленный над поверхностью слоя мульчи (А – номер маркера повторности опыта)



Рис. 4. Появление над поверхностью мульчи нового листа

Второй этап алгоритма представленного способа состоит в следующем. По мере появления новых листьев проводят повторное мульчирование таким образом, чтобы апикальная часть только одной новой листовой пластинки осталась на свету над поверхностью мульчирующего материала. По мере появления новых листьев процесс повторяют до полного истощения и отмирания растения. В наших опытах растения первого года жизни теряли жизнеспособность и отмирали в течение одного вегетационного периода.

В качестве контрольного варианта использовали скашивание надземной массы (рис. 5, 6). После отчуждения надземной массы очень быстро (в течение нескольких дней) происходило формирование первого листа. Рост черешка и листовой пластинки протекал интенсивно, так как, во-первых, не было препятствия для перемещения в вертикальном направлении. И, во-вторых, запасные питательные вещества не расходовались для процессов дыхания и роста старых листьев до их отмирания (рис. 7).

Применение предлагаемого способа не представляет опасности для здоровья человека, так как не происходит разрушения клеток (как при скашивании) и попадания сока растения на кожу человека, а также поступления летучих выделений в легкие вследствие изоляции слоем мульчи.



Рис. 5. Растение *Heracleum sosnowskyi* Manden перед скашиванием



Рис. 6. Появление нового листа из почки возобновления после скашивания



Рис. 7. Удлинение черешка и формирование листовой пластинки

Заключение

Использование аэро- и космических снимков для мониторинга ареала *Heracleum sosnowskyi* Manden позволяет повысить эффективность любых способов борьбы с этим опасным инвазионным видом, так как даже одно не обнаруженное при обследовании растение может быстро сформировать несколько новых зарослей. Апробация биологического способа борьбы с борщевиком Сосновского показала его высокую эффективность и безопасность для человека.

Библиографический список

1. Егоров А.Б., Ширнина В.И. Инновационная высокоэффективная технология химической борьбы с борщевиком Сосновского (*Heracleum Sosnovskyi* Manden) // Труды СПб-НИИЛХ. Инновации и технологии в лесном хозяйстве. 2011. Вып. 1(24), Ч. 2. С. 27-30.
2. Жиглова О.В. Использование геоинформационных технологий при выявлении очагов борщевика Сосновского // Защита и карантин растений. 2012. № 5. С. 8-9.

