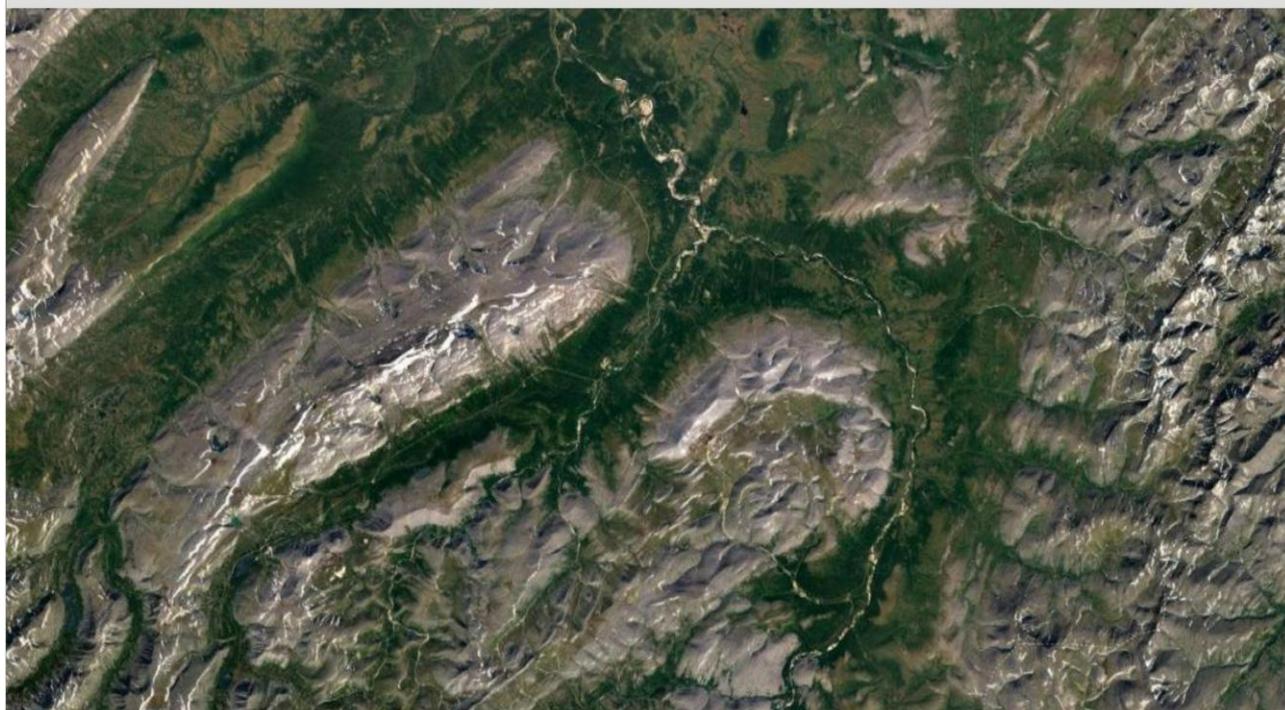




АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

AEROSPACE METHODS IN GEOLOGY



Пермь 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

*Сборник научных статей
по материалам Международной
научно-практической конференции*

г. Пермь, 5-6 декабря 2018 г.



Пермь 2019

УДК 528.8+550.8
ББК 26.3
А992

Аэрокосмические методы в геологии [Электронный А992 ресурс]: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 5-6 дек. 2018 г.) / гл. ред. И. С. Копылов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2019. – 29 Мб; 253 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/aerokosmicheskie-metody-v-geologii.pdf>. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3341-8 (вып. 1)

Сборник содержит статьи по материалам I Международной научно-практической конференции «Аэрокосмические методы в геологии», состоявшейся 5-6 декабря 2018 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.

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

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: к.г.-м.н. **В. В. Голдырев**, PhD **О. Н. Ковин**, к.т.н. **А. В. Коноплев**, д.г.-м.н. **И. С. Копылов** (главный редактор), к.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**, д.г.-м.н. **В. В. Середин**, к.г.-м.н. **В. П. Тихонов**

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3341-8 (вып. 1)

© ПГНИУ, 2019

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
RUSSIAN FEDERATION
PERM STATE UNIVERSITY
DEPARTMENT OF SEARCH AND EXPLORATION OF MINERAL
RESOURCES

AEROSPACE METHODS IN GEOLOGY

Series of scientific article

Materials of International Scientific and Practical Conference
(Perm, December 5-6, 2018)



Perm 2019

UDC 528.8+550.8
LBC 26.3 A-99
A992

A992 **Aerospace** methods in geology: Series of scientific article.
Materials of I International sci.-pract. conf. Ed. I.S. Kopylov, Perm
State University, Perm, 2019. – 253 p.
ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3341-8 (I)

An issue of Series of scientific articles on Materials of I International scientific and practical conference "Aerospace Methods in Geology", held on December 5-6, 2018 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 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: Cand. **V.V. Goldyrev**, PhD **O.N. Kovin**, Cand. **A.V. Konoplev**, Dr. **I.S. Kopylov** (editor), Cand. **P.A. Krasilnikov**, Dr. **V.A. Naumov**, Dr. **O.B. Naumova**, Cand. **A.G. Popov**, Dr. **M.V. Rogozin**, Dr. **V.V. Seredin**, Cand. **V.P. Tikhonov**.

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-3341-8 (I)

© Perm State University, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА	13
И.С. Копылов ПЕРМСКАЯ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА – ИСТОРИЯ И ИЗУЧЕННОСТЬ ПРИУРАЛЬЯ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ.....	13
И.С. Копылов МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ НЕФТИ И ГАЗА.....	25
И.С. Копылов РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ И УЧАСТКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ....	38
I.S. Kopylov, V.N. Bakytzhanova, L.I. Dal, T.T. Seytekov PROSPECTS FOR APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR OIL AND GAS SEARCH IN WESTERN KAZAKHSTAN.....	48
I.S. Kopylov, O.N. Kovin, S. Nahesbik REGIONAL ENGINEERING-AEROSPACE ANALYSIS FOR THE DESIGN OF LARGE LINEAR STRUCTURES OF WESTERN CHINA.....	55
И.С. Копылов, А.В. Коноплев, П.А. Красильников, И.В. Кустов МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ГИС-ТЕХНОЛОГИЯМИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО).....	63
И.С. Копылов, В.А. Наумов, В.В. Голдырев, В.Н. Брюхов РЕГИОНАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИШЕРСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ ЗОЛОТА.....	77
С.В. Копытов, Н.Н. Назаров ВЕРХНЕКАМСКАЯ ДЕПРЕССИЯ В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ: АНАЛИЗ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ.....	85

М.В. Рогозин, В.В. Михалев, А.Я. Рыбальченко, И.С. Копылов МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОКОСМО- ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И БИОЛОКАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТОНИКИ И МАЛЫХ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН НА ЭЛЕМЕНТЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ» И Г. ПЕРМИ).....	91
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ, РЕГИОНАЛЬНОЙ, ПОИСКОВОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ	108
А.В. Альметова ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА НЕФТЬ И ГАЗ СТРУКТУР НА ЗАПАДЕ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ.....	108
Д.Ю. Бельтюкова, А.В. Рзянина, Д.Г. Путин, А.С. Чирков ИЗУЧЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА Р. МАРАКАН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.....	114
А.Н. Боталов, Д.Д. Кожанов, М.А. Баистракова, А.Е. Меркушев РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ (ЛИСТ О-40-XXII).....	123
Р.В. Демидов, Е.Д. Федотов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОЛЕВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ.....	132
Е.А. Иванова ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КОСМОСНИМКОВ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	138
И.С. Копылов, Д.И. Шкляев, Р.Н. Трофимов ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ ЗОЛОТА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ (ЛИСТЫ О-40-Х, XVI).....	145
В.А. Кузнецов, М.П. Лобанов, А.С. Чирков АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ РУДНОГО ЗОЛОТА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКОВ ЛУКТАХ, СИГАН, САХТАЧИ (ЛИСТ О-50-VII).....	159

Г.В. Курнаков КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ И АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИСТА Q-60-XVII, XVIII ГОСГЕОЛКАРТЫ-200 (ЧУКОТКА).....	163
Е.В.Стряпунина, Р.Р.Залалов, Р.З. Халиков, А.А. Туманова, А.В. Журавлева ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ТЕРРИТОРИИ ЛИСТА О-40-IV ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОКАРТИРОВАНИЯ.....	169
А.С. Чирков, М.П. Лобанов, Р.Ф. Ильяев, А.С. Шкляев, А.П. Щеткин АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОМСУКЧАНСКОГО РАЙОНА МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ (ЛИСТ Р-56-XVIII).....	176
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ.....	184
А.В. Анюхина ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЛИН.....	184
Т.А. Вагапов ТЕПЛОВОЙ ОБРАЗ КАЗАНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ.....	189
С.О. Горкунов ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ «БЕЛКОМУР» В ПЕРМСКОМ ПРИУРАЛЬЕ.....	196
Е.Ю. Килина ПОВЕРХНОСТНЫЕ КАРСТОВЫЕ ФОРМЫ В ЗОНАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯСЫЛЬСКОГО УЧАСТКА.....	201
И.С. Копылов ПОИСКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ПЕРМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.....	210

И.С. Копылов, В.В. Оборин ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ПТБО Г. ИГАРКИ НА ОСНОВЕ ИЗЫСКАНИЙ, АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ.....	218
И.С. Копылов, К.С. Порозков ИНЖЕНЕРНО-АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА КУЮМБА-ТАЙШЕТ.....	228
К.С. Порозков АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ЕЛОВСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАСС НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ.....	239
М.М. Санкло АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЯКУТИИ.....	246

CONTENTS

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE.....	13
I.S. Kopylov PERM AEROSPACE AND GEOLOGICAL SCHOOL - THE HISTORY AND STUDY OF THE URALS BY AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES.....	13
I.S. Kopylov METHODOLOGICAL BASES OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCH WHEN SEARCHING OIL AND GAS.....	25
I.S. Kopylov RESULTS OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE PERM URAL REGION AND JUSTIFICATION OF PERSPECTIVE OBJECTS FOR THE PURPOSE OF SEARCHING OIL DEPOSITS.....	38
I.S. Kopylov, B.N. Bakytzhanova, L.I. Dal, T.T. Seytekov PROSPECTS FOR APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR OIL AND GAS SEARCH IN WESTERN KAZAKHSTAN.....	48
I.S. Kopylov, O.N. Kovin, S. Nahesbik REGIONAL ENGINEERING-AEROSPACE ANALYSIS FOR THE DESIGN OF LARGE LINEAR STRUCTURES OF WESTERN CHINA.....	55
I.S. Kopylov, A.V. Konoplev, P.A. Krasilnikov, I.V. Kustov METHODOLOGY AND RESULTS OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES WITH GIS TECHNOLOGIES AT THE POTASSIUM SALT DEPOSITS (BY THE EXAMPLE OF VERKHNEKAMSKY).....	63
I.S. Kopylov, V.A. Naumov, V.V. Goldyrev, V.N. Bryukhov REGIONAL STRUCTURAL-GEODYNAMIC ANALYSIS OF THE WISHERA AREA ACCORDING TO THE RESULTS OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES PURPOSE FOR GOLD SEARCH.....	77
S.V. Kopytov, N.N. Nazarov THE UPPER KAMA DEPRESSION IN THE NEO-PLEISTOCENE: SATELLITE ANALYSIS.....	85

M.V Rogozin, V.V. Mikhalev, A.Ya. Rybalchenko, I.S. Kopylov METHODOLOGY AND PRACTICE AEROSPACE GEOLOGICAL AND DOWSING ANALYSIS WHEN CONSIDERING FACTORS OF INFLUENCE NEOTECTONICS GEOACTIVE AND SMALL AREAS ON ELEMENTS OF FOREST ECOSYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF THE RESERVE «VISHERA» AND PERM).....	91
APPLICATION OF AEROSOPHIC METHODS FOR SOLVING THE PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, REGIONAL, SEARCH AND OIL AND GAS GEOLOGY.....	108
A.V. Almetova APPLICATION OF AEROSPACE METHODS WHEN SEARCHING FOR OUT AND GAS-PERSPECTIVE STRUCTURES ON THE WEST OF SOLIKAMSKAYA DEPRESSION.....	108
D.Yu. Beltyukova, A.V. Rzyanina, D.G. Putin, D.G. Teal STUDYING OF THE DEPOSIT OF GOLD BY R. MARAKAN WITH APPLICATION OF AEROSPACE METHODS.....	114
A.N. Botalov, D.D. Kozhanov, M.A. Bastrakova, A.E. Merkushev REGIONAL AIROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS IN THE SOUTHEAST OF THE PERM PRUIRAL (SHEET O-40-XXII).....	123
R.V. Demidov, E.D. Fedotov OPEN-SOURCE DATA OF REMOTE SENSING IN THE PLANNING OF FIELD GEOLOGICAL WORKS.....	132
E.A. Ivanova LINEAMENT ANALYSIS OF SPACE IMAGES OF BEREZOVSKY GOLD DEPOSIT.....	138
I.S. Kopylov, D.I. Shklyayev, R.N. Trofimov APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR SEARCHING FOR GOLD IN THE MIDDLE URALS (SHEETS O-40-X, XVI).....	145
V.A. Kuznetsov, M.P. Lobanov, A.S. Chirkov AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES IN SEARCHING OF ORE GOLD ON THE EXAMPLE OF SECTIONS LUKTA, SIGAN, SAKHTACHI (SHEET O-50-VII).....	159

G.V. Kurnakov COMPLEX GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND AEROSPACE- GEOLOGICAL ANALYSIS OF SHEET Q-60-XVII, XVIII OF STATE GEOLOGICAL MAP-200 (CHUKOTKA).....	163
E.V. Stryapunina, R.R. Zalalov, R.Z. Khalikov, A.A. Tumanova, A.V. Zhuravleva INTERPRETATION AEROSPACE IMAGES OF TERRITORY OF THE O-40-IV SHEET TO SOLVE THE PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING.....	169
A.S. Chirkov, M.P. Lobanov, R.F. Ilkaev, A.S. Shklyayev, A.P. Shchetkin AEROSPACE MINERAGENIC ANALYSIS OF THE OMSUKCHAN DISTRICT OF THE MAGADAN REGION (SHEET P-56-XVIII).....	176
APPLICATION OF AEROCOSMIC METHODS FOR SOLVING THE TASKS OF ENGINEERING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY AND GEOGRAPHY.....	184
A.V. Anukhina, STUDY OF THE CLAY SORPTION ACTIVITY.....	184
T.A. Vagapov THERMAL IMAGE OF KAZAN AGGLOMERATION.....	189
S.O. Gorkunov LINEAMATION AND GEODYNAMIC ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE PROJECTED RAILWAY "BELKOMUR" IN THE PERM PRIURAL.....	196
E.Y. Kilina SURFACE KARST FORMS IN ZONES OF LINEAMENTS MANIFESTATION BY THE EXAMPLE OF THE KRASNOYASYLSKY ARIA.....	201
I.S. Kopylov SEARCH FOR UNDERGROUND WATERS TO ENSURE DRINKING AND HOUSEHOLD AND WATER SUPPLY OF THE CITY OF PERM WITH APPLICATION OF AEROSPACE METHODS.....	210

I.S. Kopylov, V.V. Oborin STUDY OF ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL AND GEODYNAMIC CONDITIONS OF THE TERRITORY OF THE SOLID WASTE DISPOSAL OF THE IGARKA CITY BASED ON ENGINEERING SURVEYS, AEROSPACE AND ELECTRO-GEOPHYSICAL RESEARCHES.....	218
I.S. Kopylov, K.S. Porozkov ENGINEERING-AEROSPACE ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE KUYUMBA-TAYSHET OIL PIPELINE.....	228
K.S. Porozkov AEROSPACE ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE ELOVSKY DISTRICT FOR THE ESTIMATION OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF OIL AND GAS PIPES.....	239
M.M. Sanklo AEROCOSMIC RESEARCH METHODS FOR SEARCHING UNDERGROUND WATER IN YAKUTIA.....	246

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE

УДК 553.98: 528.8

И.С. Копылов

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия

ПЕРМСКАЯ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА – ИСТОРИЯ И ИЗУЧЕННОСТЬ ПРИУРАЛЬЯ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Приводится краткая история нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований, выполненных в Приуралье за прошедшие 50 лет, в результате которых сформировалась Пермская аэрокосмогеологическая школа. Показана изученность Пермского Приуралья аэрокосмическими методами по стадиям и масштабам исследований. Дана характеристика изученности тектонических регионов Пермского Приуралья.

Ключевые слова: нефть и газ, аэрокосмогеологические исследования, космические снимки, дешифрирование, тектонические структуры, ландшафтные аномалии, линеаменты, геодинамическая активность, Приуралье.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

PERM AEROSPACE AND GEOLOGICAL SCHOOL - THE HISTORY AND STUDY OF THE URALS BY AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES

A brief history of oil and gas prospecting aerospace and geological research carried out in the Urals over the past 50 years, which resulted in the formation of the Perm Aerospace and Geological School, is given. The exploration of the Perm Urals by aerospace methods by the stages and scales of research is shown. The characterization of the tectonic regions of the Perm Urals is studied.

Keywords: oil and gas; remote sensing geological studies, satellite images, interpretation, tectonic structures, landscape anomalies, lineaments, geodynamic activity, Urals.

Введение

Методы аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) в практике поисково-разведочных работ на нефть и газ на территории Пермского края применяются более 50 лет. За этот период составлено более ста геологических и научно-исследовательских отчетов, написаны сотни научных работ, посвященных разработкам методик и результатам изучения геологического строения и нефтегазоносности аэрокосмическими методами Приуралья и других регионов. В результате сформировалась Пермская аэрокосмогеологическая школа.

В истории аэрокосмогеологического изучения Пермского Приуралья (как и России в целом) можно условно выделить три основных периода, разделенных по времени серединой семидесятых годов XX в. и началом XXI в. Первый период (до 1976 г.) характеризуется эпизодическими работами. Второй период (с 1976 г.) характеризуется активным и систематическим проведением АКГИ, их внедрением в практику геологических и гидрогеологических съемок, поисковых и нефтепоисковых работ. Особенно интенсивно АКГИ применялись с середины семидесятых до начала девяностых годов XX в. Третий период, связанный с применением высокоточных цифровых КС и компьютерных технологий по их обработке, начался в XXI в.

Основной вклад в их развитие при изучении геологического строения и неотектоники внесли специалисты организаций нефтяного и геолого-съемочного профиля – ГПК ПО Пермнефть, ООО ПермНИПИнефть, КО ВНИГНИ, ФГУП «Геокарта-Пермь», ПГУ (ПГНИУ), ППИ (ПНИПУ), ГИ УрО РАН и др.

В процессе аэрокосмогеологических исследований в Пермской школе сложилась профессиональная терминология, в большинстве сходная с общероссийской профессиональной терминологией, но имеющая некоторую специфику. Некоторые основные аббревиатуры терминов, применяемых пермскими аэрокосмогеологами: аэрокосмогеологические исследования (АКГИ); аэрокосмоснимки или аэрокосмофотоснимки с их разделением (АКС, АФС, КС); аэрофотоматериалы или материалы аэрофотосъемок, аэрокосмофотоматериалы или материалы аэро и космических съемок (МАКС); ландшафтные аномалии (ЛА).

Краткая история нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований

Первой работой по применению аэрометодов для геологических исследований в Пермском Приуралье можно считать работу Ленинградского горного института, выполненную В.П. Мирошниченко в 1937 г. по применению аэрофотосъемки для геологического картирования Колво-Вишерского края, имеющая методическое значение (Мирошниченко, 1946). В дальнейшем, практически во всех региональных геолого-съемочных работах в той или иной мере применялось дешифрирование аэрофотоматериалов.

В 1966 г. аэрогеологической партией УТГУ под руководством А.Г. Жученко проводились работы по составлению схемы районирования

Урала, Предуралья и Зауралья в масштабе 1:2 500 000 по условиям геологической дешифрируемости аэрофотоснимков. В 1976 г. этой же партией впервые в отечественной практике был применен геоиндикационный метод дешифрирования материалов радиолокационной аэросъемки на Урале (Жученко и др., 1976ф). В период с 1976-1981 г. были составлены геоиндикационные карты Урала масштаба 1:200 000. На ней выделены природно-территориальные комплексы с характерными чертами строения и структурно-тектоническими особенностями пространственного упорядочения морфологических частей и элементов, установлены, систематизированы и отражены индикаторы геологического строения (Жученко и др., 1976ф; Левицкий и др., 1980ф; Костяшов и др., 1981ф).

В 1978-1984 гг. Аэрогеологическим отрядом Пермской ГСП («Геокарта-Пермь») проводились работы по геоиндикационному дешифрированию материалов аэрофотосъемки масштаба 1:200 000 (с врезками масштаба 1:50 000) на западном склоне Среднего и Северного Урала, в районах поисков месторождений алмазов для установления генетической связи природных территориальных комплексов с геологическим строением (Нельзин, Остроумов и др., 1980ф; Нельзин, Савченко и др., 1984ф).

Площадные аэрогеологические исследования для решения нефтегазопроисловых задач впервые, были проведены в 1968 г. КО ВНИГНИ в пределах Верхне-Печерской впадины (Вохмянина, Ильиных, Черткова др., 1973ф). Эти и некоторые другие работы позволили детализировать существующие методики дешифрирования аэрофотоматериалов, уточнить геологические и тектонические карты районов, выделить ряд ландшафтных аномалий, предположительно отражающих локальные поднятия [1, 2].

Планомерное проведение АКГИ на территории Пермского Приуралья началось середины семидесятых годов XX в, когда в 1975 г. в институте «ПермНИПИнефть» была создана лаборатория аэрометодов. В 1976 г. лаборатория аэрометодов была передана в геолого-поисковую контору объединения «Пермнефть», где преобразована в аэрогеологическую экспедицию под руководством В.З. Хурсика, включающую четыре аэрогеологические партии. В 2000 г. в связи с ликвидацией ГПК, она была снова преобразована в аэрокосмогеологическую лабораторию в составе ООО «ПермНИПИнефть»; а в 2004 г. вошла в состав сектора комплексных геологических исследований отдела поисковой геологии ООО «ПермНИПИнефть», существовавший до 2007 г.

В 2006-2014 гг. нефтегазопроисловые АКГИ на территории Пермского Приуралья выполнялись в общем комплексе зонально-региональных сейсмических и гравиметрических работ, проводимых ГИ УрО РАН совместно с ООО «Пермской геолого-геофизической компанией» и ОАО «Пермнефтегеофизика». В 2008-2014 гг. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком выполнен ряд работ по выявлению локальных нефтегазопроисловых объектов и геоактивных зон на основе проведения крупномасштабных АКГИ: на нефтепоисковых площадях – Григорьевской, Пономаревской, Вишерской, Юго-Камской, Керчевской; в восточной части Пермского края и западной части

Свердловской области для выявления зон геодинамической опасности трасс магистральных газопроводов (ООО «ЛГГК», ООО «Газпром Трансгаз Чайковский» и др.); в закарстованных районах Предуралья с целью выявления зон тектонической трещиноватости (ЛГНИУ) [5, 8]. При их проведении на основе современных цифровых КС и компьютерного дешифрирования с применением ГИС-технологий были получены новые данные по нефтегазоперспективным объектам, а также данные, уточняющие геологическое строение и активность Урала и Приуралья.

С 2011 г. АКГИ различной направленности осуществляются в НИЛ ГМП ЕНИ и на кафедре поисков и разведки полезных ископаемых ЛГНИУ [7, 9].

За весь период изучения нефтепоисковыми АКГИ, охвативших практически всю территорию Пермского края, по результатам региональных, крупномасштабных и детальных работ было составлено более 60 геологических отчетов (основные авторы отчетов – В.З. Хурсик, В.М. Коняев, С.Т. Шитин, В.С. Кротов, А.С. Кучин, В.Г. Гацков, И.Н. Пономарева, Ю.А. Ильиных, Н.Я. Быков, Н.П. Болгарин, С.П. Волкогон, И.С. Копылов и др.). Было изучено геологическое строение Пермского Приуралья по отдельным площадям, накоплена многочисленная информация на основе дешифрирования аэрофотоматериалов по линеаментам тектонической трещиноватости и объектам, отождествляемым со структурными и неструктурными ловушками нефти и газа.

Попытки обобщения результатов АКГИ проводились по мере их накопления, в некоторых отчетах приводились схемы, обобщающие результаты по отдельным районам. В ООО «ПермНИПИнефть» были проведены обобщения по следующим районам: по западному борту в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа, в восточной части Соликамской депрессии и на прилегающих участках Передовых складок Урала и Тимана, по юго-востоку Пермского края (И.С. Копылов, 2007ф; Н.Я. Быков, 2007ф) [10, 13].

В ряде работ по дистанционным исследованиям были выполнены неотектонические построения – карты, охватившие всю территорию Пермского края. Наиболее важные из них следующие.

Ю.А. Жуковым на основе тектонического изучения и анализа материалов АКГИ были составлены: схема основных результатов АКГИ, схема неотектонического районирования и схема неотектонического развития Пермской области масштаба 1:1 000 000 (Жуков Ю.А. и др., 1980ф; 1983ф).

В.Г. Гацковым по результатам комплексных дистанционных исследований были составлены карта плотности линеаментов и карта роздиаграмм линеаментов масштаба 1:500 000 (Гациков и др., 1990ф).

Л.П. Нельзиным по результатам мелкомасштабного дешифрирования АФС и КС была составлена структурно-тектоническая (морфоструктурная) схема Пермской области масштаба 1:1 000 000 (Нельзин и др., 1991ф).

Ю.А. Ильиных в результате анализа материалов АКГИ была составлена неотектоническая схема Пермской области с элементами блоковой тектоники масштаба 1:1 000 000 (Ильиных и др., 1992ф).

И.С. Копыловым в результате неотектонического изучения морфоструктурными методами были составлены: карта неотектонической активности и карта геодинамических активных зон Пермской области масштаба 1:500 000; по дешифрированию АКС построена карта мегатрещиноватости, по морфометрии – карта расчлененности рельефа (Копылов и др., 2004ф). В 2006 г. на основе регионального дешифрирования и анализа геолого-геоморфологических условий была завершена работа по составлению карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000 (Копылов, 2006ф.). В 2010 г. выполнены обобщающие работы по АКГИ Пермского Приуралья, где представлены: аэрокосмогеологическая карта, обновленная карта геодинамических активных зон и др. (Копылов, Хурсик, 2010ф.) [4, 9].

Площади работ АКГИ показаны на рис. 1, каталог изученности с основными результатами приведен в табл. 1. Эти работы внесли огромный вклад в изучение геологического строения Пермского Приуралья, а в комплексе с другими геолого-геофизическими методами способствовали открытию многих месторождений углеводородов.

Аэрокосмическая изученность Пермского Приуралья

В настоящее время территория Пермского Приуралья изучена региональными АКГИ (масштаба 1:500 000 и 1:200 000) в северо-западной, северной и юго-западной частях. Регионально-зональными АКГИ масштаба 1:200 000 территория охвачена в отдельных районах на севере, западе и юго-востоке Пермского Приуралья. Зональными АКГИ масштаба 1:100 000 территория охвачена в основном фрагментарно в северной, центральной и южной части. На этих же площадях проводились детальные и крупномасштабные АКГИ масштаба 1:25 000-1:50 000 (рис. 1).

Направления, масштабы и объёмы АКГИ всегда были тесно связаны с текущими задачами нефтегазопоисковых работ, что препятствовало проведению исследований планомерно по научно обоснованной программе, нарушило нормальную последовательность масштабного ряда АКГИ при изучении территории Пермского края в целом и отдельных тектонических регионов в частности (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что аэрокосмогеологическая изученность различных тектонических регионов региональными АКГИ (масштаба 1:500 000) колеблется от 0 до 95-100%, а в среднем по Пермскому краю составляет 56%.

Низкой остается изученность территории Пермского края регионально-зональными АКГИ масштаба 1:200 000, являющихся более информативными. По отдельным территориям изученность АКГИ колеблется от 0-2 до 80%. Но в последние годы этот вид работ проводится в комплексе с сейсмическими и гравиметрическими зонально-региональными работами и средний процент изученности увеличился с 14 до 34 %.

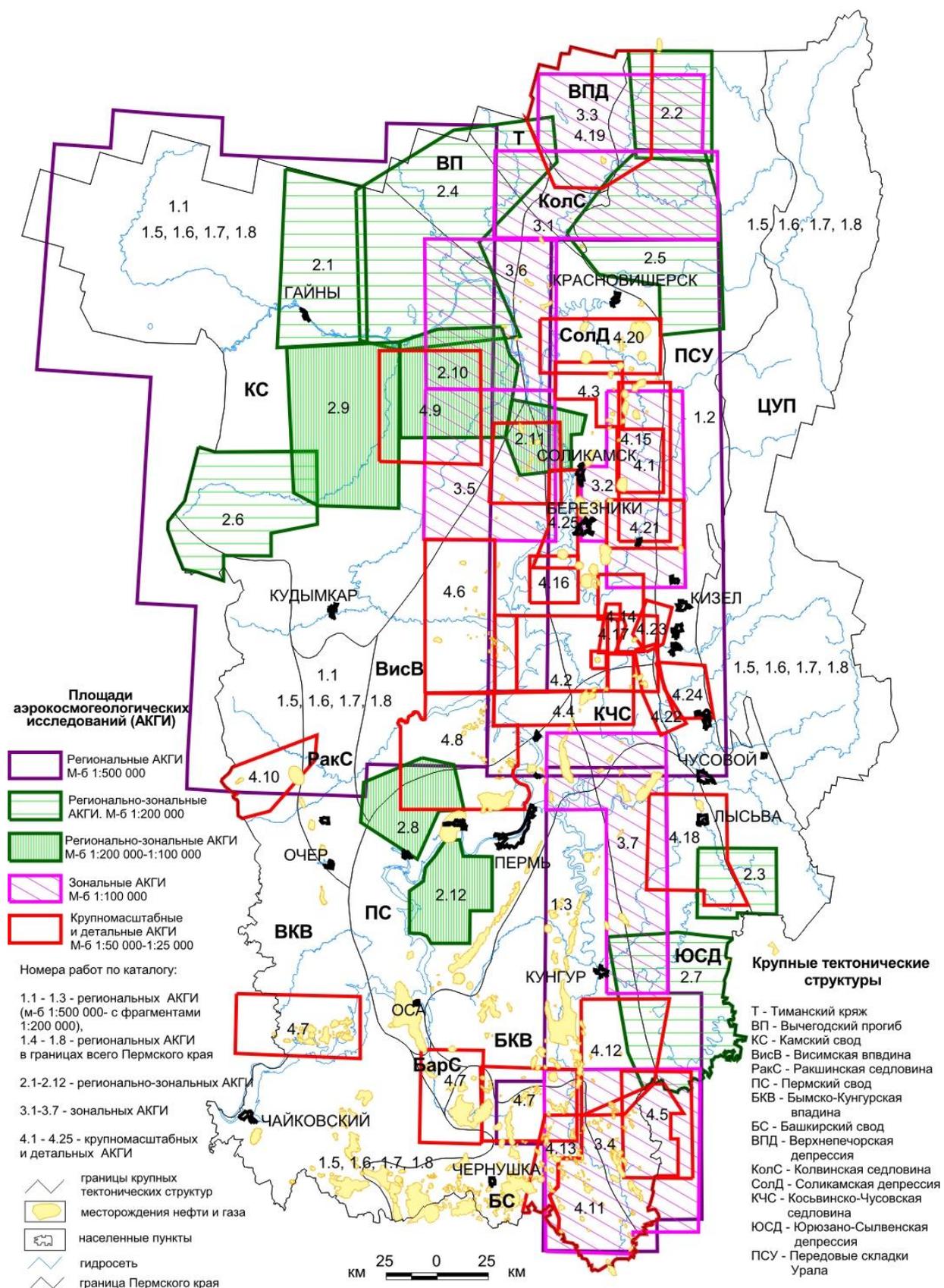


Рис. 1. Карта площадей аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья

Каталог изученности Пермского Приуралья нефтегазопроисковыми АКГИ

Стадия АКГИ	Общая характеристика работ, масштаб дешифрирования МАКС, карт	Автор, название работы, год
1	2	3
1. Региональная	Региональные и обобщающие АКГИ Масштаб карт 1:1 000 000, 1:500 000 (с фрагментами 1:200 000)	1.1. Шитин С.Т. и др. Отчет о региональных комплексных аэрогеологических исследованиях в Пермской области в 1976-1979гг. (бассейны верхнего течения р.Камы и ее притоков). ГПК, Пермь, 1979.
		1.2. Шитин С.Т. и др. Региональные аэрогеологические исследования в северо-восточной части Пермской области в 1980-1983 гг. ГПК, Пермь, 1983
		1.3. Пономарева И.Н. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования на восточной окраине Русской платформы в 1982-1985 гг. ГПК, Пермь, 1985
		1.4. Гацков В.Г. и др. Разработка методики проведения комплексных дистанционных исследований в различных ландшафтно-тектонических районах Пермской области (1985-1990 гг.). ГПК, Пермь, 1990
		1.5. Ильиных Ю.А. и др. Карты м-ба 1:1 000 000 Пермской области: линеаментов; плотности линеаментов; неотектоническая схема с элементами блоковой тектоники. В отчете: Детальные аэрокосмогеологические исследования в бассейне нижнего течения р.Иньвы. ГПК, Пермь, 1992
		1.6. Копылов И.С. и др. Составление карты неотектонической активности Пермской области м-ба 1:500 000. ФГУП «Геокарта-Пермь», Пермь, 2004
		1.7. Копылов И.С. Составление карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья. ООО «ПермНИПИнефть», Пермь, 2006
		1.8. Копылов И.С., Хурсик В.З. Обеспечение территории Пермского края аэрокосмогеологической основой с целью определения нефтеперспективных площадей и участков для включения в программу лицензирования. ООО «Пермская геолого-геофизическая компания». Пермь, 2010
2. Регионально-зональная	Регионально-зональные АКГИ (по черно-белым АФС) Масштаб 1:200 000	2.1. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Гайнинской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2006
		2.2. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Патраковской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2006
		2.3. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Марковской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2006
		2.4. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Пильвенской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2007
		2.5. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Валайской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2007
		2.6. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Кочевской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2008
		2.7. Хурсик В.З. и др. Аэрокосмогеологические исследования на Суксунской площади. ГИ УрО РАН, Пермь, 2008
	Регионально-зональные АКГИ (по цифровым спектрозонам КС). Масштаб дешифрирования 1:50 000. Масштаб карт 1:200 000	2.8. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Григорьевской площади (в зоне сочленения Пермского свода и Висимской впадины). ГИ УрО РАН. Пермь, 2010
		2.9. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Пономаревской площади (Камский наложенный свод). ГИ УрО РАН. Пермь, 2011
		2.10. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Керчевской площади. ГИ УрО РАН. Пермь, 2012
		2.11. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Вишерской площади (зона сочленения Камского наложенного свода с Соликамской и Висимской впадинами). ГИ УрО РАН. Пермь, 2013
		2.12. Копылов И.С., Хурсик В.З. Аэрокосмогеологические исследования на Юго-Камской площади (западная часть Пермского свода). ГИ УрО РАН. Пермь, 2013

Продолжение таблицы 1

1	2	3
<p>3. Зональ- ная</p>	<p>Зональные АКГИ (по черно-белым АФС) Масштаб 1:100 000</p>	<p>3.1. Коняев В.М. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования в южной части Верхне-Печорской и в восточной части Соликамской депрессий и на прилегающих структурах складчатого Урала в 1976-1979 гг. ГПК, Пермь, 1979</p>
		<p>3.2. Кротов В.С. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования в южной части Верхне-Печорской и в восточной части Соликамской депрессий и на прилегающих структурах складчатого Урала в бассейне среднего течения р.Яйвы и р.Глухой Вильвы в 1976-1979 гг. ГПК, Пермь, 1979</p>
		<p>3.3. Гацков В.Г. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования м-ба 1:100 000 в южной части Верхне-Печорской и в восточной части Соликамской депрессий и на прилегающих структурах складчатого Урала в 1976-1980 гг. ГПК, Пермь, 1980</p>
		<p>3.4. Гацков В.Г. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования масштаба 1:100 000 в северной части Уфимского плато в 1978-1982 гг. ГПК, Пермь, 1982</p>
		<p>3.5. Чирков Ю.В. и др. Результаты аэрокосмогеологических исследований м-ба 1:100 000 в Чердынском, Соликамском и Усольском районах Пермской области в 1972-1982 гг. ГПК, Пермь, 1982</p>
		<p>3.6. Коняев В.М. и др. Результаты аэрокосмогеологических исследований м-ба 1:100 000 в Чердынском районе Пермской области в 1977-1982 гг. ГПК, Пермь, 1982</p>
		<p>3.7. Пономарева И.Н. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования на Сылвинско-Чусовской площади в 1988-1991 гг. ГПК, Пермь, 1991</p>
<p>4 Деталь- ная</p>	<p>Детальные АКГИ (по черно-белым АФС) Масштаб 1:25 000- 50 000</p>	<p>4.1. Кучин А.С. и др. Комплексные аэрогеологические исследования зоны кульсомских нарушений. ГПК, Пермь, 1984</p>
		<p>4.2. Быков Н.Я. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования в нижнем течении р.Косьвы (1983-1985 гг.). ГПК, Пермь, 1985</p>
		<p>4.3. Ильиных Ю.А. и др. Детальные аэрокосмогеологические исследования в масштабе 1:50 000 в пределах Соликамской впадины в 1983-1986 гг. ГПК, Пермь, 1986</p>
		<p>4.4. Быков Н.Я. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования в бассейне р.Камы, междуречье р.Чусовой и р.Косьвы (1985-1986 гг.). ГПК, Пермь, 1987</p>
		<p>4.5. Пономарева И.Н. и др. Комплексные аэрокосмогеологические исследования в бассейне р.Сараны в 1986-1988 гг. ГПК, Пермь, 1988</p>
		<p>4.6. Ильиных Ю.А. и др. Детальные аэрокосмо-геологические исследования в восточной части Висимской впадины (правобережье р. Камы) в 1987-1989 гг. ГПК, Пермь, 1989</p>
		<p>4.7. Гацков В.Г. и др. Разработка методики проведения комплексных дистанционных исследований в различных ландшафтно-тектонических районах Пермской области (1985-1990 гг.). ГПК, Пермь, 1990</p>
		<p>4.8. Ильиных Ю.А. и др. Детальные аэрокосмогеологические исследования в бассейне нижнего течения р.Иньвы. ГПК, Пермь, 1992</p>
		<p>4.9. Быков Н.Я. и др. Детальные аэрокосмогеологические исследования в междуречье Косы и Уролки в 1991-1993 гг. ГПК, Пермь, 1994</p>
		<p>4.10. Быков Н.Я.и др. Детальные аэрокосмогеологические исследования в бассейне рек Сивы и Сепыча в 1994-1995гг. ГПК, Пермь, 1995</p>
		<p>4.11. Ильиных Ю.А. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в Октябрьском нефтегазоносном районе. ГПК, Пермь, 1996</p>
		<p>4.12. Ильиных Ю.А. и др. Детальные аэрокосмо-геологические исследования в средней части Бымско-Кунгурской впадины в 1996-1997 гг. ГПК, Пермь, 1998</p>

Окончание таблицы 1

1	2	3
		4.13. Ильиных Ю.А. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в Чернушинском нефтегазоносном районе (среднее течение р.Тюй) в 1998г. ГПК, Пермь, 1998
		4.14. Ильиных Ю.А. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в юго-восточной части Соликамской депрессии. ГПК, Пермь, 1998
		4.15. Ильиных Ю.А. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в восточной части Соликамской депрессии. ПермНИПИнефть, Пермь, 1999
		4.16. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Мезенской площади. ПермНИПИнефть, Пермь, 2000
		4.17. Быков Н.Я. и др. Детализация аэрокосмогеологическими методами приподнятых участков к западу от Крутовского месторождения нефти. ПермНИПИнефть, Пермь, 2001
		4.18. Волкогон С.П. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в северной части в Юрюзано-Сылвенской депрессии на Южно-Лысьвенской площади. ПермНИПИнефть, Пермь, 2001
		4.19. Ильиных Ю.А. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в юж. части Верхнепечерской депрессии на Волимской площади. ПермНИПИнефть, Пермь, 2001
		4.20. Ильиных Ю.А. и др. Производство крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований в северной части Соликамской депрессии. ПермНИПИнефть, Пермь, 2002
		4.21. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в восточной части Соликамской депрессии (Изверская площадь). ПермНИПИнефть, Пермь, 2002
		4.22. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в области сочленения Косьвинско-Чусовской седловины и передовых складок Урала. ПермНИПИнефть, Пермь, 2003
		4.23. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования в области сочленения Соликамской депрессии и передовых складок Урала. ПермНИПИнефть, Пермь, 2004
		4.24. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на Ново-Губахинском лицензионном участке. ПермНИПИнефть, Пермь, 2005
		4.25. Быков Н.Я. и др. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на Северо-Шершневской площади с целью выделения территорий, перспективных для поисков нефтеносных структур методами сейсмо- и гравиразведки. ПермНИПИнефть, Пермь, 2006
	<p>Детальные АКГИ (по цифровым спектрозонам КС). Масштаб дешифрирования 1:50 000. Масштаб карт 1:100 000</p>	4.26. Копылов И.С., Хурсик В.З. Результаты детальных аэрокосмогеологических исследований на Северо-Югидской площади (в восточной части Тимано-Печорской плиты). ГИ УрО РАН. Пермь, 2012

**Изученность тектонических регионов Пермского Приуралья
нефтегазопроисковыми АКГИ**

Тектонический регион	Перспективная площадь, км ²	Изученная площадь в масштабах, км ² / %			
		1:500 000	1:200 000	1:100 000	1:50000-25000
Верхнепечерская депрессия (ВПД)	4144	-	1100/27	3158 / 76	3279/79
Тиманский кряж (Т)	1079	160/15	840/78	507/47	23/2
Вычегодский прогиб (ВП)	2846	2457/86	1800/63	751/26	-
Камский свод (КС)	34128	34128/99	17200/50	5463/16	2834/8
Колвинская седловина (КолС)	645	57/9	-	598/93	55/9
Соликамская депрессия (СолД)	12095	11951/99	500/4	5138/42	6376/53
Висимская впадина (ВисВ)	11301	9758/86	830/7	1760/16	7136/63
Верхнекамская впадина (ВКВ)	16355	4377/27	400/2	-	2538/16
Ракшинская седловина (РакС)	3281	2176/66	-	-	100/3
Косьвинско-Чусовская седловина (КЧС)	2066	2066/100	-	486/24	1055/51
Пермский свод (ПС)	10190	595/6	2500/25	679/7	1540/15
Бардымская седловина (БарС)	373	-	-	-	338/91
Юрюзано-Сылвенская депрессия (ЮСД)	8715	4326/50	3500/40	2940/34	2368/27
Быско-Кунгурская впадина (БКВ)	10997	7811/71	300/2	3606/33	3673/33
Башкирский свод (БС)	5999	2929/49	-	2931/49	3823/64
Передовые складки Урала (ПСУ)	20681	7787/38	4700/23	3988/19	1312/6
Всего по Пермскому краю	144895	90578/56	33670/23	32005/20	36450/23

Не менее значителен размах колебаний изученности регионов зональными (масштаба 1:100 000) и детальными АКГИ (масштаба 1:50 000, 1:25 000) - от 2% до 100%, а в среднем по зональным – 20%, по детальным – 23%. Имеют место диспропорции масштабов работ (детальных работ проводилось больше, чем зональных) и даже парадоксы в изученности отдельных территорий. Отдельные регионы (Верхне-Печорская депрессия, Колвинская седловина), слабо изученные региональными работами – практически полностью изучены более детальными работами. В то же время Камский свод и Ракшинская седловина характеризуются обратным соотношением объемов региональных и детальных АКГИ – незначительной детальной и высокой степенью региональной изученности. По детальным АКГИ наименее изучены Камский и Пермский своды, Вычегодский прогиб, Верхнекамская и Быско-Кунгурская впадины [4, 13].

Наиболее последовательно (а поэтому, рационально и эффективно) методами АКГИ был изучен юго-восточный район Пермского края (восточная часть Быско-Кунгурской впадины, западная часть Юрюзано-Сылвенской депрессии, восточная часть Башкирского свода). Сначала были выполнены опытно-методические работы, затем были проведены региональные работы

масштаба 1:500 000, далее их детализировали зональные работы масштаба 1:100 000 и завершили – детальные АКГИ масштаба 1:50 000-1:25 000. По этим исследованиям были получены хорошие результаты – большинство ландшафтных аномалий соответствовало поднятиям, как правило, нефтеносным. Это тем более было важно, что работу сейсморазведке затрудняло широкое развитие карста. С участием аэрогеологов на юго-востоке края были открыты десятки нефтеносных структур и месторождений, в том числе – Каменское, Курбатовское, Казаковское, Адилевское, Токаревское и др.

По мере перенесения основных объемов детальных АКГИ масштаба 1:50 000-1:25 000 в западные, центральные и северные районы Пермского края (недостаточно подготовленных региональными и зональными работами) их результативность резко упала. Среди сотен выявленных аномалий, лишь небольшой их процент отражал нефтеносные поднятия, например, Гежское, Озерное, Цепельское, Касибское, Юрчукское, Шершневецкое, Тазмерское, Майкорское, Васильевское и другие. Поэтому, интерес к дистанционным исследованиям начал угасать и финансирование резко сократилось [15]. Лишь в последние годы, когда появились современные высокоточные КС и новые технологии их обработки, АКГИ снова стали включаться в общий комплекс нефтепоисковых работ в т.ч. и в связи разработкой глубинной парадигмы образования углеводородов и новой стратегией их поисков [2, 3, 14].

Заключение

По результатам АКГИ в Пермском Приуралье установлено более 5 тыс. ландшафтных аномалий, отобразивших седиментационные структуры и локальные тектонические поднятия. Проведено их ранжирование по перспективам нефтегазоносности, дано описание по тектоническим регионам. Дешифрированием современных КС выделено более 100 тыс. прямолинейных линеаментов, отождествляемых с линейными зонами тектонической трещиноватости. Составлен комплект обобщающих современных карт на территорию Пермского края в масштабе 1:500 000, включающий аэрокосмогеологическую карту, карты блоковой тектоники, геодинамических активных зон, объектов и участков, перспективных для поисков месторождений нефти и газа. Многие районы изучены детально в масштабе 1:25 000-1:50 000. Отдельные районы изучены цифровыми КС высокого разрешения (масштаб работ 1:200 000, но детальность дешифрирования 1:25 000-1:50 000) [4].

Перспективы развития нефтепоисковых аэрокосмических методов связаны с использованием цифровых КС высокого и среднего разрешения и компьютерных программ, позволяющих применять аналоги для генетического распознавания высокоперспективных объектов, а также в развитии морфонеотектонического, ландшафтно-геодинамического, линеаментно-геодинамического и линеаментно-блокового анализов при комплексировании с геофизическими и геохимическими методами. Обработка данных и картографирование в автоматизированном режиме на основе цифровой карты рельефа и современных цифровых КС с применением ГИС-технологий повысят эффективность исследований [11, 12].

Библиографический список

1. Ильиных Ю.А. Выявление пликативных и разрывных структур в различных тектонических зонах севера Урало-Поволжья по материалам аэрокосмических съёмок // Прогноз локальных структур по аэрокосмическим материалам/ ВНИГНИ. М., 1984. С.76-89.
2. Козлов С.В., Копылов И.С. Геодинамический анализ Курьино-Патраковского участка (Верхнепечорская впадина) в связи с его газоносностью // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 98-101.
3. 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.
4. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
5. Копылов И.С. Аэрокосмогеологическая основа территории Пермского края для выбора перспективных направлений, площадей, объектов нефтегазопоисковых работ и экологической безопасности // Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Пермь, 2010. С. 208-212.
6. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
7. 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.
8. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.
9. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
10. Копылов И.С. Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2012. № 6. С. 341-351.
11. 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.
12. Копылов И.С. Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 321-328.
13. Копылов И.С., Быков Н.Я., Хурсик В.З. Основные результаты и перспективы аэрокосмогеологических нефтегазопоисковых и геодинамических исследований на территории Пермского края и прилегающих регионов // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов. Пермь, 2007. С. 244-251.
14. 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.
15. Осокин А. Поиск нефти из космоса // Пермская нефть. 2009. №19 (268). С. 10.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ НЕФТИ И ГАЗА

Разработана методология аэрокосмогеологических исследований (АКГИ), которая включает основные методы: дешифрирование аэрокосмических снимков, линеаментно-блоковый анализ, морфонеотектонический анализ, линеаментно-геодинамический анализ, ландшафтно-геодинамический анализ, геоинформационное картографирование. Установлены виды и размеры картируемых объектов на разных стадиях АКГИ: обзорные, региональные, зонально-региональные, зональные, детальные исследования. Приведена методика дешифрирования, анализ дешифрировочных признаков, линеаментно-блоковой тектоники, кольцевых структур и ландшафтных аномалий. Приведены основы компьютерного космогеологического (структурно-геологического) дешифрирования и методов обработки данных и составления специальных карт.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, методология, методика, дешифрирование, космические снимки, линеаменты, ландшафтные аномалии, тектонические структуры, нефть и газ.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

METHODOLOGICAL BASES OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCH WHEN SEARCHING OIL AND GAS

A methodology for aerospace geological research (ACGI) has been developed, which includes the main methods: decoding aerospace images, lineament-block analysis, morphoneotectonic analysis, lineament-geodynamic analysis, landscape-geodynamic analysis, geoinformation mapping. The types and sizes of the mapped objects at different stages of the ACGI are established: survey, regional, zonal-regional, zonal, detailed studies. A decoding technique, an analysis of decryption features, lineament block tectonics, ring structures and landscape anomalies are presented. The basics of computer cosmogeological (structural-geological) decryption and data processing methods and compiling special maps are given.

Key words: aerospace geological research, methodology, technique, interpretation, satellite images, lineaments, landscape anomalies, tectonic structures, oil and gas.

Основы методологии аэрокосмогеологических исследований

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) – вид дистанционных исследований в общем комплексе геолого-геофизических работ, использующий материалы аэрокосмических съемок (МАКС), аэрофотоснимки (АФС),

космические снимки (КС) или данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) для решения различных геологических задач (минерагенических и геолого-поисковых на различные виды полезных ископаемых, структурно-тектонических, геодинамических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геоэкологических, геоморфологических и др.). АКГИ являются одним из важнейших видов исследований недр для обнаружения месторождений нефти и газа на любых стадиях работ, особенно – поисковой.

В современной практике проведения АКГИ сложились следующие стадии (уровни) геологического изучения: обзорные, региональные, зонально-региональные, зональные, детальные исследования. Масштабы дешифрирования МАКС, размеры выделяемых объектов (при использовании современных технологий компьютерного дешифрирования) при их проведении представлены в таблице 1.

На примере Западного Приуралья и Урала, где сложилась и более 50 лет развивается пермская школа аэрокосмогеологии [8, 10, 13], рассмотрим методические основы дистанционных исследований, которые применялись при проведении нефтегазопроисковых и различных геодинамических исследованиях.

Таблица 1

Виды и размеры картируемых объектов на разных стадиях аэрокосмогеологических исследований [13]

Стадия работ	Масштаб дешифрирования МАКС	Ранги выделяемых линеаментов	Оптимальные размеры картируемых объектов, км	
			прямолинейные линеаменты	кольцевые и дугообразные структуры
Обзорная	1:10000 000	глобальные	400-800 и более	Десятки и сотни км
	1:5 000 000	региональные	200-400	
	1:2 500 000	региональные	100-200	
	1:1 000 000	зональные	50-100	30x50 – 50x80
Региональная	1:500 000	зональные	15-50	15x20 – 30x50
Зонально-региональная	1:200 000	локальные	5-15	5x8 – 10x15
Зональная	1:100 000	короткие	1,5-5	1,0x2,0 – 1,5x2,0
Детальная	1:50 000	короткие	0,5-1,5	0,5x0,8 – 1,5x2,0
	1:25 000	короткие	до 0,5	0,3x0,5 – 0,7x1,0

Как правило, аэрокосмогеологические исследования организационно проводятся в 3 этапа:

- подготовительный этап (комплектация МАКС, предварительное дешифрирование),
- основной этап (дешифрирование МАКС, полевые заверочные работы),
- заключительный этап (обработка данных, анализ, картография).

Общая методология аэрокосмогеологических исследований базируется на основных методах:

- дешифрирование (структурно-геологическое, ландшафтное, геоиндикационное и др.) аэрокосмических снимков,
- линеаментно-блоковый анализ,
- морфонеотектонический анализ,
- линеаментно-геодинамический анализ,
- ландшафтно-геодинамический анализ,
- геоинформационное картографирование.

Методика дешифрирования, анализ дешифрировочных признаков, линеаментно-блоковой тектоники, кольцевых структур и ландшафтных аномалий

В основу методики аэрокосмогеологических исследований положено комплексное дешифрирование материалов дистанционных съёмок земной поверхности, включающее структурное, геоморфологическое и геологическое дешифрирование фотоснимков, структурно-геоморфологический анализ топографических карт и комплексная интерпретация результатов дешифрирования на основе имеющегося геолого-геофизического материала.

При нефтегазопромысловых работах основным видом работ в комплексе аэрокосмогеологических исследований является структурное (линеаментное) дешифрирование. Под структурным дешифрированием понимается выделение на материалах аэрокосмических съёмок с помощью геоиндикационных признаков (геоморфологических, ландшафтных, гидрогеологических и др.) элементов структурно-тектонического строения и неотектонических особенностей изучаемой территории [3-5, 15].

При структурном дешифрировании на снимках выделяются линейные и кольцевые образования (Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям..., М.: ИГиРГИ, 1987).

Для обозначения линейных объектов, выделенных по снимкам закрытых территорий, обычно используется термин «линеамент» – линейные неоднородности земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, глубины и возраста заложения [6, 18, 19]. Существует более ста его понятий и определений. В практике пермской школы аэрокосмогеологов он понимается, как прямолинейный индикатор тектонических нарушений, проявленный на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно геологическими и ландшафтными аномалиями.

Дешифровочные признаки кольцевых структур и ландшафтных аномалий.

Выявление пликативных структур осадочного чехла различных типов (сквозных, погребённых, безкорневых и др.), отражающихся ландшафтными аномалиями, производилось методом структурного дешифрирования по системам дугообразных линеаментов и с учётом результатов структурно-геоморфологических исследований. При этом, выделение ландшафтных аномалий как фотообразов локальных структур производилось путём сопоставления распознаваемых объектов с эталонами соответствующего класса и установления критериев соответствия, т.е. геоиндикационных признаков.

Основными геоиндикационными признаками ландшафтных аномалий были установлены:

- локальное усиление эрозионной и денудационной расчленённости земной поверхности;
- кольцевое концентрическое закономерное расположение водораздельных гряд, их отрогов и осложняющих их поверхности явных остаточных высот;
- не всегда отчётливый, но присущий каждой аномалии, кольцевой концентрический рисунок, образованный эрозионными и денудационными микроформами рельефа;
- появление и локальное увеличение количества фрагментов надпойменных террас, обрамляющих поймы на склонах долин.

Поскольку эталоны определённого класса геологических объектов (фотообразы установленных продуктивных структур определённого генезиса) всегда имеют индивидуальные различия, то установление критериев соответствия приобретает неоднозначный или вероятностный характер. Таким образом, отождествление ландшафтных аномалий с тем или иным геологическим объектом, в принципе, сводится к построению вероятностной модели реальной ситуации по её копии на эталонах.

Геоиндикационными признаками ландшафтных аномалий, предположительно отображающих разного генезиса пликативные дислокации осадочного чехла, послужили концентрические системы дугообразных линеаментов, уверенно наблюдаемые в контурах аномалий на АФС и КС разных масштабов. Последние обусловлены дугообразным расположением микро- и мезоформ рельефа эрозионной, денудационной и седиментационной природы. Наиболее отчётливо прослеживаются дугообразные системы линеаментов денудационно-эрозионных форм рельефа.

Индикаторы аномалий в строении денудационного рельефа представлены грядами, гривами и остаточными вершинами водоразделов. Ландшафтные аномалии подчёркиваются дугообразными отрезками водораздельных линий (осей) и сопряжёнными с ними дугообразными отрезками уступов, выпуклых и вогнутых перегибов на склонах.

Среди эрозионных форм рельефа на ландшафтные аномалии указывают дугообразные отрезки русел и днищ долин разных порядков, тальвегов небольших оврагов, логов и ложбин стока, а также дугообразные отрезки

бровок и пойменных тыловых швов, следов миграции русла рек. Одним из признаков выявления ландшафтных аномалий при структурном дешифрировании является концентрический рисунок фототона, обусловленный различием растительных сообществ и увлажнённости рыхлых отложений. Иногда этот признак прослеживается в струйчатом рисунке течения болотных масс, а также в дугообразных отрезках границ развития различных генетических типов четвертичных отложений.

Положительные деформации земной поверхности в контурах ландшафтных аномалий дополняются радиально-центробежным рисунком эрозионных форм рельефа, локальной концентрацией и закономерным расположением явных остаточных высот, локальным усилением глубины вреза эрозионных форм рельефа, смещением интенсивной заболоченности к краям аномалий, сужением речных долин и спрямлением русла на участках аномалий.

Характерные комплексы геоиндикационных признаков ландшафтных аномалий обусловлены направленностью и интенсивностью новейших движений блоковых структур. Интенсивно расчленённый рельеф более активных неотектонических блоков обусловил ведущую роль геоиндикаторов, связанных с денудационными и эрозионными процессами. На выровненных и заболоченных участках менее активных неотектонических блоков основное значение приобретают признаки, обусловленные аккумулятивными формами рельефа, и рисунком фототона, обусловленным характерными изменениями видового состава и плотности растительного покрова, степенью увлажнённости рыхлых отложений.

Дешифрировочные признаки прямолинейных линеаментов и неотектонических блоковых структур.

Трещинно-разрывные нарушения на материалах дистанционных съёмок фиксируются прямолинейными линеаментами, которые представляют собой узкие протяжённые системы форм рельефа различного генезиса, прослеживаемые вдоль одной линии на значительные расстояния. Признаки, по которым дешифрируются трещинно-разрывные нарушения, в общем, одинаковы для всех видов и типов последних независимо от их протяжённости, а также наличия или величины смещения [1, 20].

Выявление и трассирование прямолинейных линеаментов производилось по комплексу геоморфологических и ландшафтных (почвенно-геоботанических) индикаторов.

Геоморфологические геоиндикаторы прямолинейных линеаментов развиты наиболее широко, к ним относятся:

- линейно-вытянутые спрямлённые денудационные уступы на склонах долин и водоразделов; прямолинейные бровки и вогнутые перегибы на склонах, ограничивающие участки с различной крутизной; центральные части седловин на водоразделах и др. Эти геоиндикационные признаки наиболее отчётливо проявлены на участках с увеличенной расчленённостью рельефа;

- эрозионные формы рельефа в виде прямолинейных отрезков русел, тальвегов ложков и ложбин стока, тыловых швов и бортов речных долин; резких коленообразных изгибов временных и постоянных водотоков;

встречных притоков и др. Эта группа геоиндикаторов, как наиболее часто встречающаяся и легко распознаваемая на фотоснимках, является одним из главных признаков выявления прямолинейных линеаментов;

- линейно-ориентированные отрицательные формы рельефа в виде цепочек карстовых воронок, суффозионных просянок и западин, линейные цепочки мочажин, старичных понижений, обводнённых заболоченных участков на аккумулятивных поверхностях террас и их прямолинейные ограничения [9, 21].

Ландшафтные (почвенно-геоботанические) признаки прямолинейных линеаментов отражаются в растительном и почвенном покрове в виде тонких прямолинейных фототональных полос и штрихов на фотоизображении, обусловленных изменением характера растительности в более обводнённой или дренированной зоне над линеаментами. На участках выровненного и интенсивно заболоченного ландшафта основными геоиндикационными признаками прямолинейных линеаментов явились линейно-вытянутые аккумулятивные гривы флювиогляциальных и аллювиальных песков, спрямлённые ограничения участков распространения различных генетических типов четвертичных отложений, а также фототональные полосы на открытых пространствах болот.

Объектами исследования с целью выявления границ блоковых структур и зон тектонических нарушений методами дешифрирования на аэро- и космоизображениях служат системы прямолинейных линеаментов. Как правило, прямолинейные линеаменты выделяются и трассируются по комплексу признаков, которые сменяют друг друга по простиранию или накладываются друг на друга.

Характер проявления и дешифровочные признаки прямолинейных линеаментов могут существенно различаться из-за характера и интенсивности неотектонических движений, а также из-за различия горизонтальных градиентов тех или иных характеристик земной поверхности (литолого-фациального состава отложений, уклонов и т.д.) и обнажающихся пород. Один и тот же линеамент, особенно транзитного типа, на фотоизображениях может иметь различную отчётливость и форму проявления в разных частях исследуемой площади. Резко обозначенный в одной области, он может «потеряться» в другой. Но на фотоизображениях другого масштаба, другого уровня генерализации он может проявиться достаточно ясно. При этом для выявления такого линеамента обычно требуется изображение более высокой степени генерализации, т.е. требуются фотоматериалы более мелкого масштаба.

Существенные различия в характере проявления линеаментов связаны с их положением в областях денудации или аккумуляции. На участках преобладания процессов денудации линеаменты проявляются в разнообразных типах и формах эрозионно-денудационного рельефа. Анализ рельефа в таких случаях даёт ценную информацию, поскольку здесь линеаменты проявляются главным образом в рисунке эрозионных сетей, расположении денудационных уступов и остаточных высот и других форм рельефа.

На площадях, где развиты аккумулятивные образования, образы линеаментов формируются менее заметными особенностями поверхности. Обычно они отражаются конседиментационными деформациями, которые сопровождаются изменениями фациального состава и мощности четвертичных отложений и, как следствие, соответствующей структурой почвенно-растительного покрова и различной степенью увлажнённости поверхности, обусловленными неотектонической структурой. В этом случае велико значение структуры почвенно-растительного покрова, отражающейся в фототоне изображения.

Если в области денудации линеаменты образуются достаточно резкими чертами рельефа, то на аккумулятивных участках они нередко представляют собой довольно расплывчатые, без резких ограничений полосы, для выявления которых требуются изображения с более высокой генерализацией. Кроме того, поскольку в этом случае велико значение структуры почвенно-растительного покрова, отражающейся в фототоне изображения, при дешифрировании линеаментов большое значение приобретают спектрзональные (многозональные) съёмки, позволяющие в определённых зонах спектра как бы экстрагировать искомые объекты.

Главной задачей изучения прямолинейных линеаментов, как отражающих линейные структуры осадочного чехла, является выяснение их природы. Для её решения необходим всесторонний совместный анализ результатов дистанционных исследований и данных, полученных традиционными геолого-геофизическими методами. С этой целью изучаются и сопоставляются с результатами дешифрирования карты строения поверхности фундамента, геологические, геоморфологические, четвертичных отложений и другие карты. Подобный всесторонний анализ результатов дешифрирования позволяет предполагать отражение прямолинейными линеаментами трещинно-разрывных деформаций осадочного чехла и взаимосвязь линеаментов с напряжёнными зонами земной коры и зонами повышенной трещиноватости и проницаемости в породах осадочного чехла, известными как геодинамические зоны [16].

В геодинамическом аспекте, ядро вещества газового плюма, мигрируя по главному разлому, порождает уникальные и крупные месторождения нефти и газа, а на опережающихся разломах, которых и больше, но материнского вещества меньше, рождаются средние, мелкие и очень мелкие месторождения нефти и газа, но все они, как спутники, концентрируются вблизи крупных скоплений УВ, образуя нефтегазоносные бассейны и области [7].

Общепризнанным считается, что дизъюнктивные деформации глубоких слоёв литосферы, распространяясь вверх, преобразуются в соответствии со структурными и литолого-петрографическими неоднородностями более высоких слоёв и достигают поверхности в виде более или менее широких ореолов, отвечающих зонам увеличенной трещиноватости и проницаемости пород. При прочих равных условиях, чем больше глубина заложения деформации, тем в более рассеянном виде, более широким ореолом она проявлена на поверхности [19].

Естественно предполагать, что чем протяжённее прямолинейный линеамент, выявленный по КС мелкого масштаба, тем больше глубина его послеживания или влияния. При этом данный линеамент будет отражать центральную осевую линию трещинно-разрывной зоны, которая выделяется на АФС ил КС крупного масштаба сериями сближенных более коротких прямолинейных линеаментов, сопровождающих протяжённный линеамент. Отмеченная линеаментная зона представляет собой ореол глубинного линеамента, характеризующийся увеличенной трещиноватостью и проницаемостью пород в верхних частях осадочного чехла и на земной поверхности. Причём направление линеаментов данной зоны может быть как субпараллельным или оперяющим основному линеаменту, так и разнонаправленным. Поэтому, линеаменты, отдешифрованные на космических снимках и по данным наземных геологических и геофизических исследований, далеко не всегда соответствуют на поверхности разломам осадочного чехла.

Линеаменты всех таксономических рангов представлены на поверхности линейно вытянутыми формами рельефа, их границами, элементами гидрографической сети, геологически обусловленными зонами почвенного и растительного контраста, аномалиями структурного рисунка поверхности. Линеаментам соответствуют полосы повышенной однообразно ориентированной трещиноватости и новейших деформаций рельефа, границы структурно-фациальных зон. Нередко протяжённные линеаменты совпадают с зонами аномального поглощения сейсмических волн, с зонами линейно вытянутых гравитационных и магнитных аномалий, а также с границами, разделяющими области с разными сейсмическими скоростными разрезами, с различным характером гравитационного и магнитного полей.

Возможность обнаружения блоковых структур в значительной мере обусловлена их унаследованным неотектоническим развитием, определяющим выражение структур в современном рельефе, в интенсивности вертикальной и горизонтальной его расчленённости, характере четвертичного покрова, распределения почв, растительности и степени увлажнённости.

Блоковые структуры, выявленные на КС, подобно прямолинейным линеаментам отражаются в орогидрографии и других элементах ландшафта. Наиболее эффективно применение дешифрирования КС и АФС при изучении погребённых структур и трещинно-разрывных нарушений скрытого типа в равнинных областях с широким развитием осадочного чехла.