3. Руденок В.А., Строт Т.А. Способ борьбы с сорными растениями. Патент на изобретение 2752932 С1, 11.08.2021. Заявка № 2020113741 от 03.04.2020.
4. Рутман В.В., Кантор Г.Я. Разработка компьютерной программы для идентификации и борщевика сосновского по аэрофотоснимку // В сборнике: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 183-185.
5. Семчук Н.Н., Шишов А.Д., Балун О.В. Способ бесконтактного удаления растения борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) с контролируемой территории. Патент Российской Федерации на изобретение № 2704428 от 28.10.2019
6. Старовойтова О.А., Манохина А.А. Использование беспилотных квадрокоптеров для оценки биоразнообразия в полеводстве // В сборнике: Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России. Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 8-ми томах. 2017. С. 73-77.
7. Baležentienė L. Invasion of *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) at habitat scale in Lithuania // L. Baležentienė, E. Bartkevičius // *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2013. Vol. 11 (2). P. 1370–1375.
8. Kong C.H., Liang W.J., Xu X.H., Wang P., Jiang Y. Release and activity of allelochemicals from allelopathic rice seedlings // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2004. 52. P. 2861-2865.
9. Kruse M., Strandberg M., Strandberg B. Ecological effects of allelopathic plants – a review // *NERI Technical Report*. 2000. №315. 67 P.
10. Kozoderov V.V., Dmitriev E.V. Remote sensing of forest cover: an innovative approach // *Lesnoy vestnik*. 2012. No. 1. P. 19–33.
11. Laivins M., Gavrilova G. *Heracleum sosnowskyi* in Latvia: sociology, ecology and distribution/7-th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions. November 3-7. 2003. Ft. Lauderdale, Florida., 2003
12. Malinauskaitė R. Svetimkraštės rūšies – Sosnovskio barščio (*Heracleum sosnowskyi*) – invazyvumas Kauno Aukštųjų Šančių ažuolyne [Electronic resource] / R. Malinauskaitė // ISSN1822–1823 Žmogaus ir gamtos sauga 2013, ASU // http://sauga.asu.lt/wp-content/uploads/sites/8/2016/01/118–120_Malinauskaite_4.pdf.
13. Nielsen C., H.P. Ravn, W. Nentwig and M. Wade (eds.), *The Giant Hogweed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe*. Forest & Landscape Denmark, Hoersholm, 2005, 44 pp.
14. Peneva A. Allelopathic effect of seed extracts and powder of coffee (*Coffea Arabica* L.) on common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) // *Bulgarian journal of agricultural science*. 2007. 13. P. 205-211.
15. Ranson K.J., Sun G., Kharuk V.I., Kovacs K. Assessing tundra–taiga boundary with multi-sensor satellite data // *Remote Sensing of Environment*. 2004. V. 93. No. 3. P. 283–295. doi: 10.1016/j.rse. 2004.06.019
16. Sachajdakiewicz I. Gatunki z rodzaju barszcz *Heracleum* spp. / I. Sachajdakiewicz // *Methods of control of alien plant species occurring in Kampinos Forest* / A. Obidziński, E. Kołaczowska, A. Otręba. – Zabelin – Kraków, 2016.
17. Stow D.A., Hope A., McGuire D., Verbyla D., Gamon J., Huemmrich F., Houston S., Racine C., Sturm M., Tape K., Hinzman L., Yoshikawa K., Tweedie C., Noyle B., Silapaswan C., Douglas D., Griffith B., Jia, G., Epstein, H., Walker D., Daeschner S., Patersen A., Zhou L., & Myneni R. (2004, Feb 15). Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic tundra ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 89(3), 281-308.

В.П. Тихонов¹, Т.И. Караваева¹, Е.В. Дробинина²

¹ Естественнаучный институт ПГНИУ, г. Пермь, Россия

² Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия

АКТУАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОСИСТЕМ

Проанализированы цели и задачи инженерно-экологических изысканий как вида градостроительной деятельности. Рассмотрена возможность применения биотического показателя «общее проективное покрытие» для оценки функционирования экосистем при инженерно-экологических изысканиях. Оценка общего проективного покрытия выполнена с использованием индекса NDVI – показателя количества фотосинтетически активной биомассы, который определяется в результате дешифрирования спутниковых изображений.

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания, оценка состояния, экосистемы, дистанционные методы, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

V.P. Tihonov¹, T.I. Karavaeva¹, E.V. Drobinina²

¹ Natural Science Institute of Perm State University, Perm, Russia

² Perm State University, Perm, Russia

UPDATE OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING SURVEYS: APPLICATION OF REMOTE METHODS FOR ECOSYSTEM ASSESSMENT

The goals and objectives of engineering and environmental surveys as a type of urban planning activity are analyzed. The possibility of using the biotic indicator "total projective cover" to assess the functioning of ecosystems during engineering and environmental surveys is considered. The assessment of the total projective cover was made using the NDVI index, an indicator of the amount of photosynthetically active biomass, which is determined as a result of interpretation of satellite images.

Keywords: environmental engineering surveys, state assessment, ecosystems, remote sensing, normalized difference vegetation index (NDVI).

Введение

Современные условия экономического развития требуют изменения существующей нормативно-методической документации большинства видов хозяйственной деятельности, в том числе экологического обеспечения градостроительной деятельности. На практике это реализуется интенсификацией всех процедур в экономике, устранением излишних требований к проектной документации на строительство объектов.

Доказательством является введение моратория на отрицательные заключения Главгосэкспертизы России по проектной документации и результатам инженерных изысканий приказом Минстроя и ЖКХ России от 11 марта

2022 года № 46 «О Временном порядке проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий в ФАУ «Главгосэкспертиза России».

Вопрос состава, полноты и степени детальности инженерно-экологических изысканий является потенциально конфликтным, поскольку инвестор заинтересован в минимизации расходов, а эксперт может проявлять склонность к выполнению всех видов работ, так или иначе упомянутых в нормативных документах, и иногда, к абсолютизации значения работ, в которых является узким специалистом [4]. Это высказывание наилучшим образом отражает процесс разработки проектной документации и прохождения государственной экспертизы результатов инженерно-экологических изысканий. В этом конфликте не учитываются интересы главного потребителя услуги – государства, которое является регулятором экономических отношений общества и бизнеса. Эффективное развитие экономики определяет развитие общества. Интенсификация развития достигается снижением затрат и времени в процессе градостроительной деятельности и, соответственно, оптимизацией всех этапов этой деятельности.

Цели и задачи инженерно-экологических изысканий

Инженерно-экологические изыскания являются видом градостроительной деятельности и не предполагают проведения детальных специализированных исследований природной среды в районе размещения проектируемого объекта. Принципиальным недостатком существующей нормативно-методической документации является основная цель инженерно-экологических изысканий. В соответствии с СП 502.1325800.2021 (п. 3.1.7) инженерно-экологические изыскания это один из основных видов инженерных изысканий, выполняемый для изучения и оценки инженерно-экологических условий территории, составления прогноза возможных изменений инженерно-экологических условий, обоснования мероприятий по охране окружающей среды и предотвращению негативного воздействия на биотопы и условия жизнедеятельности человека. При этом, под инженерно-экологическими условиями понимается совокупность характеристик компонентов и факторов окружающей среды (ландшафта, природных и природно-антропогенных процессов, состояния почв (или грунтов), атмосферного воздуха, природных вод, донных отложений, биоты и биотопов, факторов химического, биологического, радиационного и физического воздействия), социально-экономических факторов, влияющих на градостроительную и иную деятельность. Результаты изысканий должны быть достаточными для оценки современного экологического состояния отдельных компонентов окружающей среды и экосистем в целом (п. 4.2 СП 502.1325800.2021). В этом странном определении предстоящей деятельности и ее конечных результатов изыскателям с совершенно разным уровнем профессиональной подготовки очень сложно сформулировать конечные задачи и цели изысканий. Учитывая, что изыскания являются видом градостроительной деятельности, это точно не характеристика всех компонентов и факторов среды, а только влияющих на градостроительную деятельность в связи со строительством или реконструкци-

ей конкретного объекта или сооружения. Степень влияния на объект и объекта на окружающую среду оценивается через прогноз последствий, на основании которого разрабатывается основная экологическая часть проектной документации, направляемая на государственную экспертизу. Следовательно, основное внимание при изысканиях должно уделяться тем компонентам, воздействие на которые может привести к недопустимым последствиям для экосистем территории и условий жизнедеятельности человека.

Таким образом, конечный результат инженерно-экологических изысканий – это прогнозирование ожидаемых последствий строительной деятельности, которые являются основой для разработки «Оценки воздействия на окружающую среду» (ОВОС) в проектной документации. Соответственно, изыскания – это часть процесса оценки воздействия на окружающую среду, и объектом изысканий являются компоненты, значимые для ОВОС и принятия решений о допустимости планируемых последствий и реализации объекта строительства.

Оценка состояния экосистем дистанционными методами

Предлагаемый методологический подход к организации инженерно-экологических изысканий позволяет концентрировать ресурсы на изучении приоритетных, значимых компонентах природной среды, составляющих экосистемную основу территории строительства, исключает узкоспециализированные исследования низких уровней иерархической организации, не образующих системных отношений, не зависит от сезонов года и позволяет существенно сократить продолжительность изысканий. Например, в п. 5.5.3 СП 502.1325800.2021 отмечается, что отдельные виды работ, связанные с изучением почв и растительности, не следует выполнять в неблагоприятный период года, однако инвестор планируемой деятельности не может ждать благоприятного периода из-за отсутствия малозначимой характеристики.