Некоторые исследователи отмечают принципиальную возможность распознавания глубинных погребённых структур на фотоизображениях на том основании, что в сложном геохимическом спектре и интегральном спектре гравитационных, магнитных, электрических, радиационных, геотермальных и других полей того или иного участка земной поверхности заключена информация, которую восходящие флюиды и интегральные геофизические поля несут как о своих материальных средах, так и о слоях земной коры, сквозь которые они прошли на своём пути к поверхности и которая так или иначе

проявлена в особенностях почвенно-растительного покрова и характеристиках электромагнитного излучения, фиксируемых на снимках [19].

Путём сравнительного анализа разномасштабных снимков представляется возможным получать данные о предполагаемой глубине заложения выделяемых элементов структуры. Как правило, чем меньше масштаб снимков и соответственно выше уровень генерализации фотоизображения, тем более глубинные структуры проявляются на снимке. Чаще всего это структуры, сохраняющие активность в новейшее время.

Дешифрирование линеаментов состоит из следующей последовательности: 1) выделение линейных объектов и составление схем линеаментов; 2) обработка схем линеаментов; 3) установление закономерностей в распределении линеаментов.

Компьютерное космогеологическое (структурно-геологическое) дешифрирование

При проведении АКГИ в настоящее время проводится компьютерное космогеологическое дешифрирование [8, 12]. Методика его заключается 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 (рис. 1).

Составляются ГИС-проекты на платформе ESRI Arc GIS 10.* (расширения Arc GIS Spatial Analyst, Arc GIS Geostatistical Analyst, Arc GIS 3D Analyst).

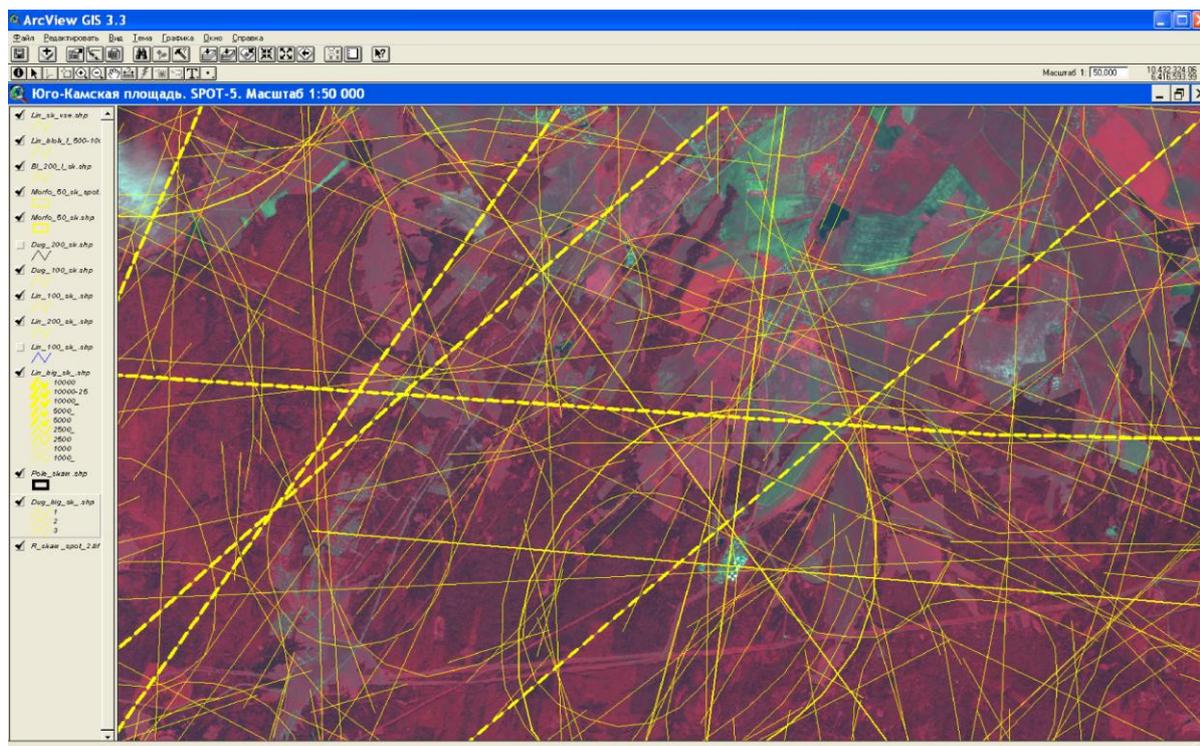


Рис. 1. Компьютерное дешифрирование КС SPOT-5

Технологически это выполняется путем системного анализа (дешифрирования) КС разного масштаба от мелкого – к крупному.

Дешифрирование проводится в следующей стадийной последовательности:

- стадия обзорного и регионального дешифрирования КС масштабов 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000, для изучения блокового строения территории и выявления систем и рангов региональных линеаментов большой протяженности (более 200-300 км);

- стадия регионального дешифрирования КС масштаба 1 000 000 для выявления региональных линеаментов протяженностью от 100 до 200 км и масштаба 1:500 000 для выявления зональных линеаментов протяженностью от 25 до 100 км и крупных кольцевых структур;

- стадия регионально-зонального дешифрирования КС масштаба 1:200 000 для выявления зональных и локальных линеаментов протяженностью от 5-10 до 25 км и средних кольцевых структур;

- стадия зонального дешифрирования КС масштаба 1:100 000 для выявления локальных и коротких линеаментов протяженностью от 2-5 до 10 км и локальных кольцевых структур (локальных ландшафтных аномалий);

- стадия детального дешифрирования КС масштаба 1:50 000 и 1:25 000 для выявления коротких линеаментов и мегатрещин протяженностью от 0,5-1 до 5 км и локальных кольцевых структур (локальных ландшафтных аномалий).

Для количественного анализа оценки геодинамической активности выполняется построение поля плотности тектонических линеаментов (определенных рангов). Задача выполняется в программном обеспечении ArcGIS ArcMap через модуль Spatial Analyst, инструмент Line Density.

Рассчитывается плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного растра. Плотность вычисляется в единицах длины на единицу площади. В результате строится поле плотности линеаментов. Количество классов значений плотности выбирается в зависимости от статистических параметров (среднего арифметического – \bar{x} и стандартного отклонения – s).

Ранжирование геодинамической активности по неотектоническим показателям проводится по 6 градациям с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности: 1 балл $< (\bar{x}-s)$; 2 балл $(\bar{x}-s) - \bar{x}$; 3 балл $\bar{x} - (\bar{x}+s)$; 4 балл $(\bar{x}+s) - (\bar{x}+2s)$; 5 балл $(\bar{x}+2s) - (\bar{x}+3s)$; 6 балл $> (\bar{x}+3s)$. Вполне уверенно предполагается, что они отражают соответственно различную степень геодинамической активности (от условно стабильной до условно очень высокоактивной).

В методических целях проводится дешифрирование на эталонных участках известных структур, в т.ч. – нефтегазовых месторождений (рис. 2).

В Пермском Приуралье установлено [9, 10], что все они достаточно уверенно отражаются на КС дугообразными линеаментами и закартированы ландшафтными аномалиями (как правило, с небольшими смещениями в плане или большего размера). Лишь менее 5 % известных структур в силу плохого

качества отдельных участков фотоснимков не нашли отражения на космоснимках. По неотектоническим (геодинамическим) показателям нефтегазоносные структуры в отдельных ландшафтно-тектонических районах, как правило, характеризуются специфическим набором показателей повышенной геодинамической активности.

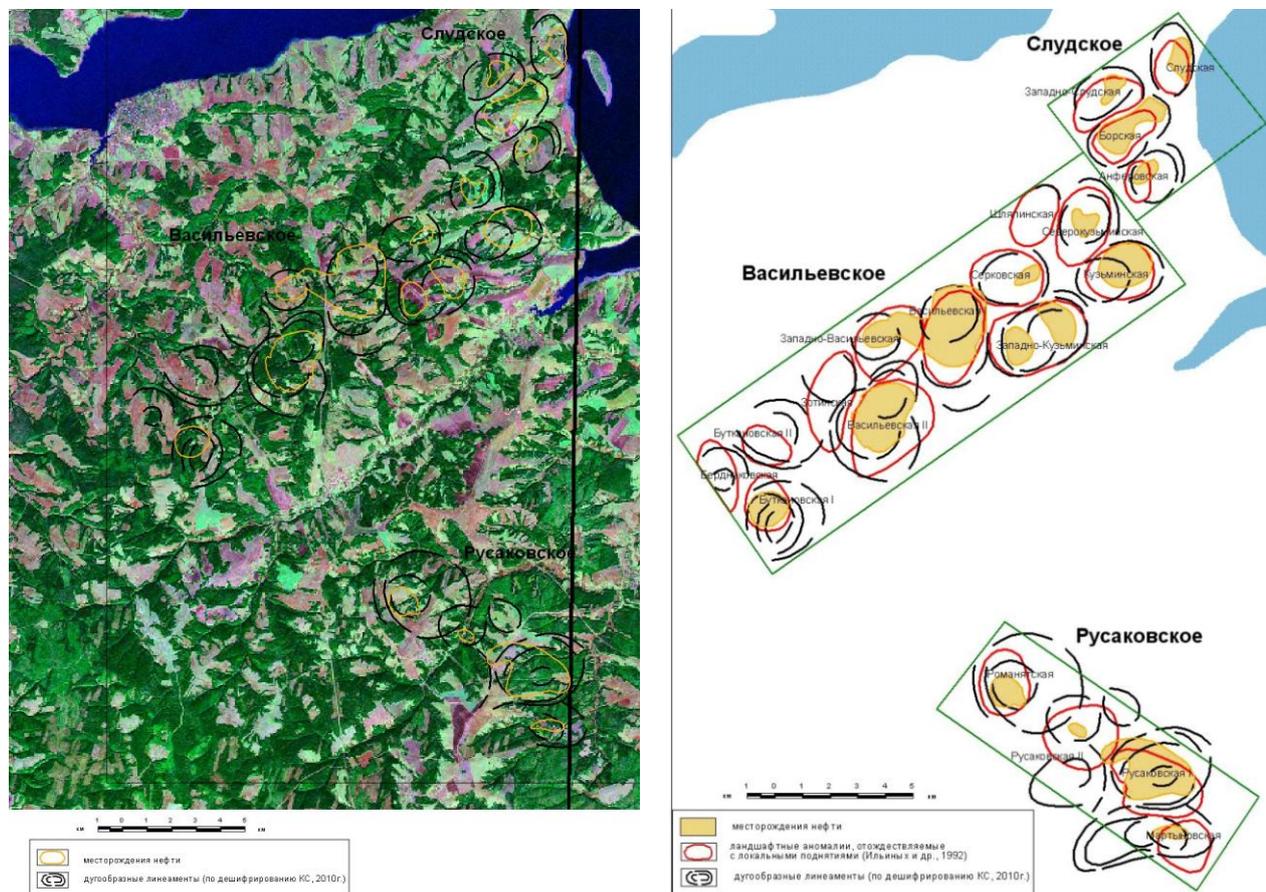


Рис. 2. Пример дешифрирования ландшафтных аномалий на эталонных месторождениях нефти

Методика обработки данных АКГИ и составления карт

Обработка данных АКГИ полученных в результате дешифрирования космических снимков заключается в проведении различных видов анализов с применением ГИС-технологий.

Основные виды анализов:

- ландшафтно-геодинамический анализ в соответствии с принципами геоиндикационного и ландшафтно-индикационного дешифрирования с целью выделения локальных объектов перспективных на нефть и газ – ландшафтных аномалий и установление их закономерностей [10];

- линеаментно-блоковый анализ в соответствии с принципами линеаментной тектоники [6, 11] с целью составления карты неотектонических блоковых структур. Оценка степени активности неотектонических блоковых

структур производилась с учетом интенсивности неотектонических движений и энергии рельефа;

- морфонеотектонический (морфоструктурный) анализ наиболее целесообразно проводить способом равнозначных градаций по комплексу неотектонических показателей [2, 12, 14], с целью составления карты интегральной неотектонической (геодинамической) активности. Необходимо отметить, что в морфоструктурном анализе (часть структурно-геоморфологических исследований) [22, 23] и морфонеотектоническом анализе применяются во многом однотипные методы и технологии, но цели у них разные: в первом случае – для изучения и картирования тектонических структур, во втором – для изучения неотектонической (геодинамической активности) территорий;

- линеаментно-геодинамический анализ представляет собой комплекс геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов картирования полей тектонической трещиноватости и геодинамической активности с целью районирования и составления карты геодинамических активных зон. Анализ геодинамической активности проводится по критериям плотности тектонической трещиноватости (линеаментов) [11, 13, 16, 17] и заключается в получении исходной модели линеаментного поля путем дешифрирования МАКС, далее – в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности, построение ее картографических моделей разного уровня детальности.

- комплексный анализ полученных результатов АКГИ с материалами геолого-геофизических, геохимических, гидрогеологических и других исследований.

По результатам АКГИ составляются основные результирующие карты в цифровом формате в ArcGIS и Arc View GIS с разработкой их легенд, в масштабах, соответствующих задачам исследований:

- карты результатов аэрокосмогеологических исследований,
- карты неотектонических блоковых структур,
- карты геодинамических активных зон,
- карты комплексного анализа АКГИ и геолого-геофизических данных,
- карты объектов и участков, перспективных для поисков месторождений нефти и газа.

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцева. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.*

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

3. *Гридин В.И. Основные положения организации и проведения системно-аэрокосмического изучения нефтегазоносных территорий. Метод. рекомендации. МИНХ и ГП. М., 1984.*

4. *Гридин В.И. Структурное дешифрирование материалов дистанционного*

зондирования. ООО МИНГ им. И.М. Губкина. М., 1987. 99 с.

5. Гридин В.И., Дмитриевский А.Н. Системно-аэрокосмическое изучение нефтегазоносных территорий. М.: Наука, 1994.

6. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.

7. 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.

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. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.

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

12. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.

13. 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.

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

15. Копылов И.С. Методология, оценка, районирование неотектонической активности (на примере Пермского Предуралья и Урала) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2004. С.3-11.

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. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.

18. 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.

19. Корчуганова Н.И. Новейшая тектоника с основами современной геодинамики. Методическое руководство. М.:Геокарт: ГЕОС, 2007. 354 с.

20. Космическая информация в геологии / Коллектив авторов. Гл. ред. А.В. Пейве, А.В. Сидоренко, А.Л. Янин. М.: Наука, 1985. 536 с.

21. Кутейников Е.С. Структурное дешифрирование при геологической съёмке. Методические рекомендации. Л., ВНИГРИ, 1981.

22. 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.76-78.

23. Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтегазоносных областей / И.Г.Гольбрайх, В.В.Забалуев, А.Н.Ласточкин и др. Л.: Недра, 1968. 152 с.

24. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.

И.С. Копылов

Пермский государственный научный исследовательский университет,
Пермь, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ И УЧАСТКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ

Приводятся основные результаты нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических работ, выполненных в Пермском Приуралье за прошедшие 50 лет. Установлено более 4 тыс. ландшафтных аномалий, отобразивших седиментационные структуры и локальные тектонические поднятия. Проведено их ранжирование по перспективам нефтегазоносности, дано описание по тектоническим регионам. Дешифрированием современных космических снимков выделено более 60 тыс. прямолинейных линеаментов, отождествляемых с линейными зонами тектонической трещиноватости. Составлен комплект современных карт на территорию Пермского края в масштабе 1:500 000, включающий аэрокосмогеологическую карту, карты блоковой тектоники, геодинамических активных зон, объектов и участков, перспективных для поисков месторождений нефти и газа. Выполнено обоснование площадей и участков для проведения зональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и аэрокосмогеологическими исследованиями.

Ключевые слова: нефть и газ, аэрокосмогеологические исследования, космические снимки, дешифрирование, тектонические структуры, ландшафтные аномалии, линеаменты, геодинамическая активность, перспективные объекты на нефть и газ, Приуралье.

I.S. Kopylov

Perm State Scientific Research University, Perm, Russia

RESULTS OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE PERM URAL REGION AND JUSTIFICATION OF PERSPECTIVE OBJECTS FOR THE PURPOSE OF SEARCHING OIL DEPOSITS

The main results of oil and gas exploration aerospace and geological work carried out in the Perm Urals over the past 50 years are presented. More than 4,000 landscape anomalies have been established, displaying sedimentary structures and local tectonic uplifts. They were ranked according to the prospects of oil and gas potential, a description is given for tectonic regions. Deciphering modern satellite imagery, more than 60 thousand straight lineaments are identified, identified with linear zones of tectonic fracturing. A set of modern maps has been compiled on the territory of the Perm Territory at a scale of 1: 500,000, including an aerospace geological map, maps of block tectonics, geodynamic core zones, objects and sections, prospective for prospecting for oil and gas fields. Substantiation of areas and areas for conducting zonal seismic work in combination with gravimetric and geochemical surveys and aerospace geological studies has been completed.

Keywords: oil and gas, aerospace and geological research, satellite imagery, interpretation, tectonic structures, landscape anomalies, lineaments, geodynamic activity, promising objects for oil and gas, the Urals.

Обобщение результатов аэрокосмогеологических исследований (АКГИ)

На территории Западного Урала и Приуралья выполнено более 100 различных аэрокосмогеологических работ, при этом основная их часть выполнена в период с 1976-2018 гг. – более 60 аэрокосмогеологических нефтепоисковых работ различного масштаба (региональных, крупномасштабных и детальных), охвативших значительную часть территории Пермского края и прилегающих территорий. В результате обобщения этих исследований автором и В.З. Хурсиком в 2010 г. была составлена аэрокосмогеологическая карта (рис. 1, 2), в последствие уточненная [4]. Основным результатом этих исследований было выделение более 4 тыс. локальных ландшафтных аномалий (ЛА) и морфоструктур, как нефтегазопроисковых объектов [3, 9] и выделение более 60 тыс. прямолинейных линеаментов (по дешифрированию современных КС), отождествляемых с линейными зонами тектонической трещиноватости, основные из которых осуществляют неотектонический контроль размещения месторождений углеводородов [5-8].

В подавляющем большинстве локальные ЛА имеют овальную форму, СЗ, СВ или субмеридиональную ориентировку по длинной оси. Размеры ЛА, выделенных по дешифрированию среднемасштабных аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС) составляют 5-20 км длиной и 2-8 км шириной. По крупномасштабным АФС и КС размеры аномалий составляют соответственно 1,5-4 км длиной и 1-2 км шириной.

На основании комплексной интерпретации результатов АКГИ, ландшафтно-геодинамического анализа и геолого-геофизических данных ЛА подразделены на несколько групп. Выделены ЛА, отобразившие в ландшафте земной поверхности известные продуктивные структуры, аномалии предполагаемых структур облекания позднедевонских, артинских (волимских) рифов; аномалии, отобразившие известные и предполагаемые тектонические поднятия; тектонические поднятия. Имеющийся на настоящее время геолого-геофизический материал не позволяет отождествить значительную часть ЛА (особенно в районах не достаточно изученными глубоким бурением или высокоточными геофизическими методами) с определённым объектом осадочного чехла, отобразённого аномалией. Такие ЛА отнесены к группе аномалий, отобразивших структуры невыясненного генезиса.

После переинтерпретации и обобщения всех материалов АКГИ было отобрано 3733 локальных ЛА, которые отображены на сводной карте. Описание их приведено в отчете (Копылов, Хурсик, 2010ф) и монографии [6], где также отражена относительная степень их перспективности, на наличие возможных ловушек нефти и газа в их контурах. По степени перспективности или степени очередности их изучения (методами – детальной сейсморазведкой в комплексе с высокоточной гравиразведкой, структурным и параметрическим бурением) перспективные ЛА традиционно ранжировались на объекты 1-й, 2-й или 3-й очереди изучения. Рекомендации, которые были сделаны ранее для большинства из них также актуальны в настоящее время.

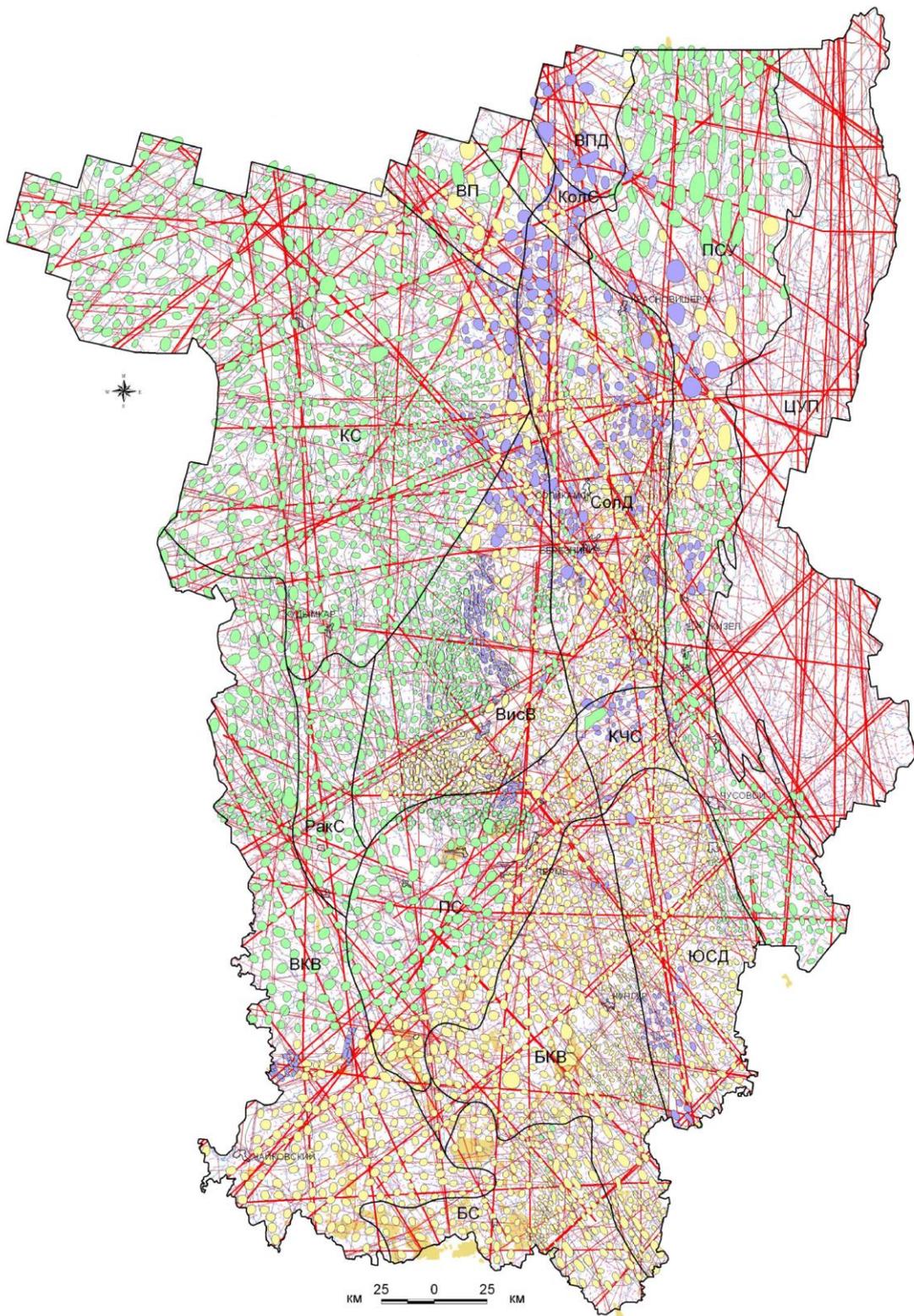


Рис. 1. Аэрокосмогеологическая карта территории Пермского края
[3 с уточнением]

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Результаты аэрокосмогеологических исследований по дешифрированию аэрофотоснимков и космических снимков

Прямолинейные линеаменты, отразившие трещинно-разрывные структуры осадочного чехла и фундамента по результатам регионального и зонального дешифрирования (И.С.Копылов, В.З. Хурсик, 2008-2013 гг.)

Крупные кольцевые структуры и системы концентрических линеаментов, отображающие предполагаемые выступы фундамента, тектонические валы и рифогенные массивы

-  глобальные линеаменты протяженностью 400-800 (до 1100) км
-  региональные линеаменты большой протяженности (200-400 км)
-  региональные линеаменты значительной протяженности (100-200 км)
-  зональные линеаменты протяженностью 25-100 км
-  локальные линеаменты протяженностью 5-25 км

-  Аномалии фототона и концентрические системы линеаментов предполагаемых выступов фундамента, тектонических валов и рифогенных массивов
-  Цепи и группы ландшафтных аномалий, отображающие участки предполагаемых тектонических валов и валообразных поднятий

Ландшафтные и морфоструктурные аномалии, отразившие известные и предполагаемые поднятия в осадочном чехле

По материалам АКГИ: С.Т.Шитин, 1979, 1983; В.М.Коняев, 1979, 1982; Ю.В.Чирков, 1982; И.Н.Пономарева, 1985, 1988, 1991; В.Г.Гацков, 1982, 1990; А.С. Кучин, 1984; Ю.А.Ильиных, 1986, 1989, 1992, 1996, 1998, 1999, 2001, 2002; Н.Я.Быков, 1985, 1987, 1994, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006; С.П.Волкогон, 2001, В.З.Хурсик, Н.Я.Быков, 2006, 2007, 2008) - с номерами. Аномалии без номеров - по материалам региональных АКГИ и результатам зонального дешифрирования космоснимков - И.С.Копылов, Хурсик, 2010

-  локальные седиментационные поднятия (структуры облекания рифов разного возраста)
-  тектоногенные поднятия брахиантиклинального типа
-  поднятия невыясненного генезиса

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К КАРТЕ ОБЪЕКТОВ И УЧАСТКОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Площади, участки, объекты, выделенные по результатам аэрокосмогеологических исследований, перспективные для проведения нефтегазопроисковых работ

Локальные ландшафтные аномалии, отождествляемые с локальными тектоническими поднятиями, перспективные для поисков нефти и газа

-  1 очереди
-  2 очереди

Площади и участки, перспективные для проведения нефтегазопроисковых работ (лицензионные участки)

-  Площади, рекомендуемые для проведения зонально-региональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками, и АКГИ масштаба 1:200 000-1:100 000

Участки, рекомендуемые для проведения зональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и АКГИ масштаба 1:50 000 и их номера

-  1 очереди
-  2 очереди
-  3 очереди

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

- Т - Тиманский кряж
- ВП - Вычегодский прогиб
- КС - Камский свод
- ВисВ - Висимская впадина
- РакС - Ракшинская седловина
- ПС - Пермский свод
- БКВ - Бымско-Кунгурская впадина
- БС - Башкирский свод
- ВПД - Верхнепечорская депрессия
- КолС - Колвинская седловина
- СолД - Соликамская депрессия
- КЧС - Косьюинско-Чусовская седловина
- ЮСД - Юрюзано-Сылвенская депрессия
- ПСУ - Передовые складки Урала

-  Границы крупных тектонических структур
-  Месторождения нефти и газа

Рис. 2. Условные обозначения к аэрокосмогеологической карте

К наиболее перспективным ландшафтными аномалиями первой очереди отнесены 800 аномалий, второй очереди – 1523 аномалий. К менее перспективным (в слабо изученных районах) третьей очереди отнесены 1410 аномалий. Кроме того, 191 аномалия попадает в контуры подготовленных или выявленных структур, а 346 аномалий попадает в контуры установленных месторождений нефти и газа.

На основании результатов аэрокосмогеологических исследований и ландшафтно-геодинамического анализа составлена карта объектов и участков Пермского Приуралья, перспективных для поисков месторождений нефти и газа масштаба 1:500 000 (рис. 3).

При выделении рекомендуемых участков были учтены контуры существующих лицензионных участков, поскольку, многие перспективные участки по АКГИ уже охвачены лицензионными участками; а также изучены рекомендации по направлениям нефтепоисковых работ последних лет.

Обоснование площадей для проведения зонально-региональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и АКГИ масштаба 1:200 000-1:100 000

Рекомендуются 11 площадей, для проведения зонально-региональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками, и АКГИ масштаба 1:200 000-1:100 000 (рис. 4.1).

Общими критериями для их выбора являются:

- положительные общие геологические предпосылки для поисков,
- положительные литосферные предпосылки для поисков глубинной нефти [2, 10],
- слабая или недостаточная изученность глубоким бурением и геолого-геофизическими методами,
- практически полное отсутствие по изученности площадей зональных и детальных АКГИ, а на значительной площади – даже региональных исследований;
- благоприятные природно-геологические условия для методов дистанционного изучения этих территорий и именно здесь проведение регионально-зональных АКГИ будет наиболее эффективно.

В северо-западной части Пермского края выделены три площади I - III: Веслянская (I) площадь (7 тыс. км²), Косинская (II) площадь (4,1 тыс.км²), Кудымкарская (III) площадь (5 тыс.км²) – расположены на Камском своде. Эти площади очень слабо изучены, особенно – Веслянская площадь. Площади расположены в нефтегазоносной области закрытого позднедевонского палеошельфа в Камском потенциально нефтегазоносном районе. Промышленная нефтегазоносность на этих территориях к настоящему времени не установлена. Перспективы могут быть связаны с поисками газа и в меньшей степени нефти в зонах тектонической трещиноватости и с ловушками литологического и стратиграфического выклинивания девонских и нижнекаменноугольных отложений.

В западной части Пермского края выделены четыре площади: IV - VII: Верхиньвинская (IV) площадь (4,2 тыс.км²) и Очерская (V) площадь (2,8 тыс.км²) расположены в пределах Верхнекамской впадины; Обвинская (VI) площадь (4,0 тыс.км²) расположена на Ракшинской седловине и Висимской впадине; Оханская (VII) площадь (3,8 тыс.км²) расположена на Пермском своде. Эти площади относятся к слабоизученным землям Пермского края. Они достаточно хорошо изучены структурным бурением, но слабо – глубоким бурением. По нефтегеологическому районированию площади № IV - VII расположены в нефтегазоносной области закрытого позднедевонского палеошельфа в Верхнекамско-Пермском нефтегазоносном районе и охватывают 4 известные зоны нефтегазонакопления – Верхнепермскую, Верещагинскую, Западно-Висимскую и Пермскую. Залежи нефти здесь выявлены и ожидаются преимущественно в терригенных отложениях нижнего и среднего карбона в антиклинальных ловушках надразломных и приразломных тектонических поднятий и валоподобных структурах облекания карбонатных останцов. На Пермском своде ловушками являются тектонические структуры; открыты и предполагаются залежи пластово-сводового типа.

В южной части Пермского края в пределах Бымско-Кунгурской впадины выделена Бымская (VIII) площадь (2,2 тыс. км²). Эта площадь достаточно хорошо изучена структурным бурением, но недостаточно – глубоким, исключая район Гарюшкинского месторождения. По нефтегеологическому районированию площадь расположена в нефтегазоносной области открытого позднедевонского палеошельфа, Шалымо-Калининском нефтегазоносном районе, где с северо-запада на юго-восток проходят Гарюшкинская, Туркинская и Кукуштанская зоны нефтегазонакопления. Основная промышленная нефтегазоносность в районе связана с терригенными отложениями девона. Прогнозируются ловушки структурно-литологического типа, реже – рифогенные постройки. Местоположение площади – между тремя крупнейшими месторождениями Пермского края (Осинским, Кокуйским и Батырбайским) может предполагать наличие здесь многочисленных мелких месторождений. Здесь нами дешифрированием космоснимков закартирована крупная Верхнеашапская морфоаномалия округлой формы диаметром 8 км, предположительно отображающая одиночный атолл (рис. 4).

В юго-восточной части Пермского края в пределах Юрюзано-Сылвинской депрессии выделена Кордонская (IX) площадь (3,5 тыс.км²). Она неплохо изучена структурным бурением, особенно в западной части, но слабо – глубоким бурением. Площадь расположена в Кунгурском нефтегазоносном районе с Высоковской и Кордонской зонами нефтегазонакопления с установленными нефтегазовыми залежами в структурах облекания позднефранских рифогенных построек. Предполагается тектоническое ступенчато-блоковое строение, развитие линейных мобильных зон северо-западного простираения, с которыми могут быть связаны месторождения в структурах, линейно вытянутых в этом направлении.



Рис. 4. Космоснимок Landsat 7. Верхнеашапская ландшафтная аномалия

В восточной и северо-восточной частях Пермского края в передовых складках Урала выделены Яйвинская (X) площадь (2,8 тыс.км²) и Вишерская (XI) площадь (3,3 тыс.км²). Площади расположены в нефтегазоносном районе Западно-Уральской складчатости нефтегазоносной области Уральской складчатости. Характеризуется сложным геологическим строением, слабой геолого-геофизической изученностью территории (практически не изучены ни глубоким, ни структурным бурением) и неопределенными перспективами промышленной нефтегазоносности. Наибольший поисковый интерес представляют зоны нефтегазонакопления, связанные с ловушками облекания цокольных оснований рифогенных сооружений. Выделены три зоны нефтегазонакопления (в аллохтоне): Ветосская, Всеволодо-Вильвенская и Велгурская (две последние - потенциальные), где прогнозируемые залежи, преимущественно газовые по составу, которые ожидаются в тектонических и тектонически экранированных ловушках и в структурах облекания одиночных позднедевонских рифогенных построек.

Обоснование участков для проведения зональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и АКГИ масштаба 1:50 000 (лицензионные участки)

Рекомендуются 33 участка для проведения зональных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и АКГИ масштаба 1:50 000 (табл. 1).

Таблица 1

Каталог участков, перспективных для проведения нефтегазопроисловых работ (рекомендуемые лицензионные участки)

№ на карте	Местоположение (тектонический регион)	Площадь, км ²	Критерии выделения по АКГИ (с учетом геолого-геофизических данных)			Рекомендуемая очередь проведения работ
			Количество кольцевых структур (II порядка)	Количество локальных ЛА/в т.ч. – первоочередных	№ геодинамических активных зон	
1	ПСУ	761	2	14 / -	№10	3
2	ПСУ	1014	1	20 / 16	№11	1
3	ПСУ	1030	1	15 / 14	№12	2
4	ПСУ	869	1	18 / 7	№14	2
5	ПСУ, СолД	587	1	20 / 2	№15	2
6	ПСУ	410	-	11 / -	№18	3
7	ВПД, Т	962	1	17 / 8	№19	2
8	ВП, КС	1303	2	20 / 6	№21, 22	1
9	СолД, КолС	876	2	17 / 7	№20, 23, 24	2
10	СолД, ПСУ	1240	2	9 / 5	№13	2
11	СолД, ВисВ	992	2	31 / 16	№25, 26	2
12	СолД,	797	2	25 / 4	№28	2
13	СолД,	307	-	30 / -	№27	2
14	СолД,	804	2	35 / -	№29	2
15	СолД, ВисВ	1495	-	63 / 8	№30, 45	1
16	ЮСД	602	1	24 / 6	№32	1
17	ЮСД	953	-	58 / 28	№33, 34	1
18	ЮСД	754	-	23 / 11	№35, 36	1
19	КС	1287	-	22 / 13	№37, 38	1
20	КС	1226	2	56 / 16	№39, 40	2
21	КС	411	-	18 / 6	№41	2
22	КС	1357	2	27 / 18	№42	2
23	КС	553	1	13 / -	№43	3
24	ВисВ	843	2	23 / 13	№29, 44	2
25	ВисВ	806	-	38 / -	№46, 47	3
26	ПС	1202	1	26 / 3	№53	1
27	ВКВ	790	2	13 / 5	№48, 49	1
28	ПС, ВКВ	402	1	7 / 7	№55	2
29	ВКВ	446	1	11 / 1	№55	2
30	ВКВ	378	1	10 / 6	№58	2
31	БКВ, ПС	524	1	19 / 2	№50	2
32	БКВ	336	1	11 / 3	№54	2
33	БКВ	523	-	16 / 4	№56	2

Площади участков от 0,3 до 1,5 тыс.км². По тектоническим регионам они распределены следующим образом: КС – 5, ВисВ – 2, ВКВ – 3, ПС – 2, ВПД – 1, БКВ – 3, ВП – 1, СолД – 7, ЮСД – 3, ПСУ – 6.

Общие критерии для их выбора следующие:

- высокие геологические предпосылки для поисков;
- недостаточная изученность глубоким бурением и геолого-геофизическими методами;
- недостаточная изученность или ее отсутствие детальными АКГИ;

- выделение методами АКГИ зон высокой трещиноватости, которые могут служить путями миграции углеводородов и повышать коллекторские свойства палеозойских отложений;

- наличие перспективных ландшафтных аномалий, отобразивших предполагаемые структуры облекания рифов или тектонические поднятия.

Предлагаемые участки имеют различную степень изученности и критериальности, поэтому они разделены на 3 группы очередности изучения: к первоочередным, наиболее обоснованным на наш взгляд отнесены участки №№ 2 [1], 8, 15, 16, 17, 18, 19, 26, 27. Участки 2 очереди - №№ 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33. Участки 3 очереди - №№ 1, 6, 23, 25.

Библиографический список

1. Козлов С.В., Копылов И.С. Геодинамический анализ Курьино-Патраковского участка (Верхнепечорская впадина) в связи с его газоносностью // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 98-101.

2. 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.

3. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.

4. Копылов И.С. Аэрокосмогеологическая основа территории Пермского края для выбора перспективных направлений, площадей, объектов нефтегазопоисковых работ и экологической безопасности // Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Пермь, 2010. С. 208-212.

5. 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.

6. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.

7. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.

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

9. Копылов И.С., Быков Н.Я., Хурсик В.З. Основные результаты и перспективы аэрокосмогеологических нефтегазопоисковых и геодинамических исследований на территории Пермского края и прилегающих регионов // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов. Пермь, 2007. С. 244-251.

10. 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.

UDK 553.98: 528.8

I.S. Kopylov¹, B.N. Bakytzhanova², L.I. Dal¹, T.T. Seytekov²

¹ Perm State University, Perm, Russia

² Atyrau, Uralsk, Republic of Kazakhstan

PROSPECTS FOR APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR OIL AND GAS SEARCH IN WESTERN KAZAKHSTAN

Aerospace and geological analysis of the territory of the Caspian oil and gas province in Western Kazakhstan. In the eastern part of the Caspian syncline and the adjacent territory (Aktobe Urals) conducted aerospace geological research to study the latest tectonics and modern geodynamics. More than 2 thousand tectonic lineaments of regional, zonal and local ranks and more than 100 local ring structures of a supposedly tectonogenic character have been identified. The possibility of using remote sensing methods for oil and gas exploration is considered.

Key words: oil and gas geology, oil and gas objects, structures, aerospace methods, Western Kazakhstan.

УДК 553.98: 528.8

И.С. Копылов¹, Б.Н. Бакытжанова², Л.И. Даль¹, Т.Т. Сейтеков²

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия

² г. Атырау, г. Уральск, Республика Казахстан

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ НЕФТИ И ГАЗА В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Проведен аэрокосмогеологический анализ территории Прикаспийской нефтегазоносной провинции в Западном Казахстане. В восточной части Прикаспийской синеклизы и сопредельной территории (Актыубинское Приуралье) проведены аэрокосмогеологические исследования для изучения новейшей тектоники и современной геодинамики. Выделено более 2 тыс. тектонических линейментов и более 100 локальных структур. Рассмотрена возможность применения методов дистанционного зондирования для поисков нефти и газа.

Ключевые слова: нефтегазовая геология, нефтегазовые объекты, структуры, аэрокосмические методы, Западный Казахстан.

The strategic objective of Kazakhstan is the development of the hydrocarbon (HC) resource base necessary for the development of a balanced structure of the national economy. The main oil producing region of Kazakhstan is the Caspian oil and gas province, which has been studied by geological and geophysical methods for over 100 years. Nevertheless, its geological structure has not been studied well enough, there are still many unexplored, but promising areas for oil and gas.

Administratively, the West Kazakhstan, Atyrau and Aktobe regions are located on the territory of the Caspian OGP. All of them are oil and gas producing, but their significance for the economy of Kazakhstan is different. The largest hydrocarbon production has the oldest oil and gas producing Atyrau region, in which commercial hydrocarbon production has been carried out since 1912 (Dossor). The second place in oil and gas production belongs to Aktobe and the third to West Kazakhstan administrative regions [2, 14].

Geological structure

The Caspian oil and gas province in the regional tectonic plan corresponds to the Caspian syncline (depression), which is a southeastern deeply submerged part of the ancient East European platform. The Caspian basin is unique in that the ancient Precambrian crystalline basement in its center, according to geophysical data, is submerged to a depth of 22-24 km. From the center to the sides (east, north, west and south) the basement surface rises stepwise to depths of 6-7 km. The sedimentary cover (6-24 km) is subdivided into three lithologic-stratigraphic megacomplexes: subsalt, suprasalt (meso-Cenozoic and upper Permian) and, separating them, saline (Kungurian stage of the lower Permian). In many areas, drilling revealed rocks of the Meso-Cenozoic, saline complex, and subsalt: Assel, Sakmara, and Artinsk layers of the Lower Permian and coal deposits. Devonian rocks were discovered by wells within individual fields (Karashyganak, Tengiz, etc.). The most characteristic feature of the tectonics of the Caspian syncline is the presence of salt domes that complicate the structure of the above-salt floor. The total number of salt domes exceeds 1000; the largest of them are known in the central and western parts of the syncline [1, 3].

Regional oil and gas complexes and horizons

Four oil and gas bearing complexes are distinguished in the pre-Caspian oil and gas deposits in the suprasalt deposits: the Triassic (Permo-Triassic), Middle Jurassic, Upper Jurassic and Lower Cretaceous. Three complexes are distinguished in the subsalt deposits, the Middle Carboniferous, the Artinsky Upper Carboniferous and the Kungur. Perhaps the discovery of industrial deposits of gas and oil in the Devonian sediments. The most promising subsalt Paleozoic sediments are poorly studied by drilling, except for single wells on the South Emba uplift, as well as on the structures of the North Emba, on the Teplovskaya and Usovskaya structures south of the Zhadovsky ledge. From sub-salt deposits, industrial hydrocarbon inflows were obtained in the West Teplovskaya, Teplovskaya, Tashlinsky and Gremyachinskoye structures (lower Kungur and Artinsky tiers), oil inflows - at the Kenkiyasky and Karatyubinsky (Artinsky and Sakmarsky tiers), the Zhanazholsky oil and gas bearing Permian-Triassic complex is characterized by a large layers of gray-colored and red-colored strata for the most part of continental (lake) sediments. The Upper Permian deposits are oil-bearing on Kenkiyaskaya Square, and the Triassic - on most of the areas (Makatskaya, Kulsarinskaya, Dzhaksymaiskaya, Koschagylskaya, Iskineskaya, Kenkiyaskaya, Kokzhidinskaya, Karatyubinskaya, etc.). As a result of drilling super-deep wells at Aralsor, it was established [3] that the thickness of the Triassic

deposits reaches 2777 m, and therefore the prospects for discovering new deposits increase. Oil production from the Triassic sediments reaches 50-100 tons / day.

Oil and gas accumulation zones, oil and gas fields and deposits

There are four types of oil and gas accumulation zones associated with the Caspian oil and gas condensate field: a) with salt domes; b) with folds, in the cores of which there are "salt pillows" (Prorva, Burankul); c) with reef massifs; d) with subsalt Paleozoic uplifts. Of most interest are subsalt uplifts. Of the approximately 30 proven salt domes with proven industrial oil and gas deposits, 20 domes are under development. Most of them are located in the interfluvium of the Emba and the Urals, in their lower reaches (Sagiz, Dossor, Makat, Iskine, Baichunas, etc.), and south of Emba (Karaton, Koschagyl, Kulsary, Munaili, Tulus, etc.). Deposits are also known in the eastern part of the Caspian syncline (Kenkiyak, Kokdzhidinskoe, Karatyubinskoe, etc.). Four types can be distinguished among the industrial deposits of the Caspian oil and gas condensate field: 1) associated with salt domes - their majority (Dossor, Makat, Kulsary, Kenkiyak, etc.); 2) confined to anticlinal structures, where salt is either absent or in the form of thickenings ("pillows") lies at a very great depth - 4-5 km; 3) confined to reef deposits; 4) confined to subsalt anticline structures.

Oil deposits are extremely diverse, especially those associated with salt domes. Anticlinal folds of the Prorvinskaya and Burankulskaya type are characterized by vaulted deposits of a complete contour. Similar deposits are found in salt domes (for example, Makat, Kulsary and Sagiz), but their number is small. On salt domes of the Kulsary or Iskine type in the Triassic, Jurassic and Cretaceous deposits there are deposits shielded by the steep slope of the salt rod [3]. The largest number of oil deposits belongs to the group of shielded discharges, however, deposits in grabens are extremely rare. As a rule, each oil field contains several types of deposits. The number of oil deposits on individual wings of the dome is from 4 to 10 and even up to 20.

Prospects for hydrocarbon searches using remote sensing of the Earth (ERS)

At present, Kazakhstan is developing a new technology for forecasting hydrocarbon deposits, based on the principles of shock-explosive tectonics and the use of remote sensing data. The shock-explosive tectonics paradigm has been put forward in Kazakhstan (B.S. Zeylik and others), it has been developed for more than 40 years. The data of interpretation of satellite images, taking into account the spatial position of known oil and gas fields, allow us to identify concentric zones of tension and compression of the earth's crust associated with cosmogenic ring structures [4]. The analysis of long-term data revealed the confinement of the vast majority of hydrocarbon deposits to concentric ring structures and geodynamic active zones [5, 7-10, 13], which makes it possible to efficiently search for new deposits in different regions of Kazakhstan.

In the eastern part of the Caspian syncline and the adjacent territory (Aktobe Urals) Perm University [6, 11, 12] conducted aerospace geological research (AKGR) to study the latest tectonics and modern geodynamics of Western Kazakhstan. The

territory is characterized by a complex modern geodynamic situation due to block-thrust interaction of large tectonic structures complicated by salt-dome tectonics. During the aerospace geological research, computer-assisted cosmogeological (structural-geological) interpretation was performed. This technique consists in identifying interactively differently oriented lineaments by the nature of the photo image and other decoding features, mapping neotectonic block and ring structures with their subsequent comparison with geological and geophysical materials, using GIS technologies. Decryption was carried out according to 5 levels of generalization in the following sequence: survey interpretation of the satellite images at a scale of 1:10 000 000, 1: 5 000 000, 1: 2 500 000, 1 000 000 (area 460x460 km) to identify systems and ranks of regional lineaments (100- 200 km or more) and a scale of 1: 500,000 (300x300 km) to identify zonal lineaments (25-100 km); regional-zonal interpretation of the of satellite images of a scale of 1: 200,000 (90x75 km) to identify zonal and local lineaments (10-25 km); zonal interpretation of the satellite images at a scale of 1: 100,000 (26x18 km) to identify local (5-10 km) and short lineaments and ring structures (up to 5-10 km) (Figure 1).

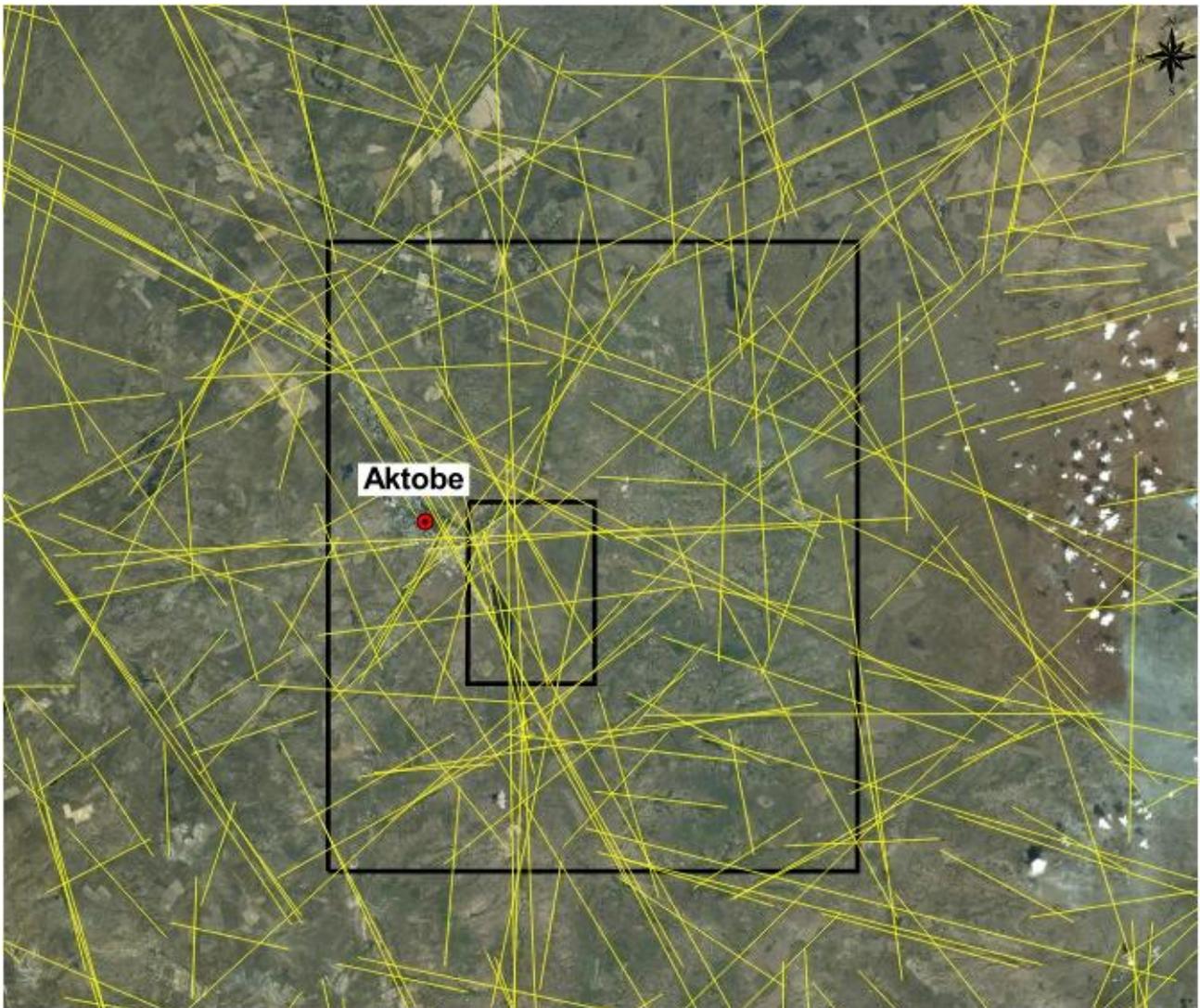


Fig. 1. Regional lineament field. The satellite image scale is 1: 1,000,000

In general, there is a regional network consisting of two systems of regional lineaments that extend far beyond the boundaries of the territory under consideration. The diagonal system has a preferred direction of 300-330° and 45-60°; orthogonal system - 0-15° and 270-285°. Large lineaments control the overall orientation of the structures. Lineaments of regional, zonal, and local ranks (in total, more than 2 thousand lineaments are highlighted) served as the boundaries of neotectonic block structures in the sedimentary cover [12]. More than 100 local ring structures of a supposedly tectonogenic character have been identified (Figure 2).

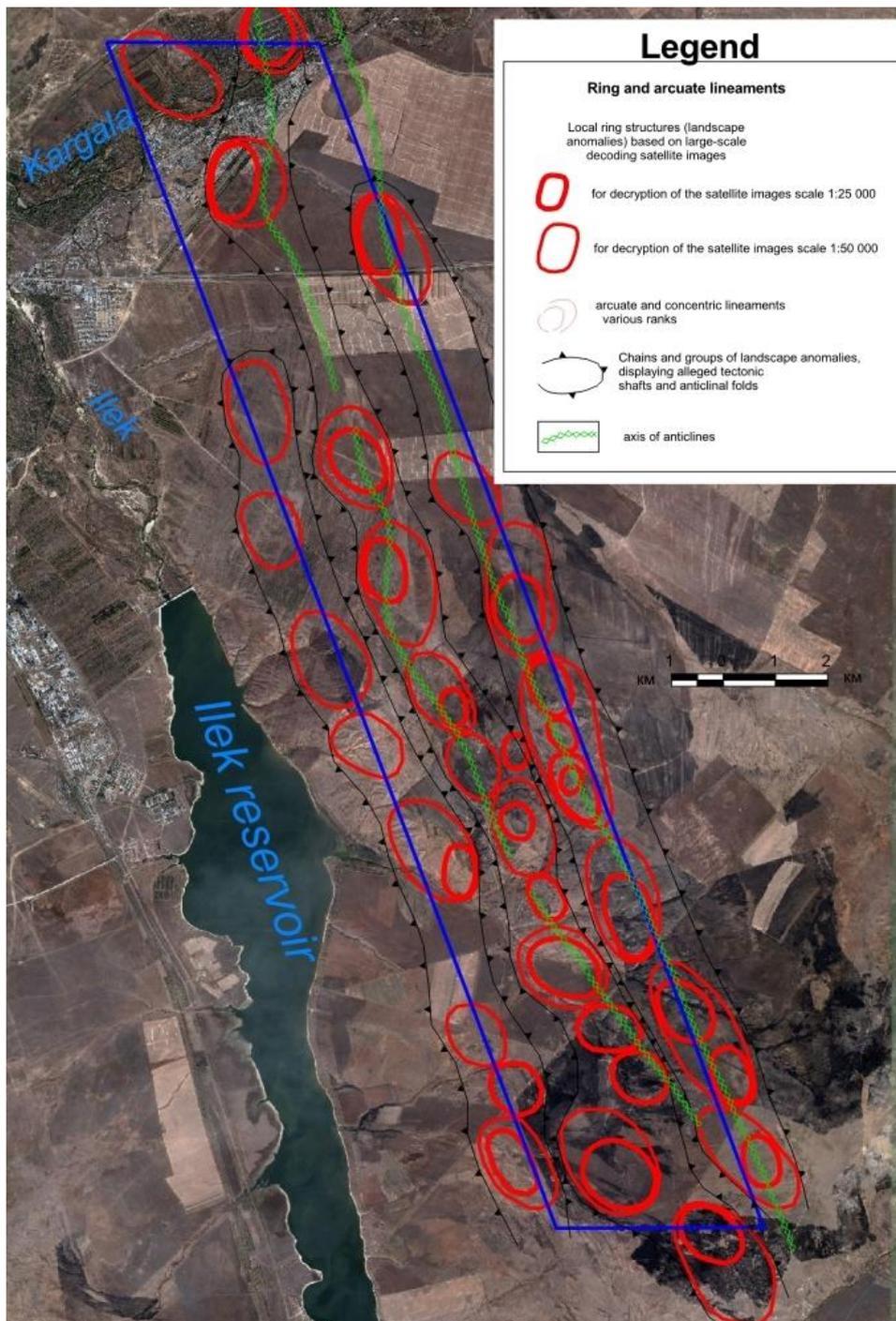


Fig. 2. Local ring structures (landscape anomalies) at the Zhilyansky potassium salt deposit. 1:25,000 satellite image

Many of them are characterized by increased geodynamic activity with a high density of lineaments and spatially coincide with known tectonic uplifts, which indicates high prospects for mapping tectonic oil and gas traps by remote methods – aerospace geological researches.

Reference

1. Bakytzhanova B.N, Kopylov I.S., Dal L.I., Satekov T.T. *Geoecology of Kazakhstan: zoning, environmental status and measures for environment protection // European Journal of Natural History. № 4. 2016. P.28-33.*

2. Bakytzhanova B.N., Kopylov I.S., Seytekov T.T. *Prospects for oil and gas exploration in the Caspian oil and gas province of Kazakhstan using remote sensing methods // Geology and minerals of the Western Urals. 2017. № 17. P. 75-79. (in Russian).*

Бакытжанова Б.Н., Копылов И.С., Сейтеков Т.Т. *Перспективы поисков нефти и газа в Прикаспийской нефтегазоносной провинции Казахстана с применением дистанционных методов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 75-79.*

3. Zholtayev G.Zh., Bulekbaev S.E. *Tectonics and oil and gas potential of the onboard zones of the Caspian syncline. Almaty: Kazakhstan 1975.201 p. (in Kazakhstan).*

Жолтаев Г.Ж., Булекбаев С.Е. *Тектоника и нефтегазоносность бортовых зон Прикаспийской синеклизы. Алматы: Казахстан 1975. 201 с.*

4. Zeylik B.S., Nadirov N.K., Sydykov K.Zh. *New technology for forecasting oil and gas potential and the problem of space protection of the planet to save life on Earth // Oil and gas. 2013. No. 2. P. 51-81. (in Kazakhstan).*

Зейлик Б.С., Надиров Н.К., Сыдыков К.Ж. *Новая технология прогноза нефтегазоносности и проблема космической охраны планеты для сохранения жизни на Земле // Нефть и газ. 2013. № 2. С. 51-81.*

5. Kozlov S.V., Kopylov I.S. *Regularities of Occurrence of Unique and Large Oil and Gas Deposits in the Earth Crust. Deep Zones of Hydrocarbons Generation and Primary Asthenosphere Earthquakes as a Uniform Planetary Process // Bulletin of Perm University. Geology. 2019.Vol. 18. №. 1. P. 64-72. (in Russian).*

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. Konoplev A.V., Iblaminov R.G., Kopylov I.S. *Geotechnical conditions of the Zhilyansky potash deposit (Kazakhstan) // Modern problems of science and education. 2014. № 5. (in Russian).*

Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г., Копылов И.С. *Инженерно-геологические условия Жилинского калийного месторождения (Казахстан) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.*

7. Kopylov I.S. *Analysis of the results and prospects of oil and gas prospecting aerospace and geological research of the Perm Urals // Bulletin of the Perm University. Geology. 2015. №. 4 (29). P. 70-81.*

Копылов И.С. *Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81. (in Russian).*

8. Kopylov I.S. *Landscape-geodynamic analysis in the search for oil and gas: a monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018.210 p.*

Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.*

9. Kopylov I.S. *Scientific and methodological foundations of geocological studies of oil and gas regions and the assessment of the geological safety of cities and objects using remote sensing methods / abstract of thesis. ... doctors of geological and mineralogical sciences. Perm, 2014. 48 p. (in Russian).*

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. Kopylov I.S., Kozlov S.V. *Neotectonic model of naftidogenesis and the mineralogenic role of geodynamic active zones // Bulletin of Perm University. Geology. 2014. №. 1 (22). S. 78-88. (in Russian).*

Копылов И.С., Козлов С.В. *Неотектоническая модель нафтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.*

11. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. *Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-33-9 / ISSN 1314-2704, June 18-24, 2015, Book1 Vol. 3, 305-312 pp DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.*

12. Kopylov I.S., Konoplev A.V., Iblaminov R.G. *The latest tectonics and modern geodynamics of Western Kazakhstan at the Zhilyansk potash salt deposit // Modern problems of science and education. 2014. № 5. (in Russian).*

Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г. *Новейшая тектоника и современная геодинамика Западного Казахстана на Жилинском месторождении калийных солей // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.*

13. Likutov E.Yu., Kopylov I.S. *Complex of methods for studying and estimation of geodynamic activity / Tyumen State University Herald. 2013. № 4. P. 101-106.*

14. *Oil and gas potential for the benefit of the people of Kazakhstan. KazMұнайGas. Almaty: Rauan. 2006. S. 74-86. (in Kazakhstan).*

Нефтегазовый потенциал во благо народа Казахстана. КазМұнайГаз. Алматы: Рауан. 2006. С.74-86.

I.S. Kopylov¹, O.N. Kovin¹, S. Nahesbik²
¹ Perm State University, Perm, Russia
² Chinese Petroleum University, Qingdao, China

REGIONAL AEROSPACE-GEOLOGICAL ANALYSIS FOR THE DESIGN OF MAJOR LINEAR ENGINEERING OBJECTS OF WESTERN CHINA

Regional engineering and aerospace geological researches of the territory of Western China at the junction with Russia, Kazakhstan and Mongolia were conducted to study the conditions of geodynamic activity and danger for the design of large linear structures - the system of main gas pipelines and high-speed railway. The total area of study was more than 600 thousand km², while the majority (400 thousand km²) belong to the territory of the Xinjiang Uygur Autonomous Region of China. Computer-aided structural-geological interpretation of satellite images of various scales, including detailed interpretation of individual regions in the Gorny Altai, has been carried out. More than 3.5 thousand neotectonic lineaments, dozens of geo-active zones of various ranks were established. They are potentially dangerous emergency areas of the projected linear objects.

Key words: aerospace geological researches, interpretation of space images, lineament-geodynamic analysis, geo-active zones, Western China, Altai.

И.С. Копылов¹, О.Н. Ковин¹, С. Нахесбик²
¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия
² Китайский нефтяной университет, Циндао, КНР

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРУПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО КИТАЯ

Проведены региональные инженерно-аэрокосмогеологические исследования территории Западного Китая на стыке с Россией, Казахстаном и Монголией для изучения условий геодинамической активности и опасности для проектирования крупных линейных сооружений – системы магистральных газопроводов и высокоскоростной железной дороги. Общая площадь изучения составила более 600 тыс. км², при этом, большая часть (400 тыс. км²) относится к территории Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая. Выполнено компьютерное структурно-геологическое дешифрирование космических снимков различных масштабов, включая детальное дешифрирование отдельных районов по Горному Алтаю. Установлены более 3,5 тыс. неотектонических линеаментов, десятки геоактивных зон разных рангов. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки проектируемых линейных объектов.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, дешифрирование космических снимков, линеаментно-геодинамический анализ, геоактивные зоны, Западный Китай, Алтай.

When planning major infrastructure projects, which include designing large linear structures with a heightened level of responsibility – high-speed railways, trunk pipelines, etc., it is especially important to identify problem areas due to geological factors developing in geodynamic active zones (GAZ) and lay routes in the least dangerous geodynamic conditions. Studies conducted in all the studied regions showed that, in addition to technical and technological factors, one of the main causes of emergency situations at linear engineering structures is the activation of geological processes in geo-active zones. Many exogenous geological processes and phenomena are associated with lineaments and their systems (intensive development of karst and thermokarst, suffusion, ravine formation, landslides, landslides, displacement of watercourse channels, etc.). The intersections of lineaments with linear objects (oil and gas pipelines, communication facilities, transportation routes, etc.) are associated with most of the accidents caused by natural factors (Kopylov, 2012, 2013, 2015, Mikhalev et al., 2005; Kopylov, Kovin, Konoplev, 2015).

One of the most important international economic mega-projects is the construction of the Altai gas pipeline with access to China and the design of the high-speed Moscow-Beijing railway. At present, an agreement has been signed (between Gazprom and the Chinese oil and gas corporation CNPC) on gas supplies from Russia to the PRC via the western route, from fields in Western Siberia through Altai. Engineering surveys along the pipeline are underway. Projects go through the final stage of approvals, while the final versions of the routes have not yet been chosen. It is assumed that both routes will have access from Russia via the Gorny Altai south to the Xinjiang Uygur Autonomous Region (XUAR) of the People's Republic of China. Other options include the passage of the railway through the territory of Kazakhstan, and the gas pipeline through the territory of Mongolia (bypassing the Ukok Plateau). But all the options converge in the preliminary final point - Urumqi.

The territory of projected linear engineering objects is located at the junction of four states - Russia, China, Kazakhstan and Mongolia; it is important for the development of the economies of these countries. The total area is more than 600 thousand km², while the majority (400 thousand km²) belongs to the territory of the XUAR of China (Fig. 1).

Geotechnical and neotectonic features

The territory under consideration has very complex engineering-geological conditions, due to a wide variety of engineering-geological formations of various composition (from Proterozoic to Meso-Cenozoic age), morphogenetic types of relief, caused by block neotectonics with various engineering-geological properties, active modern tectonics and geodynamics, characterized by high and extremely unevenly distributed seismicity.

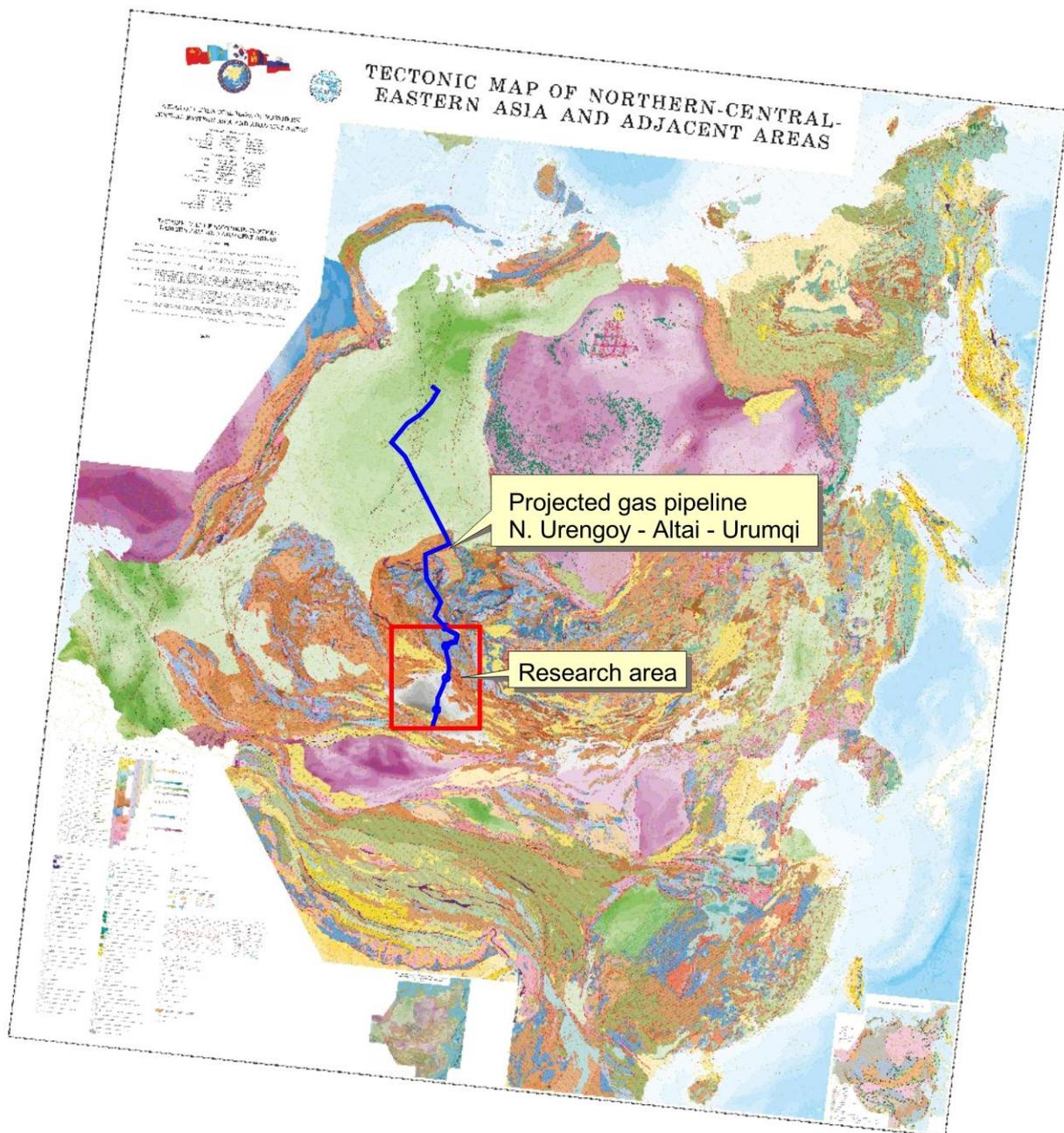


Fig. 1. Research area on Tectonic Map of Northern-Central-Eastern Asia and Adjacent Areas [15]

The geological structure of the region has been studied by many researchers, ranging from geographical expeditions of the Russian Geographical Society of the 19th century. - XXth century (I.V Mushketov, V.A Obruchev, and others) to modern studies mainly Russian and Chinese geologists (Li Si-Guan, 1952; Li-Guo Yu, 1992; Trifonov, 1999; Novikov, 2004; Tectonic Map ... 2014 and others). The main role in the discovery of numerous mineral deposits of Xinjiang (oil, gas, coal, gold, polymetals, non-ferrous and rare earth metals, precious stones, etc.) belongs to the Directorate for the Geological Study of Xinjiang, established in the USSR and the modern Xinjiang Bureau of Geology and Exploration and Development mineral.