Перегруженность изысканий узкоспециализированными исследованиями хорошо иллюстрируется на примере экосистемы, представленной залежью с луговой растительностью. В пределах экосистемы планируется размещение промышленного объекта с нормативной санитарно-защитной зоной 300 м и площадью земельного отвода 4 га. Площадь всей экосистемы составляет 193 га. Целостность экосистемы заключается в функциональном единстве почвы, растительности и животного мира, обеспечивающем экосистемный круговорот органического вещества. В процессе изменения видового состава в результате техногенного воздействия или смены этапов сукцессии экосистема до определенных пределов не прекращает выполнять средообразующие функции и не выпадает из континуума жизни на конкретной территории. Фитоценоз экосистемы используется в качестве интегрального показателя условий среды обитания, характеризующего связи растительности с абиотическими компонентами среды, обладает всеми признаками системы, имеет четкие морфологические признаки, хорошо картируется дистанционно и на местности. Для поддержания биогеоценотического круговорота не имеет значения, какие виды растений обеспечивают этот процесс. Степень заполнения фитоценотического простран-

Общее проективное покрытие и плотность распределения растительности по индексу NDVI

№ ключевого участка определения проективного покрытия (рис. 1)	NDVI	Общее проективное покрытие растительности, %
1	0,81-0,90	95
2	0,81-0,90	95
3	0,61-0,70	80
4	0,81-0,90	95
5	0,71-0,80	85
6	0,61-0,70	80
7	0,71-0,80	85
8	0,81-0,90	95
9	0,71-0,80	85
Среднее проективное покрытие фитоценоза		88

Дешифрирование спутниковых изображений территории изысканий проводилось с предварительным выделением границы экосистемы открытого пространства, представленного залежью. Для дешифрирования использован нормализованный разностный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Индекс NDVI является простым показателем количества фотосинтетически активной биомассы.

Расчет NDVI основан на различной способности растений отражать и поглощать солнечную радиацию в красной (RED) и инфракрасной (NIR) областях спектра. Вычисляется NDVI по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED).$$

Нормализация разности этих каналов увеличивает точность измерения, нивелируя влияние различий в освещенности снимка, облачности и пр.

Использование для расчета индекса NDVI серии разновременных спутниковых изображений является весьма информативным для оценки динамики экосистемы, связанной с изменением плотности растительности или состояния последней (здоровая или угнетенная) [2]. Кроме этого, серия снимков позволяет нивелировать ритмы сезонной вегетации растений, особенно полидоминантных сообществ.

В качестве исходных данных использован набор Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A. Sentinel-2 – это широкополосная многоспектральная миссия с высоким разрешением программы Copernicus Land Monitoring. Набор Sentinel-2 MSI содержит 13 спектральных диапазонов: четыре диапазона разрешением 10 м, шесть диапазонов – 20 м и три диапазона – 60 м.

В целях определения индекса NDVI были использованы снимки летнего периода 01.07.2021 – 15.08.2021, на которых процент облачности не превышает 1 %. В полевых условиях в июле 2021 г. по общему проективному покрытию проведена верификация результатов дешифрирования снимков.

Связь индекса NDVI с величиной проективного покрытия установлена многими исследователями. На прямую линейную зависимость NDVI от величины проективного покрытия, полученную эмпирическим путем, указывается в работах Терехина Э.А., Рундквиста Б.С. (*Rundquist B.C.*), Джонсона Б. (*Johnson B.*) [1, 3, 5] и др. Так, в работе Терехина Э.А. [5] отмечается весьма высокое значение достоверности линейной аппроксимации связи проективного покрытия с NDVI (0,908). Столь достоверные различия классов проективного покрытия по значениям NDVI указывают на высокую степень влияния проективного покрытия фотосинтетически активной биомассы на значения вегетационного индекса.