However, the neotectonic structure of the region has so far remained very unevenly studied and rather sketchy.

Modern theoretical ideas about the neotectonics of the territory under consideration are described in the works of Novosibirsk scientists (Novikov, Dyadkov, Kozlova, Mamedov, Cherkas, Mikheeva, 2014), who share the views of E. Argan (1935), taking as a leading force neotectonic deformations of Indo- Eurasian Collision (Hain, 1990). The system of newest deformations of the territory under consideration is controlled by two main factors. The first factor is the rheological heterogeneity of the upper part of the crust within it. The second is the horizontal compression setting. Rheological heterogeneity is manifested in the presence of two classes of objects: large relatively rigid domains and fragmented zones in which movements along the main newer faults occur (Mamedov, 2018). In the mobile zones, the transverse contraction and thickening of the earth's crust occurs due to the extrusion of small blocks that make up the mobile zones into the upper and lower half-space. This leads to the fact that while the Indostan block is moving closer to Western Siberia, which plays the role of a northern hard limit, at a speed of 36-40 mm / year, Tarimsky moves north at a speed of 12 mm / year, and Dzungarian - only 4 mm /year. The presence of a restriction in the north leads to the fact that on the western border of the territory the northern direction of movement of the blocks is replaced by the eastern one (Yang et al., 2005; Novikov et al., 2014).

Results aerospace geological researches territory of the Gorny Altai

In 2014-2015. in Perm State University (Department of Engineering Geology and Subsurface Conservation, EII PGNIU), in order to assess the geodynamic activity of the territory of the Gorny (Russian) Altai and the design of the system of trunk gas pipelines, engineering and aerospace geological research was carried out using computer structural geological decryption space images of various sizes. In the work, remote sensing data from open access of the Internet and Tomsk NIGU and Sibgeoinformatika NPO LLC were used (Ryumkin, Tyabaev, 2013). The method of work included the selection of neotectonic lineaments and data processing in GIS technologies, followed by comparison of the results of interpretation with geological and geophysical materials. The method of decoding CS was based on the principle of a phased analysis of aerospace materials of different levels of generalization. Technologically, this was done by systematic analysis of CSs of various sizes from small to large (with the capture of adjacent territories - the smaller the scale, the larger the area studied) and the smaller the area, the more detailed the study. Total allocated 2180 lineaments. The decoding was carried out on 5 levels of generalization (Kopylov, 2015) in the following sequence:

- 1) overview interpretation of the space images (level 5 - area of 175 thousand km² with coverage of the Altai Republic) of 1:10 000 000, 1: 5 000 000, 1: 2 500 000 and regional interpretation of 1 000 000 scale. 423 regional lineaments are distinguished. (length 100-200 km and more);

2) regional interpretation of the space images (level 4 - area 80 thousand km², basin of the Katun river, Bashkaus, Teletskoye lake) of 1: 500,000 scale. 423 zonal lineaments were identified (25-100 km);

3) regional-zonal interpretation of the space images (level 3 - area 16 thousand km², basin of the Chuya and Ak-Alah rivers) of 1: 200,000 scale. 602 zonal and local lineaments were selected (10-25 km);

4) Zonal interpretation of the space images (2nd level - area of 1600 km², area of the Ak-Alakh river) of 1: 100,000 scale. 415 local lineaments (5-10 km) are distinguished;

5) detailed (large-scale) interpretation of the space images (1 tier - 500 km² area, upper reaches of the Ak-Alah river) of 1:50 000 scale. 230 short lineaments (1-5 km or less) were distinguished (Fig. 2).

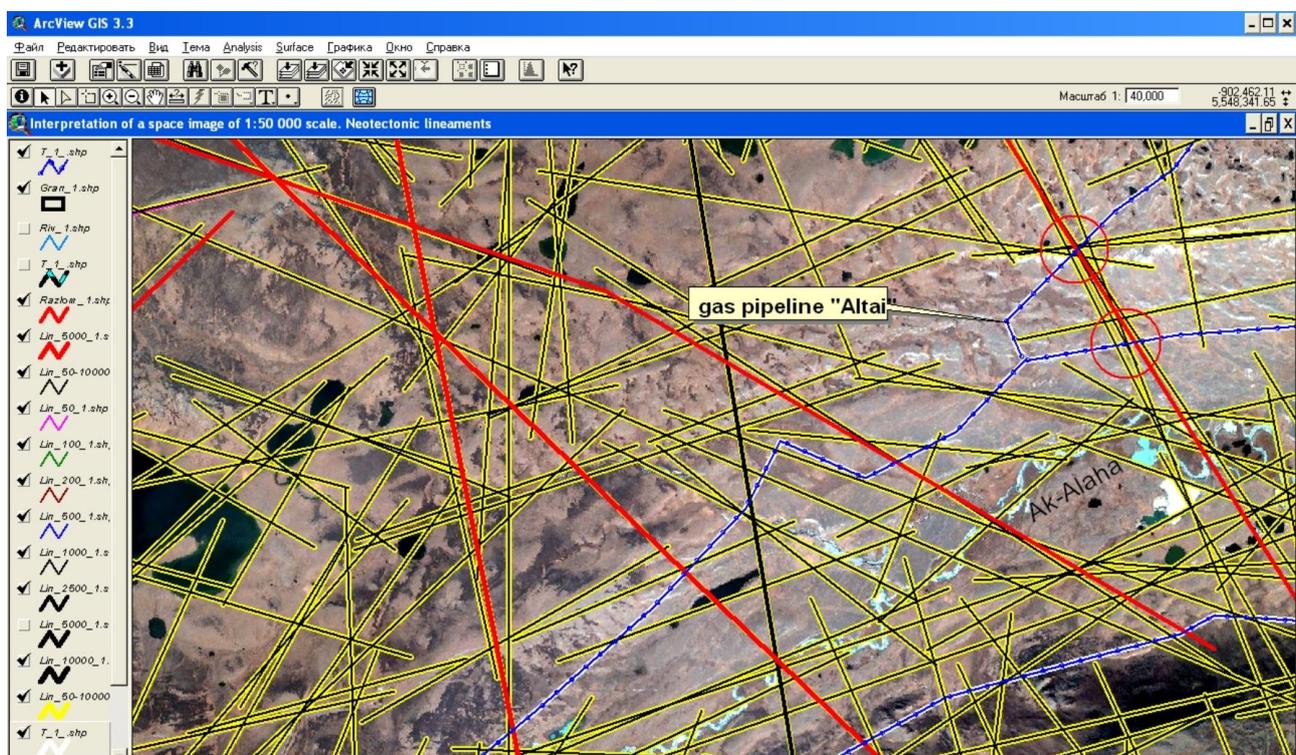


Fig. 2. Fragment of detailed interpretation of digital space images

Results aerospace geological researches Western China (Northern Xinjiang and the surrounding area)

In 2018-2019 engineering and aerospace geological studies to assess the geodynamic activity of the territory at the junction of Russia, China, Kazakhstan and Mongolia were continued. The main goal was a general assessment of the geodynamic activity of the territory and the selection of large geo-active zones in North Xinjiang.

The territory covered an area of 665 x 770 km, limited: from the north - by the latitude of Gorno-Altai, in the south - 50 km south of Urumqi, in the west - by longitude Chuguchak (Tacheng) or 60 km west of Lake Zaisan in the east - in

longitude Abakan, Khovd (43-53° north latitude, 81-92° east longitude), the total area of 510 km².

The decryption of space images and data processing were performed using ArcGIS software and ESRI's Spatial Analyst module. We used digital QS medium (Landsat) and high (QuickBird) resolution. Large neotectonic lineaments were distinguished, maps of lineaments and their density were compiled in respective scales of work.

Space images of the scale of 1:10 000 000, 1: 5 000 000, 1: 2 500 000 and regional interpretation of the scale of 1 000 000 were interpreted. A network of straight lineaments of different directions was revealed. Total allocated 1570 lineaments. Of these, 34 lineaments with a length of 200-800 km, 77 lineaments with a length of 100-200 km, 415 lineaments with a length (50-100 km), 1041 lineaments with a length of 25-50 km (Fig. 3).

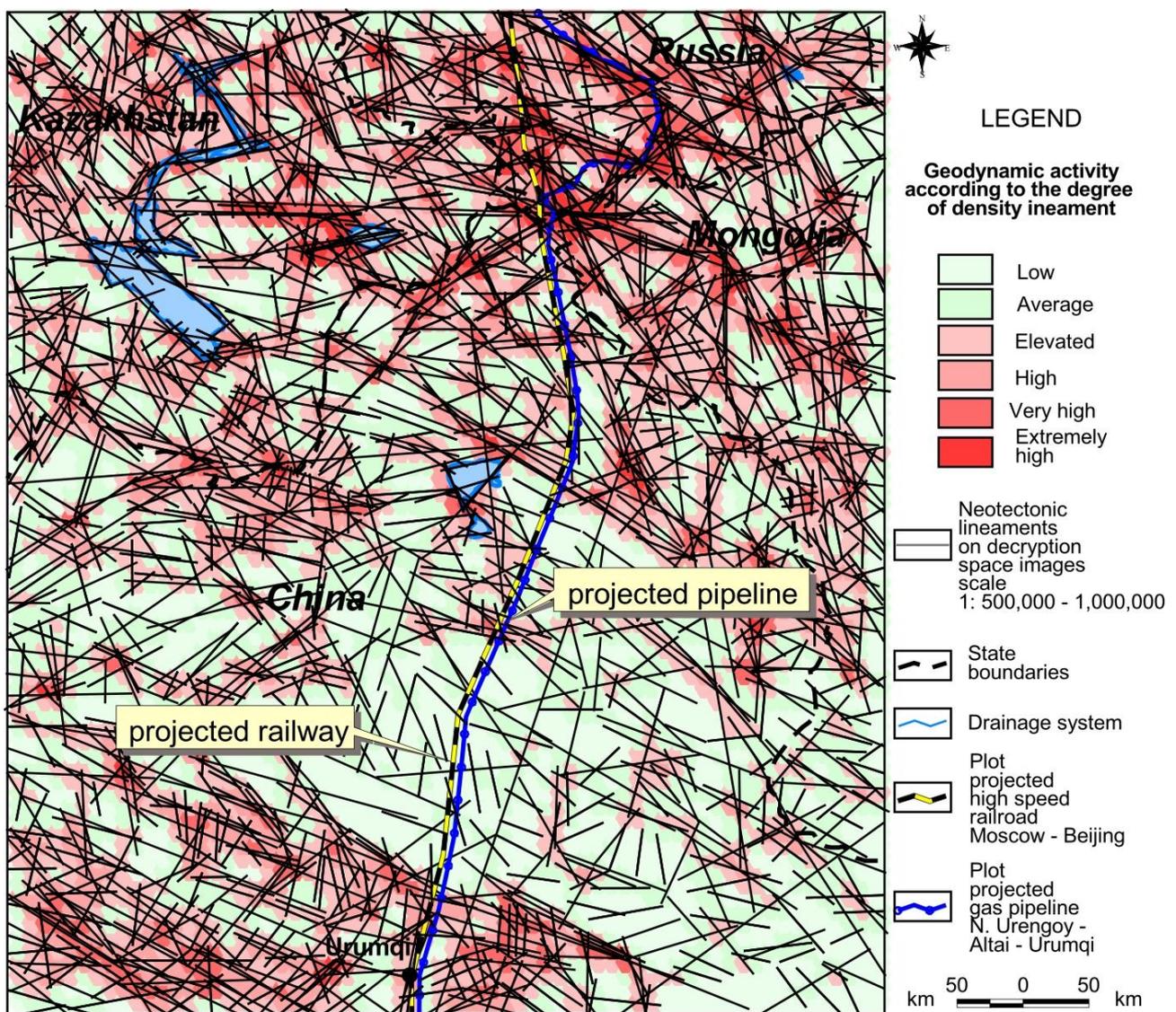


Fig. 3. Evaluation of geodynamic activity of the territory the design of large-scale linear structures in Western China (Xinjiang Province)

Rectilinear lineaments display the narrow subvertical linear zones of fracture-discontinuous and flexural-discontinuous structures of the sedimentary cover and basement activated in recent times. The manifestation of such structures in the structure of the earth's surface is due to the revival of block movements in the modern tectonic stage of development of the earth's crust. The most tectonically weakened are geodynamic zones and areas at the boundaries of neotectonic block structures, where there is the most thickening and intersection of lineaments and megatracks, the greatest dissection of the relief and in general increased neotectonic activity is noted.

Lineament-geodynamic analysis of the density distribution of lineaments and mega-fracture was carried out in the territory under consideration (the main indicator is the total length per unit area for all lineaments), and the geodynamic (neotectonic) activity of the territory was estimated using these indicators. The density of the lineaments in the territory under consideration varies widely, with regional characteristics. In the northern part of the region (Russian and Mongolian Altai), the general background amounts to elevated (3 points) and high (4 points) with numerous anomalies of very high (5 points) and extremely high (6 points) degree of lineament density. In the central part of the region (Dzungaria), the general background is composed of values with low (1 point) and medium (2 points), less often with increased (3 points) and with rare high anomalies (4 points) and very high (5 points) density levels. lineaments. To the south (Tien Shan), the total geodynamic activity of the territory increases again, the regional geodynamic field is highly differentiated, and the overall increased degree of lineament density prevails.

More than 50 geodynamic active zones of the regional level (with areas of 300–1500 km²) with very and extremely high (5–6 points) density values of lineaments are allocated throughout the territory. Practice shows that they have a mosaic structure, where there are both potentially favorable and unfavorable geodynamic conditions for construction and especially for the further operation of linear engineering structures.

The most potentially dangerous emergency areas of the projected linear objects are local geo-active zones (0.5–1 km or less in size), which are distinguished during large-scale aerospace geological research (scale 1:50 000). Taking into account the neotectonic lineament network of territories of pipelines, railways and other linear engineering objects at various stages of their existence (design, construction, operation) will significantly reduce the risk of emergency situations caused by the influence of natural factors caused by geodynamic active zones.

Reference

1. Kopylov I.S. *Aerospace geological surveys on the oil and gas pipelines for assessing engineering geological conditions and geodynamic activity // Geology and minerals of the Western Urals. Perm, 2015. №. 15. P. 157-162.*
2. Kopylov I.S. *Influence of geodynamics and technogenesis on geo-ecological and engineering-geological processes in areas of oil and gas fields in Eastern Siberia // Modern problems of science and education. 2012. № 3.*
3. Kopylov I.S. *Geoecology of oil and gas regions of the southwest Siberian platform. Perm, 2013. 166 p.*

4. Kopylov I.S. *Engineering-geological role of geodynamic active zones // Successes of modern natural science*. 2014. № 5-2. P. 110-114.
5. Kopylov I.S. *Conducting a lineament-geodynamic analysis of Gorny Altai and the route of the projected Altai gas pipeline // International Journal of Experimental Education*. 2015. № 8-3. P. 398.
6. Lee Sy-Guang. *Geology of China*. M.: Izd. foreign Literature, 1952. 520 p.
7. Li-Guo Yu. *Geology of China's oil and gas / scientific ed. V.S. Vyshemirsky*. Novosibirsk: Izd. JIGGM SB RAS, 1992. 37 p.
8. Mikhalev V.V., Kopylov I.S., Aristov E.A., Konoplev A.V. *Evaluation of techno-natural and socio-environmental risks of emergencies on the main product pipelines of the Perm Ural // Pipeline transport: theory and practice*. 2005. No. 1. S. 75.
9. Mikhalev V.V., Kopylov I.S., Bykov N.Ya. *Assessment of geological risks and techno-natural hazards in the development of oil and gas regions based on aero-cosmological studies // Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2005. № 5-6. Pp. 76-77.
10. Novikov I.S. *Morphotectonics of Altai*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. 313 p.
11. Novikov I.S., Dyadkov P.G., Kozlova M.P., Mamedov G.M., Cherkas O.V., Mikheeva A.V. *Neotectonics and seismicity of the western part of the Altai-Sayan mountain region, the Dzungarian depression and the Chinese Tien Shan // Geology and Geophysics*. 2014. T. 55. №12. P.1802-1814.
12. Ryumkin A.I., Tyabaev E.S. *Geovizualization according to remote sensing data in the design of main pipelines // Earth Study from Space*. 2013. № 5. C.70-83.
13. Trifonov V.G. *Neotectonics of Eurasia*. M.: Scientific world, 1999. 252 p.
14. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. *Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2015. № 1-3. P. 305-311.
15. *Tectonic Map of Northern-Central-Eastern Asia and Adjacent Areas. 1:2 500 000 / Editors-in-Chief: O.V.Petrov, Yu.G.Leonov (Russia), Li Tingdong (China), O. Tomurtgoo (Mongolia)*. 2014.
16. Yang S.-m., Wang Q., You X.-z. *Numerical analysis of contemporary horizontal tectonic deformation fields in China from GPS data // Acta Seismol. Sinica*, 2005, V. 18, № 2, P. 135-146.

И.С. Копылов, А.В. Коноплев, П.А. Красильников, И.В. Кустов
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ГИС-ТЕХНОЛОГИЯМИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО)

Разработана методология аэрокосмогеологических исследований с ГИС-технологиями для оценки геологической безопасности при проектировании и разработки месторождений калийных солей. Проведено крупномасштабное дешифрирование цифровых космических снимков Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Выделено 707 прямолинейных линеаментов восьми систем простираения пяти таксономических рангов, отождествляемых с линейными зонами тектонической трещиноватости. Проведено неотектоническое районирование на структурно-блоковой основе. Закартированы 11 геодинамических активных зон. Установлены аномальные участки по комплексу геодинамических критериев. Составлены карты в масштабе 1:50 000: результатов аэрокосмогеологических исследований, неотектонических блоковых структур, геодинамических активных зон, комплексной интерпретация и анализа геолого-геофизических и аэрокосмогеологических материалов для обоснования безопасного ведения горных работ и промышленного освоения Талицкого участка ВКМКС. Даны рекомендации.

Ключевые слова: Методология, аэрокосмогеологические исследования, дешифрирование, космоснимки, комплексный анализ, геоинформационное моделирование, линеаменты, тектоническая трещиноватость, геодинамические активные зоны, Талицкий участок ВКМКС.

I.S. Kopylov, A.V. Konoplev, P.A. Krasilnikov, I.V. Kustov
Perm State University, Perm, Russia

METHODOLOGY AND RESULTS OF AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES WITH GIS TECHNOLOGIES AT THE POTASSIUM SALT DEPOSITS (BY THE EXAMPLE OF VERKHNEKAMSKY)

A methodology for aerospace geological research with GIS technologies has been developed to assess geological safety in the design and development of potash deposits. A large-scale interpretation of digital satellite images of the Talitsky section of the Verkhnekamsky potassium salt deposit (VKPSD) was carried out. 707 straight lineaments of eight strike systems of five taxonomic ranks identified with linear zones of tectonic fracturing were identified. Neotectonic zoning was carried out on a structural block basis. 11 geodynamic active zones, mapped. Anomalous sites were identified by a set of geodynamic criteria. Maps were compiled on a scale of 1:50,000: the results of aerospace geological studies, neotectonic block structures, geodynamic active zones, zones, a comprehensive interpretation and analysis of geological, geophysical and aerospace geological materials to justify the safe mining and industrial development of the Talitsky section of the VKPSD. Recommendations are given.

Key words: Methodology, aerospace and geological research, interpretation, satellite imagery, complex analysis, geoinformation modeling, lineaments, tectonic fracture, geodynamic active zones, Verkhnekamsky potassium salt deposit.

Введение

Верхнекамское месторождение (ВКМКС) – крупнейшее в мире месторождение калийных и калийно-магниевых солей. После его открытия в 1925 г. опубликовано около 1000 работ, освещающих его геологическое строение и генезис, издано несколько крупных монографий [1, 14], составлено большое количество карт и схем разрывной тектоники и разломов. Верхнекамское месторождение характеризуется повышенной сейсмичностью, аномально высокими значениями скоростей современных вертикальных движений дневной поверхности, ограничено активными на современном этапе тектогенеза глубинными разломами. Новейшая тектоника и геодинамика (геодинамические активные зоны, разрывные дислокации и структуры) в совокупности с соляным карстом, определяют основные факторы инженерно-геологических и горно-геологических условий (особенно прочностные свойства водозащитной толщи пород, обусловленные повышенной степенью трещиноватости) ведения добычных работ на калийных рудниках ВКМКС. Мощный комплексный техногенез приводит к техногенной трансформации геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна [1, 4, 9, 14]. В настоящее время на территории ВКМКС произошло уже более 10 крупных провалов, затоплено два рудника (БКРУ-1, 2).

Талицкий участок располагается в Соликамской депрессии Предуральяского краевого прогиба, в восточной краевой полосе южной части ВКМКС, на территории подчинения г. Березники и Усольского муниципального района Пермского края. Площадь лицензионного участка составляет 69,5 км². Освоением участка занимается ЗАО «Верхнекамская Калийная Компания».

Важную роль в изучении тектонической трещиноватости играют дистанционные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), которые проводились ранее на ВКМКС с различной детальностью и преимущественно в нефтепоисковых целях. Однако их широкое применение сдерживалось невысокой результативностью в силу низкого качества аэрокосмоматериалов прошлых лет. В последнее время появилась возможность проведения АКГИ на качественно новом уровне – с применением высокоточных цифровых космических снимков и новых компьютерных геоинформационных технологий обработки данных.

Последние 10 лет аэрокосмогеологические исследования и мониторинг геологической среды на Талицком участке ВКМКС проводились лабораторией геологического моделирования Естественнонаучного института Пермского государственного университета (с 2011 г. по заданию ОАО «Галургия», далее до 2018 г. – ЗАО «Верхнекамская Калийная Компания»). В результате проведения этих и других АКГИ, а также комплексного геолого-геофизического анализа разработана методология аэрокосмогеологических исследований с ГИС-технологиями для оценки геологической безопасности при проектировании и разработки месторождений калийных солей.

Изученность аэрокосмогеологическими исследованиями

Рассматриваемая территория охвачена многочисленными исследованиями АКГИ по разным технологиям, разных масштабов, как полностью, так и частично. Первые площадные АКГИ на рассматриваемой территории были проведены ГПК в 1976-1979 гг. В.С. Кротовым, Н.Я. Быковым, Г.М. Шавариной и др. В дальнейшем АКГИ проводились: С.Т. Шитиным, А.А. Зибницким, З.А. Леоновой-Вендровской и др. (1980-1983гг.); А.С. Кучиным и др. (1983-1984 гг.); Ю.А. Ильиных, А.С. Кучиным, В.В. Категоровым и др. (1983-1986 гг.); Ю.А. Левицким, Г.П. Костяшовым, Л.П. Печенкиной и др. (1986-1989 гг.); В.З. Хурсиком, Н.Я. Быковым и др. (2001 г.); А.И. Петриком, В.Л. Романовым С.Н. Кузнецовым и др. (2002 г.), И.С. Копыловым, В.З. Хурсиком (2008-2010 гг.).

Необходимо отметить, что эти работы выполнялись с различными целями (большинство из них – нефтепоисковые), по разным участкам использовался разнородный материал аэрофотосъемок 50-х – 80-х гг. 20в. (черно-белые АФС и радиолокационные снимки разных масштабов) различного качества, применение которых привело к неоднозначным и противоречивым результатам. Были построены структурные карты и карты результатов АКГИ масштабов от 1:50 000 до 1:500 000. При этом в более поздних работах использовались материалы предыдущих работ.

В последнее десятилетие И.С. Копыловым и др. были проведены обобщающие региональные работы по неотектонике и геодинамике, охватывающие территорию всего Пермского края, где на основе дистанционных методов построены карты масштаба 1:500 000: карты неотектонической активности и геодинамических активных зон Пермской области (Копылов и др., 2004ф; ФГУП «Геокарта-Пермь»); карты неотектонических блоковых структур и геодинамических активных зон Пермского Приуралья (Копылов, 2006ф; ООО «ПермНИПИнефть»); аэрокосмогеологическая карта и карта геодинамических активных зон Пермского края (Копылов, Хурсик, 2010ф; Пермская геолого-геофизическая компания). В последнем отчете была проведена специальная работа по составлению карты геодинамических активных зон территории ВКМКС масштаба 1:100 000 [3-11].

По результатам дешифрирования цифровых спектрзональных космических снимков (КС) на территории ВКМКС выделены 1801 прямолинейных линеаментов, отождествляемых с тектоническими нарушениями фундамента и осадочного чехла. В пределах трех геодинамических зон (установленных региональными работами 1:500 000) выделено более 50 геодинамических активных участков размером от 1-2 до 5-15 км. Все они являются потенциально опасными, с возможным наличием ослабленных участков водоохраных толщ. Фрагмент карты геодинамических активных зон территории ВКМКС масштаба 1:100 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) приведен на рис. 1.

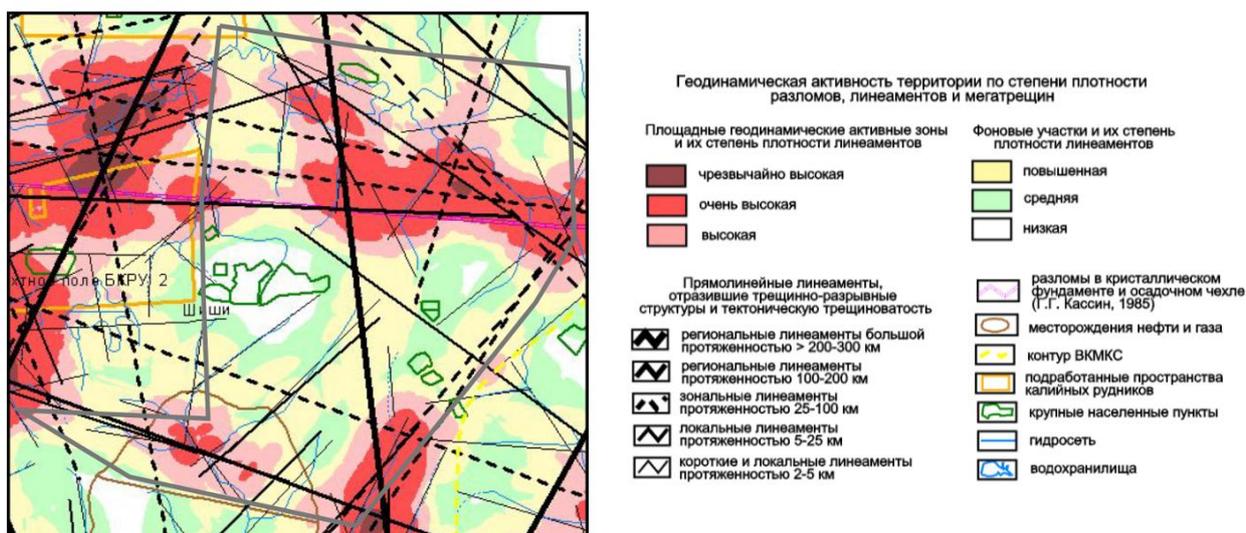


Рис.1. Фрагмент карты геодинамических активных зон территории ВКМКС масштаба 1:100 000 (Копылов, Хурсик, 2010) [11]

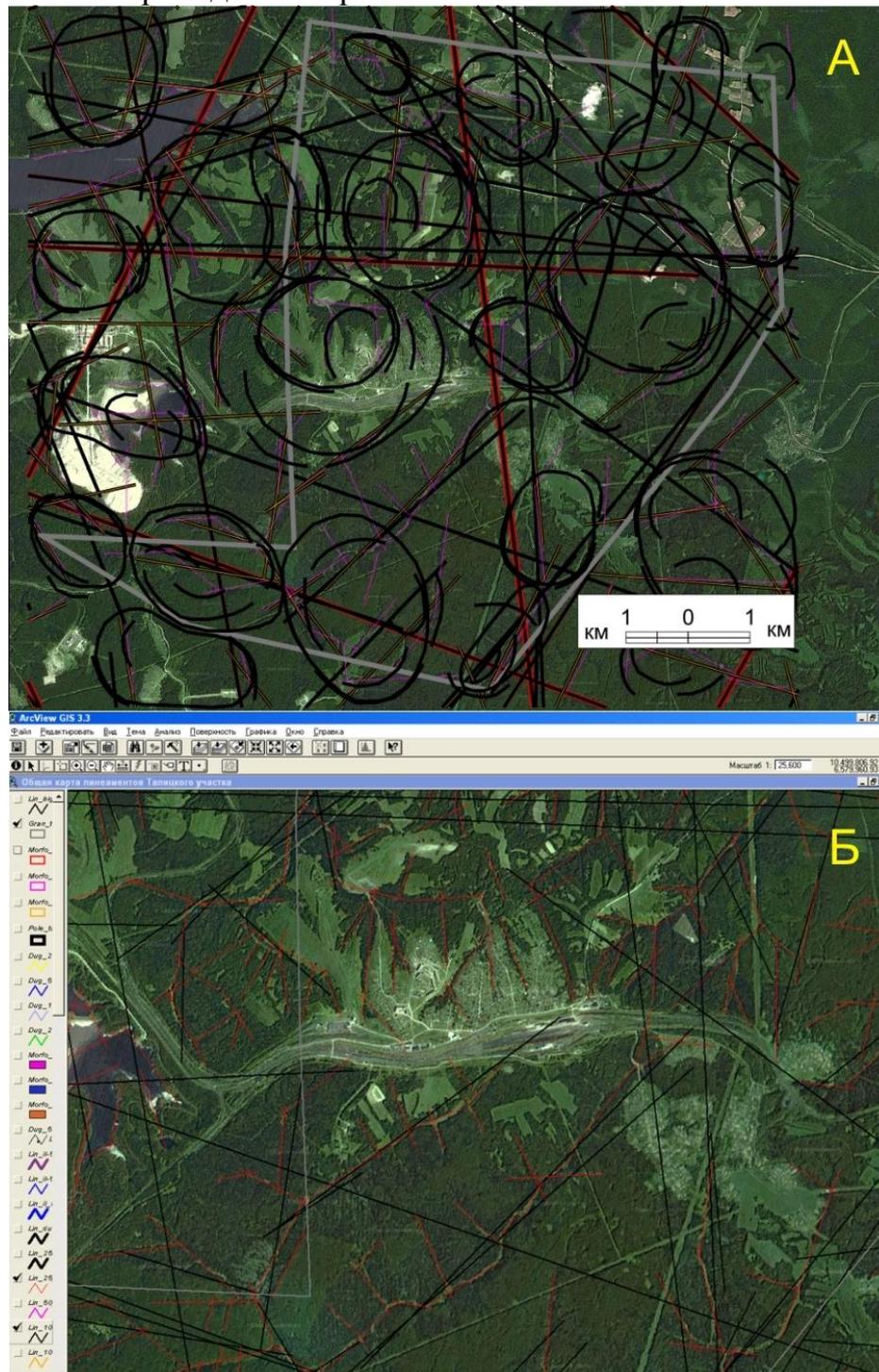
Методология и методика исследований

Цель работ: проведение крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) для уточнения геологического и тектонического строения территории Талицкого участка ВКМКС. Геологическая интерпретация и комплексный анализ геолого-геофизических и аэрокосмогеологических материалов для обоснования безопасного ведения горных работ и промышленного освоения.

Основные задачи и методы:

- сбор, обобщение, анализ материалов ранее проведенных геолого-геофизических работ на территории Талицкого участка ВКМКС с созданием картограмм изученности в объеме, необходимом для обоснования безопасного ведения горных работ и промышленного освоения;
- подготовка аэрокосмогеологических материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предварительное дешифрирование с уточнением методики и геоиндикаторов;
- крупномасштабное структурно-тектоническое дешифрирование масштаба 1:50 000 и 1:25 000 цифровых космических снимков разного разрешения для выявления тектонических линеаментов;
- проведение линеаментно-блокового анализа и выделение неотектонических блоковых структур;
- проведение морфонеотектонического, линеаментно-геодинамического анализа и выделение геодинамических активных зон с высокой тектонической трещиноватостью;
- геологическая интерпретация и комплексный анализ геолого-геофизических и аэрокосмогеологических материалов;
- геоинформационное моделирование и обработка данных в Arc GIS;
- составление аэрокосмогеологических и неотектонических карт.

Компьютерное космогеологическое структурно-геологическое дешифрирование проводилось по авторской методике, изложенной в работах [2-13], 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. Технологически это выполнялось путем системного анализа (дешифрирования) МАКС разного масштаба от мелкого – к крупному. Фрагменты дешифрирования КС приведены на рис. 2.



Дешифрирование проводилось в следующей стадийной последовательности:

1). На первой стадии проводилось (при этом использованы наши авторские данные по дешифрированию из отчета Копылов, Хурсик, 2010ф, с уточнениями) мелко- и среднемасштабное дешифрирование (с захватом прилегающих территорий – чем мельче масштаб, тем большая площадь изучалась):

- обзорное дешифрирование КС масштаба 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000 для изучения блокового строения территории и выявления систем и рангов региональных линеаментов большой протяженности (более 200-300 км);

- региональное дешифрирование КС масштаба 1 000 000 для выявления региональных линеаментов протяженностью от 100 до 200 км и масштаба 1:500 000 для выявления зональных линеаментов протяженностью от 25 до 100 км;

- регионально-зональное дешифрирование КС масштаба 1:200 000 для выявления зональных и локальных линеаментов протяженностью до 25 км;

- зональное дешифрирование КС масштаба 1:100 000 для выявления локальных и коротких линеаментов протяженностью до 5-10 км.

2). На второй – основной стадии проводилось крупномасштабное дешифрирование для изучения тектоники и неотектоники:

- детальное дешифрирование КС масштаба 1:50 000 для выявления коротких линеаментов и мегатрещин протяженностью от 1-2 до 5 км.

- детальное дешифрирование КС масштаба 1:25 000 для выделения коротких линеаментов и мегатрещин протяженностью от 0,5-1 до 2 км.

По результатам структурного дешифрирования КС составлялись карты линеаментов в соответствующих масштабах работ.

Обработка данных дешифрирования КС проводилась с помощью программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst фирмы ESRI (рис. 3).

Ранжирование неотектонической (геодинамической) активности по показателям проводилось на 6 градаций с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности: 1 балл $< (x-s)$; 2 балл $(x-s) - x$; 3 балл $x - (x+s)$; 4 балл $(x+s) - (x+2s)$; 5 балл $(x+2s) - (x+3s)$; 6 балл $> (x+3s)$. Вполне уверенно предполагается, что они отражают соответственно различную степень неотектонической (геодинамической) активности (от условно стабильной до условно очень высокоактивной).

Результаты аэрокосмогеологических исследований и комплексного анализа

Для анализа линеаментного поля изучался район, охватывающий Талицкий участок ВКМКС с захватом прилегающей территории (12 x 12 км), где крупномасштабным дешифрированием цифровых КС масштаба 1:50 000 и 1:25 000 выделено 707 различных прямолинейных линеаментов. В пределах непосредственно Талицкого участка в результате дешифрирования АКС выявлена сеть прямолинейных линеаментов различных направлений. Всего выделено суммарно 394 прямолинейных линеаментов (рис. 4).

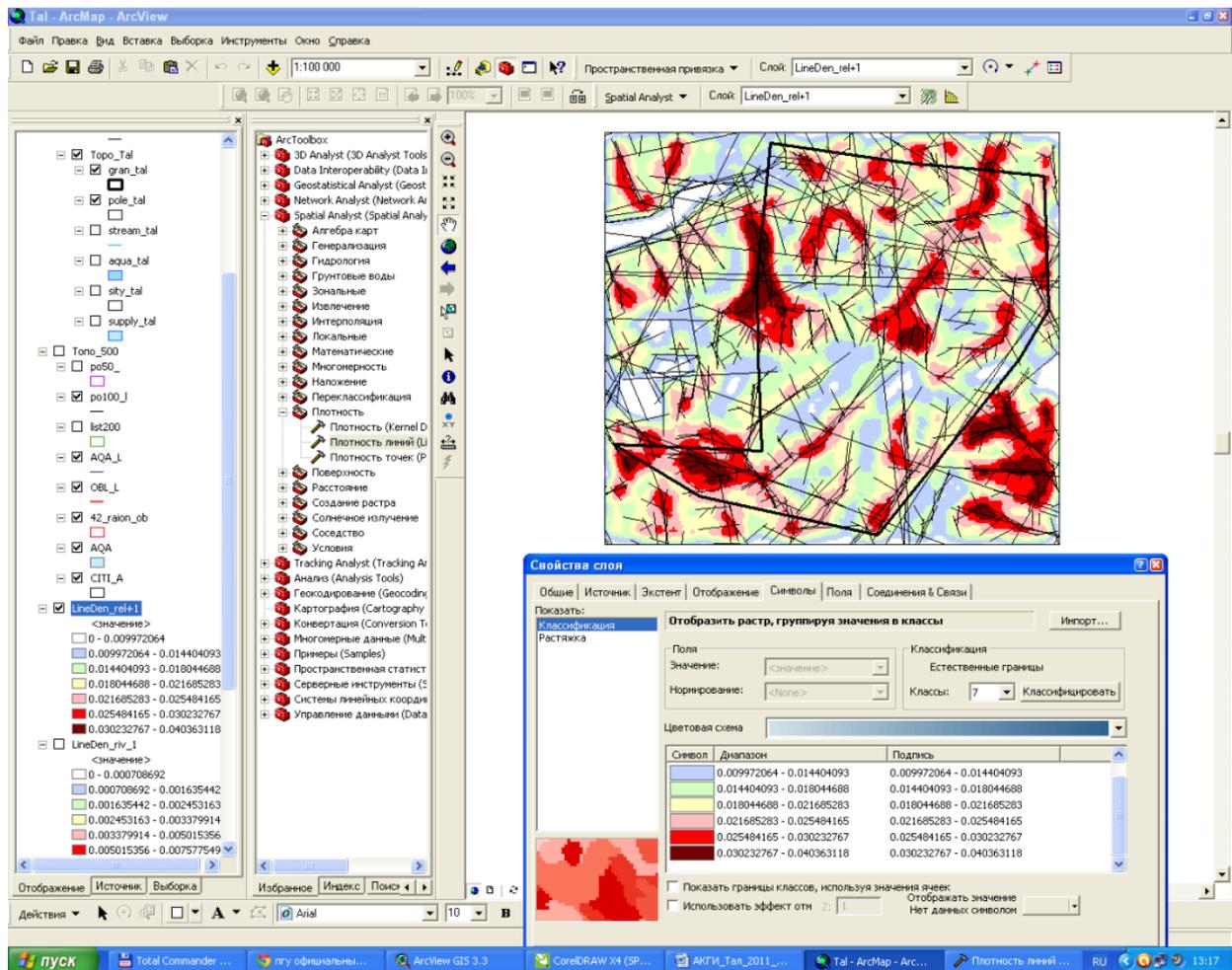


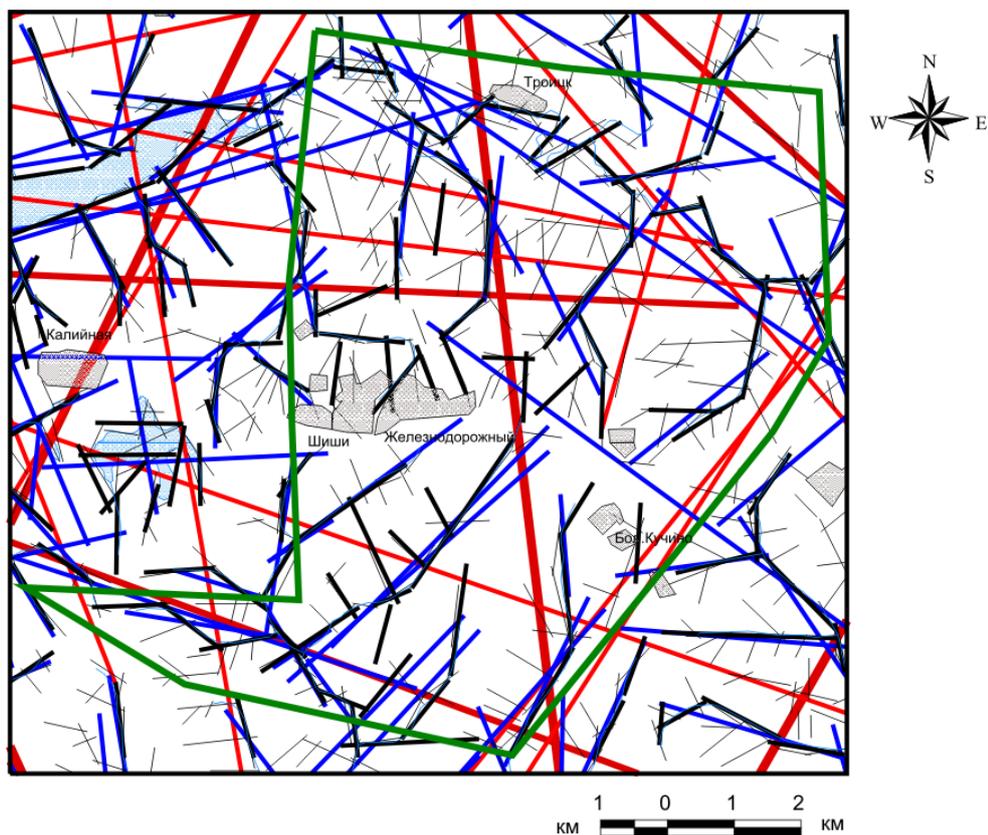
Рис. 3. Морфонеотектонический анализ рельефа (в ArcGIS Spatial Analyst)

По протяжённости прямолинейные линеаменты подразделены на 5 таксономических рангов.

Установлены прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия северо-восточных линеаментов а также субмеридиональные и северо-западные и, в северной части площади – широтные линеаменты. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 330° и 60° ; ортогональная система – $0-10^\circ$ и 285° .

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.

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.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

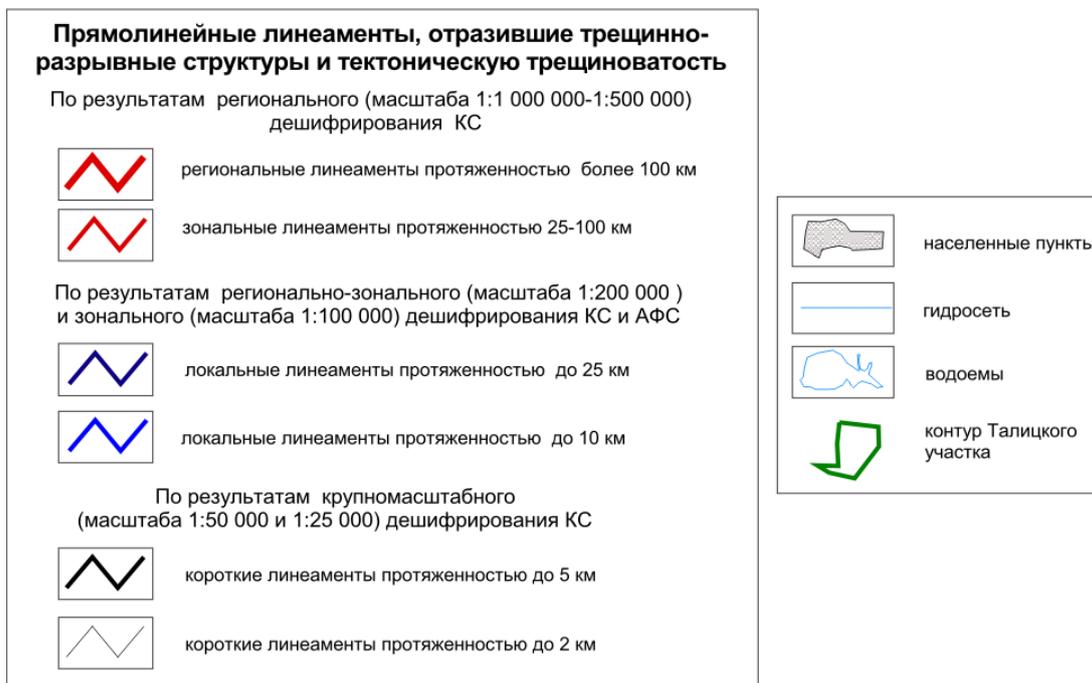


Рис. 4. Линеаментное поле Талицкого участка по результатам крупномасштабного дешифрирования цифровых космоснимков

Крупнейший в пределах Талицкого участка региональный линеамент протяженностью 870 км субмеридионального простирания, проходит в 0,6 км восточнее пос. Железнодорожный. Другой крупный линеамент - субширотного простирания, с протяженностью около 100 км прослеживается в 1,3 км севернее

пос. Железнодорожный – совпадает с глубинным разломом (субширотный разлом, образовавшийся в верхнем протерозое), показанный на карте строения поверхности кристаллического фундамента (Кассин и др., 1985ф). По этим линеаментам проведены границы крупнейших блоковых структур на Талицком участке. Фрагменты двух других линеаментов северо-западного простирания с такой же протяженностью установлены в юго-западном и северо-западном углах Талицкого участка. Другие линеаменты имеют протяженностью менее 100 км.

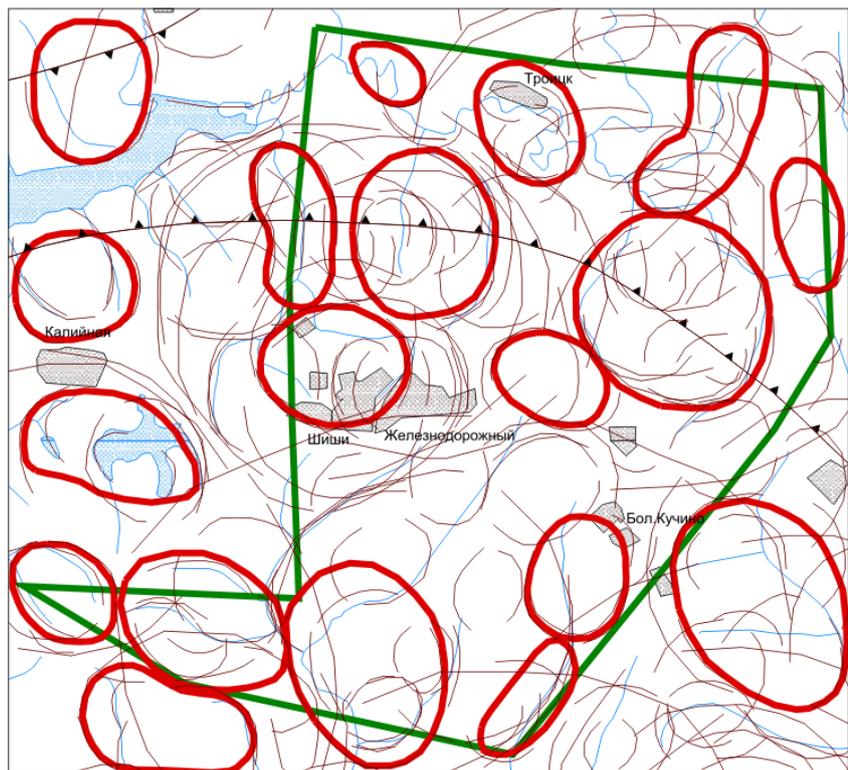
Крупные линеаменты во многом контролируют общую ориентацию локальных структур. На отдельных участках прямолинейные линеаменты контролируют группировку и расположение ландшафтных аномалий. Линеаменты регионального, зонального и локального рангов послужили границами неотектонических блоковых структур в осадочном чехле.

Учитывая современный уровень представлений о природе линеаментов, зоны сгущения линеаментов трактуются, как геодинамически активные зоны с повышенной деформированностью, трещиноватостью и проницаемостью геологической среды.

При проведении дешифрирования КС Талицкого участка особое внимание было уделено картированию локальных и коротких линеаментов – мегатрещин, изучение количественного распределения, которых имеет наиболее важное значение для выявления геодинамических активных зон и 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. Они учтены при построении карты геодинамических активных зон по степени плотности линеаментов и мегатрещин.

В пределах рассматриваемой площади крупномасштабным дешифрированием КС выделены также 19 малых кольцевых структур (локальных ландшафтных аномалий) и более 300 дугообразных линеаментов (рис. 5).

Форма малых кольцевых структур – чаще округлая, реже эллипсовидная. Строение их чаще простое, которое картируются одной окружностью. Реже встречаются «телескопированные» структуры, когда кольца разного диаметра «вложены» друг в друга. Размер их в диаметре от 0,7 x 1 до 2 x 3 км. Природа их пока не выяснена, требуются дополнительные исследования – комплекс полевых исследований и сопоставление с детальными геофизическими материалами. Предполагается, что они имеют тектоническое происхождение. Часть из них отражает локальные тектонические поднятия, часть – седиментационные структуры – рифы, возможно обусловлены проявлением соляной тектоники.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

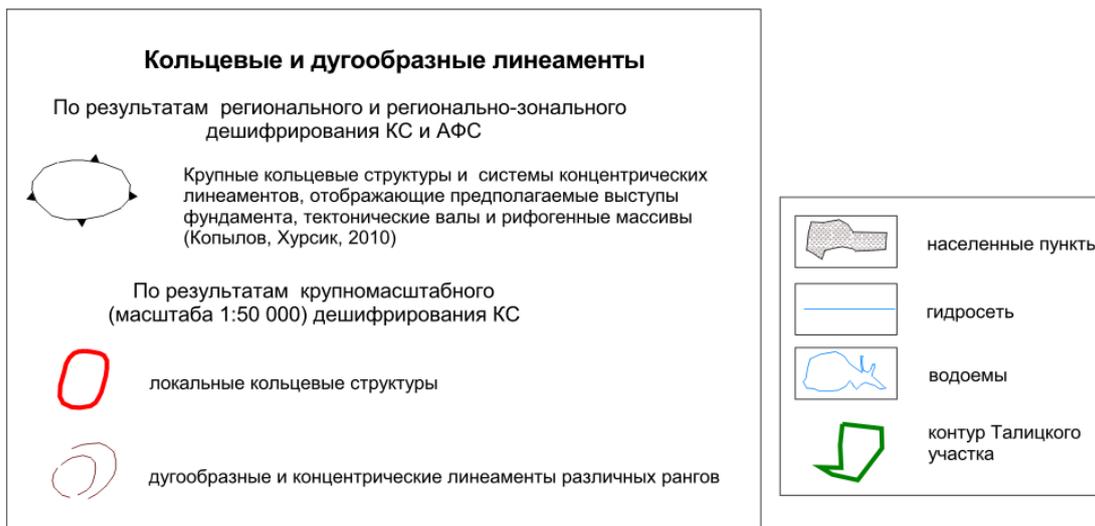


Рис. 5. Карта кольцевых структур и дугообразных линейментов Taliцкого участка по результатам крупномасштабного дешифрирования цифровых КОСМОСНИМКОВ

По результатам комплексного линейментно-блокового, линейментно-геодинамического и морфонеотектонического анализов составлялись карты, где выделялись локальные блоки, зоны и участки повышенной трещиноватости, соответствующие (с учетом активности неотектонических блоковых структур) геодинамически активным зонам и участкам.

Оценка неотектонической (геодинамической) активности территории проводилась по распределению плотности линейментов и мегатрещиноватости (по их протяженности на единицу площади).

По геодинамическим условиям район Талицкого участка находится практически в центре Березниковской аномальной геодинамической зоны, выделенной региональными АКГИ масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф). Северная и восточная часть участка характеризуется очень высокой плотностью линеаментов, южная - высокой плотностью линеаментов. Участки с наиболее опасной геодинамической активностью, характеризующиеся чрезвычайно высокой плотностью линеаментов находятся в Березниковской геодинамической зоне за пределами контуров Талицкого участка (на западе и востоке). По материалам зональных АКГИ масштаба 1:100 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) в районе Талицкого участка региональная геодинамическая зона дифференцирована – наиболее опасный участок прослеживается в северо-восточной части в субширотном направлении, частично совпадает с Зыряновской зоной разлома по А.И. Кудряшову (2004) и глубинным разломом по Г.Г. Кассину (1985ф). Также установлены небольшие участки с высокой плотностью линеаментов на юго-востоке и юго-западе района (рис. 5).

Настоящими работами линеаментно-геодинамический анализ и геодинамическое районирование проведено на уровне детальности масштаба 1:50 000.

Плотность линеаментов и мегатрещиноватости (которая рассчитывалась для всей площади по региональным, зональным, локальным и коротким линеаментам) на всей территории колеблется в широких пределах. 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 со средней (2 балл), повышенной (3 балл) степенью плотности линеаментов. Они занимают около 85% рассматриваемой территории.

Участки с высокими значениями плотности линеаментов (4 балл) занимают около 10% рассматриваемой территории. Как правило, они имеют линейную форму с размерами в длину 3-5 км, в ширину 0,5-1 км.

Аномалиями являются локальные участки с очень высокими (5 балл) и чрезвычайно высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Они занимают примерно 5% рассматриваемой территории (рис. 6).

Всего на рассматриваемой территории по результатам АКГИ установлено 11 локальных геодинамических активных зон. По уровню 5 балла их размеры составляют в длину 0,6-2,4 км, в ширину 0,4-0,7 км. По уровню 6 балла их размеры составляют в длину 0,3-1,4 км, в ширину 0,1-0,6 км.

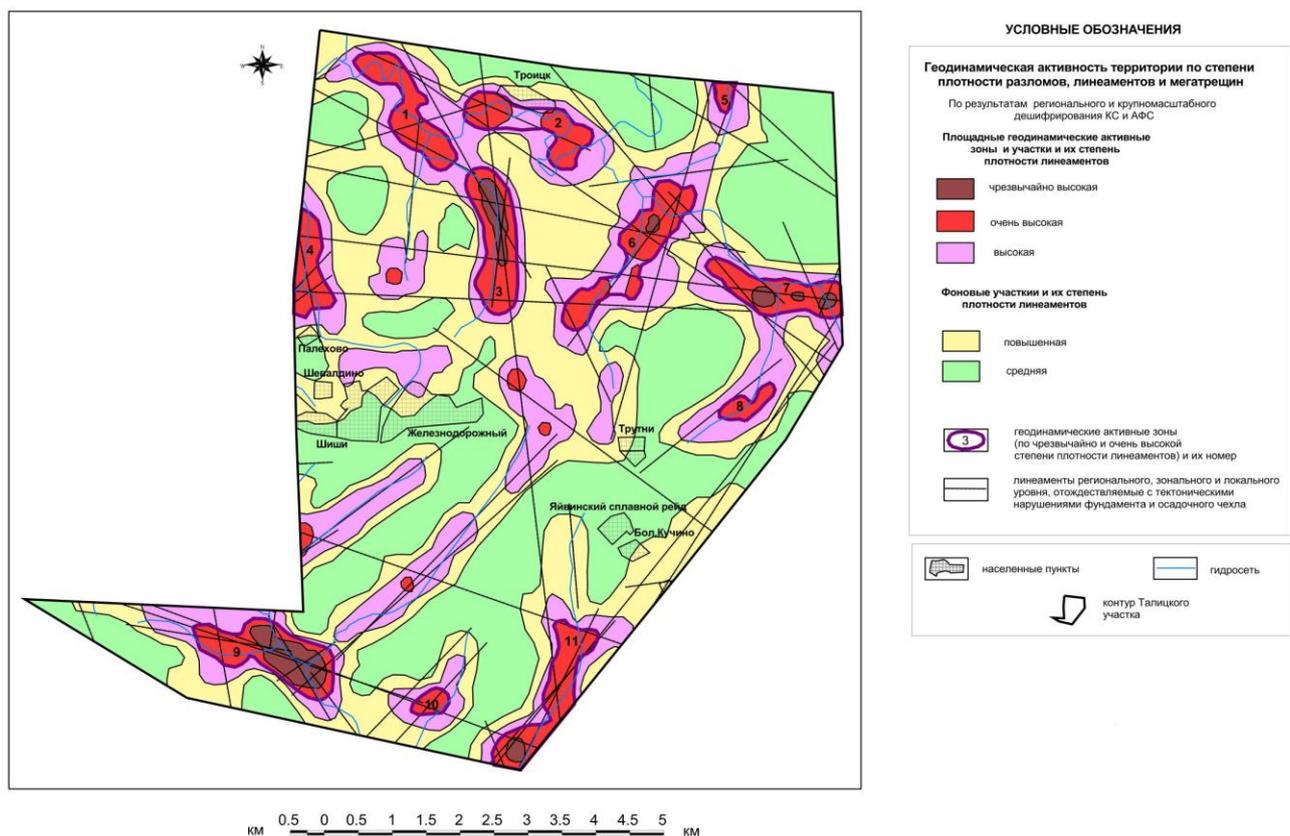


Рис. 6. Геодинамические активные зоны Талицкогo участка по результатам крупномасштабного дешифрирования цифровых космоснимков

Площадь их следующая: №1 – 0,88 км², №2 – 0,88 км², №3 – 1,09 км², №4 – 0,57 км², №5 – 0,10 км², №6 – 1,18 км², №7 – 0,87 км², №8 – 0,21 км², №9 – 1,26 км², №10 – 0,15 км², №11 – 0,99 км². Кроме их зафиксировано еще несколько (5) точечных геодинамических активных участков (с площадями до 0,10 км²). Наиболее неблагоприятными участками с очень высокой степенью геодинамической опасности и риска являются геодинамические активные зоны №№ 3, 6, 7, 9, 11, особенно №№ 3 и 9. Все эти геодинамические зоны частично совпадают (или находятся в непосредственной близости) с геофизическими аномалиями по гравиметрическим и электроразведочным данным (Санфиоров и др., 2009ф; Колесников и др., 2010ф), отображены рис.7. В более благоприятной геодинамической обстановке будут находиться участки с фоновыми и пониженными значениями неотектонической активности.

Заключение

По результатам комплексных исследований уточнено геологическое и тектоническое строение территории Талицкогo участка ВКМКС. Крупномасштабным дешифрированием цифровых КС выделено 707 прямолинейных линеаментов восьми систем простирания пяти таксономических рангов, отождествляемых с линейными зонами тектонической трещиноватости, и более 300 дугообразных кольцевых линеаментов, по которым закартированы 19 локальных ландшафтных аномалий вероятно тектоногенного или седиментационного происхождения.

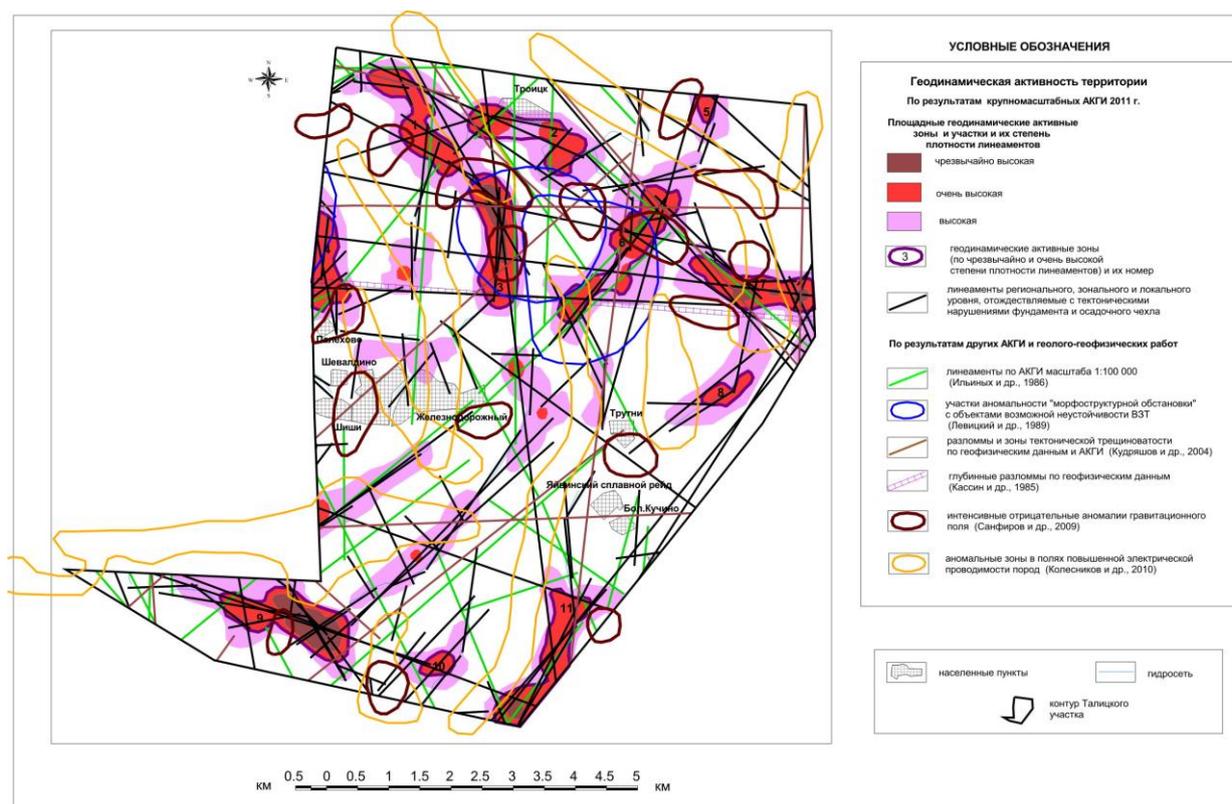


Рис. 7. Комплексный аэрокосмогеологический и геолого-геофизический анализ Taliцкого участка

Проведено неотектоническое районирование на структурно-блоковой основе, выделены в пределах площади 4 локальных блока II порядка, 17 блоков III порядка, 55 блоков IV порядка. Выделены 11 локальных геодинамических активных зон с площадями от 0,1 до 1,26 км². Большинство из них нашли свое проявление в геофизических полях, особенно в северной части площади.

По комплексу критериев геодинамической оценки по геолого-геофизическим и аэрокосмогеологическим показателям проведено геоинформационное моделирование и составлена карта аномальности геодинамического состояния территории Taliцкого участка.

Аномальные участки необходимо учитывать при ведении горных работ и промышленном освоении Taliцкого участка. Необходимо дальнейшее изучение их с постановкой прямых геохимических методов (водногелиевая съемка, уран-изотопный метод и др.) и детальных геофизических методов (электроразведка и др.).

Составлены результирующие карты в масштабе 1:50 000: результатов аэрокосмогеологических исследований, неотектонических блоковых структур, геодинамических активных зон, комплексной интерпретация и анализа геолого-геофизических и аэрокосмогеологических материалов для обоснования безопасного ведения горных работ и промышленного освоения Taliцкого участка ВКМКС.

Библиографический список

1. Джиноридзе Н.М., Аристаров М.Г., Поликарпов А.И. и др. *Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.* СПб-Соликамск: ОГУП Соликамская типография, 2000. 400 с.
2. Коноплев А.В., Копылов И.С., Красильников П.А., Кустов И.В. *Геоинформационное обеспечение проектирования разработки калийных месторождений // В сборнике: ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ Сборник научных трудов.* Пермь, 2012. С. 5-14.
3. Копылов И.С. *Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии.* 2014. № 6. С. 14-19.
4. 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.
5. Копылов И.С. *Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания.* 2014. № 4. С. 69-74.
6. Копылов И.С. *Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания.* 2014. № 5-2. С. 110-114.
7. Копылов И.С. *Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология.* Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.
8. Копылов И.С. *Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разработке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ// Современные наукоемкие технологии.* 2014. № 4. С. 38-43.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Копылов И.С., Коноплев А.В., Голдырев В.В., Кустов И.В., Красильников П.А. *К вопросу об обеспечении геологической безопасности развития городов // Фундаментальные исследования.* 2014. № 9-2. С. 355-359.
13. Копылов И.С., Ликутев Е.Ю. *Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования.* 2012. № 9-3. С. 602-606.
14. Кудряшов А.И., Васюков В.Е., Фон-дер-Флаасс Г.С. и др. *Разрывная тектоника Верхнекамского месторождения солей / Под науч. ред. А.И. Кудряшова.* Пермь: ГИ УрО РАН, 2004. 194 с.
15. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. *Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-33-9 / ISSN 1314-2704, June 18-24, 2015, Book1 Vol. 3, 305-312 pp DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.*

И.С. Копылов, В.А. Наумов, В.В. Голдырев, В.Н. Брюхов
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г.
Пермь, Россия

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ВИШЕРСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ ЗОЛОТА**

Проведен региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади на Северном Урале по результатам разномасштабных аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота. По дешифрированию цифровых космических снимков выделено 1500 тектонических линеаментов и десятки кольцевых структур. Установлена пространственная корреляция золотонности в зависимости от геодинамической активности.

Ключевые слова: золото, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, Северный Урал.

I.S. Kopylov, V.A. Naumov, V.V. Goldyrev, V.N. Bryukhov
Perm State University, Perm, Russia

**REGIONAL STRUCTURAL-GEODYNAMIC ANALYSIS OF THE
WISHERA AREA ACCORDING TO THE RESULTS OF AEROSPACE AND
GEOLOGICAL RESEARCHES PURPOSE FOR GOLD SEARCH**

A regional structural and geodynamic analysis of Visherskaya Square in the Northern Urals was carried out according to the results of various scale aerospace geological researches with the aim of searching for gold. 1,500 tectonic lineaments and dozens of ring structures have been identified for decoding digital satellite images. The spatial correlation of gold content is established depending on the geodynamic activity.

Key words: gold, aerospace methods, interpretation, lineaments, Northern Urals.

Введение

Для Пермского Урала и Приуралья основные перспективы поисков золота связаны с горно-складчатой областью западного склона Урала в Красновишерском районе. Территория достаточно хорошо изучена геологосъемочными и различными поисковыми работами, полностью охвачена геологическими съемками масштабов 1:200 000 и 1:50 000.

На протяжении почти трех веков здесь велась успешная разработка золотоносных россыпей, велись поиски россыпных и коренных месторождений золота. В результате этих работ в Пермском крае установлено около 100 проявлений коренного и россыпного золота – традиционных источников добычи золота в мировой практике. На государственном балансе учтены запасы золота категории В+С₁+С₂ – около 15т в пределах 17 россыпей (71,3% на территории Красновишерского и 28,7% Горнозаводского районов). Среднее содержание золота 200 – 300мг/м³ на пласт «песков» [5, 6]. К концу 90-х началу 2000-х годов по экономическим причинам на территории Пермского края добыча золота полностью прекращена, резко сокращены его поиски. Однако, периодически возникают новые идеи по организации поисков золота этого региона с привлечением различных инвесторов. Необходимы новые подходы к научному обоснованию перспектив поисков золота, выделению перспективных зон (площадей) потенциальной концентрации экзогенной и эндогенной рудоносности, ранжированию площадей по степени перспективности.

В 2017 г. в восточной части Красновишерского района Пермского края проведены аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) с целью структурно-геодинамического анализа и неотектонического контроля золотоносности района. АКГИ являлись составной частью НИР «Научное обоснование перспектив экзогенной и эндогенной рудоносности восточной части Красновишерского района Пермского края проводимой ЕНИ ПГНИУ за счет частного финансирования ООО «Русский лес» [6].

Геологическое положение территории

В структурно-тектоническом отношении рассматриваемая территория расположена в пределах Уральской складчатой области (западной части Урало-Сибирской эпигерцинской области завершенной складчатости) и располагается в пределах трех тектонических структур второго порядка: Западно-Уральской внешней зоны складчатости (ЗУВЗС), Центрально-Уральского поднятия (ЦУП) и Тагильско-Магнитогорско-прогиба (ТМП). По возрасту и составу образований, коррелирующихся с фундаментом Восточно-Европейской (Русской) платформы, с фундаментом Тимано-Печорской эпибайкальской платформы и почти полному отсутствию таких образований в зоне Тагильского мегасинклинория площадь можно разделить на четыре тектонических блока.

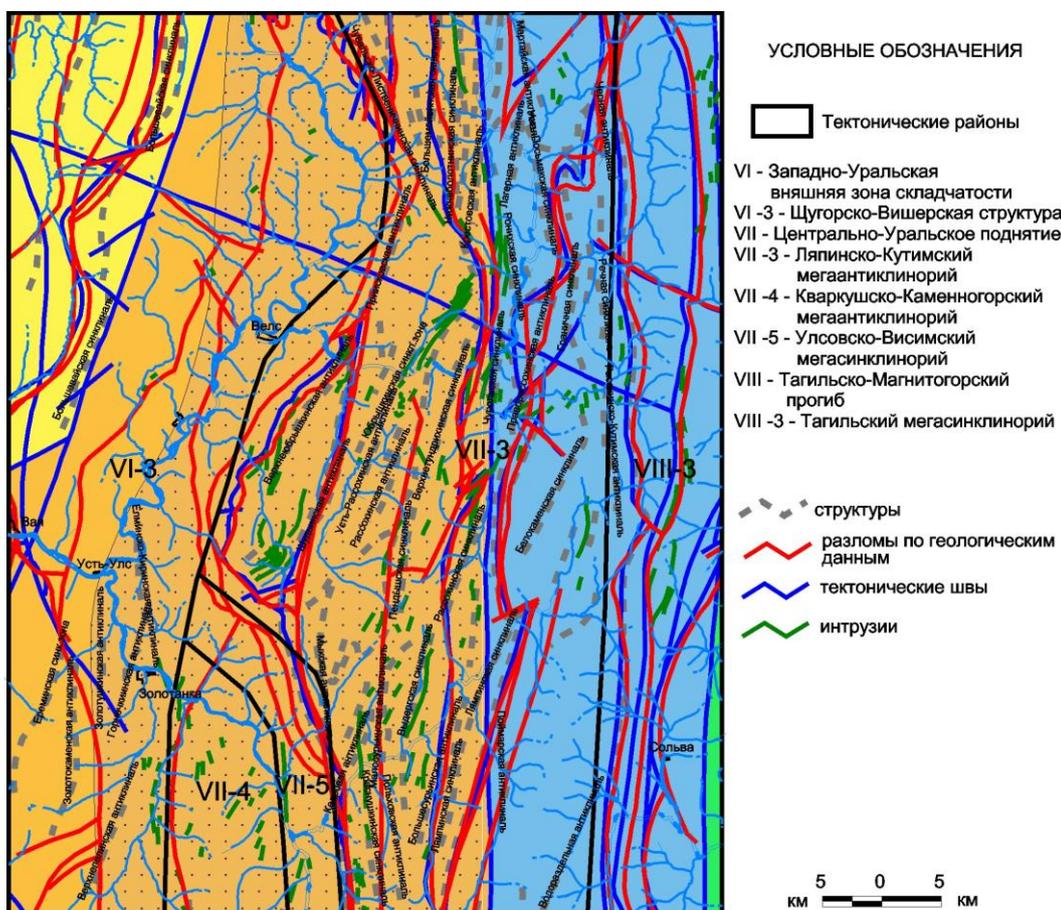
Первый блок составляет Щугоро-Вишерская структура Западно-Уральской зоны складчатости, исключая входящий в состав этой структуры Полюдовско-Колчимский антиклинорий, и Центрально-Уральское поднятие. Блок развит на рифей-вендском (байкальском) фундаменте Тимано-Печорской платформы, переработанном каледоно-герцинской (уральской) складчатостью. Таким образом, выходы байкалит Центрально-Уральского поднятия представляют собой выходы этого фундамента.

Второй блок составляет Полюдовско-Колчимский антиклинорий, являющийся структурой байкалит, не переработанной уральской складчатостью и вместе с Тиманом сохранившей северо-западное (тиманское) простирание, отвечающее простиранию юго-западной окраины Тимано-

Печорской платформы. Выходы байкалид в этом блоке представляют собой выходы переработанного уральской складчатостью фундамента Тимано-Печорской платформы (щиты этой платформы).

Третий блок объединяет Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий и Улсовско-Висимский мегасинклиний, развитые на переработанном уральской складчатостью карельском фундаменте восточной окраины Русской платформы, также не имеющем выхода на поверхность.

Четвертый тектонический блок, соответствующий крайней восточной части района, относящейся к Тагильскому мегасинклинию, характеризуется почти полным отсутствием допалеозойских образований. Последние, вероятно, могли сохраниться лишь в так называемых микроконтинентах (террейнах), сложенных байкалидами и подвергшимися интенсивной переработке (рис. 1).



Вид коры

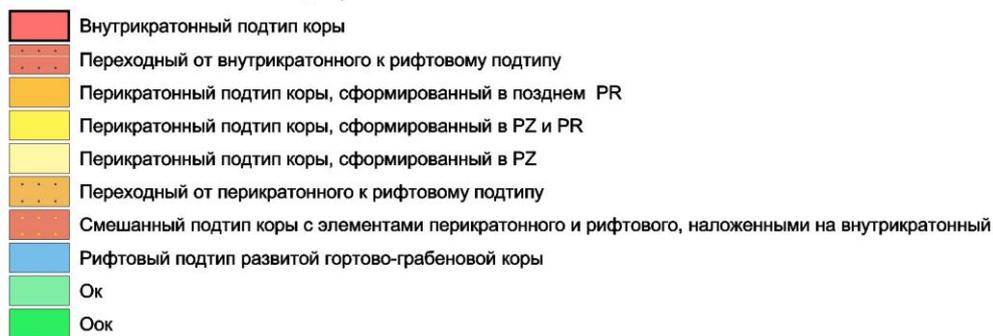


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема [7, с изменением]

Возрастной диапазон развитых в Центрально-Уральской мегазоне стратиграфических образований обычно составляет средний рифей (юрматинская эра) – поздняя эпоха вендского периода. Незначительным распространением пользуются палеозойские отложения: от нижнесилурийских до нижнекаменноугольных в западном районе Кваркушко-Каменногорской зоны, от верхнекембрийско-нижнеордовикских до средне- верхнеордовикских в Верхнепечорско-Кутимской зоне. Лишь Улсовско-Висимская и Колпаковская зоны, пользующиеся сравнительно небольшим площадным распространением, сложены нацело породами палеозоя: первая - от средне-верхнеордовикских до среднедевонских, вторая – кембрийско-нижнеордовикскими. Возраст стратифицированных образований объединенных Западно-Уральской и Центрально-Уральской мегазон – от среднего рифея (Верхнепечорско-Кутимская зона) до поздней перми (Предуральский краевой прогиб) [7].

Материалы и методы

Методологией исследований и картирования зон тектонической трещиноватости является линеаментно-геодинамический анализ, методика, которого изложены в работах И.С. Копылова [1-4]. В качестве основного метода исследования было выбрано структурное дешифрирование.

Проводилось разномасштабное дешифрирование космических снимков (КС). Использовались материалы космической съёмки – спектрзональные цифровые космические снимки (КС) «Landsat 7, 8», 2003-2017 гг., с разрешением на местности 30 и 14 м, которые позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000 и 1:50 000 и крупнее. Снимки характеризуются высокой геологической информативностью. Они достаточно контрастные с отчётливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов. Отчётливо дешифрируются прямолинейные линеаменты (рис. 2), хорошо выделяются площадные цветотональные и разнотекстурные участки ландшафтов, разграниченные линеаментами. С их помощью производился основной объем комплексного дешифрирования.

Применялось компьютерное космогеологическое дешифрирование по нашим методикам. Технологически это выполнялось путем системного анализа (дешифрирования) КС разного масштаба от мелкого (1:1 000 000-1:500 000) – к среднему (1:200 000-1:100 000) и крупному (1:50 000) в стадийной последовательности. Основными объектами дешифрирования были линеаменты, отождествляемые с тектоническими нарушениями и кольцевые структуры, отображающие приподнятые участки земной коры.

Результаты исследований

В пределах Вишерской площади (4,5 тыс. км²) в результате дешифрирования КС выявлена сеть прямолинейных линеаментов различных направлений и протяженности. Всего выделено суммарно 1500 прямолинейных линеаментов. Установлены региональные прямолинейные линеаменты восьми

систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия субмеридиональных (особенно в центральной части), северо-западных линеаментов (рис. 3).

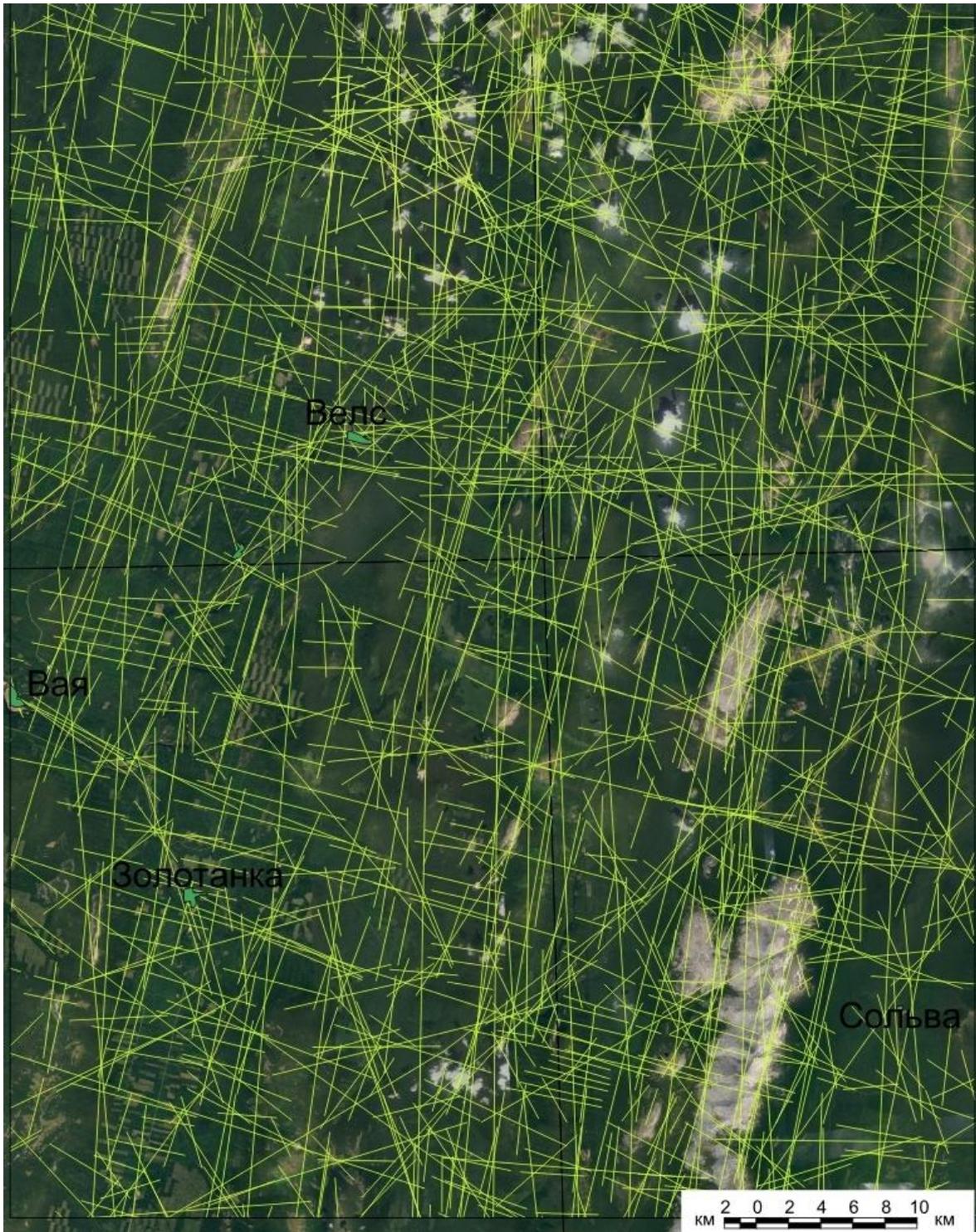


Рис. 2. Линеаментное поле на космоснимках

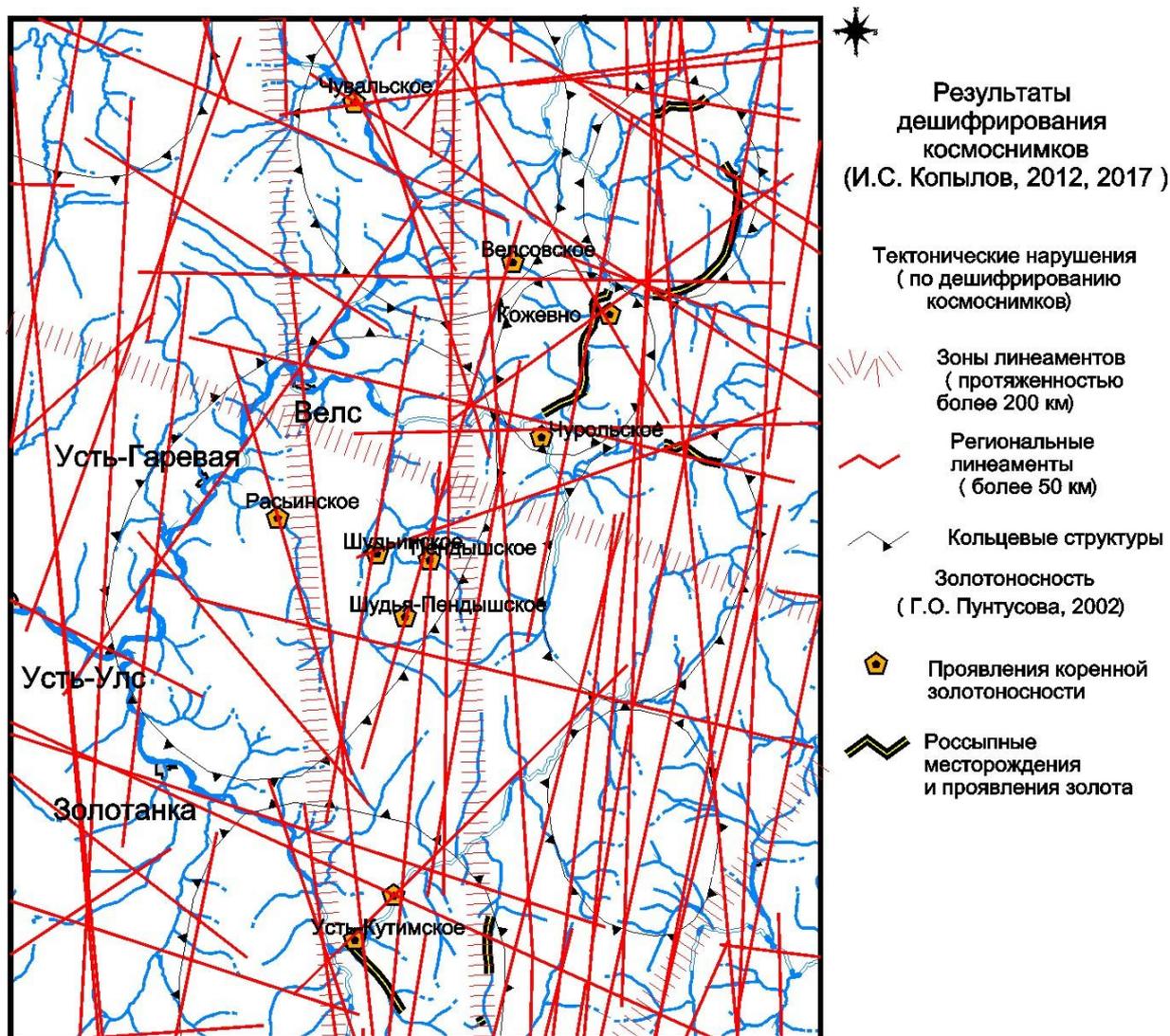


Рис. 3. Неотектонический контроль золотоносности зонами линеаментов

В центральной части (зона сочленения ЗУЗС и ЦУП) выделяются 2 крупнейших субмеридиональных линеамента, протягивающихся далеко за пределы рассматриваемой площади (протяженностью 1077 и 550 км), их пересекает региональный линеамент запад-северо-западного направления (протяженностью 850 км). Эти 3 линеамента четко ограничивают перспективные золотоносные районы территории в т.ч. – Южно-Чувальский и Шудьинский участки (рис. 4).

Региональные линеамента (более 50 км) контролируют элементы тектонического строения территории – первого и второго порядка и выступают границами крупных неотектонических блоковых структур в осадочном чехле. Линеамента зонального и локального рангов (протяженностью 25-50 км) во многом контролируют общую ориентацию локальных структур и золотоносность района. Их оперяют многочисленные короткие линеамента (5-10 км и менее).

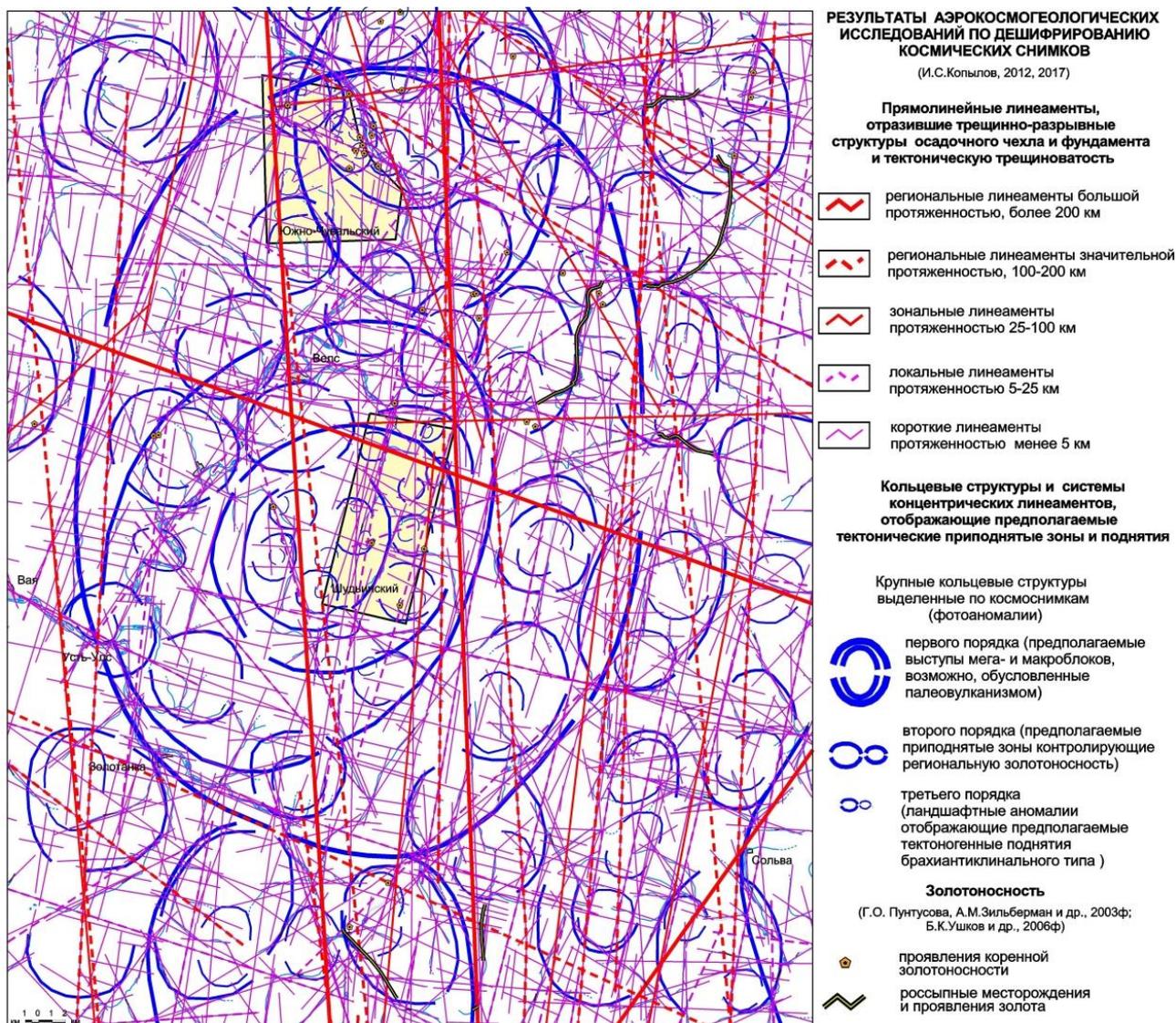


Рис. 4. Карта структурно-геодинамического анализа по результатам дешифрирования космоснимков

Повышенная плотность линеаментов, установленная на Южно-Чувальском участке свидетельствует о его высокой геодинамической активности. В связи с этим, высокая трещиноватость пород способствовала проникновению гидротермальных золотоносных растворов и насыщению пород золотом и другими ценными металлами на отдельных участках. Установлена пространственная корреляция золотоносности в зависимости от геодинамической активности.

В результате дешифрирования КС выделены кольцевые структуры трех порядков: 1 кольцевая структура первого порядка (60 x 40 км) – Вишерская морфоструктура в центральной части района; ее осложняют 2 кольцевых структур второго порядка (30 x 20 км) и более 30 кольцевых структур третьего порядка (5-10 x 2-5 км) – локальных ландшафтных аномалий (в пределах которых прослеживаются многочисленные фрагменты более мелких кольцевых структур), которые отражают предполагаемые тектоногенные поднятия разных

рангов. Многие морфоструктуры 2-3 порядка контролируют региональную золотоносность района. Не исключено, что крупнейшая Вишерская морфоструктура является проявлением палеовулканизма (с которым м.б. связан основной источник золота территории), что требует изучения морфоструктурными и геохимическими методами.

Таким образом, проведенный региональный структурно-геодинамический анализ по результатам дешифрирования космоснимков показывает на высокие перспективы применения этих методов в данном районе. В дальнейшем, необходима детализация АКГИ до масштаба 1:25 000-1:10 000 и проведение геохимических поисков.

Библиографический список

1. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). 70-81.

2. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.

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

4. 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.

5. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 130 с.

6. Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н., Копылов И.С., Чуйко В.А.. Отчет о научно-исследовательской работе «Научное обоснование перспектив экзогенной и эндогенной рудоносности восточной части Красновишерского района Пермского края» ЕНИ ПГНИУ. Пермь, 2017. 161 с.

7. Пунтусова Г.О. и др. Отчет по теме: «Составление прогнозно-металлогенической карты масштаба 1:200 000 Северного и Среднего Урала в пределах Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости». ФГУП «Геокарта-Пермь», Пермь, 2003. 232 с. ФГУ ПТФГИ.

С.В. Копытов, Н.Н. Назаров

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г.Пермь, Россия
Географический факультет

ВЕРХНЕКАМСКАЯ ДЕПРЕССИЯ В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ: АНАЛИЗ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

В работе проведен анализ морфологических особенностей древних русел в пределах Верхнекамской депрессии. Дешифрирование космических снимков и геоморфометрический анализ цифровых моделей рельефа позволили установить несколько генераций озерной (первой надпойменной?) террасы. Наилучшее выражение эрозионного рельефа было получено по снимкам Landsat 8 OLI 2017 и 2018 гг. съемки в комбинациях каналов ближнего ИК – 7-6-5 (индикация песчаных валов и грив, индикация степени увлажненности фаций верхового болота) и ближнего, коротковолнового ИК и красного видимого каналов – 5-6-4 (индикация видового состава растительности и степени увлажненности пойменных и болотных торфяных геосистем).

Ключевые слова: Верхнекамская депрессия, мультиспектральные космические снимки Landsat, цифровые модели рельефа, поздний плейстоцен, перестройка речной сети.

S.V. Kopytov, N.N. Nazarov

Faculty of Geography, Perm State University, Perm, Russia

THE UPPER KAMA DEPRESSION IN THE NEO-PLEISTOCENE: SATELLITE ANALYSIS

The article analyzes the morphological features of the ancient channels within the Upper Kama depression. The satellite images decoding and DEM geomorphometry analysis allowed the several generations establishment of the lacustrine (first?) terrace. The best geomorphological expression of the erosion relief was obtained for bands combinations of the SWIR and NIR 7-6-5 (indication of sandy bars and ridges, indication of the moistening degree of upper bog facies) and NIR, SWIR and RED bands –5-6-4 (indication of the vegetation species composition and the moistening degree of floodplain and swamp peat geosystems).

Key words: Upper Kama depression, multispectral satellite images Landsat, digital elevation model, Late Pleistocene, river network reorganization.

В настоящее время нет однозначных ответов на вопросы о времени, продолжительности и периодичности объединения бассейна р. Камы с бассейнами рек Вятки, Вычегды и Печоры, которые неоднократно происходили при формировании приледниковых подпрудных озер в среднем и позднем неоплейстоцене [1–4; 6, 7]. Верхнекамская депрессия (морфологическое продолжение Кельтминской ложбины) является одной из наиболее сложных территорий бассейна верхней Камы в понимании этапности развития рельефа (рис. 1).

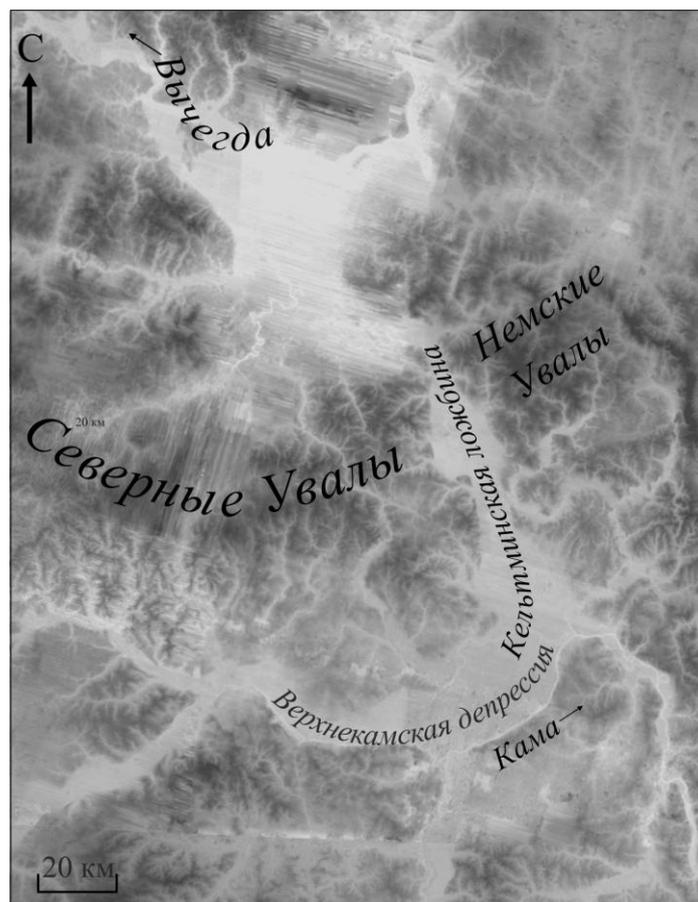


Рис. 1. Территория исследования

Сложность в понимании процесса перестройки речной сети обусловлена наличием хорошо опознающихся на космических снимках каналов перетока вод из приледниковых водоемов. Следы русловой деятельности в пределах этих перетоков относятся к разным периодам эрозионного преобразования рельефа.

Данные дистанционного зондирования Земли при изучения древней русловой сети занимают сравнительно небольшое место в исследованиях палеогеографов. Выявление пространственно-временных маркеров перестройки гидросети в пределах Верхнекамской депрессии в неоплейстоцене и голоцене осуществлялось с использованием снимков, полученных 13 августа 2017 г. и 12 мая 2018 г. со спутника Landsat 8 OLI (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Перед началом работы проведена геометрическая коррекция снимков по опорным точкам, а также выполнена радиометрическая калибровка.

Драпированные космическими снимками цифровые модели рельефа (ЦМР) высокого разрешения ArcticDEM (<https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>) позволили с минимальными трудозатратами получить ряд морфометрических показателей, которые контролировали процесс выделения границ аккумулятивных образований.

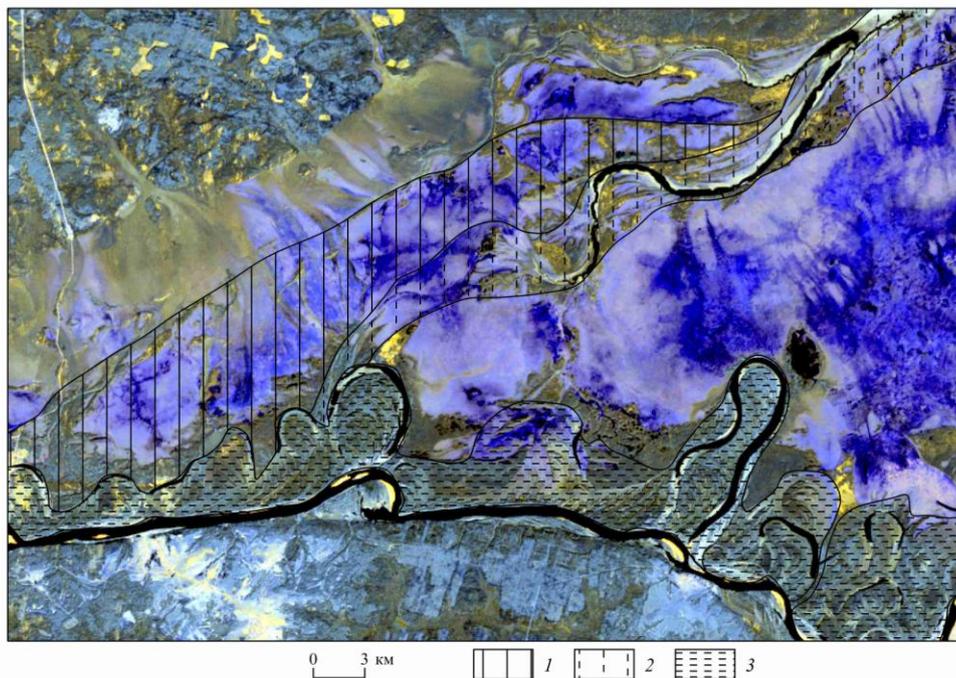
Корректировка пространственных данных осуществлялась на основе ЦМР, построенным по имеющимся топографическим картам масштаба 1:25000, снимкам высокого (со спутника SPOT-6) и сверхвысокого разрешения (данные открытого картографического сервиса ESRI ArcGIS World Imagery). При работе

с ЦМР масштаба 1:25000 учитывался и тот факт, что почти плоская поверхность болот и сильная изрезанность пойм и террас без значительного перепада по высоте приводит к отражению множества горизонталей с одинаковыми значениями. Для более точного отображения рельефа вводились дополнительные изолинии и абсолютные отметки, отображающие местность (болотистые понижения, растительные группировки и т. д.), с добавлением в их семантику значений высоты.

Для количественной оценки степени увлажненности болотных геосистем были использованы наиболее распространенные спектральные индексы, такие как mNDWI (Normalized Difference Water Index) и LSWI (Land Surface Water Index). Индекс mNDWI чувствителен к уровню влажности в растительности, индекс LSWI чувствителен к содержанию воды на поверхности суши [8]. Расчет индексов проводился по формулам: $mNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$, $LSWI = (Blue - SWIR) / (Blue + SWIR)$.

Используя космоснимки в качестве картографической основы [5], была подготовлена серия палеогеоморфологических космофотокарт, выполнявших роль дешифровочной основы для выделения отдельных русловых систем. Выбор основы определялся наилучшим отражением структурных элементов анализируемой системы при относительной «невыразительности» смежных с ней морфологических элементов, относящихся к массивам болот, эоловым образованиям или другим доголоценовым пойменно-русловым комплексам.

Выделение центральной русловой системы (ЦРС) происходило в процессе работы с изображением, полученным в синем спектре (рис. 2) летнего снимка (13.08.2017).



Условные обозначения: 1 – контур ЦРС, не затронутой последним (по времени) переформированием русловой сети – древняя генерация; 2 – последняя (по времени) генерация ЦРС, 3 – пойма р. Камы

Рис. 2. Фрагмент (западная часть) ЦРС

Комбинация 7-6-5 не включает ни одного канала из видимого диапазона, но обеспечивает оптимальное распознавание местоположения песчаных грив и валов, оконтуривающих полосу блуждания древней реки (пра-Камы?). Самый «молодой» фрагмент остаточного русла – старица (о. Нахты) и примыкающие к ней «веера блуждания» – представляет собой одну из самых последних генераций древней речной поймы, которая моделировала озерную террасу и усложняла первичный рельеф древней озерной поверхности. Границы этой генерации изображаются в виде резкой смены цвета (в виде линии). Темно-синий цвет, присущий контуру самой молодой генерации, указывает на повышенную степень ее обводненности по сравнению с другой частью ЦРС, отличающейся более светлыми тонами – от светло-голубого до голубого.

Рассчитанные спектральные влажностные индексы изменяются от 0,02 до 0,23 для LSWI и от 0 до 0,18 для mNDWI, оконтуривая тем самым разные по возрасту геосистемы (рис. 3).

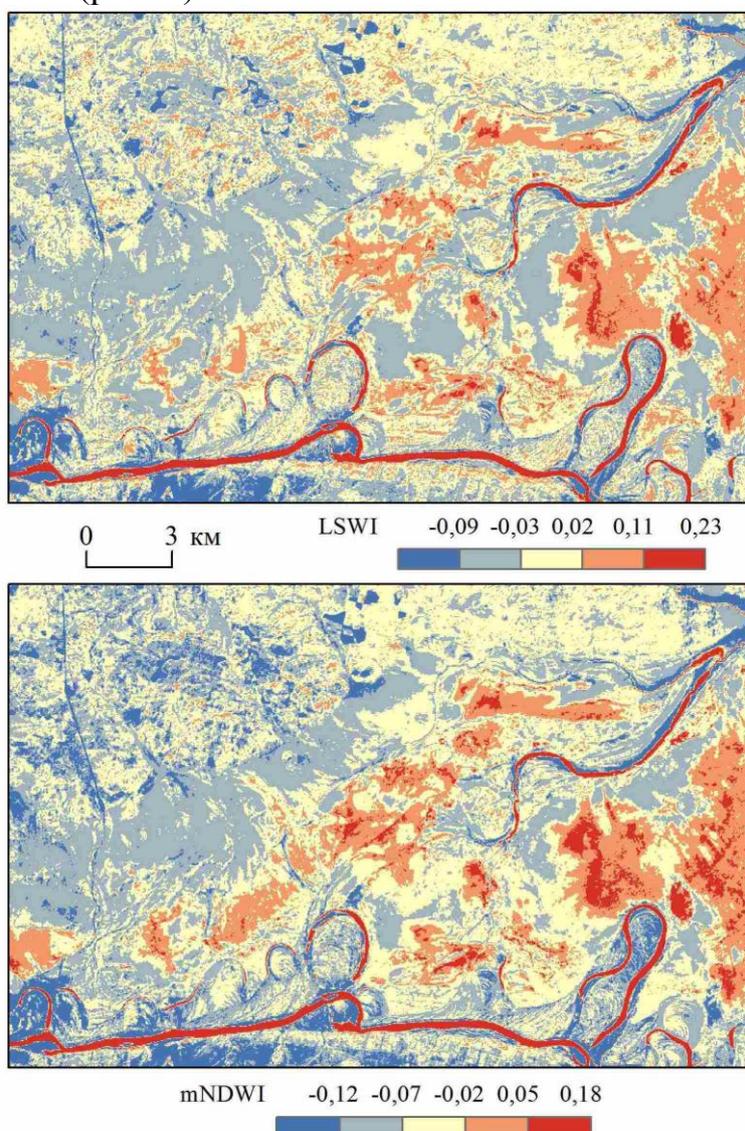
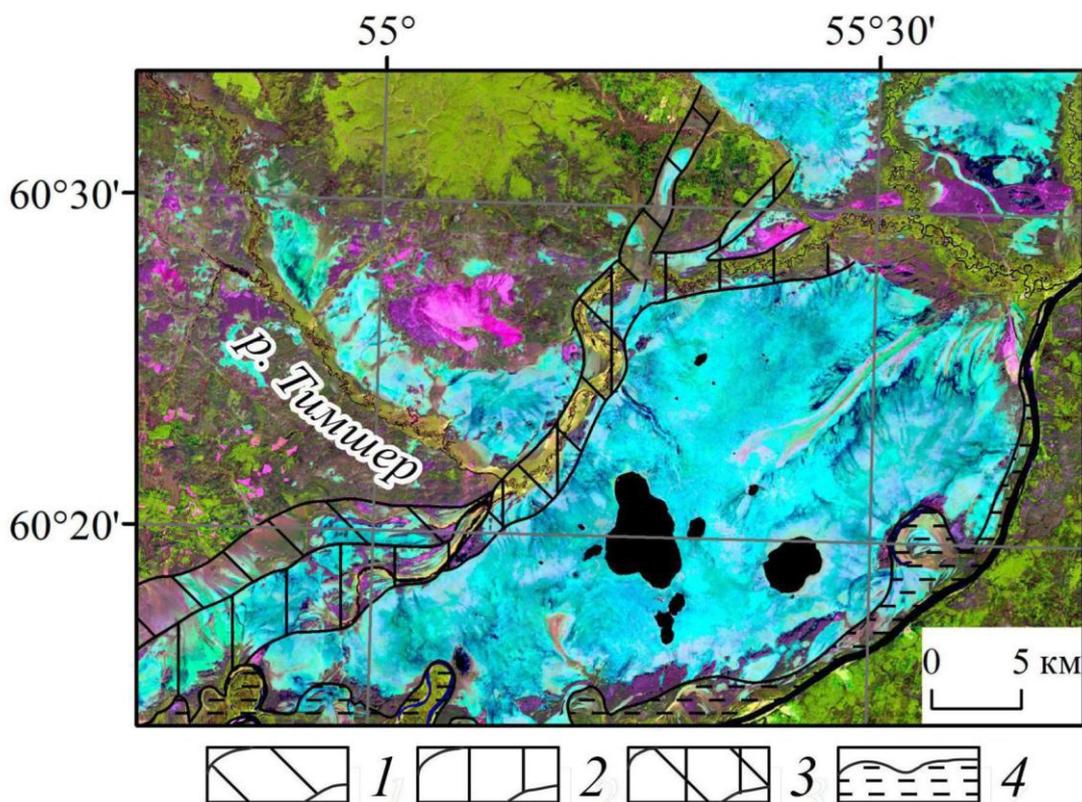


Рис. 3. Значения индексов LSWI и mNDWI, рассчитанных по снимку Landsat 8 OLI за 13.08.2017

Использование комбинации ближнего, коротковолнового ИК и красного видимого канала (5-6-4) позволило установить местоположение еще одной эрозионной системы, протягивающейся вдоль северного коренного склона Верхнекамской депрессии, на южной окраине, контактирующей с ЦРС – северной русловой системы (СРС) (рис. 4). По цвету на космоснимке различия между двумя русловыми системами более чем существенные и в значительной степени также связаны с разделяющими их положительными формами рельефа (валами, гривами, целиками озерной террасы).



Условные обозначения: 1 – контур СРС, 2 – контур ЦРС, 3 – контур ОРС, 4 – пойма р. Камы
Рис. 4. Генерации древней русловой сети.

Наиболее сложно интерпретировать и вычленять эрозионные системы оказалось там, где наблюдается пространственное объединение ЦРС, СРС и современной поймы р. Тимшер. Контур объединенной русловой системы (ОРС) довольно уверенно опознается по песчаным «островам» с редкой растительностью, которые выделяются по розовому и малиновому цветам на фоне голубого цвета верхового болота. Внутри системы зеленовато-бурым цветом (до желтого) выделяется современная пойма Тимшера и серо-розовым цветом – фрагменты грядового рельефа ЦРС.

Болотно-русловая система (БРС), включающая в себя большую часть территории Верхнекамской депрессии, располагается между ЦРС и современной поймой р. Камы. Русловые образования, фиксируемые среди болотных геосистем, представлены двумя видами. К первому относятся современные каналы стока вод из центральной части болота к его периферии.

На космоснимке (комбинация 5-6-4) они выглядят как темно-синие относительно прямолинейные линии на зеленовато-голубом фоне.

Ко второму виду были отнесены древние доголоценовые русла или отдельные элементы их пойм, «просвечивающие» через толщи торфа или фиксирующиеся сменой болотной растительности, реагирующей на степень минерализации и увлажненности субстрата.

По результатам анализа данных дистанционного зондирования наилучшее геоморфологическое выражение эрозионного рельефа было получено для комбинаций каналов: 1) ближнего ИК (7-6-5) – индикация минеральных (песчаных) валов и грив, индикация степени увлажненности фаций верхового болота; 2) ближнего, коротковолнового ИК и красного видимого канала (5-6-4) – индикация видовой состав растительности и степени увлажненности пойменных и болотных (торфяных) геосистем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-00356).

Библиографический список

1. Краснов И.И. Четвертичные отложения и геоморфология Камско-Печорско-Вычегодского водораздела и прилегающих территорий // *Материалы по геоморфологии Урала*. М.-Л.: Изд-во Мин. геол. СССР, 1948. С. 47–88.

2. Лавров А.С., Потапенко Л.М. *Неоплейстоцен Печорской низменности и Западного Притиманья (стратиграфия, палеогеография, хронология)*. М.: ОАО «Можайский полиграфический комбинат», 2012. 191 с.

3. Назаров Н.Н. Плейстоценовые перестройки речных русел и современное развитие пойменно-русловых комплексов верхней Камы // *Геоморфология*. 2017. №3. С. 88–100.

4. Рябков Н.В. Древние приледниковые бассейны междуречья Камы, Печоры, Вычегды и их реликты // *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода*. М.: Наука, 1976. № 45. С. 94–105.

5. Сладкопевцев С.А. *Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации*. М.: Недра, 1982. 216 с.

6. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D. *Late Pleistocene stratigraphy and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vycheгда region in northwestern Russia* // *Boreas*. 2014. Vol. 43. P. 759–779.

7. Mangerud J., Jacobsson M., Alexanderson H., Astakhov V., Clarke G. C. K., Henriksen M., Hjort C., Krinnerm G., Lunkkja J.-P., Moller P., Murray A., Nikolskaya O., Saarnisto M., Svendsen J.I. *Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation* // *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. P. 1313–1332.

8. Wilson E.H., Sader S.A. *Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery* // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 80. P. 385–396.

М.В. Рогозин¹, В.В. Михалев², А.Я. Рыбальченко², И.С. Копылов¹
¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет
² Компания ООО «АНДИ», г. Пермь, Россия

**МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ
АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО И БИОЛОКАЦИОННОГО
АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТОНИКИ
И МАЛЫХ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН НА ЭЛЕМЕНТЫ ЛЕСНЫХ
ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ»
И Г. ПЕРМИ)**

Проведено геоструктурное дешифрирование космических снимков, линеаментный и геоструктурометрический анализы, с выделением геодинамических активных зон в Пермском крае в заповеднике «Вишерский» и в долине р. Камы в лесах вблизи г. Перми на общей площади более 300 км². Для определения мест, влияющих на структуру фитоценоза, использовали биолокацию и находили малые геоактивные зоны (МГА-зоны) двух типов с диаметрами 1 и 8 м. Проложено 5 треков, состоящих из 7-9 таких зон и частично построена их сеть на расстояние 95-124 м. Выбор ключевых точек на участках с высокой геодинамической активностью позволил установить в заповеднике совпадение линеаментов дизъюнктивной тектоники с ориентацией треков двух типов МГА-зон в 80% случаев. Различия в ориентации сетей МГА-зон, по видимому, обусловлены направлением основных линеаментов, которое в заповеднике меридиональное, а вблизи г. Перми диагональное.

Ключевые слова: неотектоника, геоактивные зоны, древостой, структура, экосистемы.

M.V Rogozin¹, V.V. Mikhalev², A.Ya. Rybalchenko², I.S. Kopylov¹
¹ Perm State University, Perm, Russia
² ANDI LLC, Perm, Russia

**METHODOLOGY AND PRACTICE AEROSPACE GEOLOGICAL
AND DOWSING ANALYSIS WHEN CONSIDERING FACTORS OF
INFLUENCE NEOTECTONICS GEOACTIVE AND SMALL AREAS ON
ELEMENTS OF FOREST ECOSYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF THE
RESERVE «VISHERA» AND PERM)**

Studies were conducted in the Perm region in the reserve "Vishersky", on the territory of a total area of 300 km². Held geostructural interpretation satellite image interpretation, lineament and estructuralismo analyses, identification of geodynamic active zones and the spiral ring of the deep fluidbook. Biolocation with finding small geoactive zones with a diameter of 1 and 8 m, favorably affecting the growth of trees, and laying five tracks from 7-9 such zones at a distance of 95-124 m was used to determine the places of influence on vegetation. The selection of key points in areas with high geodynamic activity made it possible to establish in the reserve a coincidence of lineaments of disjunctive tectonics with the orientation of tracks of two types of MGA-zones in 80% of cases. The differences in orientation of the networks of MGA-zones, apparently, are due to the direction of the main lineaments, which is meridional in the reserve, and diagonal in the vicinity of Perm.

Keywords: neotectonics, geodynamic active zones, tree stand, phytocenotic structures, ecosystems.

Введение

Методология изучения геодинамической активности Земли базируется на изучении глубинных флюидо-магматических, тектонических, сейсмических и геохимических процессов, определяющих движение масс вещества и энергии внутри Земли и ее внешних твердых оболочках. В частном случае, в приповерхностных частях литосферы применение неотектонического, морфоструктурного, линеаментного и геодинамического анализов позволяет достаточно надежно выявлять геоактивные зоны, которые по-разному воздействует на биосферу. Многие из них тесно связаны с так называемыми геопатогенными зонами – т. е. литосферно обусловленными зонами биологического дискомфорта [15], разделяющихся на геопатогенные и техногенные, а каждая из них соответственно – на геохимические и геофизические аномалии.

Биологический аспект геодинамической активности в научной литературе освещен крайне слабо. Имеется лишь несколько значимых работ [4; 5; 8–10]. Вместе с тем, в последние годы появились исследования так называемых «малых» геоактивных зон с положительным влиянием на деревья [9–13]. Такие зоны занимают почти 50% территории. При их изучении применяют биолокационный метод и он часто вызывает претензии оппонентов, которые обычно сводятся к тому, что метод субъективен; но из его «субъективизма» отнюдь не следует, что его результаты неверны. Очень часто его результаты бывают представлены единичными наблюдениями, а их анализ проведен без контроля и статистической обработки, что вызывает недоверие к нему.

Между тем практика биолокации насчитывает сотни лет, и перед учеными давно стоит вопрос о верификации данных «прибора-человека», где индикацией неизвестных излучений (энергоинформационного воздействия) выступает не рамка и не маятник, а все тело человека. Этот метод и его критика, а также результаты изучения множества малых геоактивных зон мы рассмотрели в монографии [9]. Отметим из нее наиболее важные моменты.

Оказалось, что гамма-излучение сети Хартмана (один из типов малых геоактивных зон) удалось сфотографировать. Способ запатентован в 2009 году [1], но серьезным недостатком является время для экспозиции фотопленки на полосах Хартмана – 15 суток. Их ширина составила 3 мм, и это при том, что биолокация их ширину определяет в 15–35 см, т. е. их повреждающее действие превышает размеры источника излучения почти в 100 раз. Если это излучение столь слабое, то, скорее всего, еще не скоро будут сконструированы физические приборы для его измерения. Чувствительность человека к этим зонам очень высока; но ее надо «разбудить», обучаясь этому методу, а далее исследовать их, используя тело человека как био-прибор для фиксации сверхслабых излучений, проверяя его правильность, например, на деревьях.

Места нахождения малых геоактивных зон с благоприятным действием можно вполне объективно опознать по самым крупным деревьям в древостоях. Такие деревья встречается повсеместно и лучшие из них в целях селекции относят к так называемым «плюсовым» деревьям. Материал по таким деревьям копился нами около 10 лет, и когда объем наблюдений насчитывал уже сотни

случаев, их систематизировали и написали книгу «Лесные экосистемы и геобиологические сети», которая доступна в интернете [9]. Деревья отражают и патогенное действие сетей Хартмана и Карри. На узлах (зонах) этих сетей диаметром от 0.55 до 2.0 м деревья разветвляют и искривляют стволы, отстают в росте. Поэтому, ориентируясь на внешний облик деревьев, можно сразу и обучаться, и постоянно верифицировать метод биолокации на биоиндикаторах-деревьях. Эти зоны далее мы будем называть «малые геоактивные зоны», применяя также аббревиатуру «МГА-зоны».

Благоприятные места таких зон имеют четко ограниченный размер в виде круга с диаметрами 1, 3, 4.5 и 8 м. Обычно они локализованы вблизи крупных деревьев самых разных видов. Но вблизи сосны кедровой сибирской отмечены зоны и больших диаметров – 16, 32 и 55 м [10]. Эти зоны мигрируют в течение года на расстояние от долей метра до 1–2 м, и амплитуда их миграции зависит от геодинамической активности обширных территорий. Там, где эта активность выше, наблюдается и большая амплитуда их миграции [11].

В связи с наличием такой связи возникла идея проверить, нельзя ли по амплитуде миграции МГА-зон и их взаимной ориентации установить точное расположение трещинно-разрывных структур. Для проверки этой идеи необходимо подобрать участки с высокой и низкой плотностью линеаментов ($\text{км}/\text{км}^2$), которые отражают пониженную или повышенную геодинамическую активность территорий. На этих местах после выстраивания некоторой части сети из МГА-зон, например, трека из цепочки зон на расстоянии 100–300 м, можно будет определить сопряжение этого трека с ближайшим линеаментом. Если последний трассируется параллельно, то его дополнительно пересекают поперечным треком из зон и, повторяя их биолокацию, например, через полгода, можно будет установить амплитуду их миграции на разном расстоянии от линеамента. Где миграция МГА-зон будет наибольшей, там и будут проходить осевые зоны трещинно-разрывных структур. В таком аспекте изучаемый вопрос находится на стыке естественных наук и обладает всеми признаками новизны.

Цель настоящей работы – выявление зон с высокой неотектонической активностью и нахождение мест с малыми геоактивными зонами, влияющими на элементы структуры растительных сообществ.

Объекты и методика работ

Объекты работ располагались на склонах г. Муни-Тумп и хребта Лопьинский Камень, в долине реки Вишеры и её притоков р. Лопья и ручья Муравей, а также в долине р. Камы в лесах юго-западнее г. Перми. В процессе работы проведены космогеологические исследования и геоструктурометрический анализ космических снимков разной степени разрешения [13].

В результате до начала полевых работ были выявлены системы разрывных нарушений в виде прямолинейных и дугообразных линеаментов разной протяженности, выделены ключевые участки с наибольшей их плотностью.

Достоверно установленные разломы и линеаменты, требующие полевой инструментальной заверки, отражают трещинно-разрывные деформации осадочного чехла и фундамента, образы которых представлены на земной поверхности линейно вытянутыми формами рельефа: прямолинейными отрезками различного рода уступов, перегибов на склонах, водораздельных линий. Также они могут быть сформированы элементами гидрографической сети в виде спрямленных участков речных долин и овражно-балочной сети, аномалиями структурного рисунка поверхности, контуров болот и других элементов рельефа. Картирование сети линеаментов осуществлялось по методике, предложенной Киевским отделом ИГиРГИ и в последующем доработанной российскими специалистами [2, 6, 7, 14].

В целом методика работ заключалась в выявлении по фототону и структурно-текстурному облику космоизображений различно ориентированных линейных и дугообразных элементов и их последующем сопоставлением с данными геоструктурометрического анализа. Технологически это выполнялось путем дешифрирования космических снимков (Landsat 8, 2017-2018 гг.) разного масштаба, от мелкого к крупному, и различных комбинаций спектральных каналов. Компьютерная обработка данных дешифрирования космических снимков и расчет плотности линеаментов были выполнены с помощью программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst фирмы ESRI.

Биолокационный метод включал в себя работы на выбранном участке с картированием положения МГА-зон по методике, описанной нами в монографии [9] и геодезической привязки начальной, а в конце работ – конечной точки маршрута (трека) к хорошо опознаваемым на космоснимках объектам – изгибам рек, контурам болот, полянам среди леса и отдельным деревьям. Для этого в обязательном порядке использовали буссоль и мерную ленту, так как GPS-навигатор даже на больших прогалинах среди леса часто давал смещение координат до 20–30 м. Такой двойной контроль позволял нанести первую и последнюю точки маршрута на план с точностью ± 2.0 – 3.0 м. Длина основного трека, состоящего из МГА-зон диаметром 8.0 м, составляла в заповеднике 95–124 м, но иногда он обрывался из-за непригодных для работы заболоченных или сильно захламленных валежом мест. Промежуточные точки на треке наносили на абрис путем промера линий с определением их азимута в градусах; зоны 1.0 м и ближние деревья, а также другую ситуацию наносили по угловым и линейным засечкам с точностью ± 0.1 м.

Сразу после полевых работ составляли абрисы-планы. Далее они были добавлены в проект ArcGIS в виде растра с привязкой точек. Привязки проверяли по длине основного трека между первой и последней точкой, после чего проводили корректировку по детальному космоснимку с высоким пространственным разрешением порядка 50 см. Далее в проекте оцифровывали ситуацию, создавая новые шейп-файлы и слои карты.

В лесах г. Перми картирование деревьев было более детальным. На план были нанесены 735 деревьев и МГА-зоны пяти типов в лесном массиве площадью 2.2 га (координаты центра участка $N58^{\circ}00'45,1''$ и $E55^{\circ}52'44,3''$), расположенном на второй надпойменной террасе р. Кама. Работы по

картированию на этом объекте продолжались два года. Однако в настоящей работе проведен лишь краткий анализ данных только для двух сетей из МГА-зон, с целью их сравнения с треками, состоящими из таких же зон в заповеднике «Вишерский».

Анализ линеаментов и треков из МГА-зон

На исследуемой территории в заповеднике и её обрамлении общей площадью порядка 300 км² было проведено детальное (масштаб 1:25 000) геоструктурное и геоиндикационное дешифрирование космических снимков. Выделенные прямолинейные линеаменты по геологическим признакам достаточно уверенно диагностируются как осевые зоны трещинно-разрывных структур. По протяженности линеаменты подразделены на 3 группы:

1. Зональные – протяженностью в 25–100 км.
2. Локальные – длиной 5–25 км.
3. Короткие – длиной менее 5 км.

Значительная часть исследуемой территории характеризуется повышенными и высокими значениями плотности линеаментов в диапазоне от 0.9 до 2.1 км/км². По нашим наблюдениям, это соответствует значительной и повышенной геодинамической (и неотектонической) активности. Две самые крупные зоны с очень высокой геодинамической активностью, более 2.1 км/км², отмечаются в южной части исследуемой площади.

Согласно нашим исследованиям, площадные мобильные геодинамические активные зоны следует рассматривать как весьма проницаемые и благоприятные для вертикальной и латеральной миграции жидких и газообразных глубинных флюидов [2]. В таких зонах на поверхность земли и в водную экосистему р. Вишера могут мигрировать такие токсические соединения, как NH₄, SO₂, H₂S, CO, CO₂, NO₂, Rn и солевые растворы различных микроэлементов, в том числе солей тяжелых металлов. Как следствие, в таких местах могут возникать очаги агрессивного воздействия на экосистему заповедника.

На космических снимках выделяются два основных направления линеаментов. Наиболее четко на космоснимках выражена сеть северо-западных и северо-восточных линеаментов, реже отмечаются линеаменты меридионального и широтного направления. На отдельных участках долины р. Вишера была отмечена заметная концентрация линеаментов с образованием зон сгущения. В двух таких местах как раз и были заложены треки 1, 2, 3 и треки 4, 5 (рис. 1).

Треки имеют длину 95–124 м с последовательным соединением идущих в одном направлении МГА-зон, имеющих диаметры 8.0 м. Треки планировалось заложить перпендикулярно линеаментам, и для трека 1 и 3 это удалось. В других случаях их направление пришлось изменить на 90° и взять за основу уже поперечные связи между МГА-зонами. Это было вызвано чисто техническими трудностями прокладки треков по захламленной и заболоченной территории и, зная ячеистую структуру такой сети в целом [9], мы сознательно изменяли направление треков в таких местах.

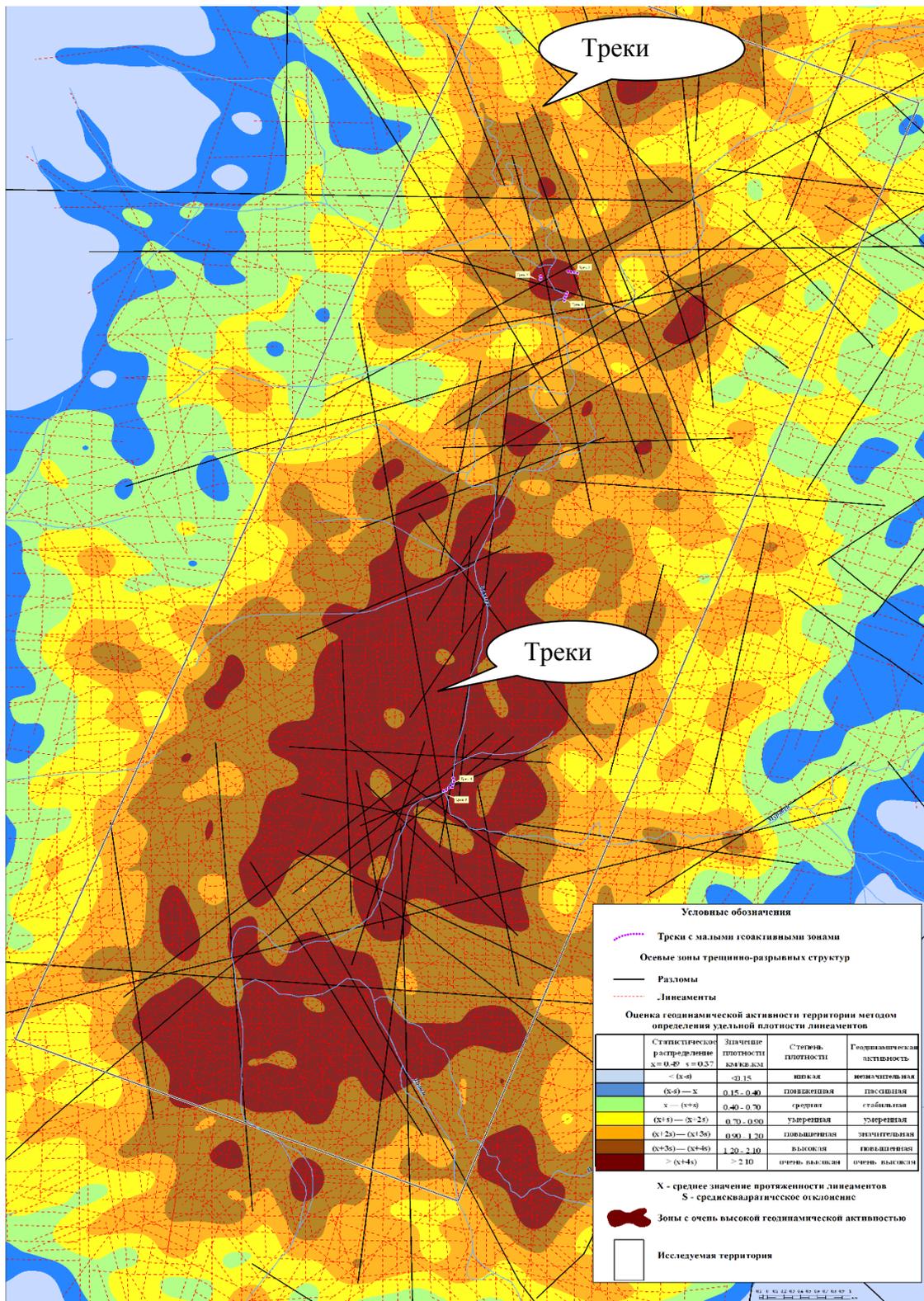


Рис. 1. Трещинно-разрывные структуры и их плотность в районе реки Лопья (треки 1, 2, 3) и ручья Муравей (треки 4, 5)

Вначале рассмотрим треки 1–3 и картину линеаментов вблизи них (рис. 2).



Рис. 2. Треки 1–3 на р. Лопья: красные линии – локальные линеаменты длиной до 25 км, светло-розовые – зональные протяженностью 25–100 км

Трек 1 заложен на частично затапливаемой в половодье поляне, почти под прямым углом к ближнему линеаменту. Цепочка из зон 1.0 м в целом ориентирована в том же направлении, как и трек из зон 8 м.

Трек 2 заложен на ручье, который мы назвали «ручей Рыжий» перпендикулярно к нему. Ручей имеет быстрое течение, каменистое дно и бурую окраску дна, покрытого водорослями. Этим он резко отличается от дна р. Лопья и р. Вишера с чистой галькой почти без водорослей. Ручей берет начало в 0.7 км к северу от линии трека 2 и бежит на ЮЗ практически прямо. При пересечении с треком 2 он меняет направление на ЮЮВ, опять бежит прямо 260 м и впадает в озеро длиной 120 м и шириной 20–25 м. Озеро плавно изгибается на восток и через 110 м соединяется с другим озером такой же ширины и чуть большей длины. В это второе озеро, судя по детальному космоснимку, впадает еще один ручей, более короткий; его длина всего 250 м, а направление совпадает с направлением ручья Рыжий. Возможно, этот второй ручей еще более уникален и протекает по депрессии рельефа, так как в его долине имеется до шести (!) озерных образований. Исходя из малой протяженности ручьев, значительных расходов и низкой температуры воды наиболее вероятно, что в истоках указанных ручьев расположены высокодебитные восходящие карстовые источники типа «Воклюз» (рис. 2).

Направление трека 2 оказалось почти параллельно двум линеаментам меридионального направления; однако там проходит еще и третий линеамент северо-восточной ориентации, и по отношению к нему трек 2 оказался уже не

сопряжен. Пока неясно, какой из этих трех зональных линеаментов сильнее влияет на его ориентацию, так как длина трека небольшая.

Трек 3 заложен по азимуту 38°СЗ от разлома северо-восточного направления, почти перпендикулярно к нему. Здесь наблюдается явная депрессия рельефа, которая опознается по отсутствию течения в ручье на протяжении 150 м. Этот ручей мы назвали «ручей Стоячий». Отсутствие течения в нем было полной неожиданностью для нас, так как ручей имеет крутые берега высотой до 2 м и ширину 4 м, где растет 140-летнее насаждение высотой 24 м и полнотой 0.3 из кедра, ели, пихты и березы. Трек плавно изгибается и его направление – $28\text{--}38^{\circ}\text{СЗ}$ переходит в $3\text{--}5^{\circ}\text{СЗ}$ и далее он трассируется до р. Лопья. Конфигурация трека повторяет плавную дугу ручья Стоячий протяженностью 350 м, которая видна в 120 м к западу от трека и поэтому форма трека в виде серпа может быть обусловлена проявлением кольцевой морфоструктуры с поперечником около 170 м. В то же время трек отходит под углом около 90° по отношению к упомянутому линеаменту северо-восточной ориентации (рис. 2).