Количественная оценка заполнения экологического пространства фитоценоза экосистемы фотосинтезирующей биомассой в соответствии с этими показателями позволяет выделить градации качества выполняемых средообразующих функций. Экологическое состояние фитоценоза экосистемы можно определять по спутниковому изображению, не ожидая наступления благоприятного периода года, не проводя трудоемких специализированных геоботанических исследований. Результаты дистанционной оценки состояния всей экосистемы хорошо прогнозируются на основе тренда развития восстановительной сукцессии растительности.

Подобный способ оценки экологического состояния в СП 502.131325800.2021 даже не рассматривается, а рекомендуется выполнять детальные геоботанические исследования в вегетационный период года. Существующие методы изучения биотических компонентов экосистем основаны на длительном периоде наблюдений, излишне детализированы, сложно интерпретируются в прогнозные оценки состояния и, соответственно, в достоверную оценку воздействия на окружающую среду, но эта очевидная истина игнорируется. В итоге все изыскательские организации страны должны привлекать к работе узких специалистов с неочевидным конечным результатом для целей прогнозирования и ОВОС.

Заключение

Инженерно-экологические изыскания, прогнозирование экологических последствий строительства объектов, разработка проектной документации и экспертиза результатов оценки воздействия на окружающую среду являются этапами градостроительной деятельности. Результаты разработки каждого этапа образуют единую причинно-следственную связь всей строительной деятельности. Результаты изысканий должны быть минимально необходимыми, но достаточными для разработки прогноза изменений окружающей среды, который является основой ОВОС. Именно прогноз последствий является конечной целью инженерно-экологических изысканий.

В прогноз включаются не все компоненты природной среды, а только значимые, воздействия на которые планируемого к строительству объекта потенциально приведут к существенным негативным последствиям. Состояние этих компонентов при изысканиях оценивается наиболее подробно. Остальные

компоненты включаются в общую характеристику экологического состояния территории. Экосистемный подход к изысканиям предполагает использование биотических показателей, отражающих качество функционирования экосистем, что позволяет прогнозировать последствия строительства объектов и оценить воздействия на окружающую среду в процессе проектирования.

Приоритет отдается дистанционным методам оценки, что позволяет минимизировать затраты и повысить достоверность прогнозирования последствий. Плотность распределения растительности рекомендуется оценивать по индексу NDVI – показателю количества фотосинтетически активной биомассы фитоценоза экосистемы. При необходимости плотность распределения растительности верифицируется значениями общего проективного покрытия в вегетационный период года.

В условиях современных внешних вызовов в экономике нормативно-техническая документация по инженерно-экологическим изысканиям требует актуализации целей, задач и конечных результатов. Технический отчет по изысканиям должен заканчиваться выводами по результатам предварительного прогноза последствий планируемой деятельности, как основы для разработки ОВОС.

Библиографический список

1. Johnson B., Tateishi R., Kobayashi T. *Remote Sensing of Fractional Green Vegetation Cover Using Spatially-Interpolated Endmembers* // *Remote Sensing*. 2012. Vol. 4, № 9. P. 2619-2634.

2. Petropoulos G.P., Griffiths H.M., Kalivas D.P. *Quantifying spatial and temporal vegetation recovery dynamics following a wildfire event in a Mediterranean landscape using EO data and GIS* // *Applied Geography*. 2014. 50. P. 120–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.02.006>.

3. Rundquist B.C. *The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tallgrass prairie* // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 81. P. 129-135.

4. Стурман В.И. *Экологическое сопровождение проектирования: Учебное пособие*. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2011. 202 с.

5. Терехин Э.А. *Влияние проективного покрытия растительности посевных площадей на ее спектрально-отражательные свойства* // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13, № 3. С. 61-71.

Научное издание

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

Сборник научных статей

Выпуск 4

Под общей редакцией *И. С. Копылова*

Издается в авторской редакции
Техническая подготовка материалов: *И. С. Копылов*

Объем данных 30,5 Мб
Подписано к использованию 27.12.2022

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

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