Треки 4 и 5 заложены вблизи устья ручья Муравей (рис. 3).

Для треков 4 и 5 имеет место почти идеальное сопряжение с трещинно-разрывными структурами зонального уровня, проходящими в непосредственной близости от них, по которым формирует русло р. Вишера.

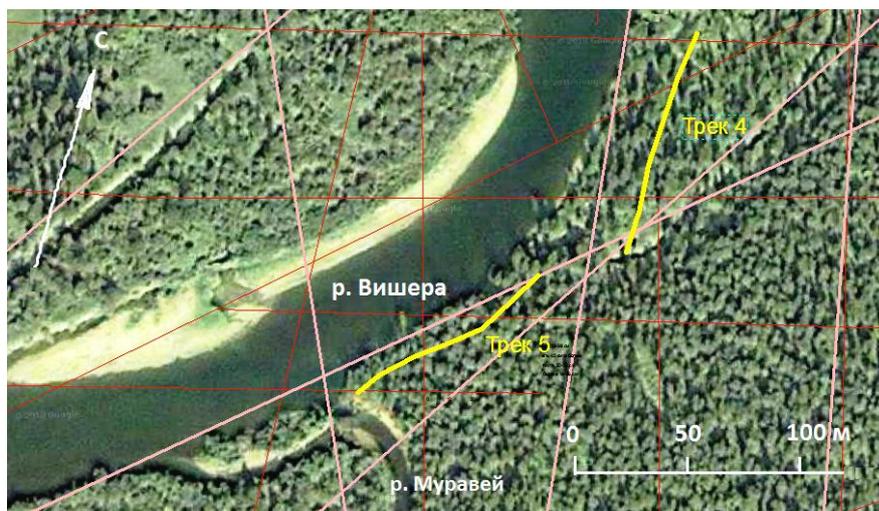


Рис. 3. Треки 4 и 5 вблизи р. Муравей: красные линии – локальные линеаменты длиной до 25 км, светло-розовые – зональные протяженностью 25–100 км

Таким образом, направления треков из малых геоактивных зон в 4-х случаях из 5 оказались либо квазипараллельными, либо ориентированы под углом около 90° по отношению к ближним линеаментам зонального уровня, что полностью соответствует направлениям связей в структуре этой четырехугольной сети, состоящей из МГА-зон диаметром 8.0 м.

МГА-зоны, растительность и неотектоника

При исследовании мест, благоприятных для биоты, в экспедиции 2016 г. на р. Хальсория было обнаружено, что в подгольцовом поясе на высотах 500–

750 м индикатором таких благоприятных мест могут служить не только крупные деревья, о которых мы уже писали [10], но также и биогруппы из деревьев и, неожиданно для нас, кольцевые образования из некоторых видов многолетних растений, в частности, папоротника (рис. 4, 5).

Такие кольцевые фитоструктуры были приурочены к благоприятным геоактивным зонам с диаметрами 1.0 и 3.0 м и находились на открытых местах и прогалинах. Они встретились нам впервые именно в лесах заповедника «Вишерский» – на восточном склоне хребта Лопьинский Камень и на северном склоне г. Мунин-Тумп, где были обнаружены также и кольца из чемерицы.

В следующей экспедиции мы работали в долинах рек и таких кольцевых образований у растений не нашли; скорее всего, они встречаются преимущественно в подгольцовом поясе, где условия более жесткие, а почвы маломощные и где подпитка энергией МГА-зон позволяет растениям обладать повышенным виталитетом.

В ботанике подобные образования называются «круговины». Считается, что это особенности морфологии некоторых злаков, и причины их образования не указываются [3]. На наш взгляд, этот термин для обнаруженных нами фитоструктур не подходит, так как «круговина» – это площадь, а мы наблюдаем кольцо, т.е. некий замкнутый пояс из растений.

В полевой сезон 2018 г. мы изучали только два типа малых геоактивных зон с благоприятным действием на биоту, с диаметрами 8.0 м и 1.0 м. Причем из-за ограничений во времени изучали лишь фрагменты их сетей в виде треков.



Рис. 4. Биогруппа из ели, кедрa и пихты, расположенная на трех малых геоактивных зонах с диаметрами 1.0, 3.0 и 16.0 м



Рис. 5. Кольцо из стеблей папоротника диаметром 60 см в период развертывания листьев на МГА-зоне диаметром 1.0 м

Их анализ показал, что цепочка из МГА-зон 1.0 м повторяет в целом общее направление трека из зон 8.0 м, и лишь в единичных случаях направления связей между ними различаются на 15–30°, поэтому можно полагать, что их ориентация взаимосвязана достаточно сильно (рис. 6).

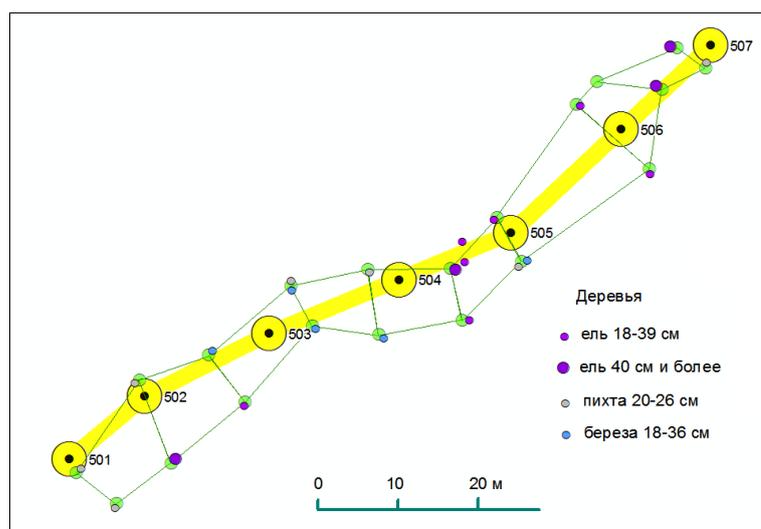


Рис. 6. Трек 5 в районе ручья Муравей с малыми геоактивными зонами диаметром 8.0 и 1.0 м и деревьями ели, пихты и березы на них

Анализ цепочки из МГА-зон 1.0 м диапазона показал, что из 23-х деревьев 21 дерево или 91% от общего их числа находились прямо на них, т. е. такие зоны являются фактором, формирующим горизонтальную структуру насаждения. Ранее, в подзоне южной тайги Пермского края было установлено, что деревья растут на них достоверно лучше, чем на нейтральных местах без таких зон [9, 10], что и подтвердилось на треке 5. Была обнаружена и еще одна особенность структуры сетей из МГА-зон. На рис. 6 видно, что цепочка из зон 1.0 м как бы «обвивает» трек из зон 8.0 м. На треке 1 совпадение было похожим. Такое совпадение ориентации сетей из МГА-зон, обнаруженное в заповеднике, оказалось своего рода феноменом.

Дело в том, что в других местах Пермского края такого совпадения не наблюдалось. Ориентация сетей из МГА-зон была изучена нами ранее в Ильинском районе, а затем вблизи г. Перми на песчаной террасе в долине р. Кама, в сосновом древостое, имеющем возраст 184 года. Схема сетей на этой площади, которая названа «участок Сосновый бор» показана ниже (рис. 7).

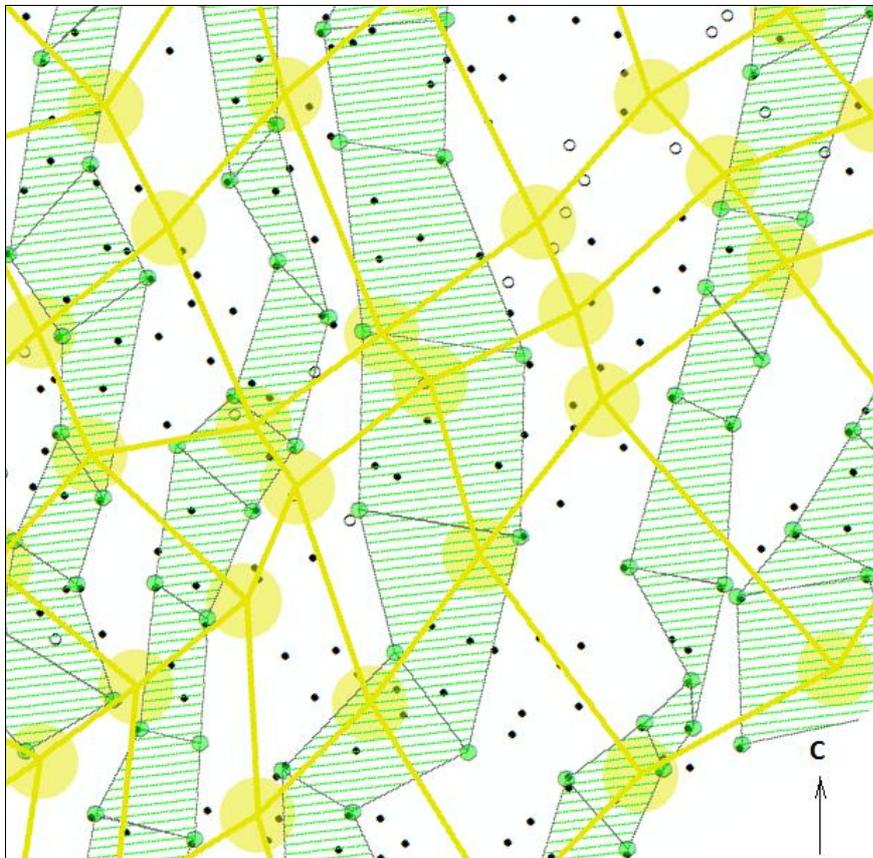


Рис.7. Участок «Сосновый бор» с биолокацией сетей, образованных МГА-зонами двух типов (1.0 м диапазона (зеленые кружки и полосы) и диапазона 8.0 м (желтые кружки и линии). Черные точки – живые, овалы - вываленные деревья сосны. Территория вблизи г. Перми в долине р. Кама, координаты центра N58°00'45.1'' E55°52'44.3''. Размеры показанной территории 75×75 м)

Вполне очевидно, что цепи (полосы) из зон 1.0 имеют здесь четко выраженное северное направление, а сети из зон 8.0 м – северо-восточное, с различиями в их ориентации от 30 до 50°. Похожая картина имела место и в Ильинском районе, в 4 км к северу от п. Васильевское (70 км от г. Перми в северо-западном направлении), где мы проводили детальное картирование таких зон в 2010 г. на площади 0.62 га [9, с. 89, с. 91].

Чем вызвано такое несовпадение направлений изучаемых сетей пока неясно, но различия с территорией заповедника «Вишерский» весьма значительны, и это требует дополнительного изучения. Пока же вполне очевидно, что вблизи г. Пермь их ориентация не совпадает совершенно, в отличие от совпадения их общего направления в заповеднике «Вишерский».

Оба участка находятся в региональных зонах повышенной геодинамической активности с локальными участками пониженной активности. Вполне возможно, что различия в ориентации МГА-зон обусловлены

мозаичной структурой геодинамического поля и влиянием региональных и зональных линеаментов [7]. В заповеднике главными являются региональные линеаменты и они имеют меридиональное («уральское») направление, а зональные направлены по диагонали к ним. Однако вблизи г. Перми (особенно на западе) – наоборот, главной является диагональная система, а ортогональная система имеет подчиненное значение (рис. 8, 9).

При этом по долине р. Камы проходит один из крупнейших региональных тектонических разломов северо-восточного направления, установленный по геофизическим данным. С его направлением совпадает сеть МГА-зон 8.0 м диапазона, также ориентированная на северо-восток (см. рис. 7). Между тем на ориентацию цепей (широких полос) из МГА-зон 1.0 м диапазона здесь могут оказывать влияние локальные линеаменты уже меридионального направления (см. рис. 8, 9, 10).

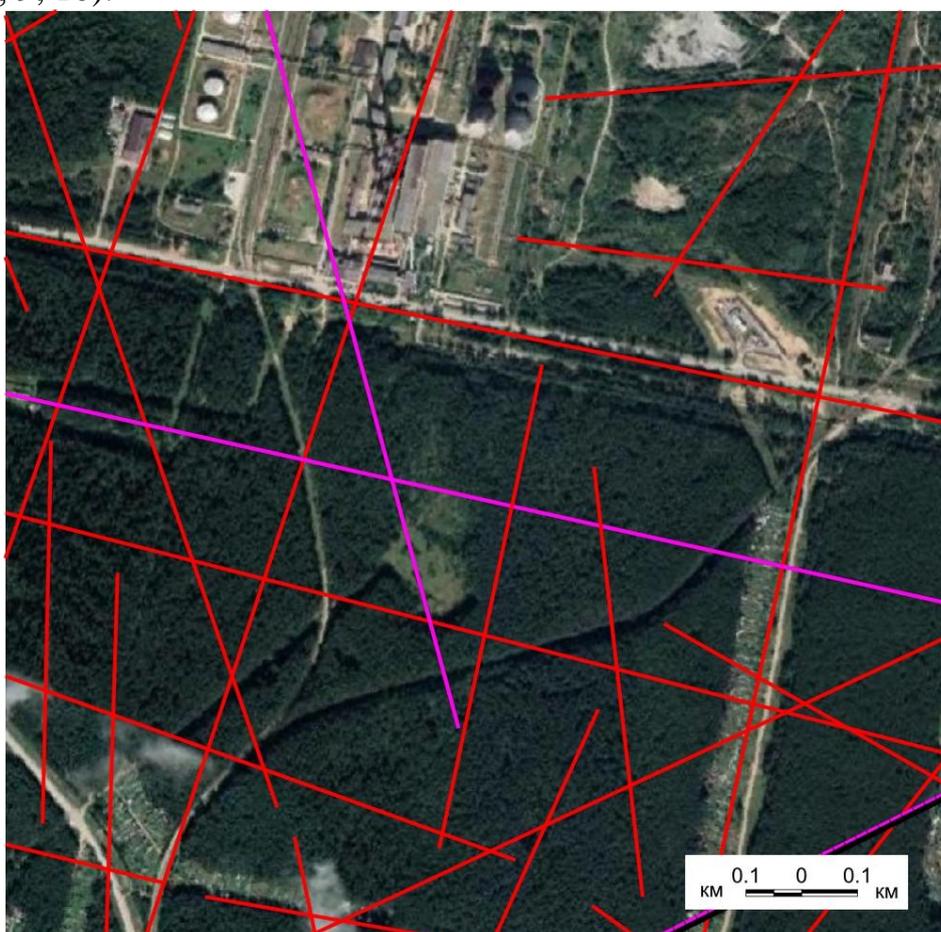


Рис. 8. Неотектонические линеаменты на участке «Сосновый бор»

Обсуждение результатов

Полученные результаты весьма ограничены, а их объем, по сути, ничтожен в сравнении с безграничным объемом возможных вариаций расположения малых геоактивных зон и мозаики ячеек их сетей. Поэтому в данной статье мы скорее поставили новые вопросы, чем дали ответы.

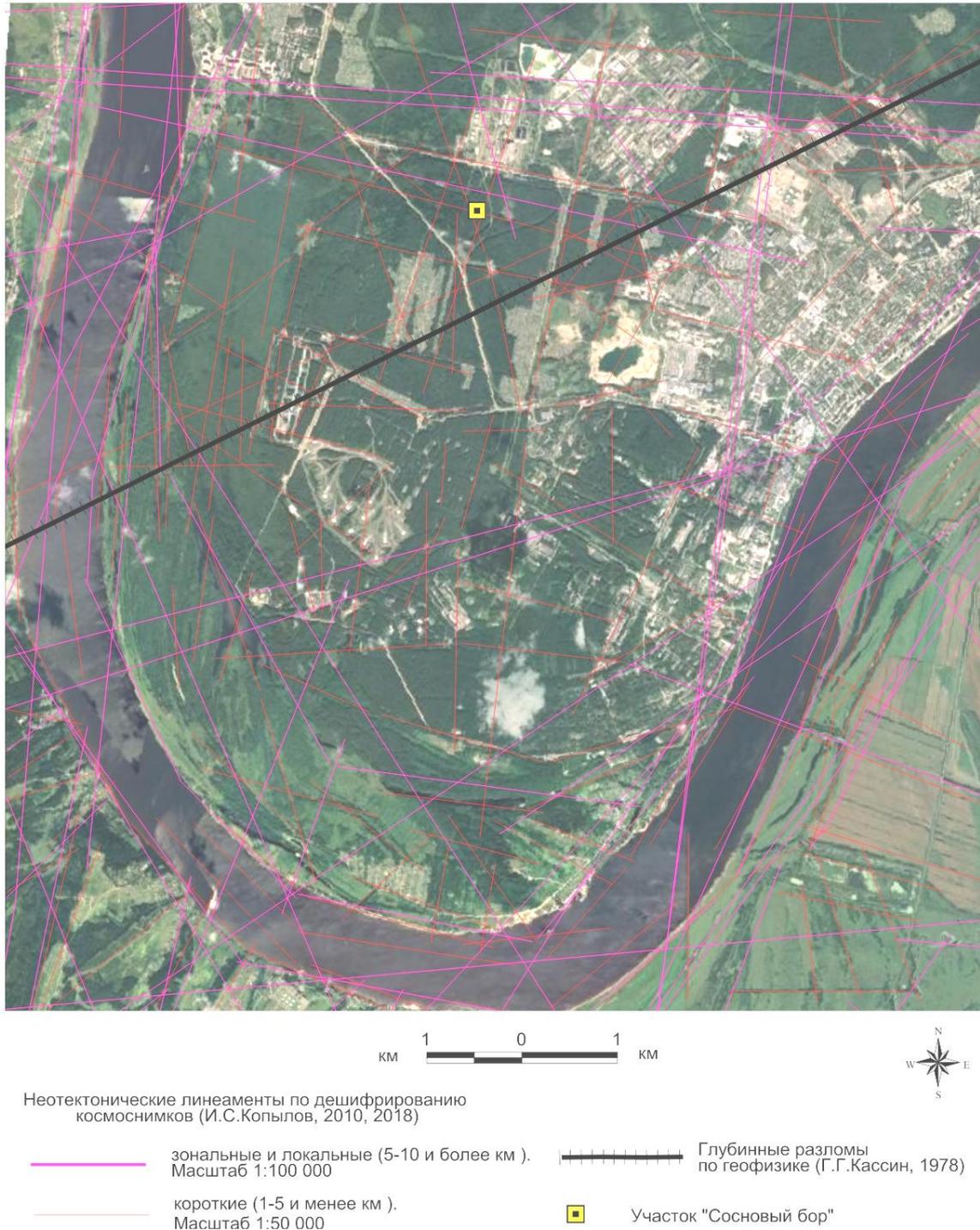


Рис. 9. Трещинно-разрывные структуры на северо-западе г. Перми

Резюмируя изложенное выше, можно обозначить перспективы дальнейших исследований, которые должны быть, безусловно, более обширными. Вполне очевидно, что необходимо увеличить длину треков в 2–4 раза с тем, чтобы получить достаточные выборки расстояний между зонами и рассчитать их статистики. Тогда можно будет найти отклонения направлений трека и рассчитать их корреляцию с направлением ближнего линеаменты. Для этого нужны выборки из 30–40 значений на один трек.

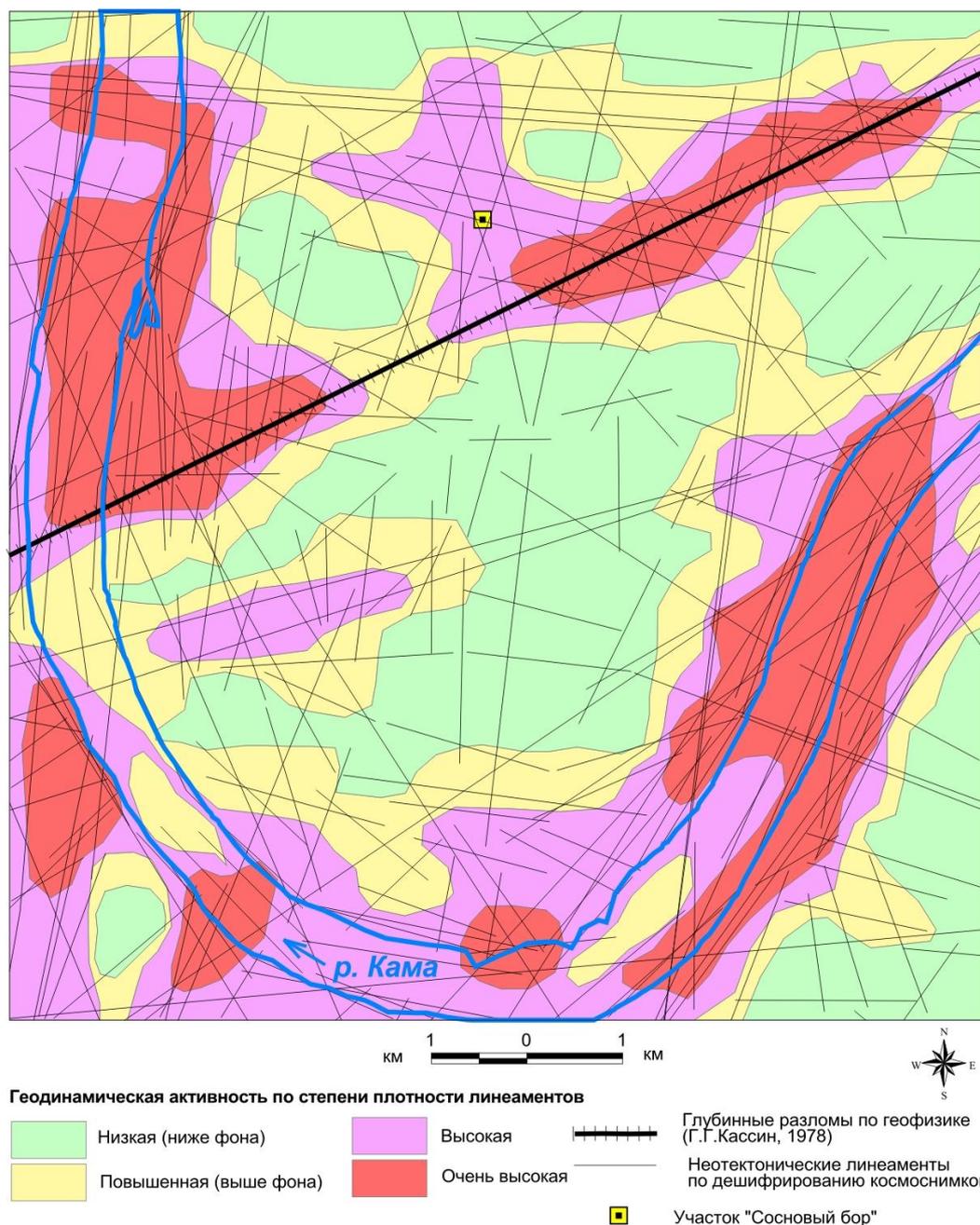


Рис. 10. Геодинамическая активность (по плотности линеаментов) на северо-западе г. Перми.

Однако даже имеющийся материал весьма неожиданно для нас позволил выявить целый ряд закономерностей. Так, выбор ключевых точек в местах высокой геодинамической активности в заповеднике «Вишерский» позволил установить явное сопряжение треков, состоящих из малых геоактивных зон, с направлением линеаментов. Сопряжение трека было близко к параллельному, либо он занимал промежуточное положение между двумя близкими линеаментами. Если же трек закладывали поперек линеамента, то его направление было в пределах $75\text{--}90^\circ$. Такое сопряжение в заповеднике «Вишерский» было найдено для четырех треков из пяти, т.е. в 80% случаев, причем одновременно для двух типов сетей из МГА-зон 8.0 и 1.0 м диапазонов.

В районе г. Перми и его окрестностях такое сопряжение наблюдается отдельно для каждого типа сетей: для сети МГА-зон диапазона 8.0 м оно совпадает с главной диагональной системой линеаментов, а подчиненная ей ортогональная система линеаментов ориентирует полосы-цепи, состоящие из МГА-зон диапазона 1.0 м.

Иерархия малых геоактивных зон включает в себя до 10, а возможно, и более типов (благоприятных и неблагоприятных), с размерностью от долей метра до десятков метров [9], которая в целом близка к ряду из чисел Фибоначчи (таблица 1).

Таблица 1

Ряд чисел Фибоначчи и диаметры малых геоактивных зон (МГА-зон)

Ряд чисел Фибоначчи	0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55
Диаметры МГА-зон, м	0,3	1	1	2	3	4,5	8	16	нет	32	55
в том числе: благоприятных, м		1			3	4,5	8	16		32	55
неблагоприятных (Хартмана и Курри), м	0,3		1	2							

Через этот ряд проявляет себя универсальная «Золотая пропорция», которой подчинены буквально все природные системы и их фрактальность (самоподобие), включая развитие галактик. В ряде Фибоначчи отношение старшего числа к младшему, начиная от чисел 13 и 21, стремится к значению, с округлением равному 1.62. «Золотая пропорция» представляет собой фундаментальную константу, но константу не явную, а глубоко скрытую от поверхностных наблюдений. Она лежит в основе многих структур биоты, является геометрическим выражением жизни и не довлеет над другими пропорциями, а присутствует вместе с ними [16-18].

Диаметры малых геоактивных зон примерно соответствуют числовой последовательности ряда чисел Фибоначчи, за исключением МГА-зон диапазона 21 м, которые, возможно, пока временно не фиксируются из-за их пониженной активности, редкой встречаемости или малой значимости для фитоструктур. Например, более крупные зоны с диаметрами 32 и 55 м встречаются через десятки и сотни метров, тогда как самые малые расположены через 3–7 метров; кроме того, чисто практический интерес представляют действительно малые зоны диапазона от 1 до 8 м, на которые деревья достоверно реагируют, тогда как на зонах 16 м и более мы встречали пока только самые крупные деревья кедра сибирского [10].

Изложенное, помимо полной лигитимации биолокационного метода, позволяет выйти на совершенно новый уровень исследований, где будет учтено глобальное строение природных систем, подчиняющихся законам «Золотой пропорции». Есть основания полагать, что зафиксированные нами кольцевые фитоструктуры из стеблей чемерицы и папоротника (см. рис. 5) являются

фрагментом правой «Спирали Фибоначчи» при ее зарождении в биоте. Это позволяет, с учетом фрактальности природных структур, предполагать наличие подобных кольцевых образований и в структуре древостоев, где они будут взаимодействовать с более простыми линейными и иными структурами, образовавшимися под влиянием МГА-зон. Эта идея подразумевает дальнейшее совершенствование методики и интерпретации эффектов МГА-зон.

Выводы

1. Установлена связь между геодинамической активностью территории и расположением деревьев, их биогрупп и структур некоторых многолетних травянистых растений. Связь опосредована через их размещение на малых геоактивных зонах (МГА-зонах), двух типов, благоприятных для биоты и имеющих диаметр 1.0 и 8.0 м.

2. МГА-зоны указанных двух типов образуют сети и в заповеднике их ориентация совпадает, однако вблизи г. Перми ориентация линий этих сетей отличается на 30–70°. Различия в ориентации этих сетей обнаружены впервые; по-видимому, они обусловлены разным направлением линеаментов зонального уровня, которое в заповеднике «Вишерский» в основном меридиональное, а вблизи г. Пермь диагональное.

3. Обнаружено сопряжение МГА-зон диапазона 8.0 м с направлением главных региональных линеаментов, тогда ориентацию сети из МГА-зон диапазона 1.0 м определяет, по-видимому, направление подчиненных линеаментов меньшей протяженности.

4. Впервые установлено, что диаметры малых геоактивных зон примерно соответствуют числовой последовательности ряда чисел Фибоначчи, за исключением МГА-зон диапазона 21 м, которые не фиксируются, возможно, из-за их слабого влияния на биоту или редкой встречаемости.

Благодарности. Авторы благодарят директора заповедника «Вишерский» Павла Николаевича Бахарева за помощь в проведении научных исследований на стыке геологии, ботаники и лесоведения.

Библиографический список

1. Азбалин Ю.Г. Глобальная энергетическая сеть Хартмана. Мифы и реальность // *Сознание и физическая реальность*. 2009. № 12. С. 14-20.

2. Быков Н.Я., Михалев В.В. и др. Неотектонические аспекты долины р. Кама в районе Камского, Воткинского и Нижнее-Камского водохранилищ по результатам аэрокосмогеологических исследований // *Материалы региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала»*. Пермь, 2007. С. 188-191.

3. Васильев А.Е., Воронин Н.С., Еленевский А.Г. и др. *Ботаника: Морфология и анатомия растений*. 2-е изд. / общ. ред. Т. И. Серебряковой. М.: Просвещение, 1988. 480 с.

4. Горелов А.М. *Биолокация и ее использование в изучении растений*. Киев: Фитосоциумцентр, 2007. 112 с.

5. Горелов А.М. *Эколого-морфологические основы концепции фитогенного поля*. Автореф. докт. дис. по специальности 03.00.05. – ботаника. Нац. ботанич. сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины. Киев, 2014. 39 с.

6. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
7. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
8. Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
9. Rogozin M.V. Лесные экосистемы и геобиологические сети. Пермь: ПГНИУ. 2016. 171 с.
10. Rogozin M.V. Локализация крупных деревьев в таежных древостоях и геоактивные зоны // *Бюллетень науки и практики. Электрон. журн.* 2016-б. №9 (10). С. 18-30.
11. Rogozin M.V., Копылов И.С., Красильников П.А. Биологический аспект геодинамических активных зон // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. Пермь, 2017. № 17. С. 223-227.
12. Rogozin M.V., Копылов И.С., Красильников П.А. Биолокация и био-геоактивные зоны // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность / Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры инженерной геологии и охраны недр Пермского университета. Пермский государственный национальный исследовательский университет*. 2018. С. 53-57.
13. Rogozin M.V. Михалев В.В., Рыбальченко А.Я., Копылов И.С. Оценка влияния неотектоники на лесные экосистемы и на ориентацию сетей из малых геоактивных зон // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. Пермь, 2019. Вып. 2(39). № 19. С.23-31.
14. Рыбальченко А.Я. Геологическая модель алмазонасных флюидизатно-эксплозивных структур уральского типа // *Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России. Новые результаты и перспективы. Т. IV*. Сыктывкар: Геопринт, 2000. С. 109-111.
15. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997. 368 с.
16. Чернов Н.Н. Биотектоника – методологическая основа изучения форм в живой природе. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 135 с.
17. Шевелев И.Ш. Метаязык живой природы. М.: Воскресенье, 2000. 352 с.
18. Назаров И.В. История и философия науки. Екатеринбург: УГЛТУ, 2

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ, РЕГИОНАЛЬНОЙ, ПОИСКОВОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

APPLICATION OF AEROSPHERIC METHODS FOR SOLVING THE
PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, REGIONAL, SEARCH
AND OIL AND GAS GEOLOGY

УДК550.81:553.98

А.В. Альметова

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА НЕФТЬ И ГАЗ СТРУКТУР НА ЗАПАДЕ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Проведена интерпретация современных спутниковых снимков на западе Соликамской впадины. Выполнена переинтерпретация аэрокосмогеологических материалов предшественников. Предложены новые нефтегазоперспективные участки на Северо-Шершневской площади.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, декодирование спутниковых изображений, линеаментный анализ, нефть.

A.V. Almetova

PermNIPIneft Branch of LUKOIL-ENGINEERING LLC in Perm

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS WHEN SEARCHING FOR OIL AND GAS-PERSPECTIVE STRUCTURES ON THE WEST OF SOLIKAMSKAYA DEPRESSION

The interpretation of modern satellite images in the west of the Solikamsk Depression was carried out. Reinterpretation of aerospace geological materials of predecessors was performed. New oil and gas promising areas on the North-Shershnevskaya area were proposed.

Keywords: aerospace methods, decoding of satellite images, lineament analysis, oil.

Аэрокосмические методы приобрели в настоящее время большое значение в решении многих геологических задач, в т.ч. – нефтегазопроисковых. Отличительными особенностями этих методов являются: высокая информативность, оперативность получения информации, возможность получения изображения различной степени генерализации (от глобальной до детальной), использование цифровых средств получения информации и

обработка данных в среде геоинформационных систем, а так же относительно низкая стоимость, которая позволяет сократить сроки и повысить результативность геологоразведочных работ [8, 13].

Целью данной работы является уточнение представлений о геологическом строении осадочного чехла в западной части Соликамской депрессии на Северо-Шершневской площади и выявление перспективных объектов для постановки поисковых работ на нефть и газ. Для этого был выполнен анализ и обобщение накопленной геолого-геофизической информации (по фондовым источникам); проведено дешифрирование современных космических снимков (КС); проведен комплексный аэрокосмогеологический анализ территории; выделены перспективные структуры, сопоставленные с имеющимися месторождениями нефти и газа и локальными поднятиями, выявленными ранее геолого-геофизическими и аэрокосмогеологическими методами [1].

Северо-Шершневская площадь (800 км²) расположена на участке границы Соликамской депрессии с Висимской впадиной. Интервал мощности литосферы около 240 км [2]. В верхней части осадочного чехла залегают нижнепермские карбонатно-терригенные породы соликамского и шешминского горизонтов уфимского яруса. На территории к настоящему времени открыты Шершнёвское, Северо-Юрчукское и имени Ю.Х.Архангельского месторождения нефти, последние два практически расположены за пределами рассматриваемой площади. Месторождения приурочены к структурам облекания верхнедевонских рифов, расположенных на западном краю Березниковского палеоплато. Нефтегазоносность приурочена к различным литолого-стратиграфическим комплексам – верхнедевонско-турнейский карбонатному, визейскому терригенному и визейско-башкирскому терригенно-карбонатному комплексам [10]. Глубокое бурение проводилось только на участках выявленных месторождений, структурно-колонковое бурение – только в центральной части.

В 2006 г. ООО «ПермНИПИнефть» (Н.Я.Быков и др., 2006ф) на данной площади были выполнены крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) в масштабе 1:50 000 (рис. 1а). Выявлена сеть прямолинейных линеаментов, отождествляемая с трещинно-разрывными структурами осадочного чехла. Выявлено 45 ландшафтных аномалий (ЛА), отобразивших известные и предполагаемые локальные поднятия осадочного чехла, связанные со структурами облекания позднедевонских рифов, с артинскими биогермами и с тектоническими складками. Однако необходимо отметить, что эти исследования проводились по старым технологиям с использованием черно-белых АФС не достаточно высокого качества. При проведении в дальнейшем анализа сейсморазведочных данных (А.С.Некрасов и др.) было отмечено практически полное совпадение данных сейсморазведки и АКГИ по горизонтам до уровня кунгурского яруса и отмечено не совпадение результатов этих исследований по более глубоким горизонтам.

В 2010 г. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком было проведено обобщение всех АКГИ Пермского края с доизучением в слабоизученных районах [4],

линеamentно-блоковый и линеamentно-геодинамический анализ, построена цифровая аэрокосмогеологическая карта масштаба 1:500 000-1:100 000 на основе дешифрирования современных (цифровых космических снимков).

Методологической основой выделения геодинамических активных зон является линеamentно-геодинамический анализ, методика которого изложена в работах И.С. Копылова [5-12], который проводился на основе изучения распределения плотности линеamentов по их протяженности на единицу площади. Линеamentы на КС выделялись по комплексу геологических, геоморфологических, гидрогеологических признаков: протяженные и спрямленные контакты пород, спрямленные участки русел рек и речных долин, коленообразные изгибы водотоков и овражно-балочный сети, цепочки родников, естественная смена растительности по прямой или близкой к ней линии, повышенная густота растительного покрова и т.д.

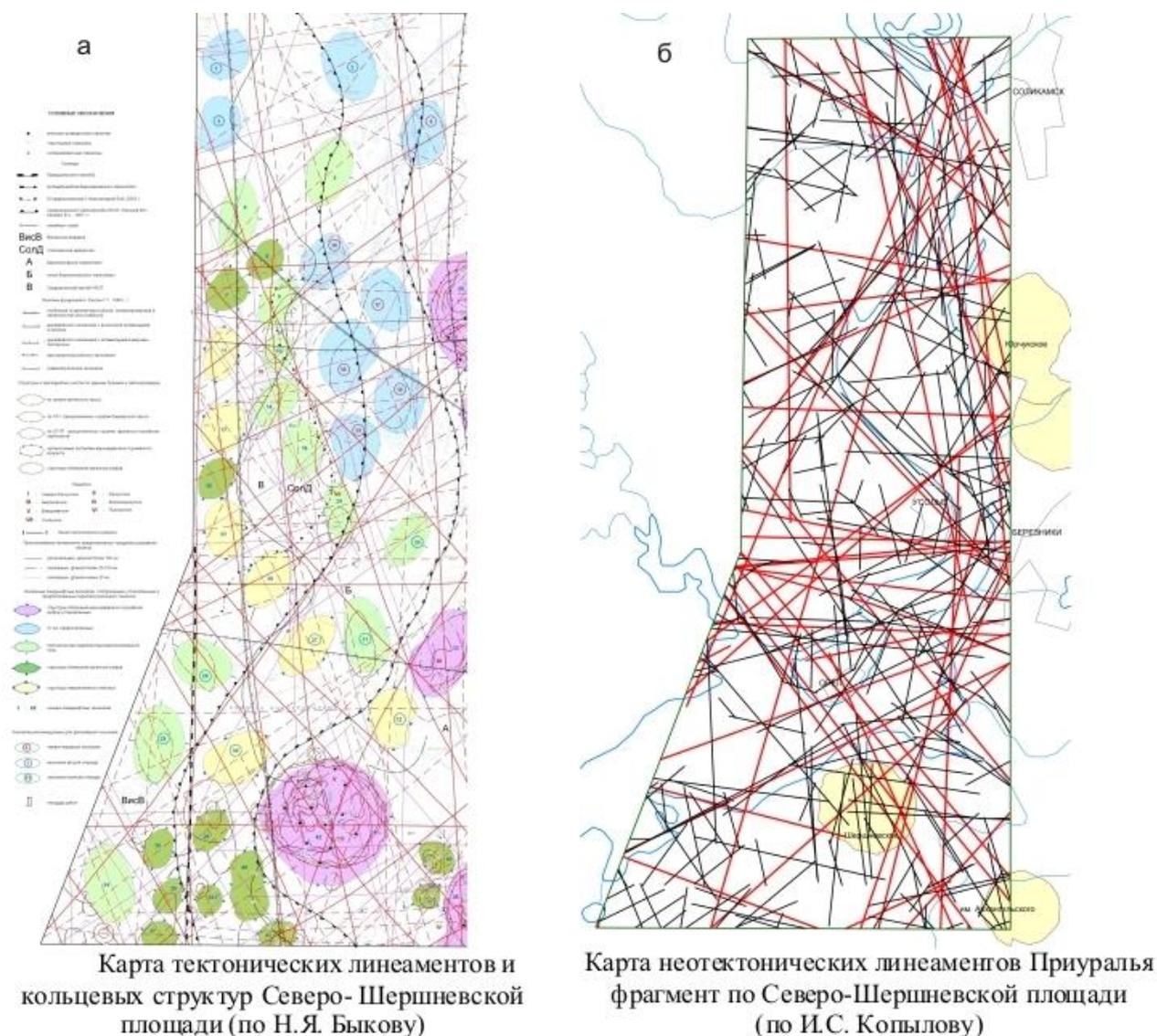


Рис. 1. Аэрокосмогеологическая изученность Северо-Шершневской площади

Для подтверждения геодинамических зон применяют структурно-геоморфологические, гидрогеологические, геохимические методы [3, 12, 14].

Обработка данных, построение карт проводились с использованием программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst.

По результатам дешифрирования цифровых спектральных космоснимков (Landsat, 2015 г.) Северо-Шершневак площади автором проведен линеаментный анализ в масштабе 1:100 000-1:50 000. Выделялись кольцевые структуры (ландшафтные аномалии) и геодинамические активные зоны [1].

Выделены прямолинейные линеаменты, отождествляемые с тектоническими нарушениями осадочного чехла. Всего выделено более 200 линеаментов, протяженностью 5-50 км. С учетом предшественников – более 500 линеаментов (рис. 2).

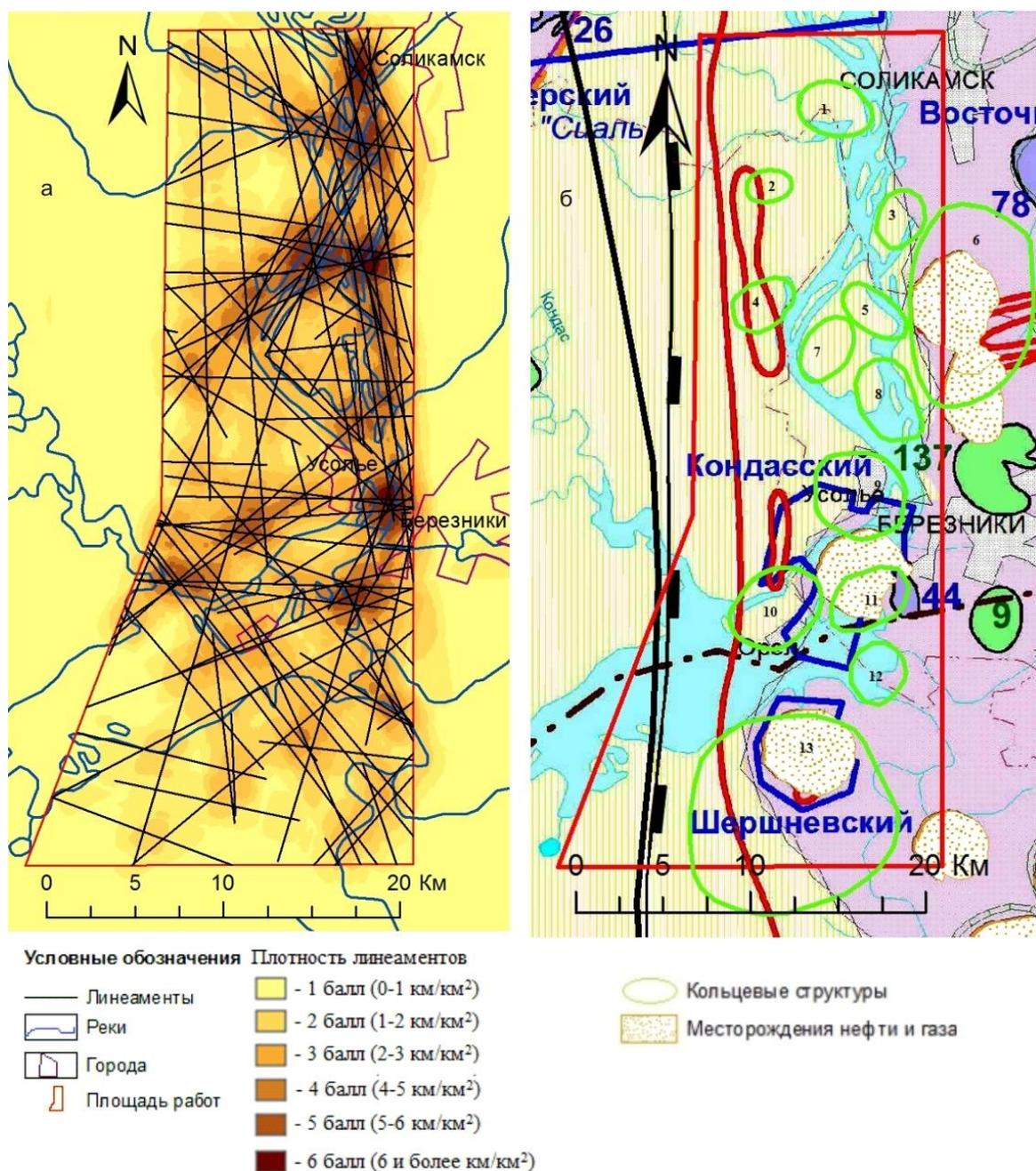


Рис. 2. Карта перспектив нефтегазоносности Северо-Шершневак площади по данным АКГИ (а – по плотности линеаментов, б – кольцевых структур, совмещенная со схемой расположения месторождений нефти [15])

Проведена обработка этих данных с построением карты геодинамической активности (по плотности линеаментов) Северо-Шершневской площади. Наиболее высокая геодинамическая активность установлена в центральной части площади (совпадает с геодинамической зоной предшественников) [1].

По ландшафтно-геодинамическому анализу, методика которого описана в книге [6] выделено 35 локальных кольцевых структур (ландшафтных аномалий). Отмечается, что они концентрируются в зонах средней, высокой и очень высокой плотности линеаментов. При этом, известные месторождения нефти расположены в аналогичных условиях. 17 ЛА пространственно совпадают с ландшафтными аномалиями предшественников (по Н.Я.Быкову, И.С.Копылову, В.З.Хурсику), другие совпадают нечетко или не совпадают. Все ЛА совпадают с известными локальными тектоническими поднятиями и рифовыми структурами (табл. 1).

Таблица 1

Оценка перспектив нефтегазоносности Северо-Шершневской площади по данным АКГИ

№ структуры	Месторождения УВ в пределах зоны	Структурно-тектоническое положение	Плотность линеаментов (баллы)	Совпадение с предшественниками	Рекомендация	Степень перспективности
1	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Повышенная (3-4 б.)	Не совпадает	Детальная гравиразведка	2
2	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Низкая (1-2 б.)	Не совпадает	Детальные АКГИ	3
3	–	ККСР внутр. прибор. зон, Березниковское палеоплато	Повышенная (3-4 б.)	Не совпадает	Детальная гравиразведка	2
4	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Повышенная (3-5 б.)	Совпадает	Детальная гравиразведка	2
5	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Умеренная (2-3б.)	Совпадает	Сейсморазведка	1
6	Юрчукское, Южно-Юрчук.	Березниковское палеоплато	Умеренная (2-3б.)	Совпадает		
7	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Умеренная (2-3 б)	Совпадает	Сейсморазведка	1
8	–	ККСР внутр. прибортовых зон	Повышенная (3-5 б.)	Совпадает	Сейсморазведка	1
9	–	ККСР внутр. прибор. зон, Березниковское палеоплато	Умеренная (2-3 б.)	Не совпадает	Сейсморазведка	1
10	–	ККСР внутр. прибор. зон, Березниковское палеоплато	Умеренная (2-3 б)	Совпадает	Сейсморазведка	1
11	Им. Сухарева	Березниковское палеоплато	Повышенная (3-5 б.)	Не совпадает		
12	–	Березниковское палеоплато	Умеренная (2-3 б.)	Совпадает	Сейсморазведка	1
13	Шершневское	Березниковское палеоплато	Умеренная (1-3 б.)	Совпадает		

На основании полученных результатов предлагается для проведения детальных геофизических исследований 3 участка – в северной (с 10 перспективными ЛА), в средней – (с 13 перспективными ЛА) и южной (с 12 перспективными ЛА) с детализацией района Шершневого месторождения [1].

Библиографический список

1. Альметова А.В. *Аэрокосмический анализ Соликамской депрессии на Северо-Шершневской площади // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Вып. 38. Пермь, 2018. С.106-109.*

2. 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.*

3. Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Копылов И.С. *Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности (Пермское Приуралье) // Геотектоника. 2008. № 6. С. 46-69.*

4. Копылов И.С. *Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). 70-81.*

5. 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.*

6. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.*

7. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*

8. 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.*

9. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*

10. 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.*

11. 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.*

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

13. *Космическая информация в геологии. Коллектив авторов. М.: Наука. 1985.*

14. Ликутков Е.Ю., Копылов И.С. *Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 4. С. 125-133.*

15. *Схема расположения месторождений нефти и перспективных структур Пермского края по состоянию на 01.01.2018г. Филиал «Лукойл-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в городе Перми.*

Д.Ю. Бельтюкова, А.В. Рзянина, Д.Г. Путин, А.С. Чирков
Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь,
Россия

ИЗУЧЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА Р. МАРАКАН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Проведено изучение территории долины р. Маракан с помощью 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, р. Маракан, Бодайбинский район, россыпное золото.

D.Yu. Beltyukova, A.V. Rzyanina, D.G. Putin, A.S. Chirkov
Perm State University, Perm, Russia

STUDYING OF THE DEPOSIT OF GOLD BY R. MARAKAN WITH APPLICATION OF AEROSPACE METHODS

In this work the interpretation of the Marakan valley is carried out using the aerospace method. 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, Marakan River, Bodaibo District, placer gold.

Введение

Бодайбинский район – «золотая столица Сибири». Долина р. Маракан, расположенная в центральной части данного района, известна крупнейшим месторождением россыпного золота.

Целью данной работы является изучение геологического строения, геоморфологии и выявления закономерностей распределения золота на месторождении р. Маракан. Исходя из цели, были поставлены следующие задачи: сбор геологических материалов по исследуемой территории; изучение притоков р. Маракан, как источников питания данной россыпи, с помощью аэрокосмического анализа; дешифрирование и выделение линеаментов и кольцевых структур; комплексный аэрокосмогеологический анализ территории.

Авторы проводили полевые геологические исследования в Бодайбинском районе в 2017-2018 гг.

Природно-геологические условия

В административном отношении золотоносные россыпи, приуроченные к долине р. Маракан, расположены в пределах территории Бодайбинского района Иркутской области в 160 км от административного центра г. Бодайбо (рис. 1). Месторождение находится в непосредственной близости от пос. Маракан, расположенном на левом берегу р. Бол. Патом. Район относится к центральной части Больше-Патомского нагорья, к зоне среднегорного умеренно расчлененного рельефа, который характеризуется обширными слабоволнистыми водоразделами и широкими долинами, выполненными мощной рыхлой толщей.



Рис. 1. Карта административного деления Иркутской области (Отдел геологии и лицензирования по Иркутской области, 2016 г.)

Бассейн р. Маракан располагается на стыке трех тектонических структур первого порядка – Бодайбинского, Мамского синклинориев и Чуйско-Нечерского антиклинория. На территории района развиты в разной степени метаморфизованные осадочные карбонатно-терригенные породы рифей-вендского возраста (рис. 2)

Положение района на стыке трех крупных структур обуславливает его сложное блоковое строение. Тектоническое районирование на структуры первого и второго порядков выглядит следующим образом: 1. Чуйско-Нечерский антиклинорий (Сахтачинский тектонический блок); 2. Мамский синклинорий (Патомская зона шовных складок, Патомская сложная антиклиналь); 3. Бодайбинский синклинорий (северо-западная часть Кадаликанской сложной антиклинали, западное центроклинальное замыкание Маракано-Тунгусской сложной синклинали). Для всех выделенных структур характера линейная складчатость и значительное разнообразие конкретных форм складок – наклонные, опрокинутые, симметричные. Наряду со складчатыми дислокациями, в районе широко развиты разрывные нарушения (рис.3).

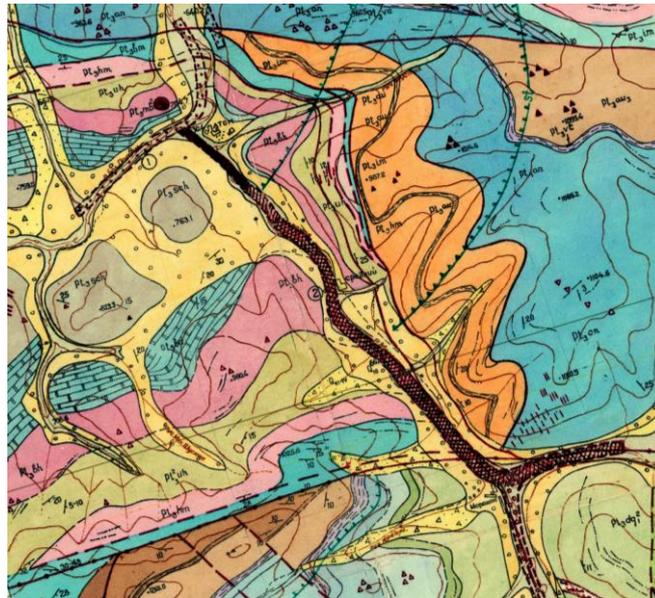


Рис. 2. Геологическая карта (масштаб 1: 100 000)

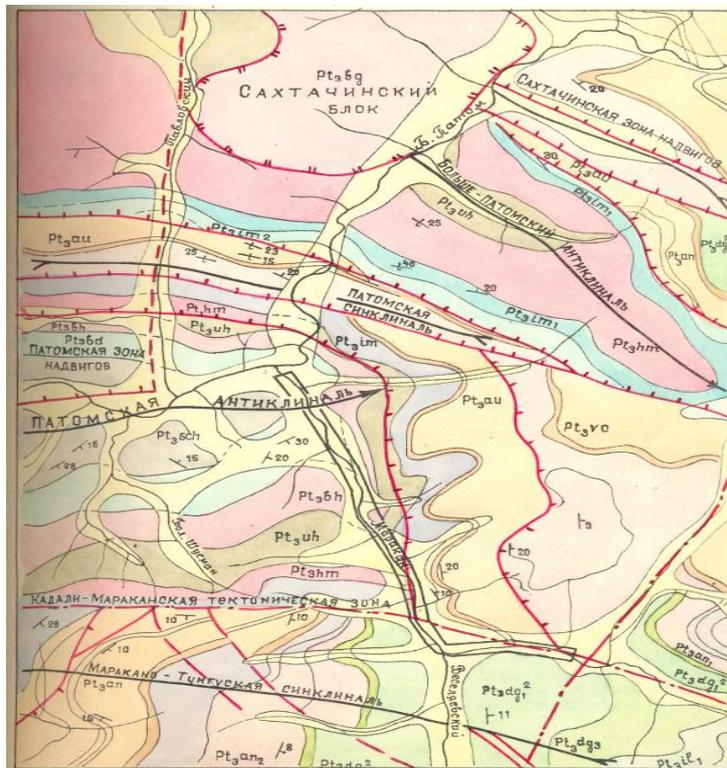


Рис. 3. Тектоническая схема Мараканского района (масштаб 1: 100000)

Методика и результаты исследований

Применялись аэрокосмические методы дистанционного зондирования – структурно-тектоническое и геоморфологическое дешифрирование и линеаментно-геодинамический и структурно-геоморфологический анализ [3-6, 9-11], которые позволяют изучать рельеф и новейший структурный план любой территории, устанавливать характер перестройки речной сети, изменения областей размыва и транспортировки обломочного материала, выявлять участки долин, где более всего вероятна концентрация полезного компонента, и

тем самым определять стратегию проведения наземных поисковых работ. Также применение этих методов эффективно при поисках аллювиальных россыпей, и, прежде всего, для выявления структурно-геоморфологического и неотектонического контроля мест возможного россыпеобразования [1, 7, 8].

Выполнено создание базы данных, состоящей из цифровых топографических карт масштаба 1:2500000 и 1:500 000 (ВСЕГЕИ) [2], геологических материалов, космоснимка из ресурса Google Earth (рис. 4).

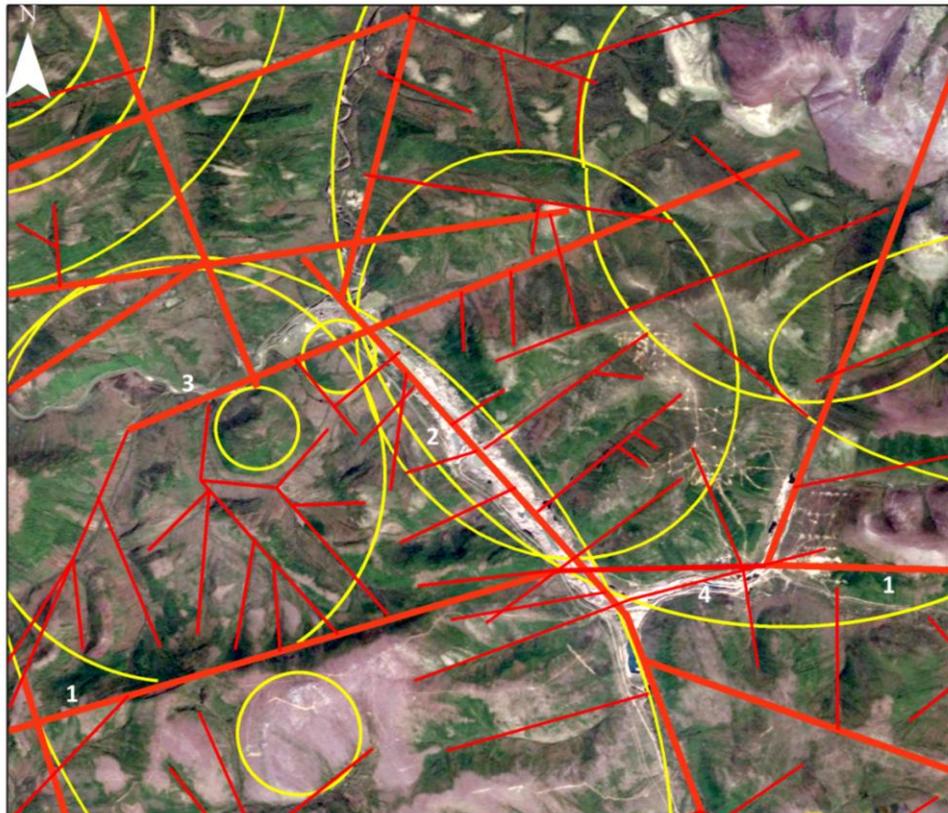


Рис. 4. Космоснимок исследуемой территории р. Маракан (масштаб 1:100 000)

Пространственная привязка осуществлялась следующим образом: топографическая карта масштаба 1:2500000 накладывалась на топографическую карту масштаба 1:500000 по гидросети через программу ArcMap; космоснимок привязывался аналогично по гидросети к топографической карте масштаба 1:500 000.

Структурно-тектоническое дешифрирование включало в себя визуальное выделение линеаментов и кольцевых структур на разных стадиях аэрокосмогеологических исследований (региональная, зонально-региональная, зональная, детальная) (рис. 5, табл.1).

Обработка данных, построение карт проводились с использованием программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst (для расчета плотности линеаментов) (рис. 6).



1:100 000

Условные обозначения

а) — б) — в) —

Тектонические зоны: 1 – Кадали-Мараканская; 2 – Мараканская; 3 – Патомская;
4 - Догалдынская взбросо-надвиговая

Рис. 5. Космоснимок с выделенными линеаменами (а, б) и кольцевыми структурами (в).

Таблица 1
Результаты дешифрирования космоснимков долины р. Маракан

Стадия работ	Ранги линеаментов	Масштаб дешифрирования	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Кольцевые и дугообразные структуры, км	Количество линеаментов, шт
Региональная	Зональные	1:500000	15-50	15 x 20 – 30 x 50	11
Зонально-региональная	Локальные	1:200000	5-15	5 x 8 – 10 x 15	23
Зональная	Короткие (1 порядка)	1:100000	1,5-5	1,0 x 2,0 – 1,5 x 2,0	53
Детальная	Короткие (2 порядка)	1:50000	<1,5	0,5 x 0,8 – 1,5 x 2,0	8
Итого					95

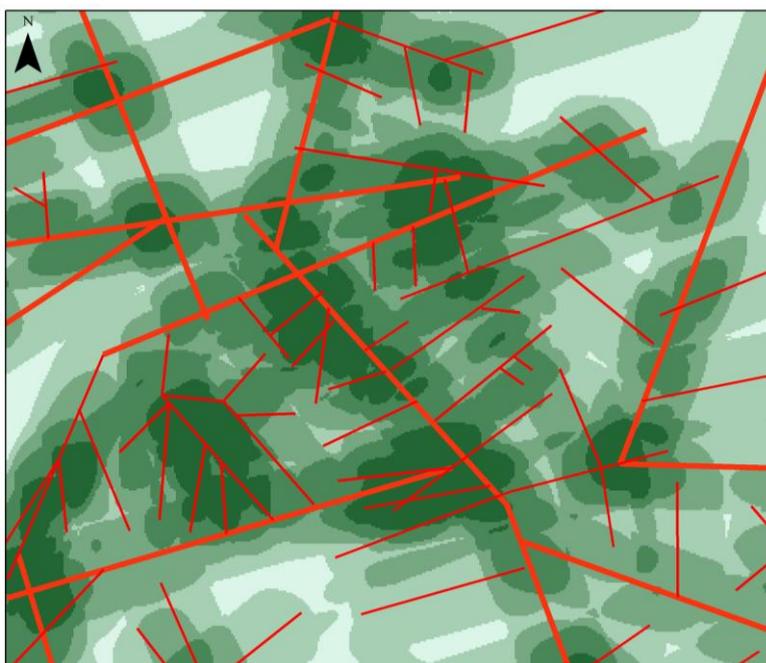


Рис. 6. Поле плотности линеаментов (масштаб 1: 100 000)

Визуально выделенные линеаменты совпадают с тектоническими зонами доскладчатых нарушений (разрывы фундамента), которые выделяются по гравитационным ступеням (зонам больших градиентов). В пределах района выделены две доскладчатые тектонические зоны – Кадали-Мараканская–субширотная и Мараканская – субмеридиональная. Кадали-Мараканская зона протягивается от верховья р. Шушкухан через субмеридиональный отрезок р. Маракан и далее до р. Жуи. По сопоставлению с геологической картой явно, что эта зона контролирует размещение немногочисленных проявлений интрузивных пород - биотитовых гранитов и даек кварцевых порфиров и гранит-порфиров.

Тектонические движения по зоне происходили и в последующий период. Результаты последующей активизации в пределах зоны в верхнем структурном ярусе картируются в виде соскладчатых надвигов. Кадали-Мараканская зона служит также границей неотектонических блоков. Соскладчатым нарушением является Патомская зона надвигов, выделенная на р. Бол. Патом и Маракан.

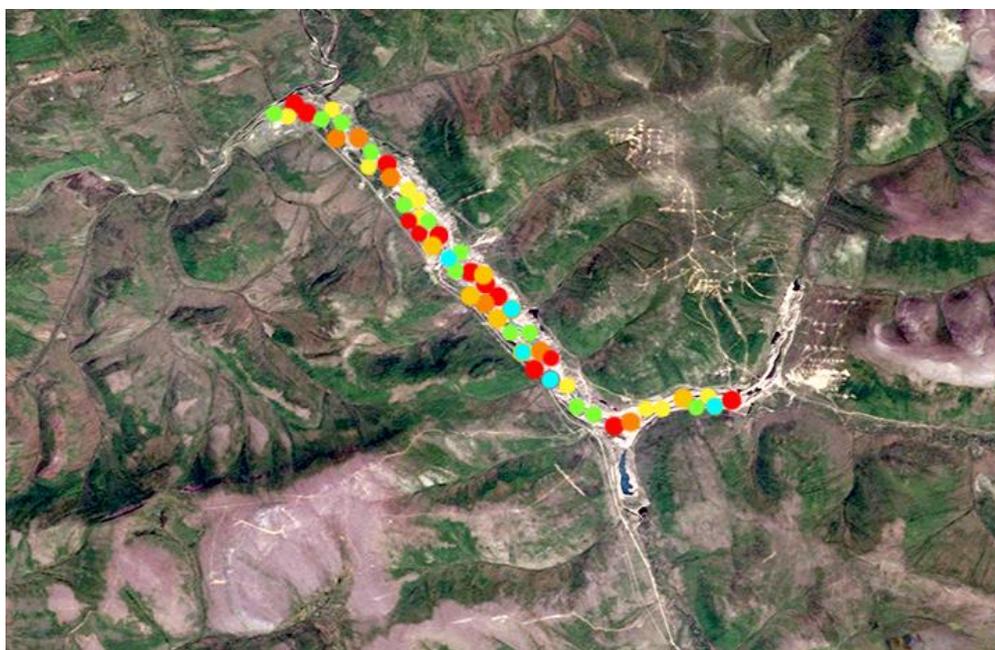
На правом берегу руч. Веселяевского в виде зоны осветленных пород установлен Догалдынский взбросо-надвиг.

Субмеридиональные нарушения считаются постскладчатыми, так как на соседних участках установлено, что они смещают субширотные нарушения. Как правило, по этим нарушениям закладываются долины речной сети.

Россыпи исследуемой территории приурочены к зонам сочленения длительно развивающихся крупных поднятий и прогибаний, разломного и флексурно-разрывного типа, к которым, в свою очередь, приурочена сульфидная и кварцевая золоторудная минерализация, что является подтверждением тектонической обстановки погребенных и современных россыпей золота.

На космоснимке с визуально выделенными линеаментами (рис. 5, 6) явно выражена разнонаправленность тектонических движений, за счет чего создавались условия для разрушения и размыва коренных источников, консервации древних россыпей, многократного переотложения материала, накопления материала в ловушках. По преобладанию рангов линеаментов можно судить, что данная россыпная группа месторождений находится в долине унаследованного развития. При поднятии территории россыпи занимали современные днища долин, при чередовании эпох врезания и аккумуляции – оказывались погребенными под современным днищем.

Определенную роль в питании Мараканской россыпи сыграл вынос золота из притоков, имеющих собственные источники питания – Ровный, Догалдын, Веселяевского, Среднего Маракана, Мустаха и других. Геоморфологические исследования р. Маракан и ее притоков направлены на выявление наиболее продуктивных элементов строения конусов выноса: участков максимальной разгрузки обломочного материала, линейных эрозионных форм, развитых в пределах пролювиальных конусов, а также выше и ниже по течению. По распределению среднего содержания золота на всей протяженности долины реки явно выражены некоторые закономерности, которые объясняются тем, что на пути транспортировки аллювия возникали ловушки, непосредственно связанные с разломами и зонами трещиноватости, локальными структурами, которые, в свою очередь, разрабатываются реками (рис. 7).



Условное распределение содержания золота

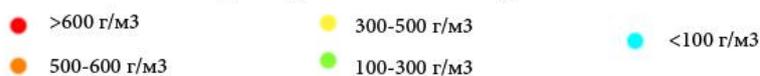


Рис. 7. Схема распределения среднего содержания золота

При комплексировании дешифрирования и плана распределения полезного компонента по месторождению было выявлено, что повышенные содержания золота отмечаются в смещениях и преломлениях русел водотоков, зонах изменения морфологии речной долины, разностях ширины, направления реки (рис. 8).



Рис. 8. Сопоставление геологической карты и схемы линейментов (масштаб 1: 100 000)

Заключение

Таким образом, основными направлениями использования аэрокосмических методов при изучении россыпи долины р. Маракан стали геолого-геоморфологические исследования. Основное внимание при изучении россыпи уделялось, прежде всего, разломам и локальным структурам, которые пересекаются реками. Сопоставление результатов дешифрирования с имеющимися геологическими данными позволяет проследить распределение содержания золота по месторождению.

Полученные результаты по изучению россыпи долины р. Маракан свидетельствуют о хороших перспективах поисков золота с применением аэрокосмических методов.

Библиографический список

1. Будилин Ю.С. и др. *Методика разведки россыпей золота и платиноидов*. М.: ЦНИГРИ, 1992.
2. *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского* // www.vsegei.ru
3. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья* // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
4. 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.
5. 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.
6. Копылов И.С., Ликуттов Е.Ю. *Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности* // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9-3. С. 602-606.
7. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России*. Пермь, 2015. 130 с.
8. Коробейников А.Ф. *Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых*. Учебник для вузов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 2-е издание, исправленное и дополненное. 253 с.
9. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. *Дистанционные методы геологического картирования*. Учебник. Москва, 2009. 288 с.
10. Ликуттов Е.Ю., Копылов И.С. *Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности* // *Вестник Тюменского государственного университета*. 2013. №4. С. 125-133.
11. Фёфелов М.В., Кирилин Д.С. *Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района* // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. / гл. ред. И.С. Копылов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т*. Пермь, 2016. С.243-248

УДК 551.24, 550.81

А.Н. Боталов, Д.Д. Кожанов, М.А. Бастракова, А.Е. Меркушев
Пермский государственный национальный исследовательский университет

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ (ЛИСТ О-40-XXII)

Проведено дешифрирование космоснимков на юго-востоке Пермского Приуралья (лист О-40-XXII) с применением линеаментно-геодинамического анализа. Описаны физико-географические и геологические условия территории. Показана методика проведения работ. Выявлено 67 линеаментов и 19 кольцевых структур. По результатам проведенных работ проведен анализ наиболее перспективных участков на нефть и газ.

Ключевые слова: аэрокосмические исследования, дешифрирование, линеаментный анализ, кольцевые структуры, нефть, газ.

A.N. Botalov, D.D. Kozhanov, M.A. Bastrakova, A.E. Merkushev
Perm State University

REGIONAL AIROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS IN THE SOUTHEAST OF THE PERM PRUIRAL (SHEET O-40-XXII)

Space images were interpreted in the south-east of the Perm Ural (sheet O-40-XXII) using lineament-geodynamic analysis. Physical-geographical and geological conditions of the territory are described. The technique of work is shown. It is revealed 67 lineaments and 19 ring structures. According to the results of the work carried out, the analysis of the most promising areas for oil and gas.

Keywords: aerospace research, interpretation, lineament analysis, ring structures, oil, gas.

Введение

Современная концепция проведения геологических исследований основывается на использовании значительных объёмов разнородной информации – геолого-геофизической, геохимической, дистанционной, ландшафтной и др.

Роль материалов дистанционного зондирования (МДЗ) как одного из видов информации в геологоразведочном процессе повышается в современных экономических условиях в силу тех обстоятельств, что они позволяют получить данные о геологическом строении одновременно на большие площади и с требуемой детальностью и обзорностью. Аэрокосмические методы в настоящее время занимают одно из ведущих ролей среди способов поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. Это связано с тем, что они могут дать информацию, которую трудно получить традиционными методами исследования. Аэрокосмические методы позволяют изучать мало исследованные и труднодоступные районы, получить информацию с высокой степенью достоверности и оперативности.

Высока значимость аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) и при поиске и разведке месторождений нефти и газа. Специфика использования МДЗ при поисках месторождений нефти и газа обусловлена тем, что нефтегазоносные территории представляют собой осадочные бассейны со слабодислоцированным чехлом большой мощности. Ловушки углеводородов приурочены, как правило, к глубоким горизонтам осадочного чехла и отражающиеся на поверхности через элементы и компоненты ландшафта [1, 5].

Территория на юго-востоке Пермского Приуралья (лист О-40-XXII) является интересным объектом, для проведения многоцелевых АКГИ: во-первых, в данном районе геологоразведочные работы на нефть и газ проводились не равномерно и требуют дополнительного уточнения. Во-вторых, разрез данной части платформы сложен карбонатными породами, с которыми связано не менее 40% мировых запасов каустобиолитов. Известняки и доломиты Волго-Уральской НПП, перекрытые кунгурскими эвапоритами, являются перспективным горизонтом для образования и сохранения нефтяных и газовых залежей. В-третьих, заказника территория охватывает площадь заказника «Предуралье» - перспективный район для размещения геопарка на среднем Урале. В-четвертых, выполнение линеаментно-геодинамического анализа на основе результатов проведенных дистанционных исследований имеет важное значение для оценки геологической безопасности городов и горно-промышленных районов с подработанными участками, районов магистральных газопроводов, которыми охвачена большая территория, районов карстовой опасности, где геодинамическая активность наиболее опасна.

Основная цель исследований: выявление в пределах территории прилегающей к заказнику «Предурале» (юго-западная часть листа О-40-XXII) зон активных геодинамических процессов, поиск перспективных структур для дальнейшего геолого-геохимического и геофизического изучения и установления их нефтегазоносности. В ходе изучения проблемы были поставлены и выполнены следующие задачи: изучение фондовой литературы по геологическому строению территории; проведение дешифрирования и выделение линеаментов и кольцевых структур; проведение пространственного аэрокосмогеологического анализа территории; выявление аномальных зон и перспективных структур; определение перспектив для дальнейшего комплексирования методов поиска и разведки нефти и газа.

Природно-геологические условия

В географическом отношении изучаемая территория находится в Пермском крае в пределах Кунгурского и Кишертского районов, занимает восточную часть Восточно-Европейской равнины.

Территория характеризуется умеренным континентальным климатом с тёплым или жарким летом и довольно холодной продолжительной зимой. Важнейшим климатообразующим фактором для данной территории является западный перенос воздушных масс. Определённую роль в формировании климата играют также такие факторы как снежный покров, растительность, водные объекты и почвенный покров. Самый холодный месяц – январь, средняя температура которого от -14°C . Средняя температура самого

тёплого месяца (июля) $+18^{\circ}\text{C}$. Абсолютные температурные минимумы составляют от -35°C до -40°C , а абсолютные максимумы от $+36$ до $+38^{\circ}\text{C}$. Среднее годовое количество осадков изменяется 410 – 450 мм. Большая часть осадков приходится на тёплую половину года. Максимальная высота снежного покрова отмечается в первой половине марта и составляет в среднем от 50-90 см. Развиты серые лесные почвы, местами оподзоленные чернозёмы (3,3 % от общей площади).

Гидросеть развита не сильно, главной рекой река Сылва и её притоки, наиболее крупные из которых – Ирень, Таз, Шаква и Барда и др.

Рельеф представляет собой холмистую равнину, расчленённую многочисленными речными долинами, с абсолютными отметками 200-400 м на водоразделах и 100-150 м в поймах рек. Наиболее крупной формой рельефа является Сылвенский кряж, занимающий междуречное пространство р. Ирени, р. Сылвы и р. Иргины. Кряж является северным окончанием приподнятой эрозионной – аккумулятивной равнины Уфимского плато, большая часть которого располагается южнее на территории Башкирии и частично Свердловской области. Максимальная высота Сылвенского кряжа в пределах района составляет 363 м. Наличие вблизи от поверхности легко растворимых в воде горных пород – известняков, доломитов, гипсов и ангидридов - обусловило широкое развитие проявлений карста. Особенно сильно карстовые процессы проявляются в районе р. Сылва. Поля карстовых воронок хорошо развиты в Кунгурском районе. В целом же рельеф возвышенностей платообразный и лишь местами всхолмленный. Эрозионное расчленение довольно глубокое, но густота речной сети малая из-за карстовых процессов. Средние высотные отметки плато от 260 метров до 370 м [2].

В тектоническом плане территория расположена на восточной окраине Волго-Уральской антеклизы Русской плиты Восточно-Европейской платформы, на ее контакте с Предуральским краевым прогибом. Земная кора характеризуется на этом участке двухъярусным тектоническим строением и состоит из кристаллического архейско-нижнепротерозойского фундамента и резко несогласно перекрывающего его платформенного чехла. В вещественных комплексах фундамента преобладают пироксеновые кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты.

Положение района в геотектонической обстановке области ставит его в разряд уникальных, поскольку здесь на стыке Уфимского плато и Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского краевого прогиба расположен Суксунский разлом. Именно к данному разлому приурочен целый ряд месторождений различных полезных ископаемых: стронций, золото, киноварь, олово, цинк, железные руды, алуниты и т.д.

В верхней части разреза залегают породы кунгурского и уфимского ярусов нижнего отдела пермской системы, которые во многих местах выходят на земную поверхность. Породы представлены карбонатными (известняки, доломиты, мергели), сульфатными (гипсы, ангидриты), обломочными (песчаники, алевролиты), глинистыми (аргиллиты, глины) породами [11, 12].

Среди значимых природно-геологических объектов можно выделить учебно-научную базу «Предуралье» Пермского государственного университета, территориально связанную с заказником «Предуралье», расположенная в пределах северной части Уфимского вала Башкирского свода [2].

Аэрокосмогеологическая изученность

Территория на юго-западе листа О-40-XXII изучена неравномерно. Наиболее изучена восточная ее часть. Общий анализ АКГИ проведен И.С.Копыловым и В.З.Хурсиком в 2010г. (рис. 1).

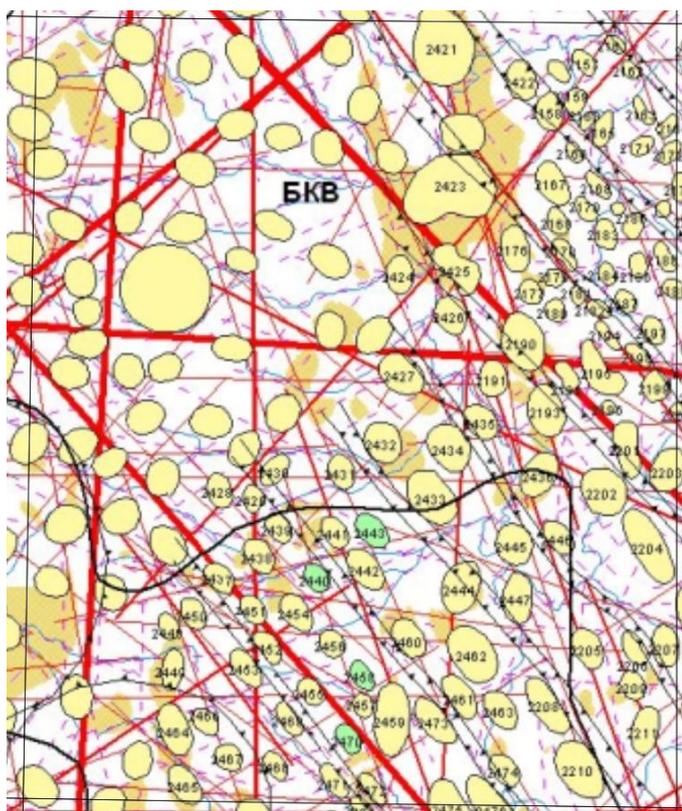


Рис. 1. Фрагмент Аэрокосмогеологической карты Пермского Приуралья. Масштаб 1:500 000. Лист О-40-XXII [4, 6]

Методология и методика исследований

Основными направлениями геологических исследований с помощью аэрокосмогеологического картирования являются: анализ распределения и характера протяженности линеаментов разных рангов (при изучении и уточнении геологических границ крупных геологических структур, тектоники территории, а так же при проведении инженерных изысканий); выделение кольцевых и дугообразных структур (при прогнозно-поисковых работах на нефть и газ) [1, 4-6, 9].

Линеаментно-геодинамический анализ представляет собой комплекс геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов картирования полей тектонической трещиноватости и геодинамической активности. Анализ заключается в получении исходной модели

линеamentного поля путем дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (МАКС), далее – в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности, построение ее картографических моделей разного уровня детальности [8]. Дешифрирование линеamentов состоит из следующей последовательности: выделение линейных объектов и составление схем линеamentов; обработка схем линеamentов; установление закономерностей в распределении линеamentов [7].

Дешифрирование заключается в выделении как линеamentов, так и крупных кольцевых и дугообразных структур производящихся в следующей последовательности: выделение линейных объектов, кольцевых и дугообразных структур; обработка выделенных схем; установление закономерностей в распределении структур.

Дешифрирование МДЗ базируется на геоиндикационной концепции взаимосвязи всех компонентов ландшафта. Ландшафтные компоненты и элементы, как результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, содержат информацию о структуре, составе и состоянии глубинных геологических объектов, являясь их геоиндикаторами. Изменения в характере распределения линеamentов, мезо- и микроформ рельефа, структуры и состава поверхностных отложений и растительности над нефтяными залежами происходят под влиянием неотектонических движений блоков, уплотнения, проседания, трещинообразования пород, перекрывающих нефтегазовые резервуары, а так же под воздействием мигрирующих от залежей флюидов [3, 9].

Основным видом работ в комплексе АКГИ является структурное (линеamentное) дешифрирование – выделение на снимках с помощью геоморфологических, ландшафтных, гидрогеологических и др. признаков элементов структурно-тектонического строения изучаемой территории. При структурном дешифрировании на снимках выделяются линейные образования, кольцевые и дуговые структуры.

Для обозначения линейных объектов используется термин «линеament» – это линейный элемент рельефа, имеющий прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре. Так же они имеют ранг, протяженность, глубину и возраст заложения. Индикаторами линеamentов служат линейно вытянутые водоразделы, спрямленные участки русел рек, границ ландшафтных структур. Кольцевые и дугообразные структуры указывают на наличие зоны высокой проницаемости.

Благодаря исследованию линеamentов, можно изучить трещинно-разрывные деформации осадочного чехла и взаимосвязь линеamentов с напряжёнными зонами земной коры и зонами повышенной трещиноватости и проницаемости в породах осадочного чехла. Изучение линеamentов, кольцевых и дугообразных структур с помощью аэрокосмических методов может дать хороший прогноз при поиске месторождений нефти и газа, рудных месторождений и др.

Методика компьютерного дешифрирования заключалась в выявлении по характеру фотоизображения различно ориентированных линеаментов и структур с последующим сопоставлением их с геологическими материалами, с применением ГИС-технологий. Технология компьютерного дешифрирования КС и обработки данных реализована с помощью программы ARC VIEW GIS и его модулей по следующему алгоритму:

- выделяются линеаменты разной протяженности и ориентированности с помощью инструмента  **прямая линия (Line)**;

- выделяются кольцевые структуры разного размера с помощью инструмента  **полигон (Polygon)**;

- выделяются дугообразные структуры инструментом  **ломаная линия (broken line)**;

- анализируются параметры - протяженность и размер с помощью инструмента  **измерить (Measure)**;

- занесение данных в таблицу, в программе ArcView (опция «Таблица»).

- группировка линеаментов и кольцевых структур на разные ранги.

- построение поля плотности линеаментов. Задача выполнялась в программном обеспечении ArcView через модуль Analysis инструментом **плотность линий (LineDensity)**. В результате было построено поле плотности линеаментов.

На конечном этапе по полученным картам и данным было проведен анализ наиболее перспективных участков на нефть и газ [3].

Результаты исследований и обсуждение

В результате проведенных исследований на основе дешифрирования современных космических снимков выделено 67 линеаментов и 19 кольцевых структур, которые разделены на ранги (табл. 1, 2) [6]

Таблица 1

Результаты дешифрирования линеаментов

Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Количество линеаментов
Короткие (II порядка)	1	3
Короткие (I порядка)	2-5	25
Локальные	6-15	25
Зональные	16-82	14

Таблица 2

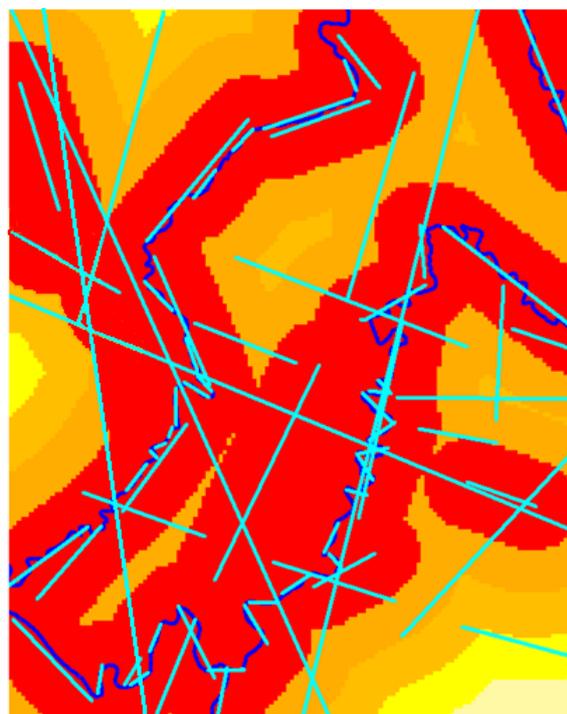
Результаты дешифрирования кольцевых структур

Ранги кольцевых структур	Размеры кольцевых структур, км	Количество кольцевых структур
Короткие	3x4-4x4	3
Локальные	5x4-10x8	14
Зональные	12x8-16x15	2

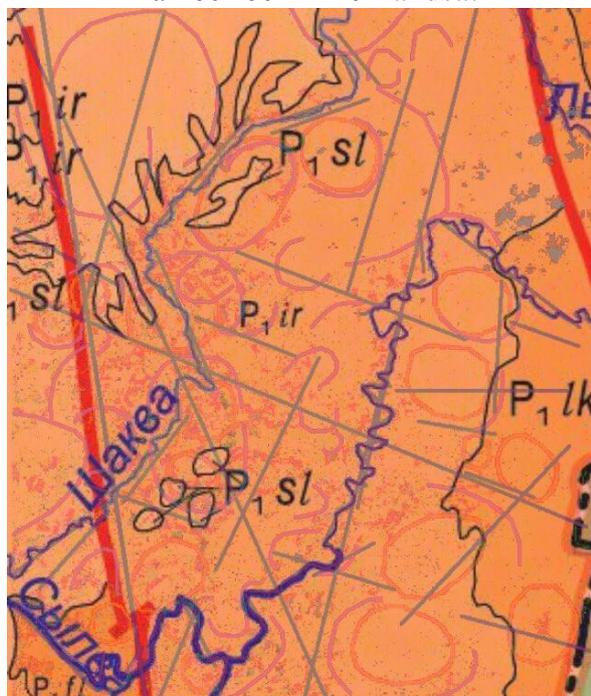
Наибольшее распространение на территории имеют короткие (I порядка) и локальные линеаменты. Среди кольцевых структур преобладают локальные (рис. 2-А). Так же построена карта плотности линеаментов (рис. 2-Б), которая наиболее полно отражает выявленные активные геодинамические зоны.



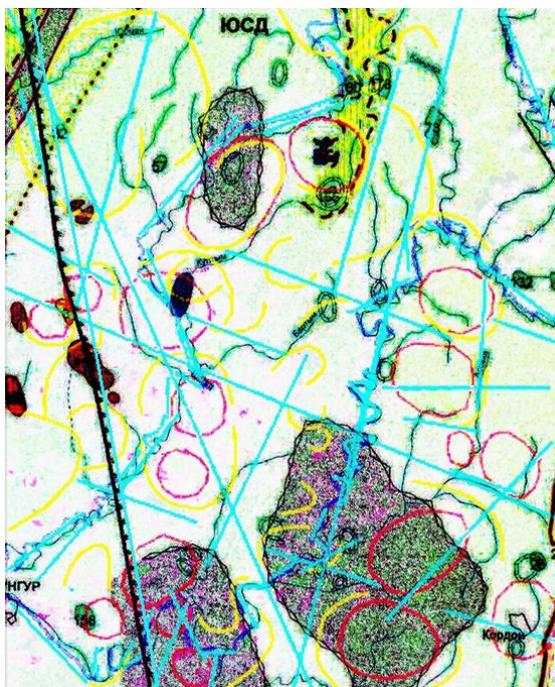
А - Линеаменты и кольцевые структуры на космоснимке Landsat



Б - Оценка плотности линеаментов



В - Линеаменты и кольцевые структуры на геологической карте



Г - Линеаменты и кольцевые структуры на тектонической карте

Рис. 2. Линеаментно-геодинамический анализ масштаба: 1:200000.
Лист О-40-XXII

Проведение пространственного аэрокосмогеологического анализа территории выполнено на основе анализа данных АКГИ при совмещении с геологической, тектонической картами и картой полезных ископаемых района

На космоснимке района, выделены структуры, предположительно, образованные нарушениями фундамента и осадочного чехла, ландшафтными аномалиями (линеаментами локальных и зональных рангов), а так же геологические тела, связанные с поднятиями осадочного чехла контролирующими местоскопления нефти и газа (крупные – кольцевые структуры зонального, средние – локального и мелкие – короткого ранга).

Интересно, что некоторые из выделенных линеаментов зонального ранга имеют направление примерно соответствующее простиранию крупного Суксунского разлома (рис. 2-В), соответственно их можно отнести к аномалиям глубинного заложения, нарушениям фундамента.

Другой крупный линеамент, простирающийся с северо-востока на юго-запад, по всей видимости, связан с аномалиями осадочного чехла и обусловлен эрозионной деятельностью рек. Ещё одна крупная линейная структура, располагающаяся в центральной части, скорее всего, имеет различный генезис, обусловленный как эндогенными, так и экзогенными факторами. Таким образом, при дешифрировании линеаментов были выделенные основные геодинамические зоны данной территории, к которым приурочены некоторые геологические и гидрогеологические аномалии.

Основной интерес при дешифрировании кольцевых и дугообразных структур определяется поиском месторождений нефти и газа. Обращает на себя внимание тот факт, что большинство из тех объектов, что были выделены на площади, очень чётко проводят границу между Восточно-Европейской платформой и Предуральским краевым прогибом (рис. 2-В, Г), местом, где обнаружено значительное количество рифовых структур и поднятий, приуроченных к бортовым барьерным постройкам, атоллам и палеоплато (рис. 2-Г). Именно с этими рифовыми структурами и поднятиями связаны месторождения нефти и газа.

Заключение

Таким образом, в ходе дешифрирования и анализа данных, полученных АКГИ, мы выделили ряд особенностей:

- выявлена связь между геологическими, тектоническими и седиментационными аномалиями и объектами, выделенными при дешифрировании АКГИ;

- большинство кольцевых структур выделенные при АКГИ совпадают с месторождениями нефти, с перспективными структурами и бортовыми барьерными постройками, атоллами, палеоплато;

- прослеживается ряд закономерностей, указывающий на активные неотектонические зоны и на возможные местоскопления нефти, газа и других полезных ископаемых, выделенных по анализу плотности

линеаментов и пространственному анализу, в ходе которого сопоставлены выделенные линеаменты и кольцевые структур с месторождениями нефти, газа и перспективными структурами;

- полученные данные требуют комплексирования различными геофизическими и геохимическими методами. При подтверждении выдвинутых предположений относительно листа О-40-XXII, возможно открытие крупных месторождений нефти и газа.

Библиографический список

1. Антипов В.С. *Аэрокосмические методы геологических исследований*. Издательство СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.
2. *Атлас Пермского края / Под редакцией А.М. Тартаковского*. Пермь, 2012. 124 с.
3. Капустин В. Г. *ГИС технологии в географии и экологии: ArcViewGIS в учебной и научной работе: Учебное пособие*. Екатеринбург: Урал.гос.пед.ун-т, 2006. 230 с.
4. Копылов И.С. *Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология*. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
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. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, 2018. 210 с.
7. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
8. Копылов И.С. *Поиски нефти и газа на основе методов АКГИ И ГПНГ // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ*. Пермь: Астер, 2017. С. 178-186.
9. 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.
10. 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.
11. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России*. Пермь, 2015. 131 с.
12. Пономарева Г.Ю. *Профильная нефтегеологическая практика*. Пермь: ПГНИУ, 2016. 68 с.

Р.В. Демидов¹, Е.Д. Федотов²

¹АО «Камский научно-исследовательский институт комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин», г.Пермь,

²Пермский государственный национальный исследовательский университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПОЛЕВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Рассмотрены возможности использования открытых данных дистанционного зондирования Земли при планировании полевых геологических работ на примере Башкортостана.

Ключевые слова: дистанционного зондирования Земли, космические снимки, геологическая съемка

R.V. Demidov¹, E.D. Fedotov²

¹JSC Kama research Institute of complex researches of deep and superdeep wells, Perm, Russia

²Perm State University, Perm, Russia

OPEN-SOURCE DATA OF REMOTE SENSING IN THE PLANNING OF FIELD GEOLOGICAL WORKS

The possibilities of using open data of remote sensing of the Earth in the planning of field geological works on the example of Bashkortostan are considered.

Keywords: earth remote sensing, space images, geological survey.

Введение

Вопрос максимизации результата при снижении затрат всегда был одним из главных вопросов экономики. Специфика геологических исследований такова, что максимальные затраты на любом из этапов изучения приходятся на полевые работы. Другая сторона этой особенности выражается в том, что при грамотно проведенной подготовке, расходы в поле могут быть существенно снижены.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) в целом и спутниковые снимки в частности широко применяются в подготовке полевых работ. Однако ранее доступ к крупно- и даже среднемасштабной съемке был затруднен государственными законами или высокой стоимостью.

В июне 2015 года Европейским Космическим Агентством в рамках проекта «Коперник» был запущен спутник Sentinel-2A. Спутник ведёт съёмку в разрешении ~15 метров, и его данные открыты для любого использования. В марте 2017 года был запущен второй спутник серии, Sentinel-2B. Планируется также запустить ещё два спутника: Sentinel-2C и Sentinel-2D [8].

Методика и материалы исследований

Цель исследований – проведение этапа подготовительных работ к ГДП-200 (РБ). Задачи: анализ космоснимков и предварительный отбор образцов из обнажений. По предварительным данным рассматриваемая территория расположена на стыке и в пределах Предуральяского краевого прогиба и Западноуральской зоны складчатости и может быть перспективной на ряд полезных ископаемых – нефть и газ, золото, алмазы [1, 2]. Территория является частично – закарстованной [3].

В сентябре-октябре 2018 года авторы принимали участие в подготовительных работах к ГДП-200 на территории Республики Башкортостан (рис. 1).

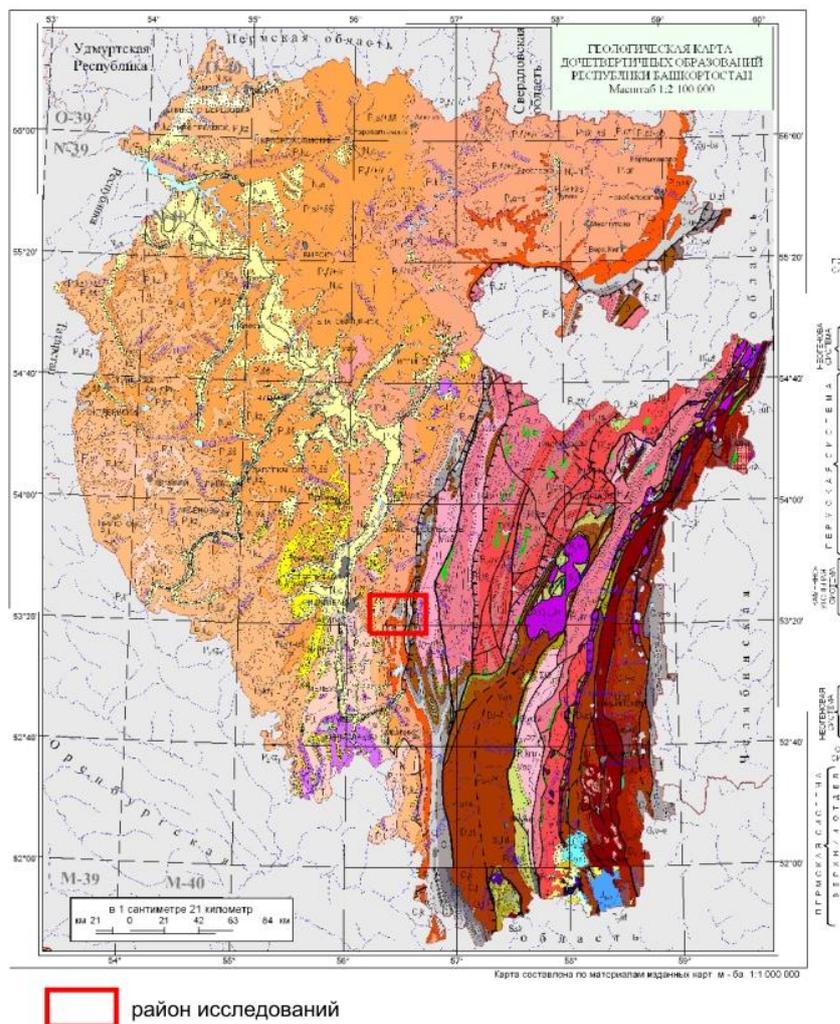


Рис. 1. Схема района работ на геологической карте Башкортостана [7]

Основные предполетные материалы: геологическая карта масштаба 1:200 000, топографическая карта масштаба 1:100 000, ДДЗЗ.

Снимок, полностью покрывающий площадь работ был сделан спутником Sentinel-2В 3 октября 2018 года. В формате GeoTIFF (натуральные цвета), он был загружен нами с сайта Геологической Службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Надо сделать пояснение, что благодаря открытой лицензии, любые организации, включая государственные неевропейские (как например USGS) могут использовать и распространять данные со спутников Sentinel без каких либо ограничений.

Площадь работ была наложена на спутниковый снимок (рис. 2), затем была отдельно выделен участок с повышенной расчлененностью рельефа (горноскладчатая часть), как наиболее перспективный на наличие скальных выходов по неотектоническим и геоморфологическим критериям (рис. 3). На этом участке были выделены неотектонические линейaments (в основном по прямолинейным тальвегам и руслам рек) согласно методик [2-6]. В точках их наибольших изгибов было выделено 9 участков наиболее перспективных для поиска скальных выходов (рис. 4).

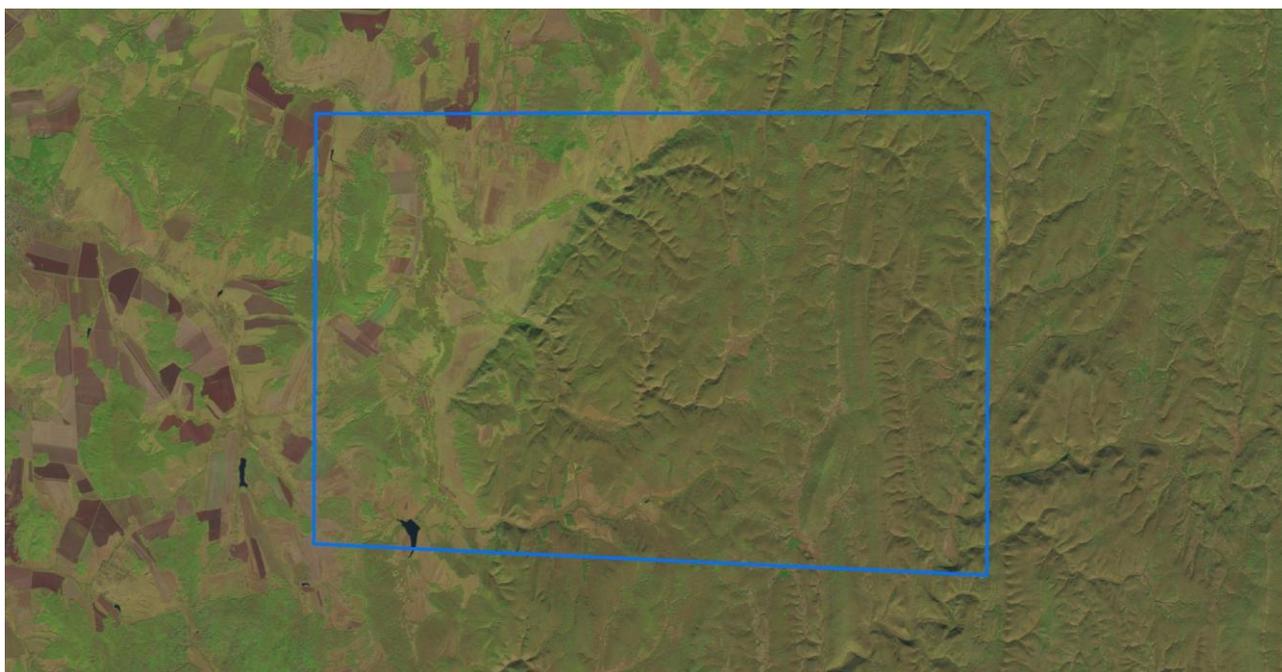


Рис.2. Площадь работ на спутниковом снимке



Рис.3. Горная часть участка работ на спутниковом снимке

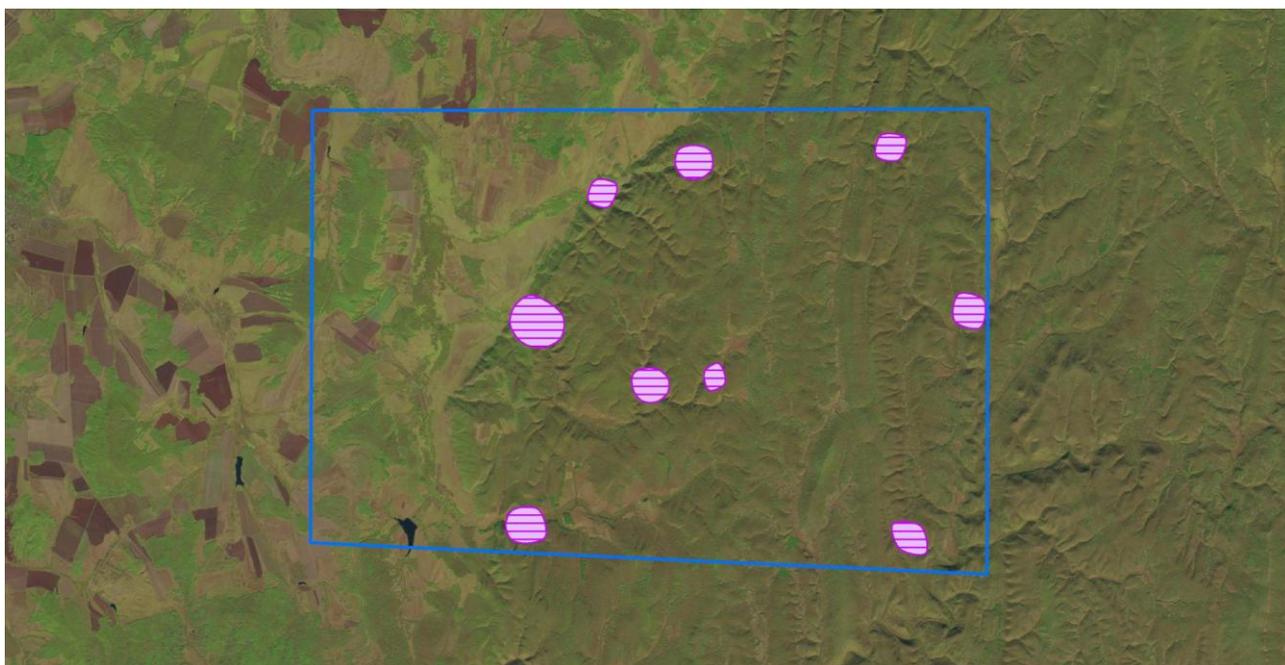


Рис.4. Предполагаемые кальные выходы по предварительному дешифрированию

Результаты полевых исследований

Полевые работы были успешно проведены в конце октября-начале ноября 2018 года. Точки, в которых вёлся отбор образцов были тщательно сняты с помощью устройства Garmin eTrex30, что позволило позже нанести их на схему площади (рис. 5) и совместить с предполагаемыми (рис. 6).

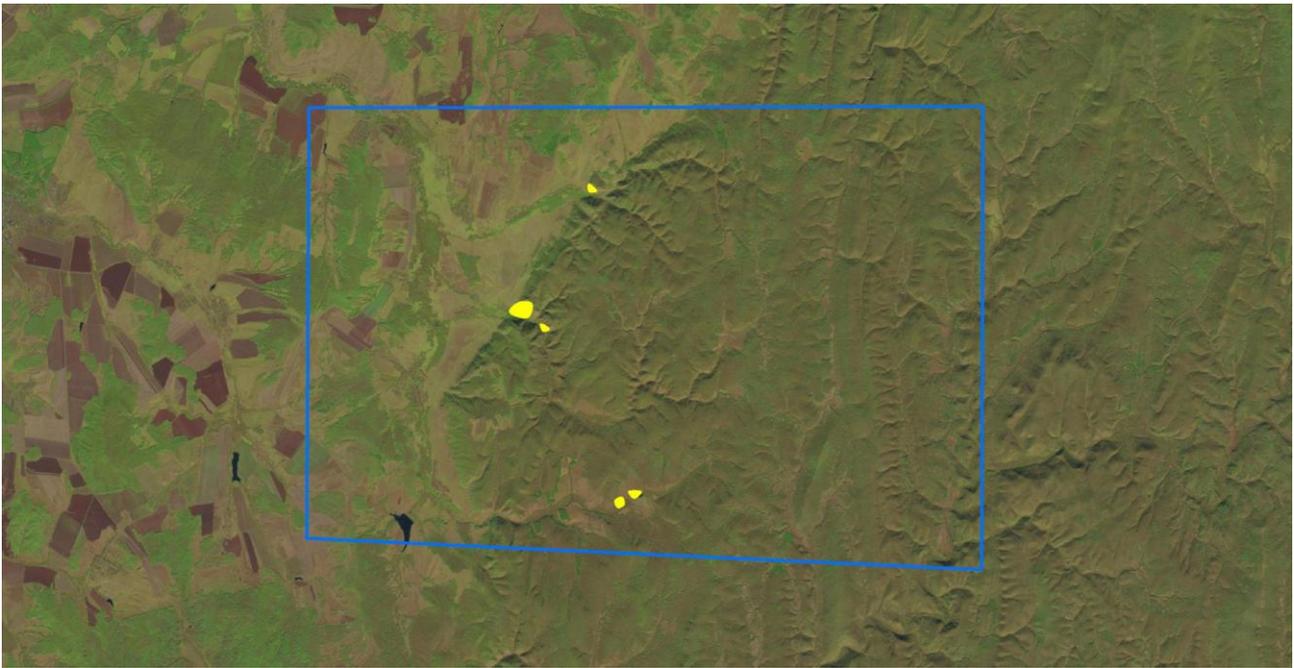


Рис.5. Скальные выходы установленные полевыми исследованиями на спутниковом снимке

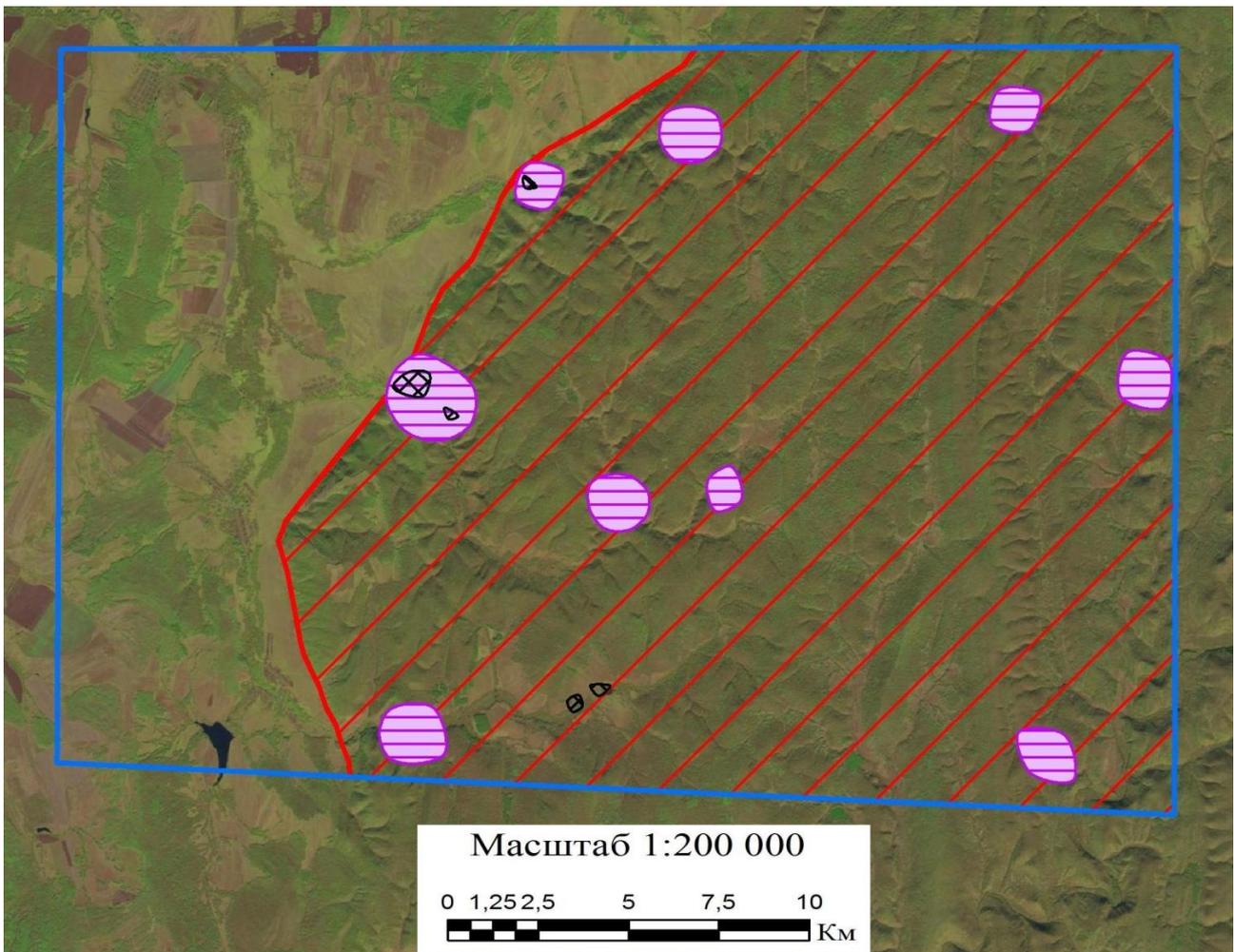


Рис.6. Сопоставление предполагаемых и фактически установленных скальных выходов

Как видно на рисунке 6, фактически участков получилось 5, из них 2 соответствуют одному предполагаемому, а два находятся на значительном расстоянии от намеченных. При этом отмечается, что из 9 проектируемых участков опробованы 2 (с удобным транспортным доступом в центральную и восточную часть площади).

Юго-западный и северо-западный участки по геологическому строению представляли собой аналогичные поля, что и соседние (что в силу ограниченности времени делало их отработку малоперспективной). Из двух же опробованных участков, места подходящие для отбора проб нашлись в обоих. Два участка, лежащие вне предполагаемых, представляли собой техногенные объекты (карьеры).

Таким образом, проверив на практике данные предварительного дешифрирования ДДЗЗ спутника Sentinel-2B, можно сделать заключение об их общей пригодности в планировании такого рода работ. Экономическая эффективность (низкая затратность и удовлетворительное качество) делают их весьма полезными для предварительного планирования региональных геологических исследований.

Библиографический список

1. *Золото-алмазная колыбель России / И.С. Копылов, В.А. Наумов, О.Б. Наумова, Т.В. Харитонов. Пермь, 2015. 131 с.*
2. *Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.*
3. *Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
4. *Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. №3(12). С.18-32.*
5. *Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
6. *Осовецкий Б.М., Копылов И.С. О влиянии структуры аллювиальных крупнообломочных грунтов на их инженерно-геологические свойства // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.*
7. *Сайт ВСЕГЕИ <http://vsegei.ru/ru/info/webmapget/>*
8. *Сайт Геологической Службы США <https://earthexplorer.usgs.gov>.*

ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КОСМОСНИМКОВ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проведен линеаментный анализ, в связи с изучением геологического строения Березовского золоторудного месторождения. Объектом анализа было рудное поле Березовского месторождения, в котором развиты разрывные нарушения и дайки, являющиеся зонами золотого оруденения. С помощью дешифрирования космоснимков были выделены рудоконтролирующие линеаменты, зоны трещиноватости разрывных нарушений, границы горных пород в плане.

Ключевые слова: линеамент, космоснимок, дешифрирование, золоторудное месторождение, дайки, тектонические нарушения.

E.A. Ivanova

Perm State University, Perm, Russia

LINEAMENT ANALYSIS OF SPACE IMAGES OF BEREZOVSKY GOLD DEPOSIT

The article considers the essence of the lineament analysis, the relationship with the geological structure of the Berezovsky gold deposit. The object of the analysis was the ore field of the Berezovsky deposit, in which faults and dikes are developed, which are zones of gold mineralization. With the help of space-image interpretation, ore-controlling lineaments were identified: fractured zones, faults, and boundaries of rocks in the plan.

Keywords: lineament, space image, interpretation, gold deposit, dikes, tectonic disturbances.

Введение

Линеаментный анализ представляет собой эффективный комплекс геоморфологических, геологических, дистанционных и других методов геологического картирования и изучения строения месторождений полезных – в т.ч. – золоторудных месторождений. Березовское месторождение в Свердловской области – старейшее месторождение золота на Урале, является уникальным месторождением мирового класса, открыто в 1745 году, с богатой историей поисков и разработки [1, 6].

Цель анализа – выявить связь выделенных линеаментов на космоснимках с геологическим строением Березовского месторождения золота.

Были поставлены следующие задачи: 1) выделить рудоконтролирующие линеаменты; 2) отдешифрировать дайки рудного поля.

Рудное поле Березовского месторождения золота

В рудном поле Березовского месторождения интенсивно развиты разрывные нарушения. Наиболее крупные из них образуют Пышминско-Березовскую тектоническую зону, проходящую широтно в северной части района. Она фиксируется массивами гипербазитов и габбро.

Главным структурообразующим элементом рудного поля является грабен, образованный меридиональными долгоживущими разломами. Эти разломы обуславливают выступы рельефа кровли Шарташского массива, фиксирующиеся ориентировкой аномалий магнитных минералов, часто коленообразными перегибами, кулисным выклиниванием даек гранитоидов рудного поля и прямолинейными контактами габбро-диабазов и гипербазитов. Эти долгоживущие нарушения были заложены в средне-, верхнедевонское время, когда широтное сжатие в рудном поле, имевшее место в нижнем девоне, сменилось растяжением. Формирование разломов сопровождалось сбросовыми перемещениями, в результате чего центральный блок гранитов и вулканогенно-осадочных пород рудного поля оказался опущенным на глубину 500-600 м (рис.1) [7].

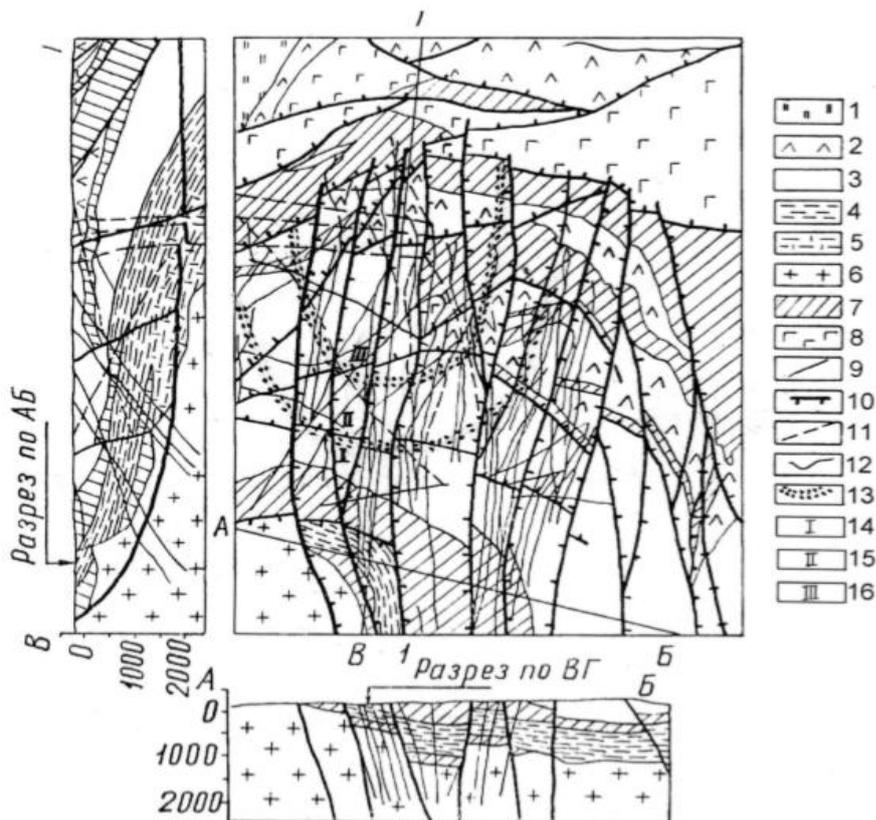


Рис. 1 Геологическая схема Березовского рудного поля (Бабенко, 1975):

- 1 – углисто-кремнистые, кремнисто-глинистые породы; 2 – афириты базальтовые, диабазы тонкозернистые;
- 3 – афириты базальтовые, вариолиты, туфогравелиты, туфопесчаники, зеленые сланцы;
- 4 – углисто-кварцевые, серицит-кварцевые сланцы; 5 – плаггиогнейсы и гнейсы биотитовые и роговообманково-биотитовые; 6 – граниты среднезернистые, биотитовые; 7 – серпентиниты и тальково-карбонатные породы; 8 – габбро; 9 – дайки гранитоидов; 10 – додайковые тектонические нарушения; 11 – последайковые тектонические нарушения; 12 – границы пород; 13 – границы минеральных ассоциаций полиметаллической формации; 14 – анкерит-кварцевой; 15 – пирит-кварцевой; 16 – полиметаллической и карбонатной

Рис. 1. Геологическая схема Березовского рудного поля (Бабенко, 1975) [7]

В пределах рудного поля широко распространены интрузивные породы, они относятся к трем формациям: дунит-гарцбургитовой, габбровой и тоналит-гранодиоритовой. К дунит-гарцбургитовой формации океанического спрединга принадлежат Шарташский и Пышминско-Березовский гипербазитовые массивы, условно относимые к силуру. Они слагаются серпентинитами, тальково-карбонатными породами. Пышминско-Березовский массив охватывает полукольцом с севера и востока рудное поле, а Шарташский окаймляет его с юга. Шарташский массив представлен двумя параллельными телами мощностью от 70 до 260 м, залегающими согласно с породами ландоверийского яруса и отделяющими их от пород венлока. Пышминско-Березовский массив ограничен с севера интрузией габбро, а с юга диабазами венлока. Он представляет собой тело, падающее на север под углом 40-45°. Контакт гипербазитов с вмещающими породами расланцован. Апофиза массива, секущая отложения венлока в виде пластообразного тела с пологим падением к юго-западу, прослеживается в северо-восточной части рудного поля. Мощность тела меняется от 200 до 70 м [1].

Эти два массива представляют собой единое образование. Шарташский массив следует рассматривать как продолжение апофизы Пышминско-Березовского массива.

Дайки Березовского месторождения золота

Березовское месторождение представляет собой по существу дайковое поле - обособленную часть субмеридионального дайкового пояса, распространенного к югу, но в основном к северу от месторождения более чем на 100 км при ширине 10- 15 км.

Комплекс гранитоидных даек «пестрого» состава является важнейшим фактором контроля золотого оруденения как самого Березовского месторождения, так и всего рудного района в целом.

В пределах рудного поля выделяются дайки основного и кислого составов. Дайки основного состава принадлежат к габбровой формации: габбро, габбродиабазы и жильные диабазы тяготеют к Пышминско-Березовскому массиву, а также распространены среди эффузивов базальтового состава. Для даек габбро характерно простирание, близкое к широтному, и северное падение под углом 60-80°, мощность их от 1-2 до 30-40 м. Дайки габбро-диабазов и жильных диабазов более распространены. Большинство их имеет субмеридиональное простирание: мощность от 5 до 50 м. Эти образования принадлежат к геотектонической обстановке океанического спрединга формирования рудного поля. Дайки кислого состава относятся к тоналит-гранодиоритовой формации S_1-R и являются продуктами коллизионной геотектонической обстановки. По данным геологов Березовского рудника, они разделяются на шесть разновозрастных серий, образующих два пояса: западный, падающий на восток, и восточный, падающий на запад (рис. 1, разрез АБ). Дайки прорывают все породы Березовского рудного поля. Дайки вмещают лестничные жилы в оторочке березитов. Кроме лестничных, на месторождении развиты красичные жилы в оторочке лиственитов (рис.2) [7].

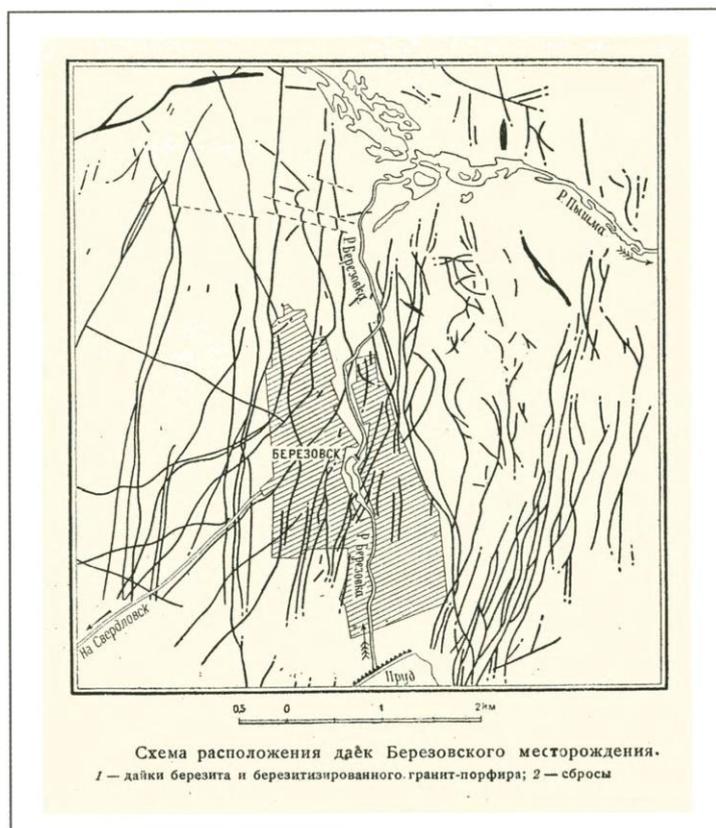


Рис. 2. Схема расположения даек Березовского месторождения [2]

Методика и результаты исследования

Объектом анализа являлось Березовское золоторудное месторождение, расположенное в Свердловской области.

Основной метод – линеаментный анализ – выполнен по методикам, изложенным в работах [3-5, 8].

Базовыми объектами анализа является линеаменты. Линеаменты – крупнейшие линейные или дугообразные элементы рельефа, генетически связанные с глубинными разломами. Линеаменты выделяются по набору диагностических признаков линии, соответствующих линиям пересечения плоскостей разрывных нарушений с выбранными плоскостями сечения на геолого-геоморфологических картах, разрезах, блок-диаграммах, схемах и моделях.

Геологические признаки линеаментов представляют собой выходы на земную поверхность разрывных нарушений и их прямых картировочных признаков: собственно разломов и трещин, трещиноватых, расланцеванных, кливажированных горных пород, даек и жил и т.п., трассирующиеся линеаментами.

Геоморфологические признаки линеаментов – это следы дизъюнктивных дислокаций земной коры на ее поверхности, представленные пространственно упорядоченными линейно ориентированными формами рельефа [8].

Линеamentный анализ был проведен с помощью программы ArcGIS. Использовались космоснимки Google Earth Pro масштаба 1:500 000 и SASПланета масштаба 1:125 000.

Дешифрирование космоснимков масштаба 1:500 000 позволило выделить на космоснимке в пределах Березовского рудного поля Шарташский массив, ограниченный региональным дугообразным линеamentом; разрывные нарушения, формирующие рудное поле и границы горных пород, представленные линейно ориентированными линеamentами.

Линеamentы на Березовском месторождении выражены в основном диагональной системой прямолинейных линеamentов протяженностью 10-20 км.

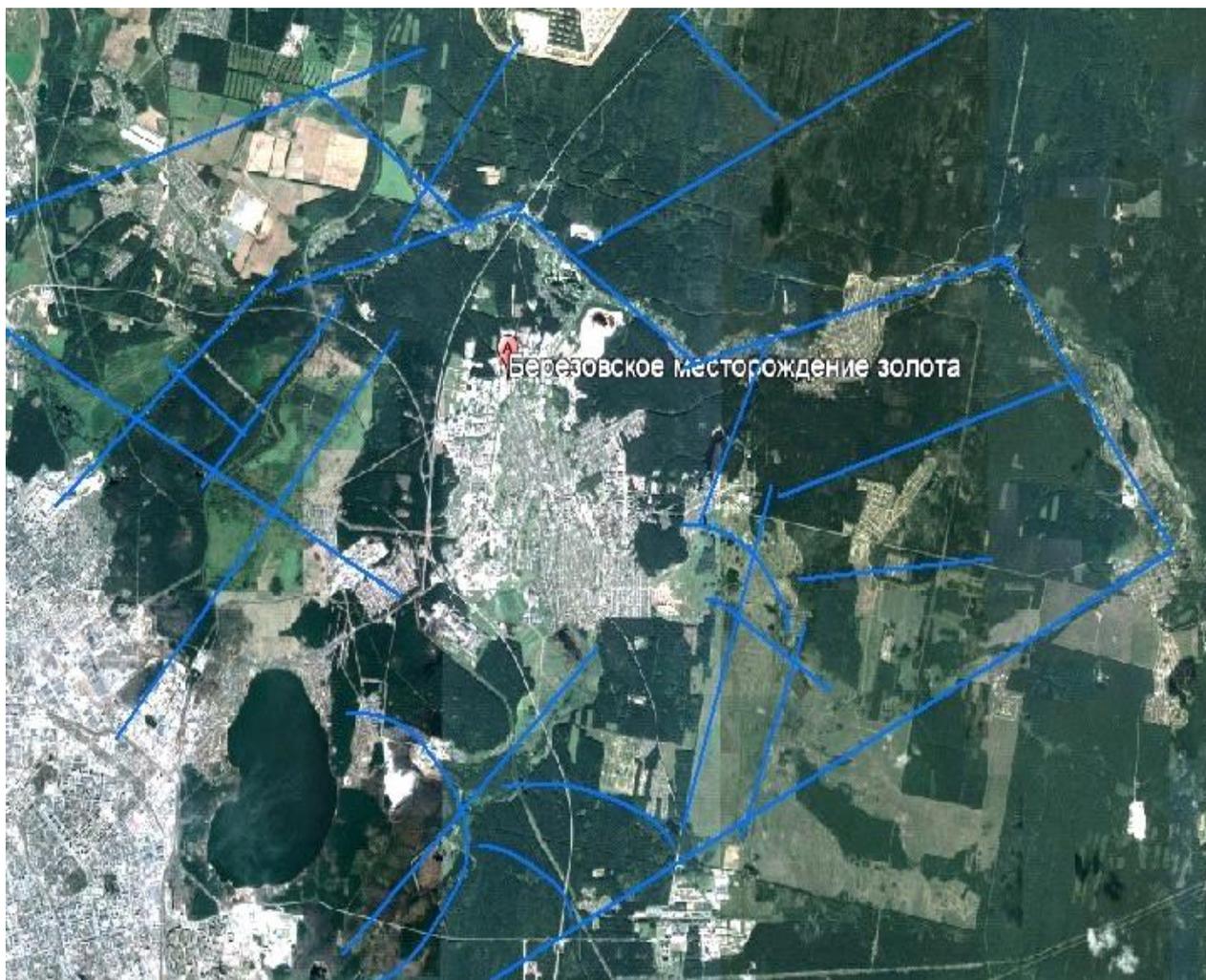


Рис. 3. Космоснимок масштаба 1:500 000 с выделенными линеamentами

Дешифрирование даек Березовского рудного поля производилось на космоснимке, масштабом, близком схеме на рисунке 3. Были выделены некоторые дайки Березовского рудного поля, представленные кольцевыми, дугообразными и линейно ориентированными линеamentами. Всего выделено более 50 даек (рис. 4).

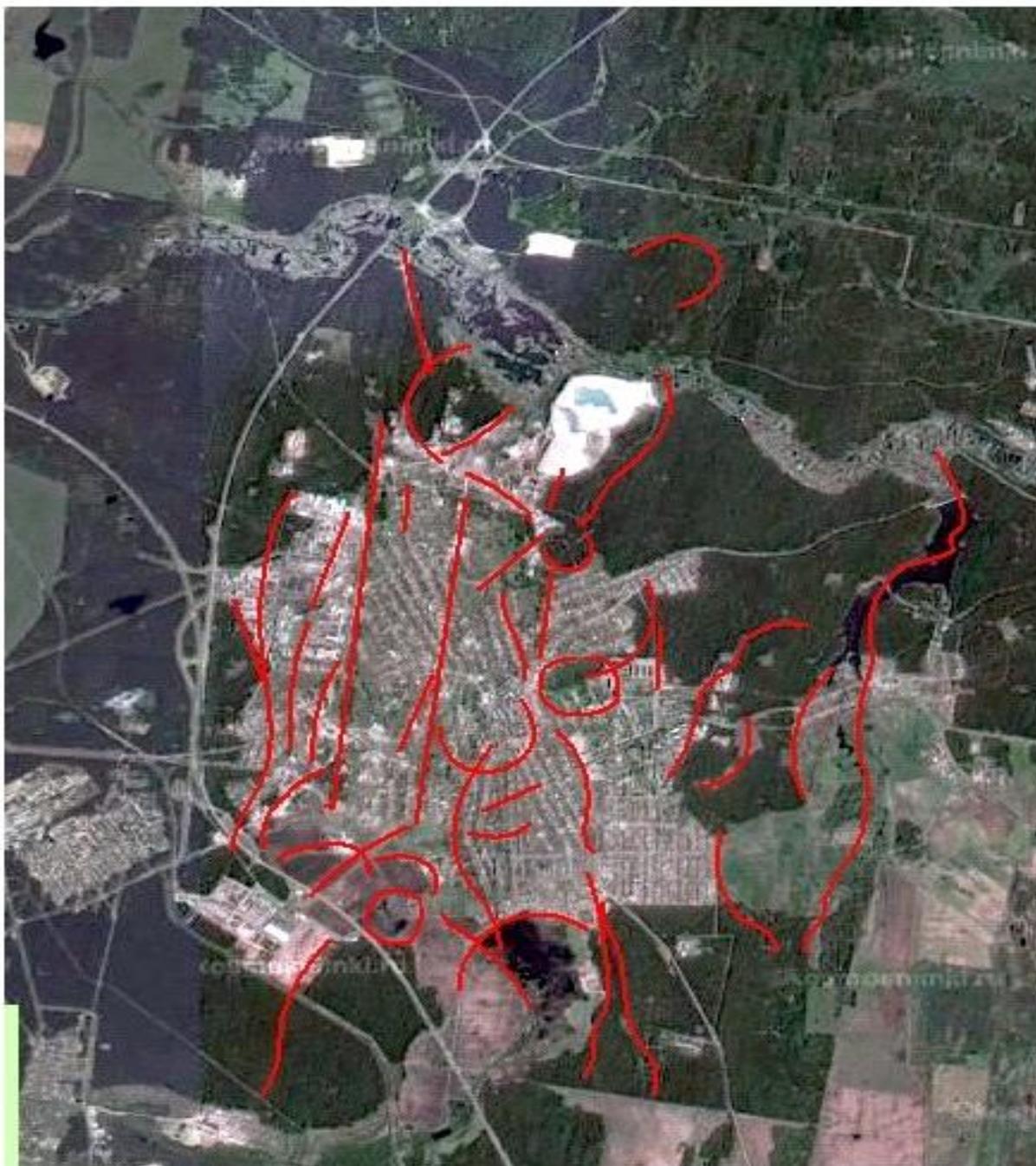


Рис. 4. Космоснимок масштаба 1:125 000 с выделенными линеаментами, отражающими дайки рудного поля

В целом отмечается удовлетворительная связь элементов геологического строения Березовского рудного поля с тектоническими линеаментами.

Заключение

По результатам дешифрирования космоснимков в пределах Березовского рудного поля выявлены дуговые и линейные структуры, к которым приурочена золоторудная минерализация.

Примером дуговой структуры является Шарташский массив, который окаймляет рудное поле с юга, в пределах озера Шарташ.

Линейными структурами являются многочисленные дайки, прорывающие рудное поле. На космоснимке они представлены линеаментами субмеридионального простирания.

Библиографический список

1. Альбрехт В.Г., Набиуллин Ф.М., Клейменов Д.А. Первое золото России. Екатеринбург: «Уральский рабочий», 2015. 248 с.
2. Клейменов Д.А., Альбрехт В.Г., Ерохин Ю. В., Баталин А. С., Баталина А. А., Поленов Ю. А. Березовское золоторудное месторождение. История и минералогия. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2005. 200 с.
3. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. №3(12). С.18-32.
4. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
5. 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.
6. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
7. Огородников В.Н. Березовское месторождение золота - уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования. Научная монография. Екатеринбург, 2015.
8. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Кадыров Р.И. Автоматизированный линеаментный анализ». Казань / Учебно-методическое пособие. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. 38 с.

И.С. Копылов, Д.И. Шкляев, Р.Н. Трофимов
Пермский государственный научный исследовательский университет,
Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ ЗОЛОТА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ (ЛИСТЫ О-40-Х, XVI)

Проведены аэрокосмогеологические исследования на Среднем Урале на зональной стадии масштаба 1:100 000. Выполнен линеаментно-геодинамический (картирование и анализ линеаментов) и ландшафтно-геодинамический (картирование и анализ кольцевых структур) анализы. Установлены неотектонические критерии золотоносности. Выделены перспективные зоны на поиски месторождений коренного и россыпного золота.

Ключевые слова: золото, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, Средний Урал.

I.S. Kopylov, D.I. Shklyayev, R.N. Trofimov
Perm State University, Perm, Russia

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR SEARCHING FOR GOLD IN THE MIDDLE URALS (SHEETS O-40-X, XVI)

Aerospace geological studies were carried out in the Middle Urals at the zonal stage on a scale of 1: 100,000. Lineament-geodynamic (mapping and analysis of lineaments) and landscape-geodynamic (mapping and analysis of ring structures) analyzes were performed. Neotectonic criteria for gold content are established. Highlighted promising areas to search for deposits of primary and placer gold.

Keywords: gold, aerospace methods, interpretation, lineaments, Middle Ural.

Введение

Одним из перспективных регионов для поисков месторождений золота является Урал, старейшая золотодобывающая провинция России, которая все еще играет значительную роль в золотодобыче страны. Однако подготовленные запасы золота истощаются, необходимы новые перспективные объекты [9]. Поиски новых месторождений золота требуют больших затрат; оптимальным решением является применение аэрокосмических методов (АКМ) в комплексе с другими (геохимическими, геофизическими и пр.) методами. Развитие систем дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий обработки данных открывает широкие перспективы их использования АКМ на поисковой стадии исследований.

Основное преимущество дистанционных методов исследований – это их оперативность и относительно низкая стоимость. Они позволяют достаточно быстро получить первичную информацию о труднодоступных районах исследования [1].

Совершенствование аэрокосмогеологических методов дает возможность извлекать из материалов аэрокосмических съемок (МАКС) довольно подробную геологическую информацию территории – в т.ч. по золотопысковым критериям.

Цель исследования – изучение геологии золота района Среднего Урала (в пределах площади листов О-40-Х и О-40-ХVI) и определение перспективных участков для поисков золота с применением аэрокосмогеологических методов. Задачами являются: дешифрирование МАКС района на зональной стадии, линеаментно-геодинамический (картирование и анализ линеаментов) и ландшафтнo-геодинамический (картирование и анализ кольцевых структур) анализы, разработка критериев золотоносности и выделение перспективных участков на золото.

Аэрокосмическая изученность

В 1980-1990 гг. рассматриваемая территория была охвачена региональными нефтегазопысковыми аэрокосмогеологическими исследованиями (АКГИ) ГПК ООО «ПермНИПИнефть» масштаба 1:500 000 (С.Т. Шитин и др., 1983ф) [16] и частично – в западной части АКГИ масштаба 1:100 000-1:200 000 (Ю.А. Ильиных, В.Г. Гацков, Н.Я. Быков и др.).

В 2003-2005 гг. ООО «ПермНИПИнефть» были выполнены крупномасштабные АКГИ масштаба 1:50 000 на Ново-Губахинском лицензионном участке (Н.Я. Быков, В.З. Хурсик, И.С. Копылов и др.). По результатам работ были намечены перспективные участки для постановки нефтегазопысковых работ [12].

В 2008-2009 гг. И.С. Копыловым при проведении ФГУП «Геокарта-Пермь» ГДП-200 на всей площади листов О-40-Х и О-40-ХVI было выполнено структурно-геологическое дешифрирование космоснимков масштаба 1:100 000-1:200 000 и проведен анализ мегатрещиноватости территории для оценки территории на алмазоносность и золотоносность.

В 2004-2012 гг. И.С. Копыловым на основе АКГИ был проведен морфонеотектонический и линеаментно-геодинамический анализ территории Пермского края, включая рассматриваемую территорию. Дешифрирование проводилось в различных масштабах от регионального уровня (масштаб 1:500 000) до детального уровня (масштаб 1:25 000 и крупнее – на отдельных участках). Также были построены карты неотектонической активности, неотектонических блоковых структур, геодинамических активных зон [2-7]. На территории Среднего Урала проведены комплексные многоцелевые исследования по изучению геологической среды [10, 11]. Были разработаны методики компьютерного структурно-геологического дешифрирования и критерии поисков полезных ископаемых с использованием данных ДЗЗ.

Геологические условия и золотоносность

Рассматриваемый район (листы О-40-Х, ХVI) находится в пределах трех крупных структур – Предуральского краевого прогиба (ПКП), Западно-

На площади распространены стратифицированные толщи широкого возрастного диапазона – от верхневендских до квартера, которые по литолого-стратиграфическим характеристикам подразделяются на 3 структурно-формационных комплекса: 1) рифейско-вендский, сложенный преимущественно терригенными отложениями венда. Отвечает Западно-Уральской зоне, Кваркушско-Каменногорской подзоне; 2) кембрийско-пермский, представленный преимущественно карбонатными отложениями; 3) мезозойско-кайнозойский.

При проведении ГДП-200 (Г.П. Снитко, Т.В. Харитонов, И.С. Копылов и др., 2009ф) на площади листов О-40-Х, XVI было установлены: одно проявление золота на водоразделе р. Косьва, несколько (более 10) пунктов минерализации золота, 3 геохимических аномалий в коренном залегании, а также шлиховые потоки и шлиховые ореолы золота. Выявленные шлиховые потоки и россыпи находятся в пределах Западно-Уральской алмазо-золотороссыпной минерагенической зоны.

На основании компактного расположения рудопроявления и двух ореолов золота удалось выделено прогнозируемое Усьвинское золоторудное поле в пределах ранее выявленного Кваркушско-Каменногорского золото-хромитово-железородной минерагенической зоны. Расположено в междуречье рр. Усьва и Косьва, вблизи восточной рамки листа О-40-Х. Поле северного простирания, длиной 13,5 км, шириной 4,0 км. Сложено оно чернокаменной и усть-сылвицкой свитами верхнего венда. В разрезе преобладают темноцветные сланцы, аргиллиты, алевролиты, с подчиненными прослоями кварцево-полевошпатовых песчаников. Содержание золота изменяется от 0,01 до 0,026 г/т, что соответствует рудогенному уровню [13, 14]. В центральной части поля содержание золота составило 0,28 г/т, что соответствует рудному уровню. Предполагаемая рудная формация – золото-полиметаллическая, не исключается и черносланцевая формация [15].

Россыпное золото на территории известно давно, еще в 50-60 гг. На основании шлихового опробования рек Усьвы, Вильвы, Вижай были получены положительные результаты по золотоносности русловых и надпойменных отложений (М.П. Бархатова, Г.А. Виллер, А.М. Зильберман). Все выявленные шлиховые потоки и россыпи находятся в пределах Западно-Уральской алмазо-золотороссыпной минерагенической зоны. Долинная россыпь р. Усьва приурочена в основном к песчано-гравийным отложениям. Протяженность ее на листе О-40-ХVI составляет более 20 км. Содержание золота достаточно устойчивое и изменяется от 80 до 200 знаков на 1 м^3 , в среднем около 100 зн/м^3 . Более высокие содержания золота до 500 зн/м^3 по отдельным пробам приурочены к аллювиальным отложениям, расположенным на закарстованных известняках верхнедевонско-каменноугольного возраста. Мощность продуктивной толщи изменяется от 1-2 м до 5-6 м. Основная часть выявленных россыпей располагается в восточной части площади в пределах распространения пород верхнего венда усть-сылвицкой свиты. Это россыпи по р. Вильва и р. Вижай. Областью для формирования этих россыпей, видимо, является гидротермально переработанные породы верхнего венда и нижнего и

среднего девона вдоль Чикманско-Востоно-Гремячинского надвига, где выявлено значительное количество проявлений свинца и меди. Вторая площадь, где широко распространено россыпное золото, является бассейн р. Усьва. Все выявленные россыпи в бассейне р. Усьва пространственно приурочены к области распространения пород нижней перми кошелевской, мысовской свит и урминской серии [15].

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований

В целом, исследуемый район по степени дешифрируемости относится к закрытым, характеризуется слабой геологической дешифрируемостью (для картирования границ геологических подразделений и выделения малых объектов). Неблагоприятные условия для геологического дешифрирования обусловлены слабой обнаженностью территории, залесенностью, практически повсеместным распространением рыхлых четвертичных отложений, а также наличием техногенных объектов. Однако это не влияет на дешифрирование основных объектов – тектонических линеаментов и геологических структур.

Под линеаментом мы понимаем прямолинейный индикатор тектонических нарушений, проявленный на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно (геологическими и ландшафтными аномалиями). Линеаменты, выделяемые на аэрокосмоснимках, по протяженности разделяются на 5 основных классов с подклассами: 1) глобальные (400-800 км и более); 2) региональные (200-400 и 100-200 км); 3) зональные (15-50 и 50-100 км); 4) локальные (5-15 км); 5) короткие (1,5-5 км, 0,5-1,5, менее 0,5 км) [5, 6].

Дешифрирование проводилось в различных масштабах в соответствии со сложившимися стадиями аэрокосмогеологических исследований (обзорная, региональная, зональная, детальная). Как отмечено выше обзорная и региональная стадии были выполнены ранее. Территория изучена нами в масштабе 1:200 000, соответствующей зонально-региональной стадии АКГИ. При дешифрировании использовалась дистанционная основа, подготовленная ВСЕГЕИ для проведения ГДП-200, а также космоснимки Landsat-7.

В 2017-2018 гг. с учебно-методическими целями на кафедре поисков и разведки полезных ископаемых ПГНИУ нами проведены АКГИ масштаба 1:100 000 зонального уровня с целью проведения линеаментно-геодинамического (картирование и анализ линеаментов) и ландшафтно-геодинамического (картирование и анализ кольцевых структур). Выделение тектонических линеаментов и кольцевых структур в пределах исследуемых районов производилось на космоснимках 2016-2018 годов со спутников Landsat-8, WorldView-2 и GeoEye, загруженных с помощью программного обеспечения SAS Planet и Google Earth. Дешифрирование производилось в программах ArcGIS ArcMap и ArcViewGIS (рис. 1).

В результате компьютерного структурно-геологического дешифрирования на рассматриваемой территории было выделено 849 линеаментов, ранжированных по протяженности на классы: 1) региональные (100-200 км) – 5; 2) зональные (15-100 км) – 24; 3) локальные (5-15 км) – 270;

5) короткие (менее 5 км) – 550 линеаментов. Крупные линеаменты имеют в основном северо-западное, северо-восточное и субмеридиональное простирание. Достаточно уверенно дешифрируются главные надвиги – Всеволодо-Вильвенский, Луньевско-Чусовской и Чикманско-Восточно-Гремячинский. Также фрагментарно выделяются Басковский, Мальцевский и Широковский надвиги.

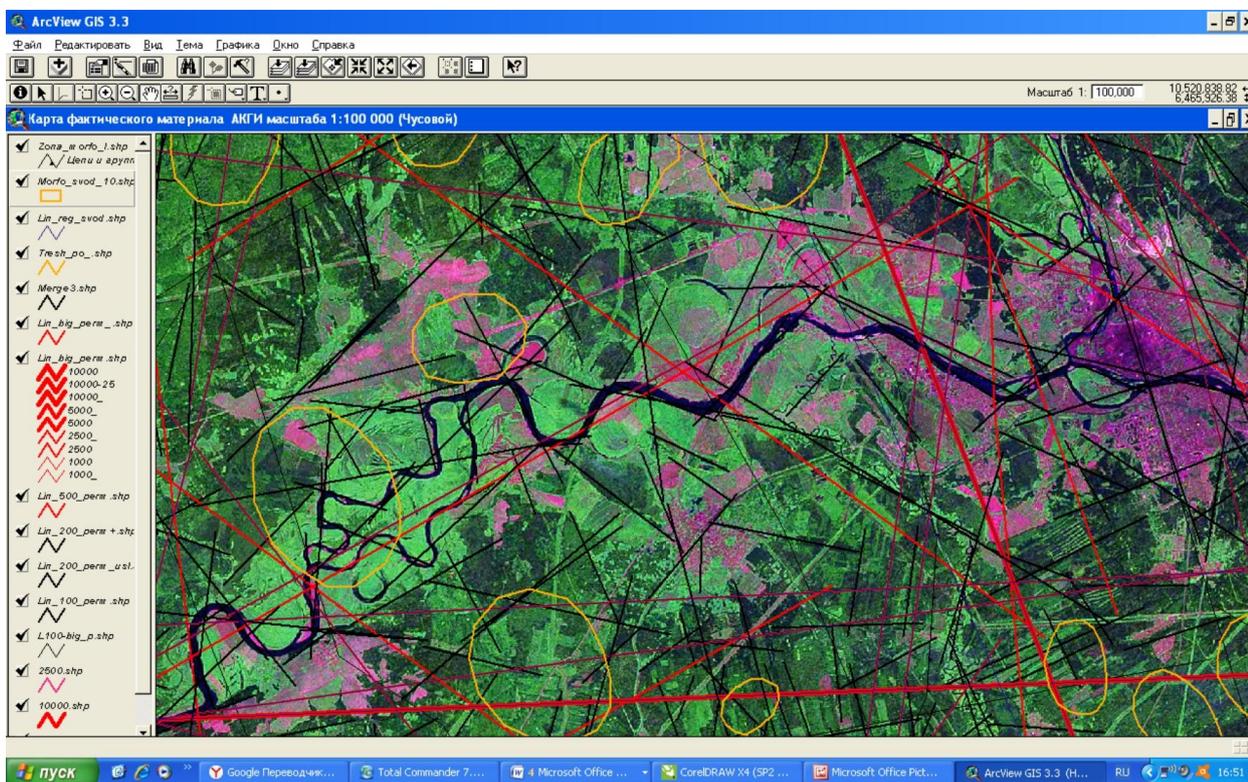


Рис. 1. Компьютерное структурно-геологическое дешифрирование (рабочее окно программы)

По результатам дешифрирования (общего) была построена карта плотности линеаментов (мегатрещин). Для количественного анализа было выполнено построение поля плотности линеаментов. Задача выполнялась в программном обеспечении ArcGIS и ArcMap через модуль Spatial Analyst tools, инструмент «Плотность линий (Line Density)» (рис. 2-4).

Плотность линеаментов по площади неравномерная, выделяются комплексы зон с повышенной плотностью на северо-востоке и северо-западе, а также в центральной части района.

В результате ландшафтно-геодинамического (геоиндикационного) дешифрирования было выделено 37 локальных кольцевых структур. Был проведен их сравнительный пространственный анализ со структурами, выделенными ранее: 5 структур полностью совпадают, 12 структур имеют частичное совпадение, 20 структур ранее не выделялись.

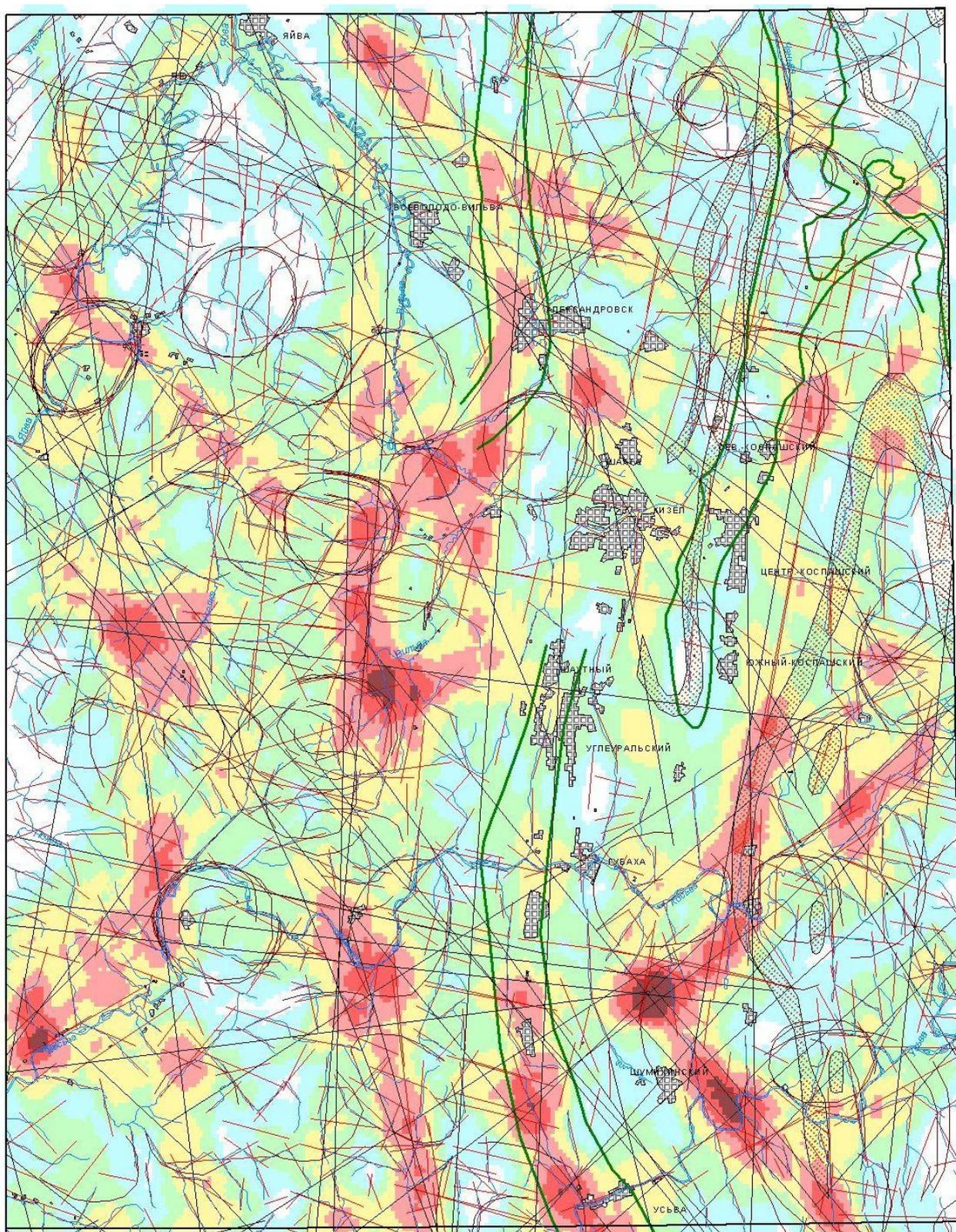


Рис. 3. Карта результатов дешифрования (лист О-40-Х)

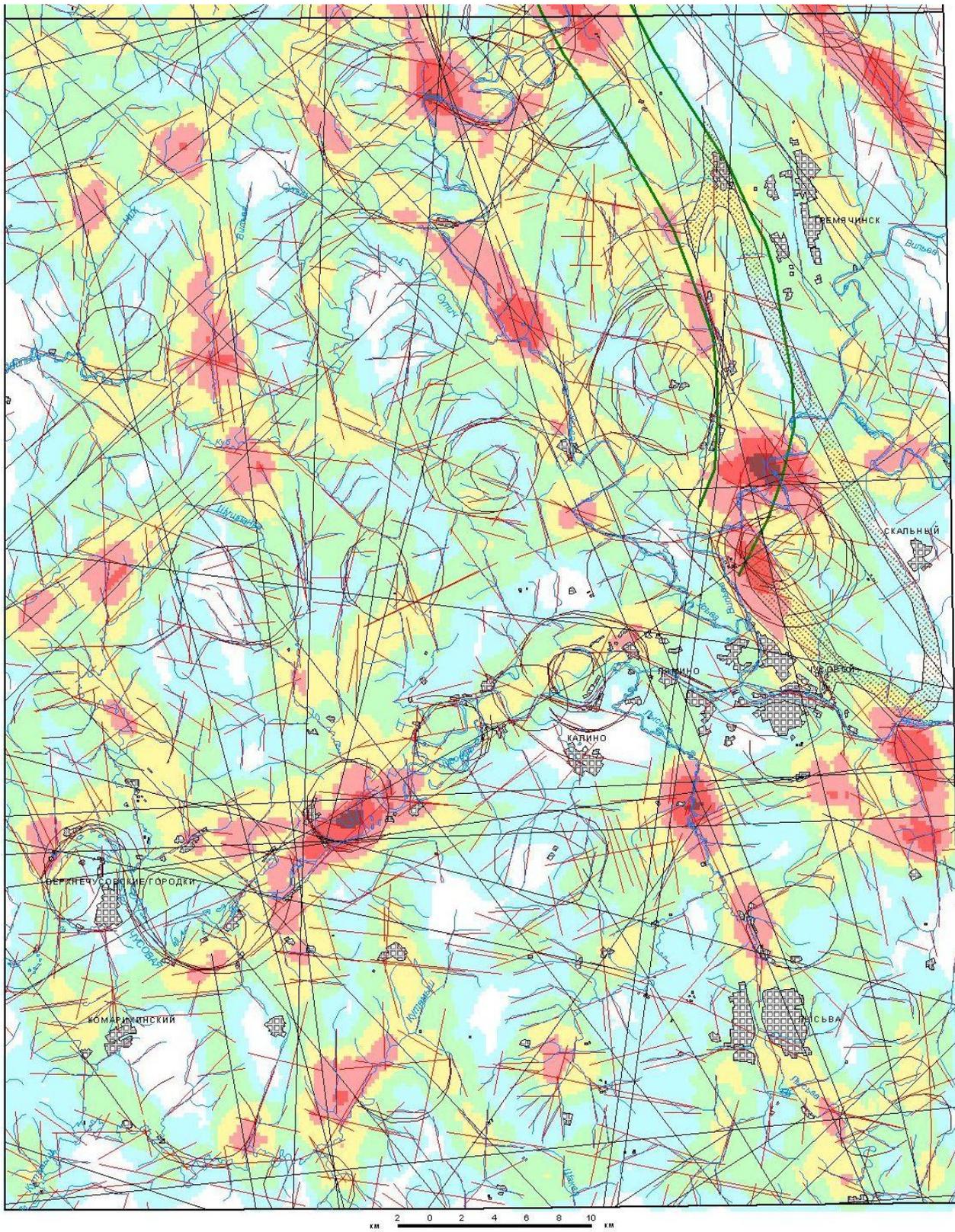


Рис. 4. Карта результатов дешифрования (лист О-40-XVI)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рис. 5. Условные обозначения к картам результатов дешифрирования

Факторы и критерии золотоносности по материалам АКГИ

С целью доказательства эффективности применения аэрокосмических методов для поисков золота Шкляевым Д.И. было проведено дешифрирование и полевые исследования территории восточных склонов Среднего Урала, в пределах которой в настоящее время ведется золотодобыча. Итогом стала карта месторождений коренного и россыпного золота с наложенными участками с максимальной плотностью линеаментов (рис. 6). Проанализировав карту, можно утверждать, что имеется связь между месторождениями золота района и выделенными линеаментами. Пять месторождений коренного золота находятся в местах повышенной плотности линеаментов. Также нужно отметить, что многие месторождения золота располагаются вблизи от протяженных линеаментов, которые зачастую совпадают с разломами, разделяющими крупные тектонические структуры.

По результатам анализа, с учетом рекомендаций предшественников, факторами золотоносности **для поисков коренного золота** в исследуемом районе были выбраны аэрокосмогеологические (неотектонические) и общегеологические критерии:

- 1) зона распространения пород чернокаменской и усть-сылвицкой свит верхнего венда, в пределах которых выявлены пункты минерализации золота и геохимические аномалии в коренных породах;
- 2) высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочено золотое оруденение;

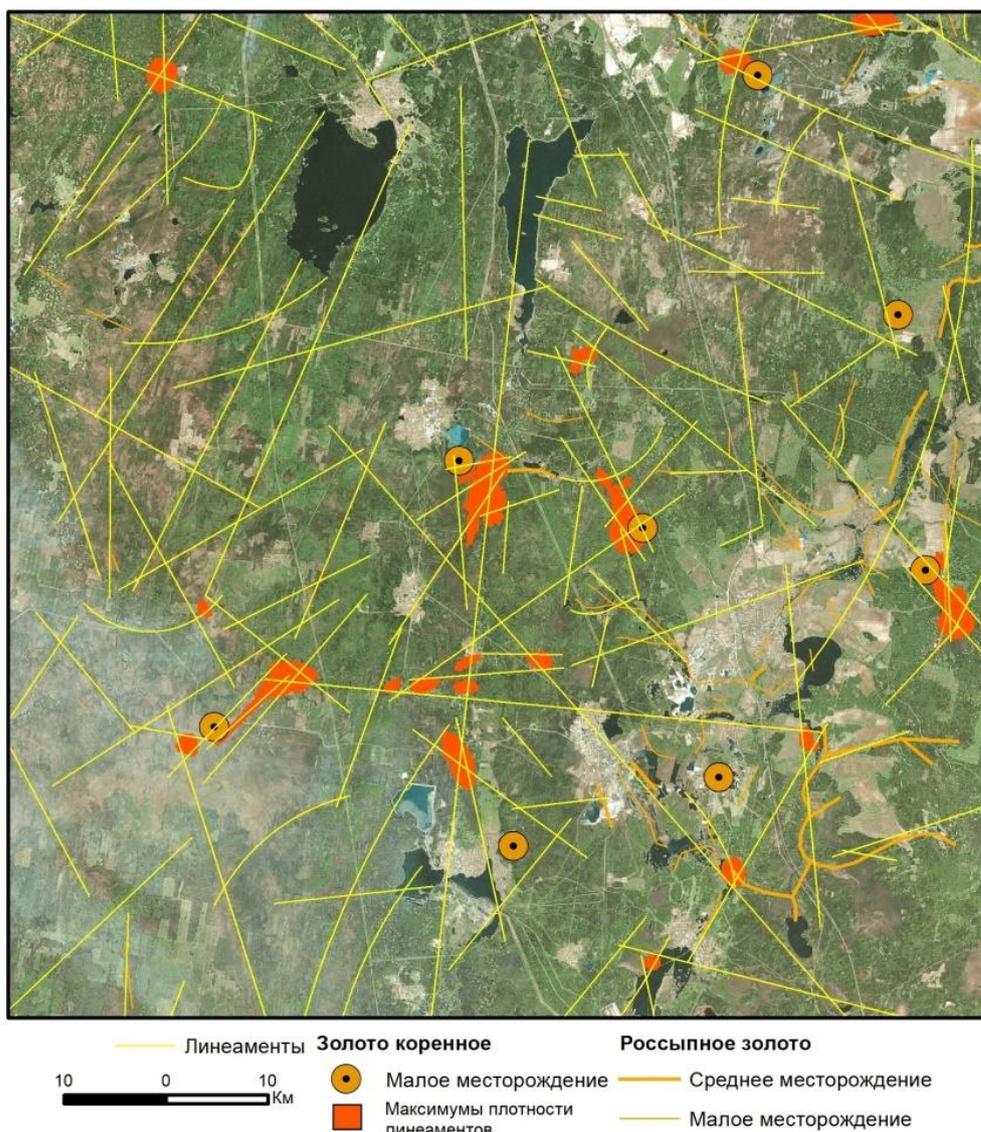


Рис. 6. Интегральная карта результатов дешифрирования района восточных склонов Среднего Урала

3) кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону;

4) узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости.

По результатам анализа, с учетом рекомендаций предшественников, факторами золотоносности **для поисков коренного золота** в исследуемом районе были выбраны аэрокосмогеологические (неотектонические) и общегеологические критерии:

1) зона распространения пород чернокаменской и усть-сылвицкой свит верхнего венда, в пределах которых выявлены пункты минерализации золота и геохимические аномалии в коренных породах;

2) высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочено золотое оруденение;

3) кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону;

4) узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости.

Для поисков *россыпных месторождений* факторами (критериями) золотоносности являются:

1) русла рек Усьвы, Косьвы, Вильвы и Вижая, к которым приурочены шлиховые потоки золота;

2) зоны структурно-тектонических депрессий, являющиеся благоприятными участками для россыпеобразования;

3) высокая плотность линеаментов;

4) локальные кольцевые структуры;

5) узлы пересечения крупных линеаментов.

Предложенные факторы, предположительно контролирующие золотоносность района, были нанесены на карту и сопоставлены друг с другом. В результате были выделены зоны пересечения нескольких факторов. Эти зоны являются перспективными участками на поиски золота. Всего на площади было выделено 5 зон, перспективных на поиски коренного золота, а также 10 зон, перспективных на поиски россыпного золота (рис. 7). Зонам были присвоены ранги по степени перспективности: первый ранг присваивался высокоперспективным зонам, в которых пересекаются более 3 факторов золотоносности; второй ранг получили перспективные зоны с 3 пересекающимися факторами золотоносности. Зоны, в которых пересекаются менее 3 факторов, не выделялись по причине их низкой перспективности. В результате был составлен каталог зон с учетом их перспективности (табл. 1).

Заключение

Таким образом, в результате проведения дешифрирования космических снимков масштаба 1:100 000 района Среднего Урала на площади листов О-40-Х и О-40-ХVI, линеаментно-геодинамического и ландшафтно-геодинамического анализов, разработаны неотектонические критерии золотоносности и выделены перспективные участки на поиски золота по аэрокосмическим данным.

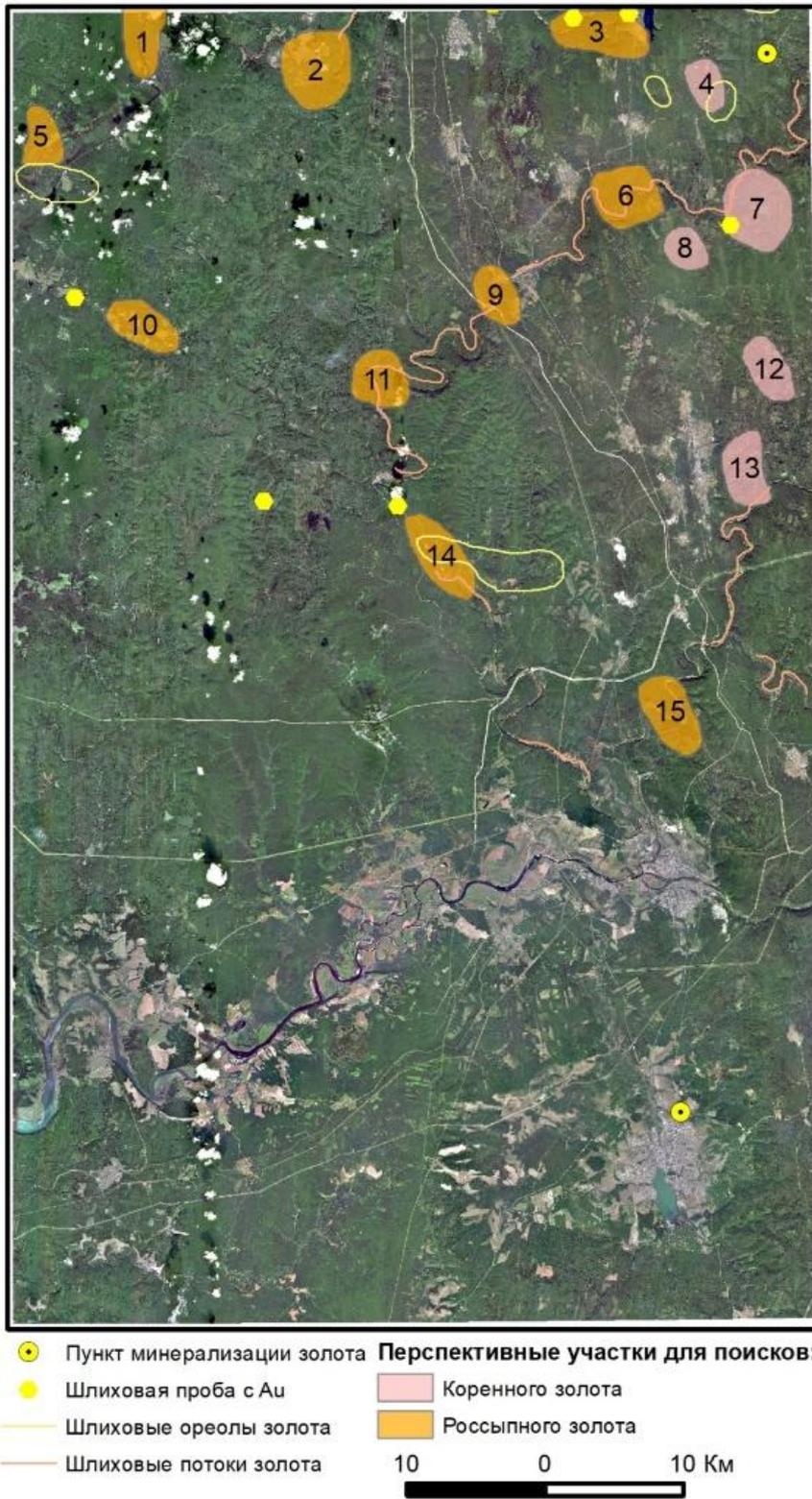


Рис. 7. Карта перспективных зон для поисков золота на западном склоне Среднего Урала

Таблица 1

Перспективные зоны на поиски золота по результатам АКГИ

№ зоны	Географическое положение	Геолого-структурное положение	Золотоносность в пределах зоны	Кол-во факторов золотоносности	Ранг перспективности
Коренное золото					
13	Междуречье Усьвы и Вильвы, долина р. Вильва	Широковская антиклиналь, Дьяковская синклиналь, Чикманско-Восточно-Гремячинский надвиг	Шлиховой поток	4	1
4	Междуречье Косьвы и Усьвы	Широковская антиклиналь, Широковский надвиг	Шлиховой ореол	3	2
7	Междуречье Усьвы и Вильвы, долина р. Усьва	Широковская антиклиналь	Шлиховой поток, шлиховая проба с Au	3	2
8	Междуречье Усьвы и Вильвы	Громовская синклиналь, Широковская антиклиналь, Чикманско-Восточно-Гремячинский надвиг	Нет данных	3	2
12	Междуречье Усьвы и Вильвы	Широковская антиклиналь	Нет данных	3	2
Россыпное золото					
14	Долина р. Усьва	Всеволодо-Вильвенский надвиг	Шлиховой ореол, шлиховой поток	4	1
11	Долина р. Усьва	Всеволодо-Вильвенский надвиг, Боркмосская антиклиналь, Стрельнинская антиклиналь	Шлиховой поток	4	1
6	Долина р. Усьва	Бруслянская и Громовская синклинали, Журавлинский надвиг	Шлиховой поток	4	1
3	Долина р. Косьва	Косьвинская и Шумихинская синклинали, Басковский и Журавлинский надвиги	Шлиховой поток, Шлиховые пробы с Au	3	2
15	Долина р. Вильва	Столбовская антиклиналь, Всеволодо-Вильвенский надвиг	Нет данных	3	2
1	Долина р. Косьва	Добрянско-Кизеловская впадина	Нет данных	3	2
2	Долина р. Косьва	Добрянско-Кизеловская впадина, Всеволодо-Вильвенский надвиг	Шлиховой поток	3	2
5	Долина р. Косьва	Добрянско-Кизеловская впадина, Игумская брахиантиклиналь	Шлиховой ореол	3	2
9	Долина р. Усьва	Столбовский и Луньевско-Чусовской надвиги	Шлиховой поток	3	2
10	Долина р. Исток	Яринский атолл	Нет данных	3	2

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 316 с.*
2. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.*
3. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // *Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
4. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // *Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.*
5. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
6. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
7. 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.*
8. 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.*
9. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
10. 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.*
11. Копылов И.С., Наумов В.А., Спаский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // *Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.*
12. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на Ново-Губахинском лицензионном участке. Отчёт сектора комплексных геологических исследований ООО «ПермНИПИнефть» / Быков Н.Я. и др. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу», 2005. 128 с.
13. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное: утв. МПР России от 05.06.2007 М., 2007 27 с.
14. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения: утв. МПР России от 05.06.2007 М., 2007 66 с.
15. Отчет по геологическому доизучению масштаба 1:200 000 листов О-40-Х (Кизел) и О-40-ХVI (Лысьва), проведенному в 2006-2009 гг. / Г.П. Снитко Г.П., Т.В. Харитонов, И.С. Копылов и др. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу», 2009.
16. Региональные аэрогеологические исследования в северо-восточной части Пермской области в 1980-1983 гг.: Отчёт аэрогеологической партии № 1 / С.Т. Шитин и др. Фонд ООО «ПермНИПИнефть», 1983.
17. Тектоническая карта Урала масштаба 1:000 000. Объяснительная записка. / И.Д. Соболев и др. Екатеринбург: Уралгеология, 1983. 169 с.

В.А. Кузнецов, М.П. Лобанов, А.С. Чирков

Пермский государственный национальный исследовательский университет

**АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ
ПОИСКАХ РУДНОГО ЗОЛОТА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКОВ ЛУКТАХ,
СИГАН, САХТАЧИ (ЛИСТ О-50-VII)**

Проведены аэрокосмогеологические исследования территории Бодайбинского района. Выполнен анализ дешифрирования космических снимков с имеющимися геолого-геофизическими данными. Выделены перспективные участки на поиски рудного золота.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, золото, Бодайбинский район.

V.A. Kuznetsov, M.P. Lobanov, A.S. Chirkov

Perm State University, Perm, Russia

**AEROSPACE AND GEOLOGICAL RESEARCHES IN SEARCHING OF
ORE GOLD ON THE EXAMPLE OF SECTIONS LUKTA, SIGAN,
SAKHTACHI (SHEET O-50-VII)**

Aerospace geological studies of the Bodaibo region were carried out. An analysis of the interpretation of satellite images with available geological and geophysical data is performed. Prospective sites were identified for the search for ore gold.

Key words: aerospace methods, decryption, lineaments, gold, Bodaibo region.

Аэрокосмогеологические исследования и дешифрирование космических снимков является одним из главных видов исследований при изучении недр, особенно на поисковой стадии. Такие исследования проводятся при помощи построения линеаментов – линейных и кольцевых структур, отображающих скрытые и перекрытые рыхлыми отложениями трещинно-разрывные нарушения фундамента. Они позволяют установить зоны повышенной трещиноватости, которые являются одним из важнейших геоструктурных факторов при поисках рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. – рудного золота [5, 7, 8].

Рассматриваемая площадь расположена на севере Байкальской складчатой области и охватывает центральную часть Чуйско-Нечерского антиклинория и северную часть Мамско-Бодайбинского синклинория. Административно она относится к Бодайбинскому району Иркутской области (рис. 1).

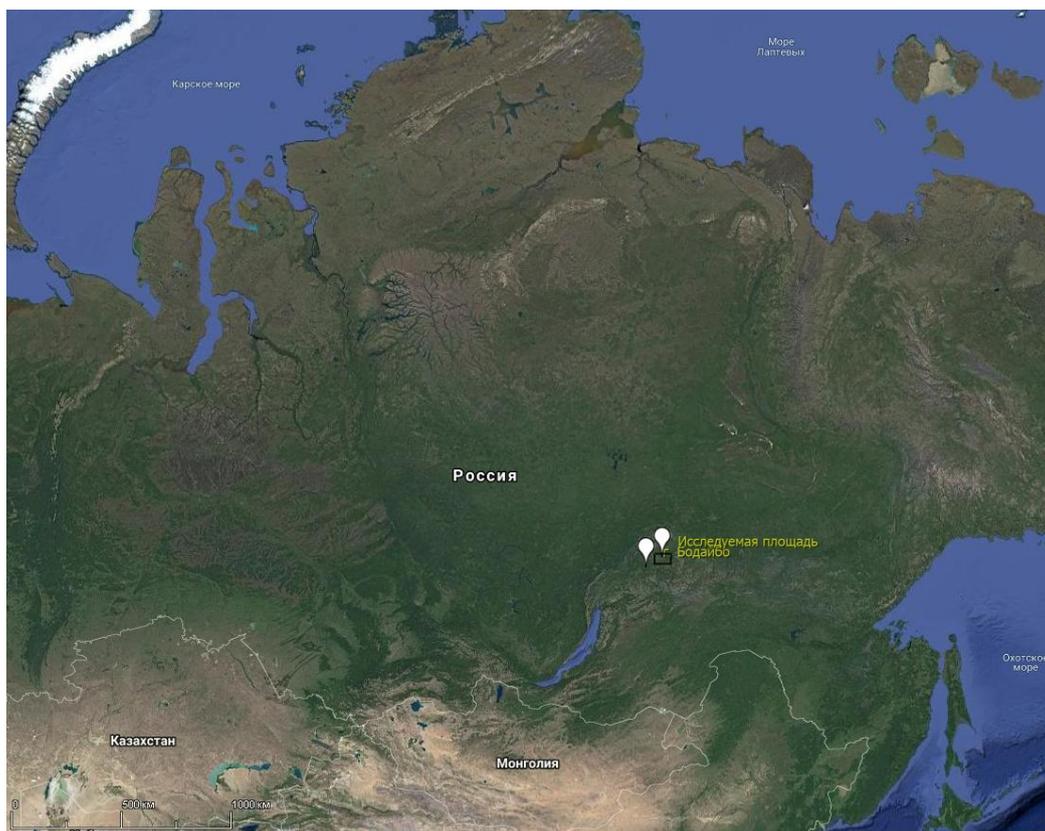


Рис. 1. Космоснимок Евразийского континента с метками г. Бодайбо и исследуемой площади

В орогеническом отношении площадь расположена в северо-восточной части Байкало-Патомского нагорья. Рельеф района горный и среднегорный, участками сильно расчлененный. Абсолютные отметки варьируют от 400 до 1720 м. Гидросеть района разветвленная, принадлежит Ленскому бассейну. Основной водоток площади – р. Бол. Патом и его притоки рр. Таймендра, Хайверга, а также их притоки рр. Сиган, Аунахта, Луктах, Сахтачи. Все реки пригодны для хозяйственно-бытового и производственного водоснабжения. Крупные водотоки площади, за исключением р.р. Бол. Патом, пересекают складчатые структуры площади. Большинство мелких водотоков ориентировано по простиранию складчатых структур.

Площадь располагается на стыке трех тектонических структур первого порядка – Бодайбинского, Мамского синклиналиев и Чуйско-Нечерского антиклинория. На территории района развиты в разной степени метаморфизованные осадочные карбонатно-терригенные породы рифей-вендского возраста.

Положение района на стыке трех крупных структур обуславливает его сложное блоковое строение. Тектоническое районирование на структуры первого и второго порядков выглядит следующим образом: 1. Чуйско-Нечерский антиклинорий (Сахтачинский тектонический блок); 2. Мамский синклиналиев (Патомская зона шовных складок, Патомская сложная антиклиналь); 3. Бодайбинский синклиналиев (северо-западная часть Кадаликанской сложной антиклинали, западное центроклиналиевое замыкание

Маракано-Тунгусской сложной синклинали). Для всех выделенных структур характера линейная складчатость и значительное разнообразие конкретных форм складок – наклонные, опрокинутые, симметричные. Наряду со складчатыми дислокациями, в районе широко развиты разрывные нарушения [1-3].

Для изучения данного района использовалась методика линеаментно-геодинамического анализа, которая подробно изложена в работах И.С. Копылова [4, 6-8]. Линеаментно-геодинамический анализ позволяет изучать рельеф и новейший структурный план любой территории, устанавливать характер перестройки речной сети, изменения областей размыва и транспортировки обломочного материала, выявлять участки долин, где более всего вероятно концентрация полезного компонента, и тем самым определять стратегию проведения наземных поисковых работ.

Для выполнения работы за основу применялись космические снимки спутника Landsat/Corpnicus (ис. ресурс Google Earth). При помощи программного обеспечения ESRI ArcGis (рис. 2) было произведено компьютерное дешифрирование по косвенным и прямым признакам (гидросеть, ландшафты, геоморфологические элементы, растительность и др.). Дешифрирование проводилось в 4 этапа в зависимости от уровней генерализации (табл.). Всего выделено 145 линеаментов (рис. 3).

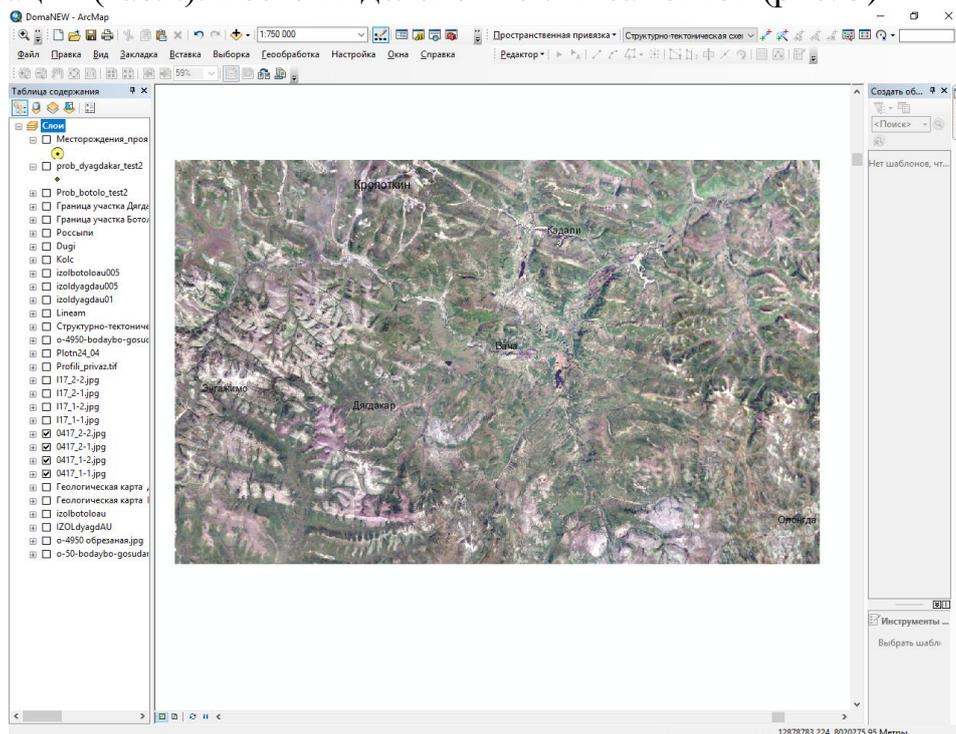


Рис. 2. Рабочая среда ArcGIS ArcMap

Для количественного и качественного анализа было построено поле плотности линеаментов при помощи модуля Spatial Analyst. На поле плотности была наложена карта полезных ископаемых района, с помощью которой нанесены основные месторождения и проявления золота (рис. 4а). Как видно, большая часть этих объектов находится в граничной части максимумов поля.

Таким образом, можно утверждать, что максимумы поля плотности довольно ясно коррелируются с проявлениями золота.

Таблица

Результаты дешифрирования космических снимков

Стадия работ	Протяженность линеаментов, км	Ранги выделяемых линеаментов	Масштаб дешифрирования	Количество
Обзорная	>100	Региональные	1:1 000 000	28
Регионально- зональная	10-25	Локальные	1:200 000	95
Зонально- детальная	5-10	Короткие	1:50 000-100 000	22
Итого				145

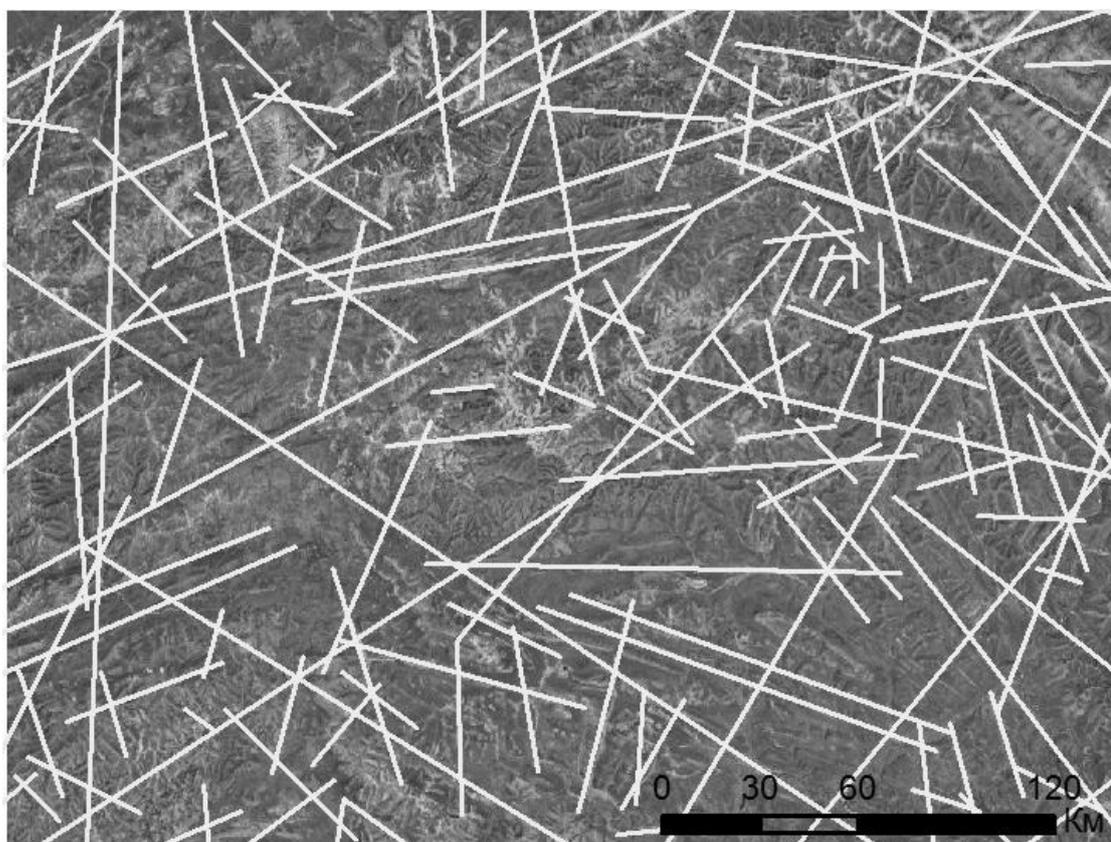


Рис. 3. Космический снимок с выделенными линеаментами.

На предварительной стадии прогнозирования выделены перспективные зоны и участки на обнаружение новых месторождений (рис. 4б), на которых необходимо провести комплекс детальных геолого-поисковых и аэрокосмогеологических исследований.

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

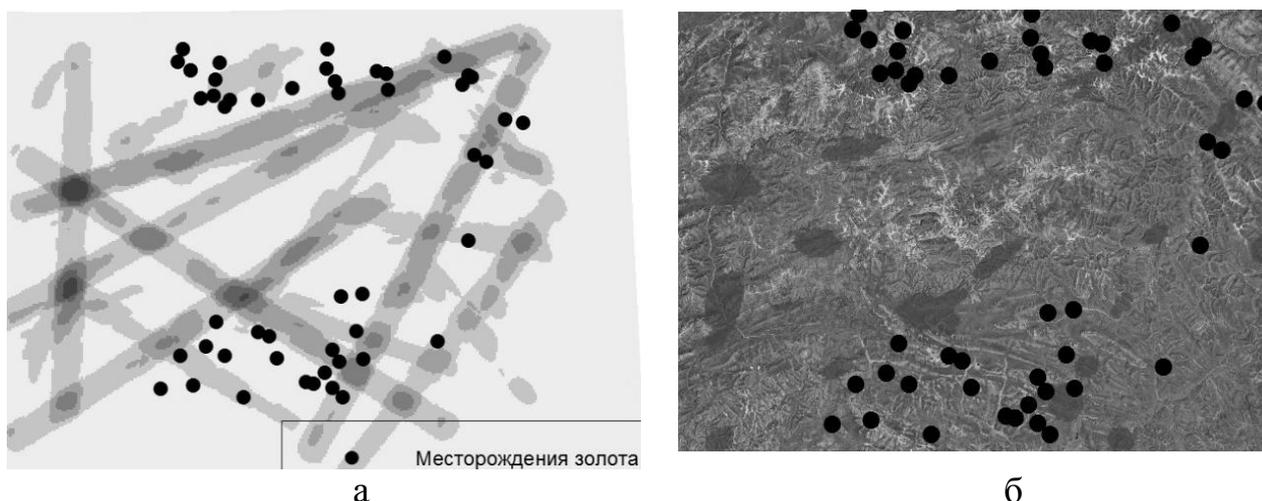


Рис. 4. Поле плотности (а), перспективные участки (б).

Библиографический список

1. Жаднова Т. П. Стратиграфия северо-востока Патомского нагорья. Тр. ЦНИГРИ, вып. 38, 1961.
2. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. 2008. № 3. С 43-61.
3. Казакевич Ю. П. и др. Ленский золотоносный район. Том I. Стратиграфия, тектоника, магматизм и проявления коренной золотоносности. М., Недра, 1971.
4. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). 70-81.
5. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 130 с.
6. Копылов И.С. Линейно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №7-2. 2016. С. 241-246.
7. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазонасыщенных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
8. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.

Г.В. Курнаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

**КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ И
АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИСТА Q-60-XVII, XVIII
ГОСГЕОЛКАРТЫ-200 (ЧУКОТКА)**

Проведен аэрокосмогеологический анализ территории листа Q-60-XVII, XVIII Госгеолкарты-200 с дешифрированием космических снимков. На основе линеаментного дешифрирования выделены перспективные для поисков месторождений полезных ископаемых геодинамические активные зоны. Выделенные перспективные зоны сопоставлены с данными проведенных геохимических и геофизических исследований.

Ключевые слова: геодинамические активные зоны, дешифрирование, линеаменты.

G.V. Kurnakov

Perm State University, Perm, Russia

**COMPLEX GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND AEROSPACE-
GEOLOGICAL ANALYSIS OF SHEET Q-60-XVII, XVIII OF STATE
GEOLOGICAL MAP-200 (CHUKOTKA)**

The aerospace-geological analysis of the territory of sheet Q-60-XVII, XVIII state geological map-200 with decoding of space images is carried out. Geodynamic active areas promising for prospecting of mineral deposits are identified on the basis of lineament decoding. The identified promising areas are compared with the data of geochemical and geophysical studies.

Keywords: geodynamic active areas, decoding, lineaments.

В настоящее время в современном мире постепенно возрастает роль методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). ДЗЗ является одним из наиболее экономичных и эффективных методов поисков полезных ископаемых, однако наибольшая эффективность его применения достигается при комплексировании с другими методами. Одна из проблем, которую помогает решить аэрокосмогеологический анализ в комплексе с данными других исследований, – совершенствование геологической съемки и поисковых работ.

Объектом исследований является лист Госгеолкарты-200 Q-60-XVII, XVIII. Площадь листа расположена в Амгуэмской зоне Охотско-Чукотского вулканогенного поясе (ОЧВП), а также в Искатеньской подзоне Чаун-Чукотской зоны Чукотской складчатой системы и относится к Иультинскому и Анадырскому районам Чукотского автономного округа Российской Федерации.

В орографическом отношении территория принадлежит Чукотскому нагорью, только северная и южная части ее расположены в Амгуэмской и Канчаланской низменностях. Рельеф низкогорный, интенсивно расчлененный, местами альпинотипный, абсолютные отметки вершин 500-1200 м, относительные превышения 200—700 м. Нагорье плавно сочленяется с низменностями, рельеф становится сглаженным и плосковершинным с абсолютными отметками 200—700 м и относительными превышениями 50-300 м.

На территории листа выявлены проявления, пункты минерализации, шлиховые ореолы и потоки рассеяния, вторичные геохимические ореолы и потоки рассеяния цветных и благородных металлов – свинца, цинка, вольфрама, олова, ртути, мышьяка, висмута, золота и серебра. Широко распространены геологические образования, пригодные в качестве строительных материалов. Размещение металлических полезных ископаемых гидротермального вулканогенного и плутоногенного генетических типов контролируется преимущественно интрузивно-купольными структурами. Наибольшее внимание привлекают проявления руд благородных металлов [4].

Методика исследований

В основу методики аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) положено комплексное дешифрирование материалов дистанционных съемок земной поверхности. Основными картируемыми объектами при проведении АКГИ являются субпрямолинейные линеаменты, отождествляемые с тектоническими нарушениями фундамента и осадочного чехла, и кольцевые структуры, отражающие погребенные тектоногенные структуры разных порядков. При обработке данных ДЗЗ проводятся структурно-геологический, линеаментно-геодинамический анализы и комплексная интерпретация результатов дешифрирования на основе накопленного геолого-геофизического материала, выделяются *геодинамические активные зоны* (ГАЗ) [1-3].

Методика заключается в выявлении различно ориентированных линеаментов и кольцевых структур с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами с применением ГИС-технологий.

Структурно-геологический (количественный) анализ включает в себя выделение линеаментов и построение поля их плотности (рис. 1). Задача выполнялась в программном обеспечении ArcGIS с помощью инструмента Плотность линий (Line Density) модуля Spatial Analyst. Всего выбрано 6 классов значений плотности линеаментов (от низкой до очень высокой), которые соответствуют аналогичной степени неотектонической активности.

Линеаментно-геодинамический (качественный) анализ был проведен на основе космоснимков с дешифрированными кольцевыми структурами. Визуально были выделены зоны, в которых происходит наибольшее "завихрение" структур и/или пересечение этих структур друг с другом [5]. Выделенные зоны были наложены на карту геодинамических активных зон. (рис. 2).

Оценка перспективности территории производится с помощью комплексирования данных линеаментно-геодинамического анализа с данными

гравirazведки (рис. 3), шлихогеохимического опробования (рис. 4) и данными геохимического опробования по вторичным ореолам (рис. 5).

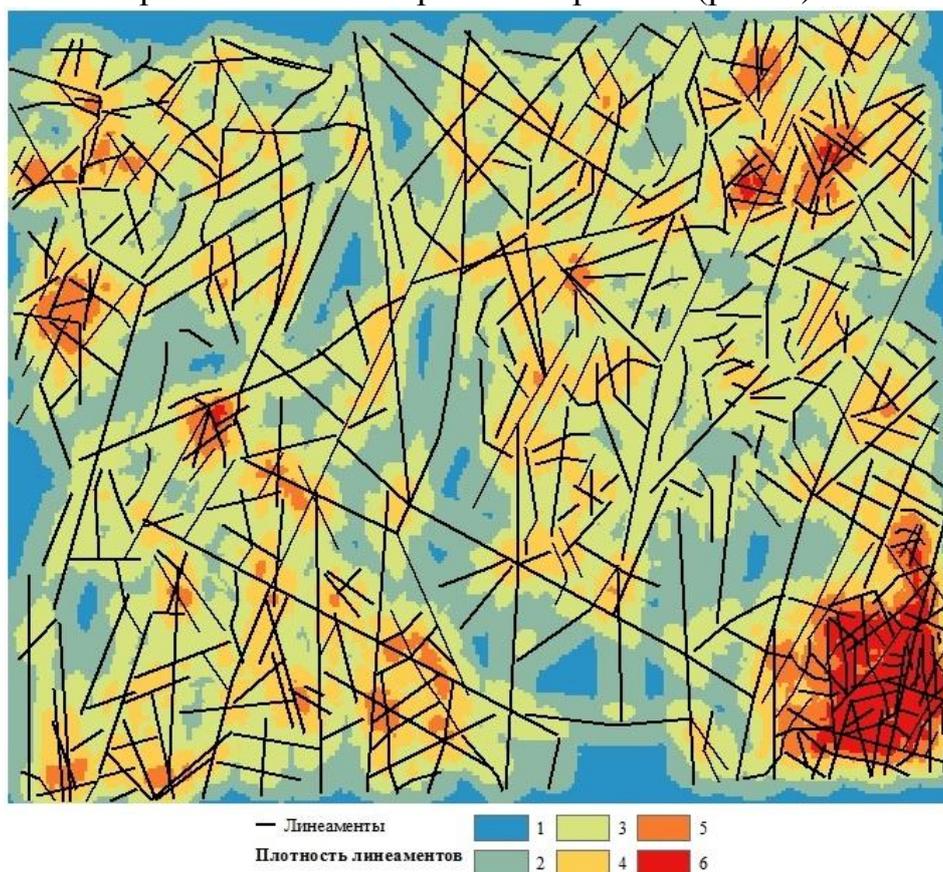


Рис. 1. Выделенные линеаменты и поле их плотности

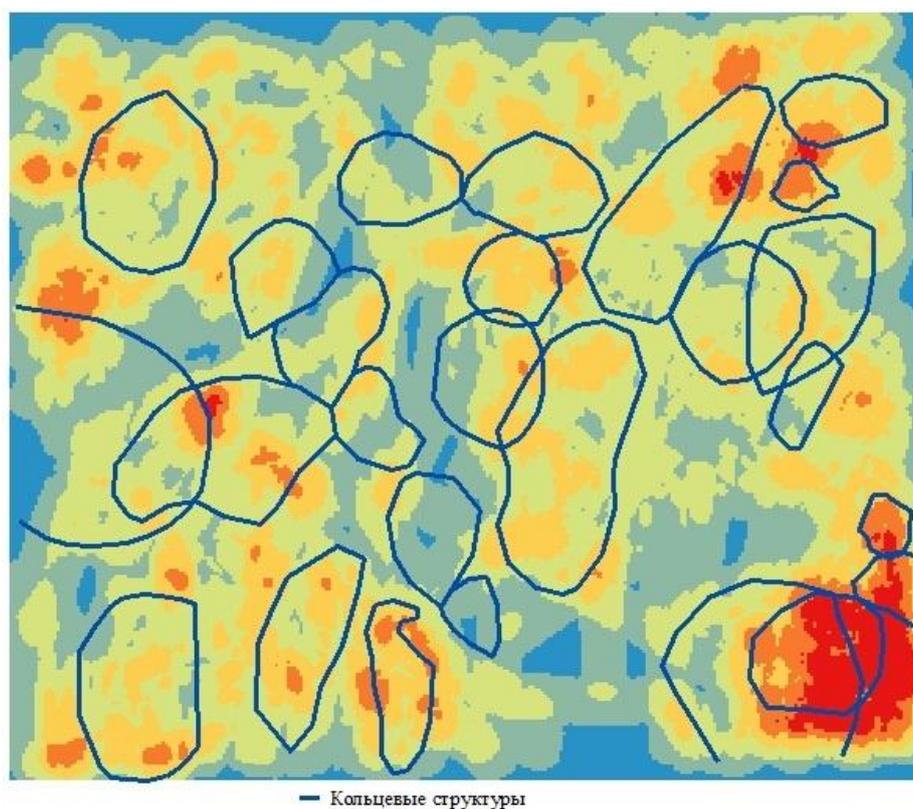


Рис. 2. Кольцевые структуры

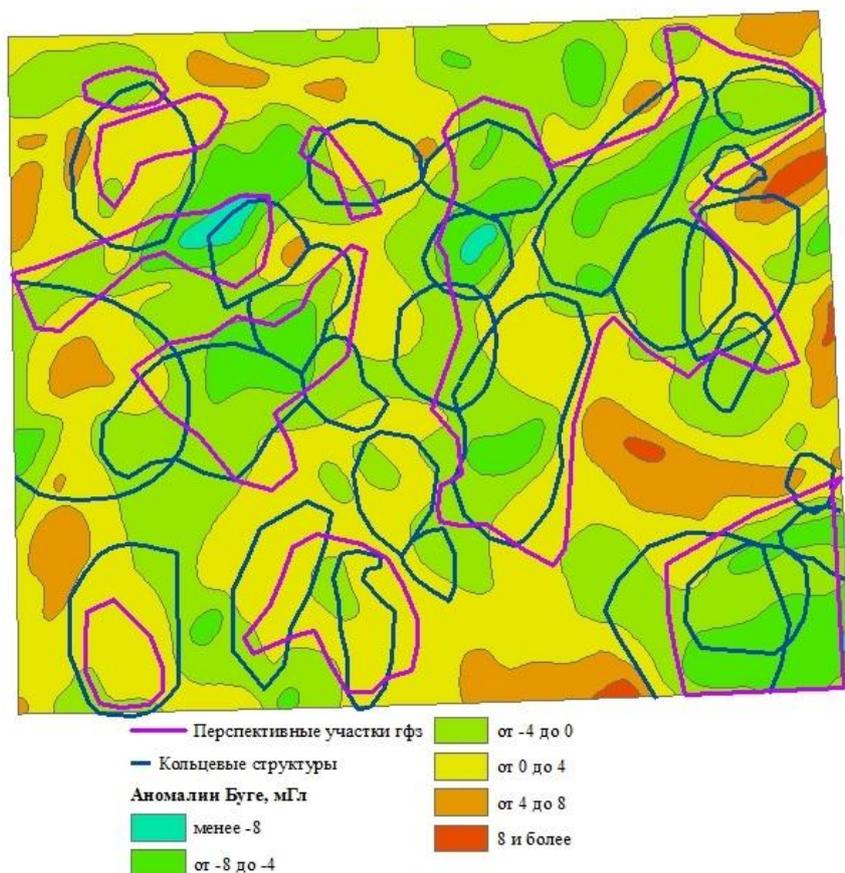


Рис. 3. Сопоставление ГАЗ с данными гравиразведки

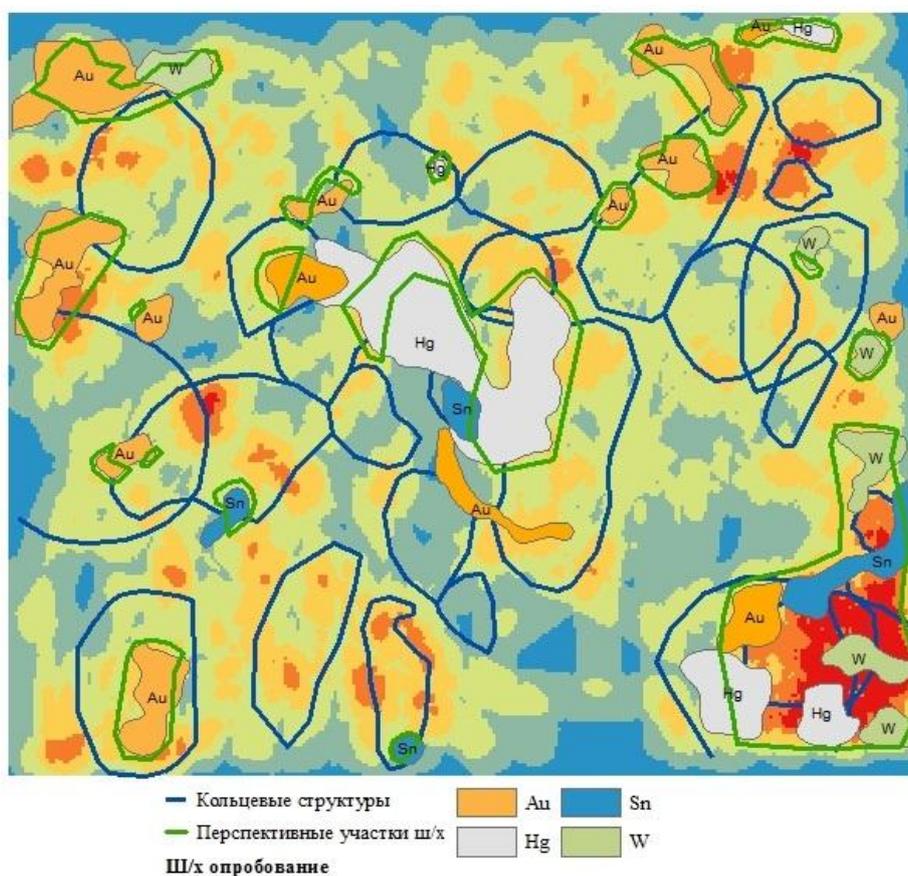


Рис. 4. Сопоставление ГАЗ с данными шлихогеохимического опробования

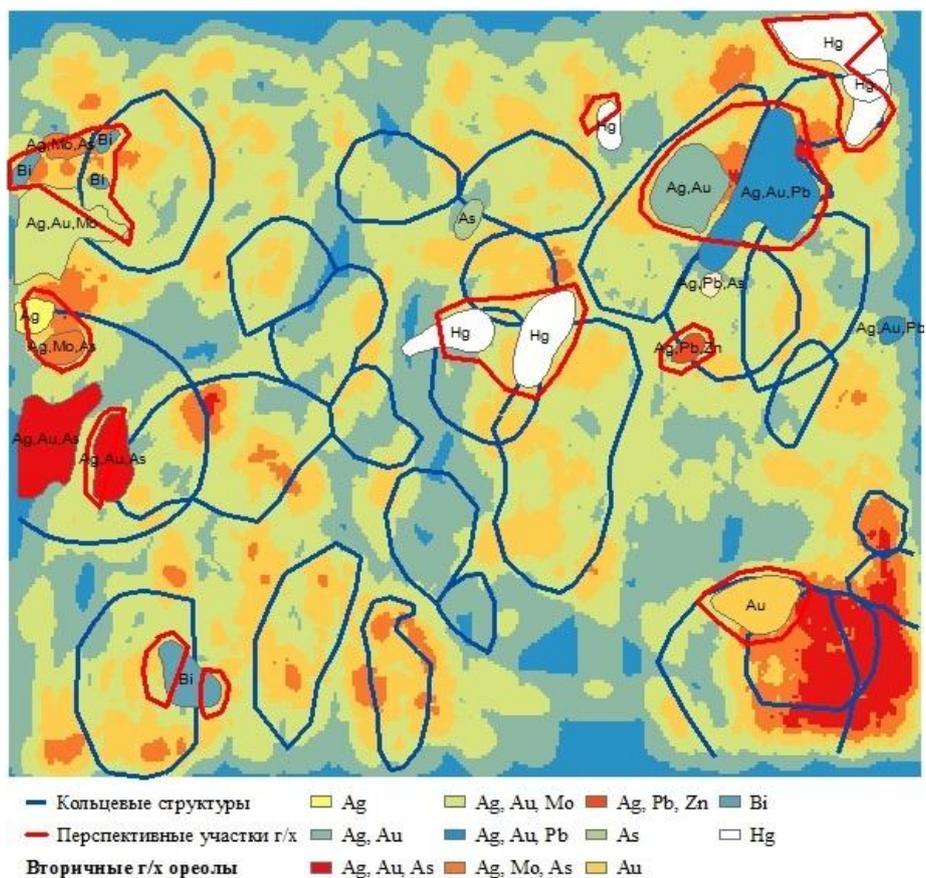


Рис. 5. Сопоставление ГАЗ с геохимическими поисками по вторичным ореолам

По результатам АКГИ можно утверждать, что аэрокосмогеологические методы в комплексе с геохимическими и геофизическими исследованиями уточняют данные съемок, сужая круг поиска полезных ископаемых, тем самым повышая вероятность их нахождения и значительно удешевляя геологоразведочный процесс.

Библиографический список

1. Копылов И.С. *Линейно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
2. Копылов И.С. *Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. С.321-328.*
3. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
4. Романов Н.И., Романова В.В., Филина Н.Ф. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Пыкарваамская. Лист Q-60-XVII, XVIII. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013.*
5. Фефелов М.В., Курин Д.С. *Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С.243-248.*

**Е.В. Стряпунина¹, Р.Р. Залалов², Р.З. Халиков², А.А. Туманова³,
А.В. Журавлева³**

1 – ООО «КОМП» г.Пермь,

2 – ООО ТНГ - ГРУПП БУГУЛЬМА, Татарстан

3 – ПГНИУ г.Пермь,

ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ТЕРРИТОРИИ ЛИСТА О-40-IV ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОКАРТИРОВАНИЯ

Проведено предварительное дешифрирование территории листа О-40-IV масштаба 1:200 000. По дешифрированию космических снимков выделено 40 тектонических линеаментов, установлено 20 малых кольцевых структур. Проведен сравнительный анализ с имеющимися геолого-геофизическими данными, сопоставление линеаментов и кольцевых структур с геологическими структурами и месторождениями

Ключевые слова: дешифрирование, линеаменты, кольцевые структуры, дистанционная основа.

**E.V. Stryapunina¹, R.R. Zalalov², R.Z. Khalikov², A.A. Tumanova³,
A.V. Zhuravleva³**

1 - LLC "COMP" Perm,

2 - TNG LLC - BUGULMA GROUP, Tatarstan

3 - Perm State University, Perm, Russia

INTERPRETATION AEROSPACE IMAGES OF TERRITORY OF THE O-40-IV SHEET TO SOLVE THE PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING

A preliminary interpretation of the O-40-IV sheet of the 1: 200 000 scale was carried out. 40 tectonic lineaments were identified for the interpretation of satellite images, 20 small ring structures were installed. A comparative analysis with available geological and geophysical data, the comparison of lineaments and ring structures with geological structures and deposits

Key words: interpretation, lineaments, ring structures, distance basis.

Введение

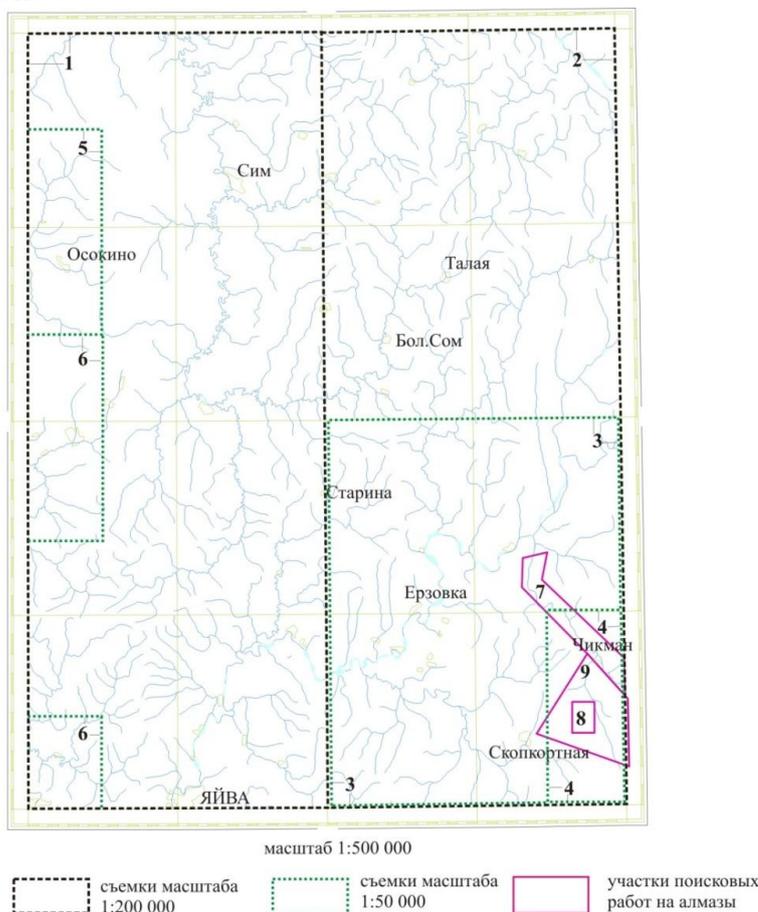
Роль материалов дистанционного зондирования повышается в современных экономических условиях, т.к. они позволяют получить данные о геологическом строении одновременно на большие площади и с требуемой детальностью и обзорностью.

В настоящее время при создании комплектов Государственных карт масштабов 1:200 000, 1:1 000 000 и других карт геологического содержания используют материалы аэро- и космосъемок. Данные этих съемок представляются в виде цифровых снимков, систематизированных в виде дистанционной основы.

Цель исследований: предварительное дешифрирование масштаба 1:200 000 космоснимков территории листа О-40-IV и сопоставление полученные результаты с геологическими структурами и месторождениями данной территории.

Геологическая изученность

Территория листа изучена не равномерно (рис.1). В западной части расположен восточный фланг Верхнекамского месторождения калийных солей и сосредоточены нефтяные месторождения, поэтому геологическая изученность здесь более детальная. В юго-восточном углу листа О-40-IV находится россыпное месторождение алмазов р.Чикман и в 2003-2005 гг. при поисково-оценочных работах на участке «Талица-Благодать» открыто месторождение алмазов «Рыбьяковское».



Съемки масштаба 1:200 000: 1- Денисов М.И. и др., 1980; 2- Степанов И.С. и др., 1987.Съемки масштаба 1:50 000: 3-Григорьев Л.В.,1968; 4-ГригорьевЛ.В., 1979; 5- Харитонов Т.В., 2002; 6-Харитонов Т.В., 1993. Участки поисковых работ на алмазы: 7-Ветчанинов В.А., 1988; 8-Гурьев Г.В. и др., 1981; 9-Рыбьякова и др., 2008 г.

Рис.1. Схема геологической изученности листа О-40-IV

Данная территория не имеет современной (и даже изданной в прошедших поколениях) геологической основы, которая могла бы являться практической базой для планирования геологоразведочных работ последующих стадий.

Наиболее крупными реками района является Яйва с притоками Кадь, Ульвич, Чикман, Чаньва и Глухая Вильва (приток р.Язьва) с очень разветвленной сетью притоков. В геологическом строении территории листа О-40-IV принимает участие разнообразный комплекс осадочных пород от протерозойского до неогенового возраста включительно. Коренные породы перекрыты чехлом рыхлых отложений значительной мощности.

В структурном отношении западная половина площади располагается в пределах Соликамском впадины, входящей в состав Предуральского краевого прогиба. Восточная половина площади листа О-40-IV входит в состав Западно-Уральской внешней зоны складчатости.

Методика и материалы:

Основным видом исследований было структурно-геологическое (линеаментное) и ландшафтно-геодинамическое (геоиндикационное) дешифрирование материалов космических съемок входящих в состав дистанционной основы масштаба 1:200 000.

При работе использованы снимки Landsat ДО-200, выполненной ФГБУ «ВСЕГЕИ» (исполнитель: вед.инженер ЦДМИ ФГБУ «ВСЕГЕИ» Терехова Ж.В.) (рис. 2).

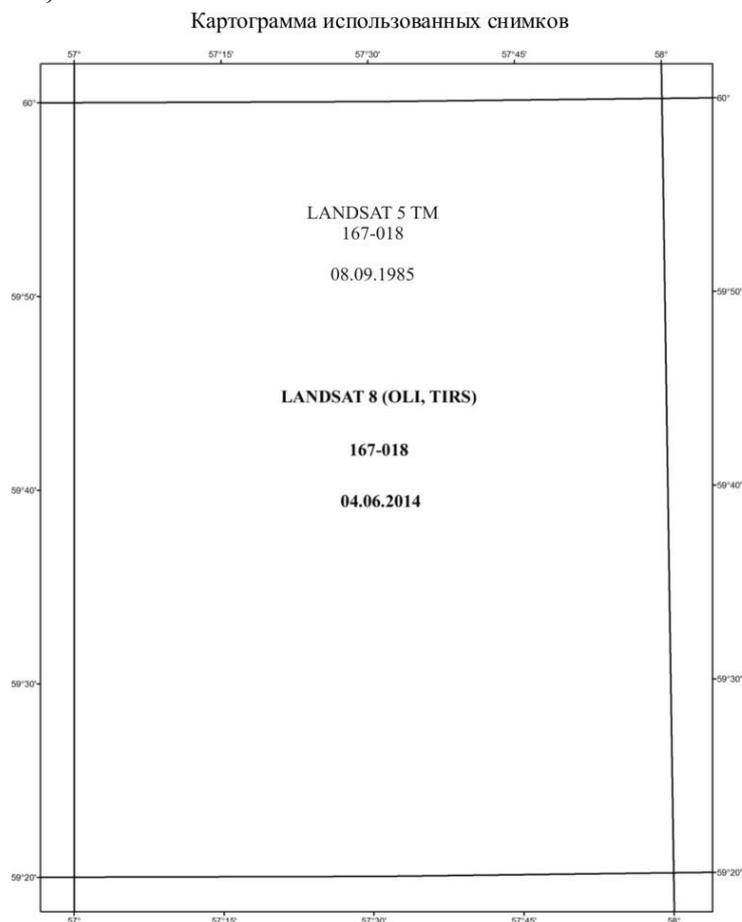


Рис.2. Картограмма использованных снимков листа О-40-IV

Основными объектами дешифрирования были тектонические линеаменты и кольцевые структуры.

В качестве методических рекомендаций по дешифрированию и линеаментно-геодинамическому анализу использована методическая и научная литература [1-10].

Внимание обращалось на прямые простые дешифровочные признаки – форма, размер, тон (цвет) изображения и тень. Выявление кольцевых структур на снимках отражает рисунок гидросети, элементы рельефа, особенности растительного покрова и т.д.

На спектральных снимках различные элементы ландшафта (геологические объекты) характеризуются разными спектральными характеристиками.

Проведен сравнительный анализ с имеющейся на данную территорию предварительной схемой дешифрирования, составленной ведущим геологом ООО «КОМП» Тетерным И.П.

Результаты дешифрирования космоснимков

В результате работы было выделено 40 тектонических линеаментов, установлено 20 малых кольцевых структур (рис. 3).

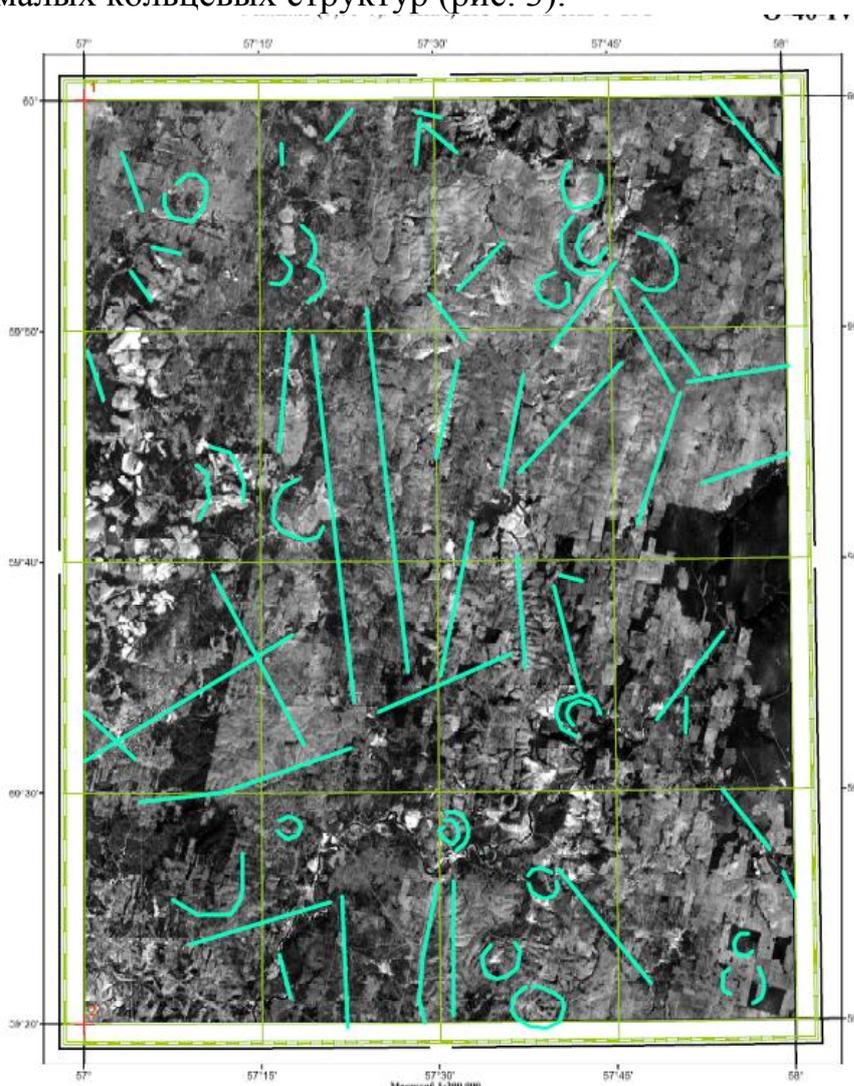


Рис. 3. Результаты дешифрирования листа О-40-IV

Пространственный анализ.

Далее был проведен сравнительный анализ с имеющейся предварительной схемой дешифрирования, составленной ведущим геологом ООО «КОМП» Тетериным И.П. [11] (рис.4.). На рисунке отчетливо видны совпадающие кольцевые структуры.

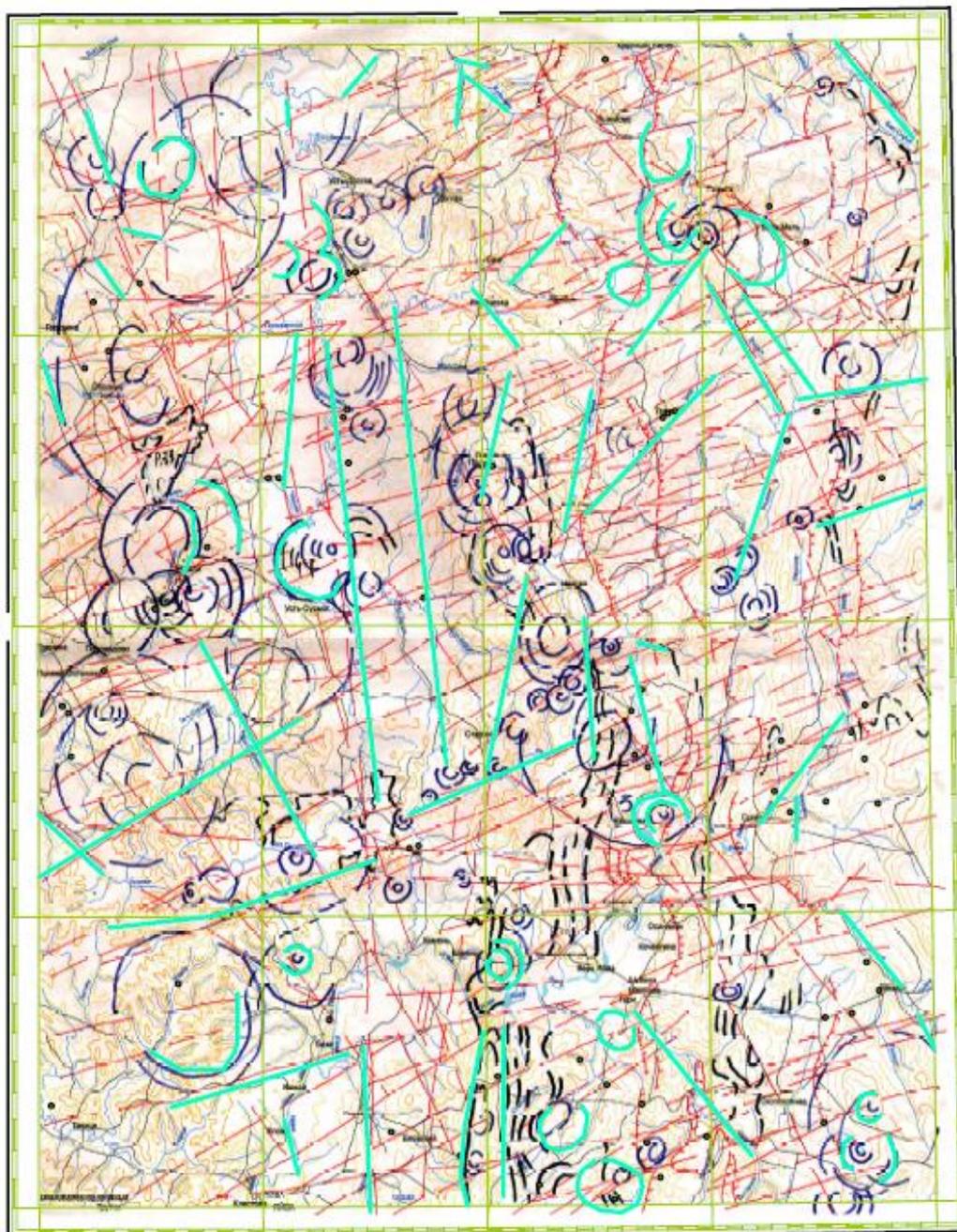


Рис.4. Совмещенная схема дешифрирования авторов и предшественников (подложка – схема Тетерина И.П., зеленым цветом показаны объекты, выделенные авторами)

Далее на эту схему был наложен слой полезных ископаемых (рис.5). На полученной схеме в западной части очень хорошо заметна приуроченность нефтяных месторождений к кольцевым структурам.

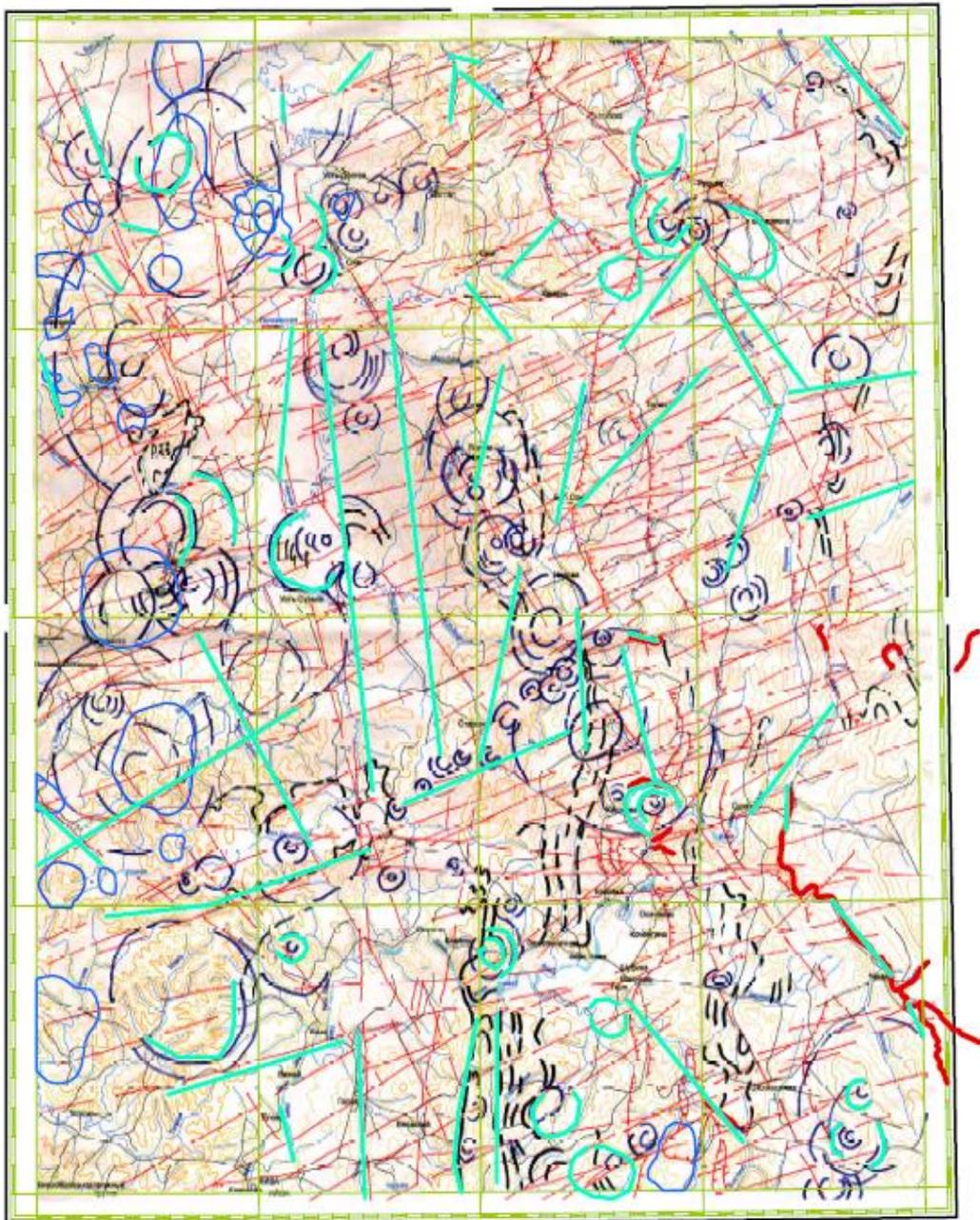


Рис.5. Предварительная схема дешифрирования листа О-40-IV совмещенная с полезными ископаемыми (голубым цветом показаны нефтяные месторождения, красным – проявления и месторождения алмазов)

В дальнейшем требуется более полный и углубленный комплексный анализ всей имеющейся информации, но уже сейчас на данном этапе можно сказать, что по геологическому строению западная часть листа значительно отличается от восточной по геологическому строению, наличию кольцевых структур и ориентировкой линеаментов. Выделены участки, заслуживающие более детального геологического изучения.

Заключение

При дешифрировании материалов космических снимков, в том числе спектрозональных, выделяются площади и прослеживаются границы стратифицированных объектов. Структурно-тектоническое дешифрирование космоснимков, анализ схемы линеаментов способствует более объективному выделению региональных разломов разного ранга, а также зон мелких разрывных нарушений, для рисовки структурного каркаса района и увязки общего структурно-тектонического плана территории со структурами пограничных листов. При этом появляются дополнительные данные для уточнения закономерностей размещения полезных ископаемых, выявления и локализации потенциальных рудоносных объектов и перспективных площадей. Дешифрирование аэро- и космоснимков является важной компонентой при составлении карт геологического содержания.

Библиографический список

1. Гридин В.И. Структурное дешифрирование материалов дистанционного зондирования. ООО МИНГ им. И.М. Губкина, М., 1987. 99 с.
2. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). 70-81.
3. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
4. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
5. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 130 с.
6. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
7. 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.
8. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
9. 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.
10. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.
11. Тетерин И.П., Стряпунина Е.В. и др. Проект на выполнение работ по геологическому изучению недр «Оценка геологической, геохимической, геофизической изученности и подготовке материалов по геологическому обоснованию проведения ГДП-200 в пределах листа О-40-IV (Половодовская площадь) (контракт №15-2/18-2 от 20 апреля 2018г.) в составе объекта ФГБУ «ВСЕГЕИ».

А.С. Чирков, М.П. Лобанов, Р.Ф. Илькаев, А.С. Шкляев, А.П. Щеткин
Пермский государственный национальный исследовательский университет

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ОМСУКЧАНСКОГО РАЙОНА МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ
(ЛИСТ Р-56-ХVIII)**

Проведено минерагеническое изучение Омсукчанского района Магаданской области (лист Р-56-ХVIII) с помощью аэрокосмических методов. Выполнено дешифрирование тектонических линеаментов и кольцевых структур. Показана актуальность данных исследований и методика проведения работ для выделения рудных узлов.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, Омсукчанский район Магаданской области.

A.S. Chirkov, M.P. Lobanov, R.F. Ilkaev, A.S. Shklyayev, A.P. Shchetkin
Perm State University, Perm, Russia

**AEROSPACE MINERAGENIC ANALYSIS OF THE OMSUKCHAN
DISTRICT OF THE MAGADAN REGION (SHEET P-56-ХVIII)**

A mineragenic study of the Omsukchansky region of the Magadan region (sheet P-56-ХVIII) was conducted using aerospace methods. Tectonic lineaments and ring structures were interpreted. The relevance of research data and methods of work to isolate ore sites are shown.

Keywords: aerospace methods, lineament interpretation, Omsukchansky district of the Magadan region.

При проведении минерагенических исследований в труднодоступных районах в условиях дефицита финансирования геологоразведочных работ значительную роль могут играть аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), как оперативный и эффективный способ геологического изучения региона [1-7].

Целью работы является минерагеническое изучение Омсукчанского района Магаданской области (лист Р-56-ХVIII) с помощью аэрокосмических методов, выявление основных тектонических структур района, его геоморфологических и геологических особенностей, а также сравнительный анализ с уже имеющимися геофизическими и геохимическими данными. Основными картируемыми объектами при проведении АКГИ являются субпрямолинейные линеаменты, отождествляемые с тектоническими нарушениями фундамента и осадочного чехла, и кольцевые структуры, в т.ч. ландшафтные аномалии (ЛА), отражающие погребенные тектоногенные структуры разных порядков.

При обработке ДДЗЗ выделяются геодинамические активные зоны [4, 5]. Отсюда были поставлены следующие задачи: сбор геологической информации, визуальное выделение линеаментов и кольцевых структур, дешифрирование и комплексный анализ территории.

В административном отношении исследуемый район находится в Омсукчанском районе Магаданской области в 550 км к северо-востоку от центра региона – г. Магадан (рис. 1).



Рис.1. Административная схема и полезные ископаемые Магаданской области [6]

Геолого-геоморфологические условия

Рельеф исследуемого района среднегорный. Абсолютные отметки рельефа колеблются в районе от 520 до 1380 м. Главными элементами рельефа являются денудационные и структурно-денудационные формы, связанные, в первую очередь, с Омсукчанским и Галимовским хребтом. Здесь развиты склоны, характерные для интенсивно расчлененного среднегорного района, кары и цирки сартанского оледенения, троговые долины (рис. 2).

Аккумулятивные формы рельефа представлены речными террасами первого-пятого уровней, флювиогляциальными террасами и моренами. Гидросеть развита хорошо и принадлежит бассейну р. Колыма. Наиболее крупные реки: Омчикчан, Тап, Сугой, Мандычан, Чапчик [8].

В тектоническом отношении район принадлежит к Яно-Колымской зоне складчатости. Тектоническое районирование на структуры первого и второго порядков можно представить следующим образом:



Рис.2. Гора Дукат (фото Р.Рахматуллин, 2016)

1. Буюндино-Балыгычанская зона пологих дислокаций (Балыгычанский антиклинорий), распространенная по всей западной части района; 2. Сугойская складчатая зона (Сугойский антиклинорий), занимающий северо-восточную четверть района; 3. Арmano-Гижигинская зона брахиформной складчатости (Инчиканский антиклинорий). В районе широко развиты надвиги и сбросо-взбросовые нарушения, ограничивающие вулканоплутонические структуры, и другие дизъюнктивные нарушения. Здесь располагается Омсукчанский рифтогенный прогиб, представляющий собой отчетливо наложенную на складчатые осадочные образования орогенную межгорную впадину, заложенную в раннемеловое время вдоль субмеридиональной зоны глубинных разломов, таких как Кэнский, Маякско-Булурский, Центральный и Верхнетапский, которые также можно проследить по руслам рек и подножиям хребтов. Структура выполнена мощной континентальной угленосной молассой, несогласно перекрытой последовательно сформировавшимися покровами андезитов и риолитов с завершающими субвулканическими фациями. Обрамление впадины сложено преимущественно триасовыми и юрскими отложениями геосинклинальных формаций. Широко развиты мелкие и крупные многофазные интрузивы гранитов, гранодиоритов, диоритов ранне-позднемелового возраста, а также позднемеловые дайки фельзитовых, невадитовых риолитов, риодацит-порфиров и палеогеновых базальтов.

Основными полезными ископаемыми района являются серебро, олово и золото гидротермального плутоногенного и вулканогенного генетического типов. Также известны проявления непромышленных минерализаций россыпей касситерита. Крупнейшие месторождения – Кэнское, Галимовское, Дукат. Золото-серебряное месторождение Дукат локализовано в интрузивно купольном поднятии, ограниченном повсеместно разрывными

нарушениями. Рудоконтралирующие разломы расчленяют Дукатский купол на серию блоков, которые отличаются разной степенью рудоносности. По отношению к купольной структуре они имеют доэффузивное заложение, характеризуются значительной протяженностью и крупными сбросовыми амплитудами [8].

Методика и результаты

В основу методики аэрокосмогеологических исследований положено комплексное дешифрирование материалов дистанционных съёмок земной поверхности, включающее структурное, геоморфологическое и геологическое дешифрирование фотоснимков; структурно-геоморфологический и линеаментно-геодинамический анализы и комплексную интерпретацию результатов дешифрирования на основе накопленного геолого-геофизического материала [1-7].

Для изучения исследуемого района был выбран метод дистанционного зондирования (МДЗ) с использованием модулей программного обеспечения ArcGIS и ресурса Google Earth Pro. Данный метод позволяет выделять глубинные системы нарушений скрытого типа, ответственные за размещение эндогенной минерализации, а также на их основе геоморфологические, структурные особенности исследуемой территории. Применялись космические снимки спутника Landsat. Дешифрирование проводилось на цифровой основе различных масштабов в 4 этапа в зависимости от уровней генерализации в зависимости от стадии работ (табл., рис.3). Всего выделено 799 тектонических линеаментов.

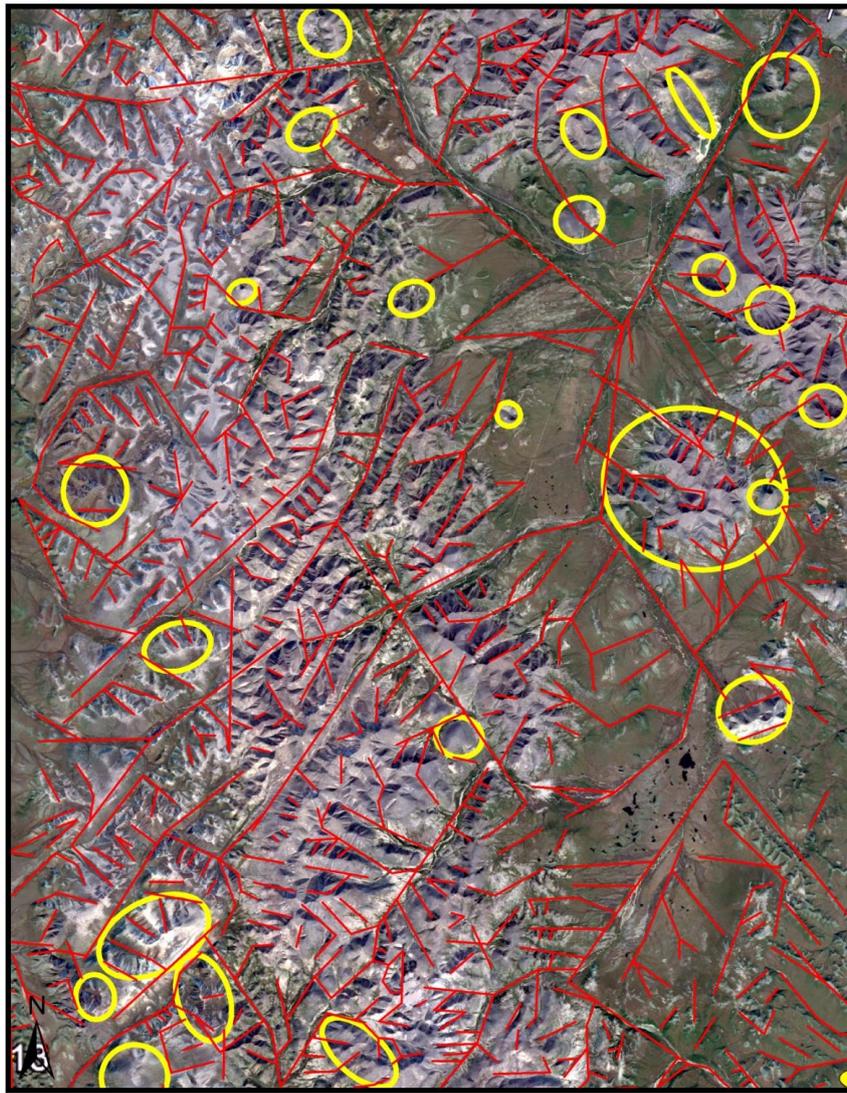
Таблица

Результаты дешифрирования космоснимков

Стадия работ	Ранги линеаментов	Масштаб дешифрирования	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Количество
Региональная	Зональные	1:500000	15-50	9
Зонально-региональная	Локальные	1:200000	5-15	69
Зональная	Короткие (1 порядка)	1:100000	1,5-5	468
Детальная	Короткие (2 порядка)	1:50000	<1,5	253
Итого				799

Исходя из табличных значений и рис. 3 можно сделать вывод, что среди линеаментов преобладают регионально-зональные северо-восточного и северо-западного простирания.

При помощи модуля Spatial Analyst программы ArcMap было построено поле плотности по выделенным линеаментам (рис. 4).



0 3 6 12 18 24 Kilometers

— Линеаменты

□ Кольцевые структуры

Рис. 3. Космоснимок с выделенными линеаментами и кольцевыми структурами

Далее поле плотности было сопоставлено с геологической картой и схемой тектонического районирования (рис. 4) [9]. По этой схеме видно, что линеаменты довольно ясно коррелируются с основными геологическими объектами: разломами, тектоническими структурами и блоками.

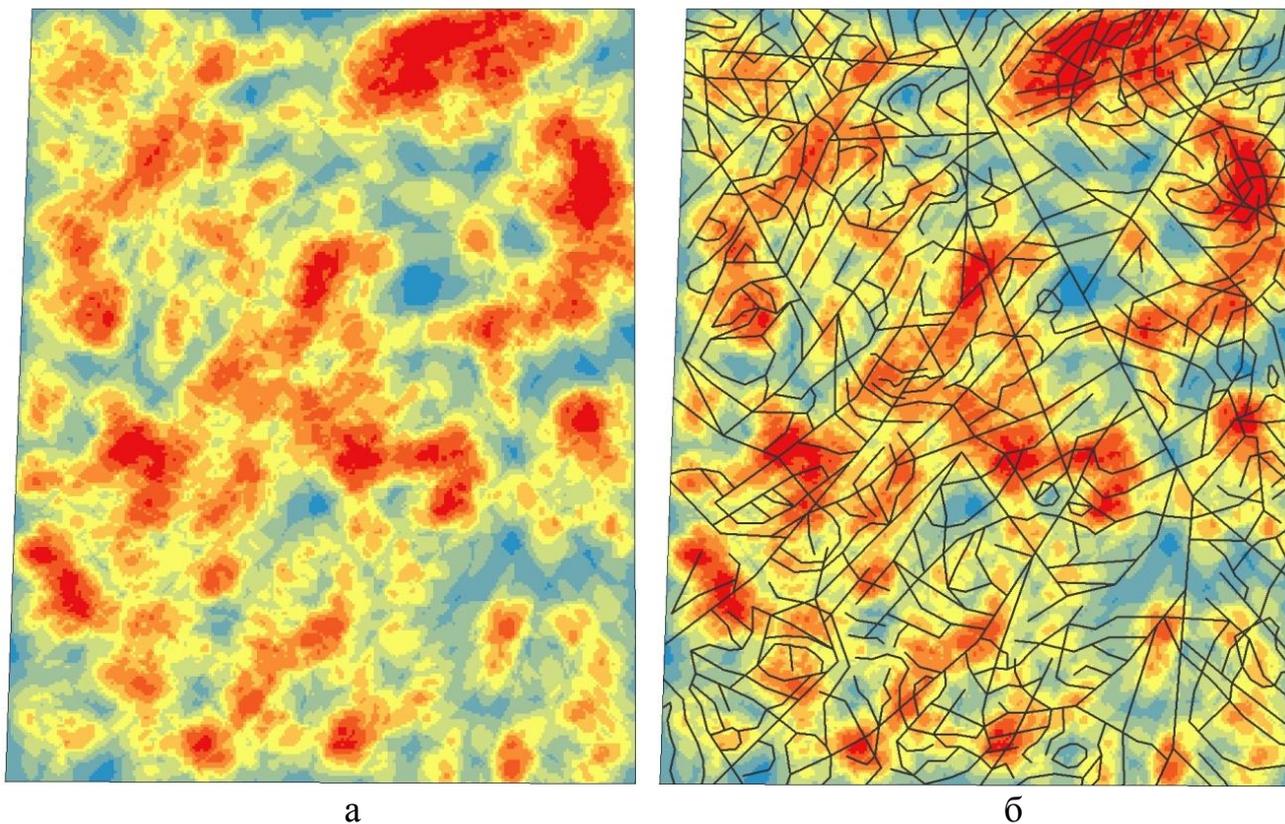


Рис. 4. Поле плотности (б – с выделенными линеаменами)

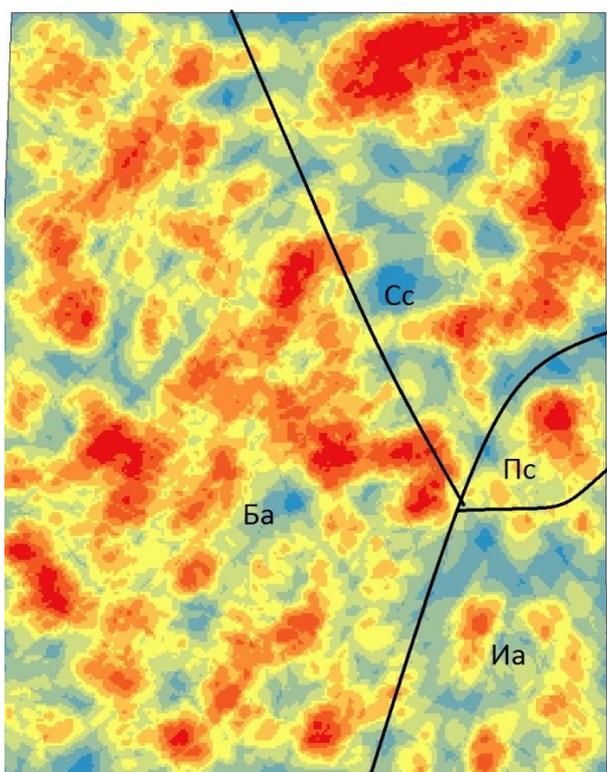
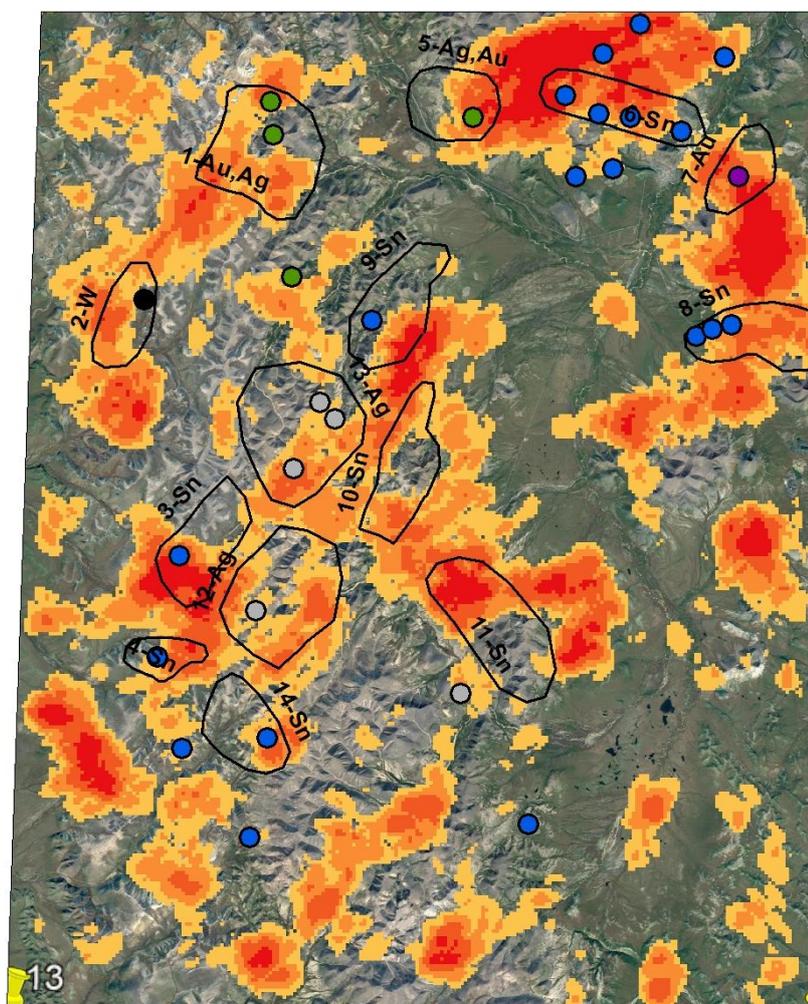


Рис. 5. Поле плотности с выделенными тектоническими структурами:
 Сс – Сугойская складчатая зона; Ба – Балыгычанский антиклинорий; Иа – Инчиганский антиклинорий; Пс – Поисковиковая брахисинклираль.

Затем, для выделения геодинамических активных зон и выявления их рудоносности, были выделены максимумы поля плотности, разделенные на 6 классов, в дальнейшем наложенные на схему минерагенического районирования (рис. 6). При сравнительном анализе поля плотности с минерагенической схемой района наиболее плотные участки четко сопоставляются с рудными узлами, к тому же, большая часть месторождений и рудопроявлений района приурочена к максимумам поля плотности.



Важнейшие месторождения и проявления района

- Вольфрамовые
- Золотосеребряные
- Серебряные
- Золота
- Оловянные
- Минерагенические поля, №-элемент

Рис. 6. Максимумы поля плотности с наложенными минерагеническими полями и месторождениями.

Заключение

- Среди выделенных линеаментов преобладают короткие (первого порядка) с субмеридиональным направлением. Они примыкают к нарушениям более высокого порядка, что говорит о постскладчатой активизации района.

- Линеаменты довольно ясно коррелируются с основными геологическими разломами, тектоническими структурами, руслами и террасами рек.
- Наличие здесь несвойственных для горного рельефа кольцевых структур объясняются сартанским оледенением и указывают на соответствующие геоморфологические формы: кары, цирки и трогии.
- При сравнительном анализе поля плотности с минерагенической схемой района участки с наиболее высокой плотностью линеаментов четко сопоставляются с рудными узлами. Впоследствии эти перспективные зоны были выделены.
- Результаты работы говорят о достаточной эффективности метода дешифрирования района по выявлению полезных ископаемых. Поэтому, можно утверждать, что АКГИ являются одним из наиболее информативных, не требующих больших финансовых затрат, современных видов геологоразведочных работ.

Библиографический список

1. Гридин В.И. Структурное дешифрирование материалов дистанционного зондирования. М., 1987 99 с.
2. Ильиных Ю.А. Выявление пликативных и разрывных структур в различных тектонических зонах севера Урало-Поволжья по материалам аэрокосмических съёмок // Прогноз локальных структур по аэрокосмическим материалам/ ВНИГНИ. М., 1984. С.76-89.
3. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). 70-81.
4. 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.
5. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
6. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
7. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М.: Геокарт; ГЕОС, 2006. 244 с.
8. Ливач А.Э. Отчет о геологическом доизучении в масштабе 1 : 200 000 площади листов Р-56-ХII и Р-56-ХVIII за 1992–2000 гг. (Джагынская ГСП).
9. <https://www.vsegei.ru>. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского.
10. <https://www.polymetalinternational.com> Polymetal International plc.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ APPLICATION OF AEROCOSMIC METHODS FOR SOLVING THE TASKS OF ENGINEERING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY AND GEOGRAPHY

УДК624.121.537

А.В. Анюхина

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЛИН

Изучена сорбционная способность глин по отношению к катионному красителю (метиленовый голубой). Исследовано изменение величины адсорбции образцами глин различного кристаллического строения, подверженных воздействию температур в интервале от 200 до 800°C. Выявлено, что максимальная сорбционная активность исходных глин наблюдается при температуре 200°C. При температурном пике равном 800°C сорбционная активность глинистых грунтов исчезает.

Ключевые слова: монтмориллонит, каолинит, бентонит, метиленовый голубой, сорбция.

A.V. Anukhina,

Perm State University, Perm, Russia

STUDY OF THE CLAY SORPTION ACTIVITY

The sorption ability of clays with respect to the cationic dye was studied. The change in the value of adsorption by clay samples of different crystalline structure, exposed to temperatures in the range from 200 to 800 ° C, was studied. It was revealed that the maximum sorption activity of the original clays is observed at a temperature of 200 ° C. At a temperature peak equal to 800 ° C, the sorption activity of clay soils disappears.

Keywords: montmorillonite, kaolinite, bentonite, methylene blue, sorption.

Актуальность

Глинистые грунты являются распространенными сорбентами, так как обладают значительной поверхностной активностью, которая определяется дисперсностью грунта и зарядом частиц [6, 9, 10]. При увеличении содержания глинистой фракции значение удельной поверхности увеличивается, тем самым увеличивается сорбционная емкость.

Также изменение постоянного и переменного заряда на границе раздела фаз «твердая поверхность – вода» и «твердая поверхность – воздух» влияет на величину адсорбции веществ, в особенности это проявляется в адсорбции молекул воды и катионов на поверхности минералов [1-3].

Молекулы воды являются диполями, ориентирующиеся вблизи твердых частиц положительным полюсом по отношению к отрицательно заряженной поверхности частицы, образуя слой прочносвязанной воды (адсорбционный слой) и рыхлосвязанной воды (диффузный слой) [11-13]. Последний слой удерживается частицей за счет притяжения положительно заряженных ионов водорода, натрия, калия и др., которые в свою очередь к себе притягивают по несколько молекул воды. Количество связанной воды также определяется удельной поверхностью твердой составляющей грунта

Содержание связанной воды в глинах во многом определяется энергетическим потенциалом поверхности глинистых частиц, который во многом зависит от дефектности структуры глин [5, 7, 8].

Для каолиновой глины существуют три эндотермических эффекта в диапазонах 100-250, 500-750, 800-900°C, для монтмориллонитовой глины – два эндотермических пика и один экзотермический, которые соответствуют диапазонам температур у каолинита. Первый эндотермический эффект соответствует выделению из минералов адсорбированной воды. При дальнейшем нагревании минералы начинают терять конституционную воду, представленную гидроксильными группами и превращается в безводную модификацию. При температурах свыше 800°C начинает происходить обрушение кристаллической решетки, т.е. аморфизации минералов вплоть до их перекристаллизации [4].

Таким образом, термообработка грунтов катионами приводит к изменению сорбционной емкости.

Объекты исследования

Объектами исследований являлись глины различной кристаллической структуры – Лобановская монтмориллонитовая (ЛМ), Челябинская каолиновая (ЧК), Курганская бентонитовая (КБ) глины.

По результатам рентгеноструктурного анализа, монтмориллонитовая глина состоит из: монтмориллонита(75%), каолинита (3,6%), кварца (11,4%), альбита (6,7%), кальцита (3,3%). Каолиновая глина содержит: каолинит (76,7%), монтмориллонит (15,6%), кварц (7,7%). Бентонитовая глина содержит: монтмориллонит (81,1%), каолинит (0,8%), гидрослюда (0,8%), кварц (14,1%), плагиоклазы (1,9%), калиево-полевые шпаты (0,4%), кальцит (0,9%) [1, 7].

На спектральных космоснимках (ресурс *yandex. ru*) все типы глин дешифрируются коричневым цветом с более темными оттенками по сравнению с другими четвертичными образованиями (рис. 1).

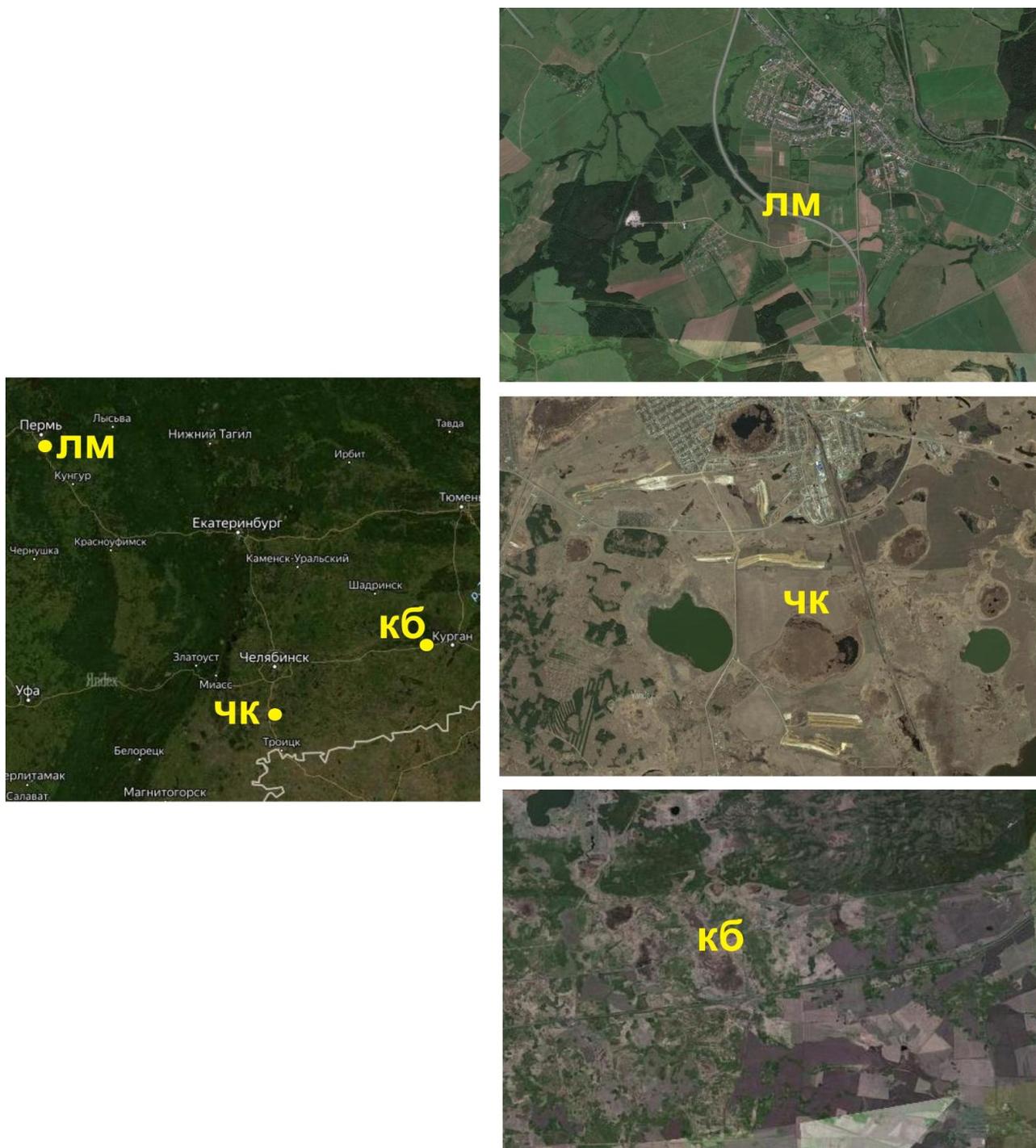


Рис. 1. Объекты исследований глин различной кристаллической структуры – Лобановская монтмориллонитовая (ЛМ), Челябинская каолиновая (ЧК), Курганская бентонитовая (КБ) глины на космоснимках (*yandex. ru*)

Методика

Термообработку образцов глин проводили в высокотемпературной печи SNOL 12/1300 в течение 2 часов. Для исследования были выбраны температуры 200, 400, 600, 800°C. Данные температуры были выбраны для исследования каждого класса связанных вод. Температура в 400°C была выбрана, как промежуточная для установления тенденции.

Определение адсорбции осуществляли титрованием глинистых суспензий. После добавления каждой порции красителя суспензии интенсивно перемешивали взбалтыванием и тонкой стеклянной палочкой наносили каплю на фильтр «синяя лента». Титрование осуществляли до появления голубого ореола, характеризующий избыток не адсорбированного красителя в растворе. Затем в течение 2 минут суспензии дополнительно взбалтывали и снова проверяли на наличие голубого ореола. Титрование считали законченным, если голубой ореол вокруг капли не исчезал после 2-минутного перемешивания.

Исследования сорбционной способности глин, подверженных термообработке

Подвергнутые термической обработке, образцы исходных глин показали различные значения адсорбции. Данные представлены на рисунке 2.

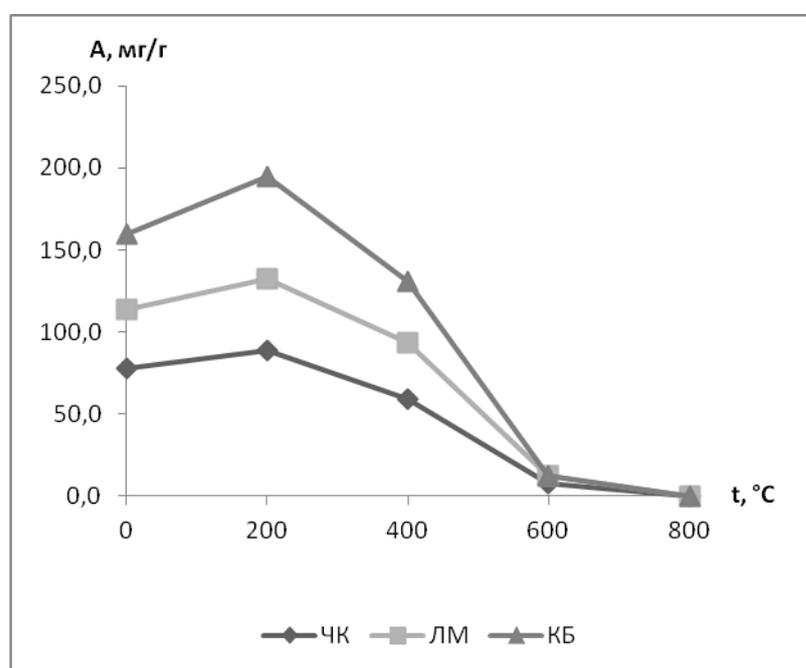


Рис.2. Изотермы адсорбции образцов глин, подверженных термической обработке

Образцы КБ и ЛМ показали большие значения адсорбции при термической обработке, чем ЧК, что обусловлено их кристаллическим строением. Наибольшая величина сорбции на прокаленных образцах у глин наблюдалась при 200°C. При данной температуре происходит удаление адсорбированной воды и, соответственно, освобождение пор. Это приводит к увеличению площади поверхности частиц, доступной для катионов красителя МГ.

Все три глины содержат минералы группы монтмориллонита, которые при потере адсорбированной воды обретают «сжатую структуру». Но на этой стадии дегидратации сжатие структуры обратимо. При дальнейшем нагревании сжатие структуры становится необратимым и происходит спекание глин, сопровождающееся исчезновением мелких пор, уменьшением их удельной

поверхности и величины сорбционной емкости, соответственно. При 800°C образцы глин полностью теряют адсорбционные свойства.

Как и после прокаливания ненасыщенных исходных образцов наименьшие значения адсорбции присущи насыщенным образцам при температуре 600°C. При 800°C образцы глин также полностью теряют адсорбционные свойства.

Выводы:

1) Значения сорбционной емкости глин уменьшаются в следующем порядке: бентонит – монтмориллонит – каолинит.

2) Установлено, что при удалении рыхлосвязанной и прочносвязанной воды коллоида сорбционная активность глин повышается за счет некомпенсированного отрицательного заряда на поверхности частицы.

3) Исходные образцы глин обладают максимальной сорбционной активностью при температуре 200°C. При 800°C сорбционная активность глинистых грунтов пропадает.

Библиографический список

1. Анюхина А.В., Федоров М.В. Изменение содержания воды в глинах при высоких давлениях // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. Пермь, 2017. С. 100-101.

2. Долгов С.И. О связанной и капиллярной воде в почве // *Почвоведение*. №9-10. 1943.

3. Злочевская Р.И., Королев В.А., Кривошеева З.И., Сергеев Е.М. О природе изменения свойств связанной воды в глинах под действием повышающихся температур и давлений // *Вестник Московского Университета Серия 4. Геология*. 1977. №3. С.80-96.

4. Злочевская Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах. М.: Изд-во Москва. гос. ун-та. 1969. 175с.

5. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.-Л.: Сельхозгиз, 1930.-278 с.

6. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Изд-во Высшая школа. 1967. 416с.

7. Мальгина Ю.О., Пешкова Т.А., Питкина С.Н. Изменение дзета-потенциала глинистых частиц в водном растворе // *Геология в развивающемся мире. Сб. науч. тр. в 2 т.*; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 440-444.

8. Осипов В.И., Солоколов В.Н. Глины и их свойства. М.:ГЕОС. 2013. 576 с.

9. Приклонский В.А. Грунтоведение. М.: Гос. науч. техн. изд. лит. по геологии и охране недр. 1955. 430 с.

10. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, Москва. 2008. Т. 3. 664 с.

11. Сергеев Е.М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Т. Грунтоведение. М.: МГУ, 1973. 388 с.

12. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение.М.: Изд.-во МГУ, 2005. 1024 с.

13. Vouyoucos G. Classification and measurement of the different forms of water in the soil by means of the dilatometer method: *Mich. Agr. Exp. Techn. Bul.* 1917. 70 с.

ТЕПЛОВОЙ ОБРАЗ КАЗАНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В данной статье описывается исследование разносезонной тепловой структуры города и окраин Казани. В качестве исходного материала использовались снимки со спутника Landsat 8 (10-ый канал). Спектральная яркость пересчитывалась в температуру земной поверхности в градусах Цельсия. Производился поиск тепловых аномалий и их источников, исследовался характер распределения теплового потока по типам землепользования. Большинство выявленных тепловых аномалий имеют антропогенное происхождение. Наибольший тепловой поток наблюдался у природных объектов. Более уверенно можно говорить о наличии «теплового острова» Казанской агломерации, если анализировать зимние снимки.

Ключевые слова: тепловые аномалии, тепловой остров, дистанционное зондирование, UHI, Landsat 8.

T.A. Vagapov

Kazan Federal University, Kazan, Russia

THERMAL IMAGE OF KAZAN AGGLOMERATION

This article describes the study of the multi-season thermal structure of the city and the suburbs of Kazan. The 10th channel of the Landsat 8 satellite, converted to the land surface temperature in Celsius degrees, was used as the source. Was the search for thermal anomalies, sources of urban heat island and the heat flux distribution at the land-use classes. As a result, the main thermal anomalies, mostly of urban origin, are considered. The greatest heat flux was observed in natural objects. Presumably, we can talk about the observation of the urban heat island in the winter.

Keywords: thermal anomalies, urban heat island, remote sensing, UHI, Landsat 8.

Введение

Известно, что городские агломерации порождают тепловые аномалии, формируя «городские тепловые острова». Среди причин изменения термического режима в городских условиях выделяются следующие [1-6; 9-11]:

- наличие прямых источников тепла – промышленные предприятия, транспорт, тепловые электростанции и тому подобные;
- увеличение поглощения солнечной радиации в сравнении с фоновыми показателями. Происходит это из-за того, что городские поверхности состоят из материалов, активно поглощающих солнечную радиацию (асфальт, бетон, гидроизоляция крыш и тому подобные) и, как следствие, они могут становиться источниками интенсивного теплового излучения.

Особенности тепловой структуры Казанской агломерации до сих пор не изучались. С помощью данных дистанционного зондирования можно выделить тепловые структуры и тепловые аномалии на поверхности земли (важно заметить – не воздуха) и по их суммарному влиянию подтвердить или опровергнуть существование «теплового острова» Казанской агломерации.

Цели и задачи исследования были сформулированы следующим образом:

- обнаружить и изучить летние и зимние тепловые аномалии мегаполиса;
- рассчитать распределение теплового потока по типам землепользования в летний и зимний сезоны;
- подтвердить или опровергнуть наличие «теплового острова» Казанской агломерации в летний или зимний период.

Исходные данные

В исследовании использовались снимки со спутника Landsat 8, полученные с сайта Геологической службы США [7]. Для анализа отбирались снимки с минимальной облачностью. В работе были использованы 4 летних снимка (08.09.18, 20.08.17, 17.08.16, 16.07.16) и 3 зимних снимка (23.03.18, 07.03.18, 14.02.16). Обработка и анализ осуществлялись по 10-ому каналу. Длины волн, интенсивность которых фиксируется 10-м каналом Landsat, соответствуют дальнему инфракрасному диапазону, на который приходится большая часть теплового излучения Земли. Серии летних и зимних снимков обрабатывались отдельно из-за большой разности пространственного распределения аномалий теплового поля в разные сезоны.

Методика обработки

Обработка снимков производилась в программе ArcGIS ArcMap 10 (ESRI, США). Исходные данные представлены в безразмерной величине DN (digital numbers), они переводились в спектральное излучение, измеряемое в Вт/м² при помощи выражения [7]:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

где, M_L и A_L равны 0.003342 и 0.1 соответственно (данные из файла метаданных снимка, для каждого канала свои), Q_{cal} - Исходный снимок в DN.

Далее производилась атмосферная коррекция и коррекция излучательной способности по выражению [4, 5, 8, 10]:

$$L_{atm} = ((L_{\lambda} - L_{up}) / \tau \varepsilon) - ((1 - \varepsilon) / \varepsilon) * L_{down}$$

где, L_{λ} – спектральное излучение в Вт/м², L_{up} , τ , L_{down} – атмосферные константы, вычисленные на момент проведения спутниковой съёмки (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>), ε – излучательная способность земной поверхности, вычисляемая по методике, приведённой ниже.

В результате получаем температуру поверхности земли (LST) по формуле:

$$T = K_2 / \ln((K_1 / L_{atm}) + 1) - 273.15$$

где, K_2 и K_1 коэффициенты из файла метаданных для 10-ого канала Landsat 8 равны 774.8853 и 1321.0789, соответственно. T – температура поверхности земли в градусах Цельсия.

Методика вычисления отражательной способности строиться на использовании вегетационного индекса NDVI.

$$NDVI = (NIR - Red / NIR + Red)$$

где, Red – канал с излучением в красной области спектра (для Landsat 8 – 4-ый канал), NIR – канал с излучением в ближней инфракрасной зоне (5-ый канал).

Далее производится вычисление P_v - доли растительности в излучении.

$$P_v = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} + NDVI_{min})$$

где, $NDVI_{min} = 0.2$, $NDVI_{max} = 0.55$, для данной работы.

Отражательная способность определяется как:

$$\varepsilon = P_v^2 * \varepsilon_v + \varepsilon_s * (1 - P_v^2) + (1 - \varepsilon_s) * \varepsilon_v * F * (1 - P_v)$$

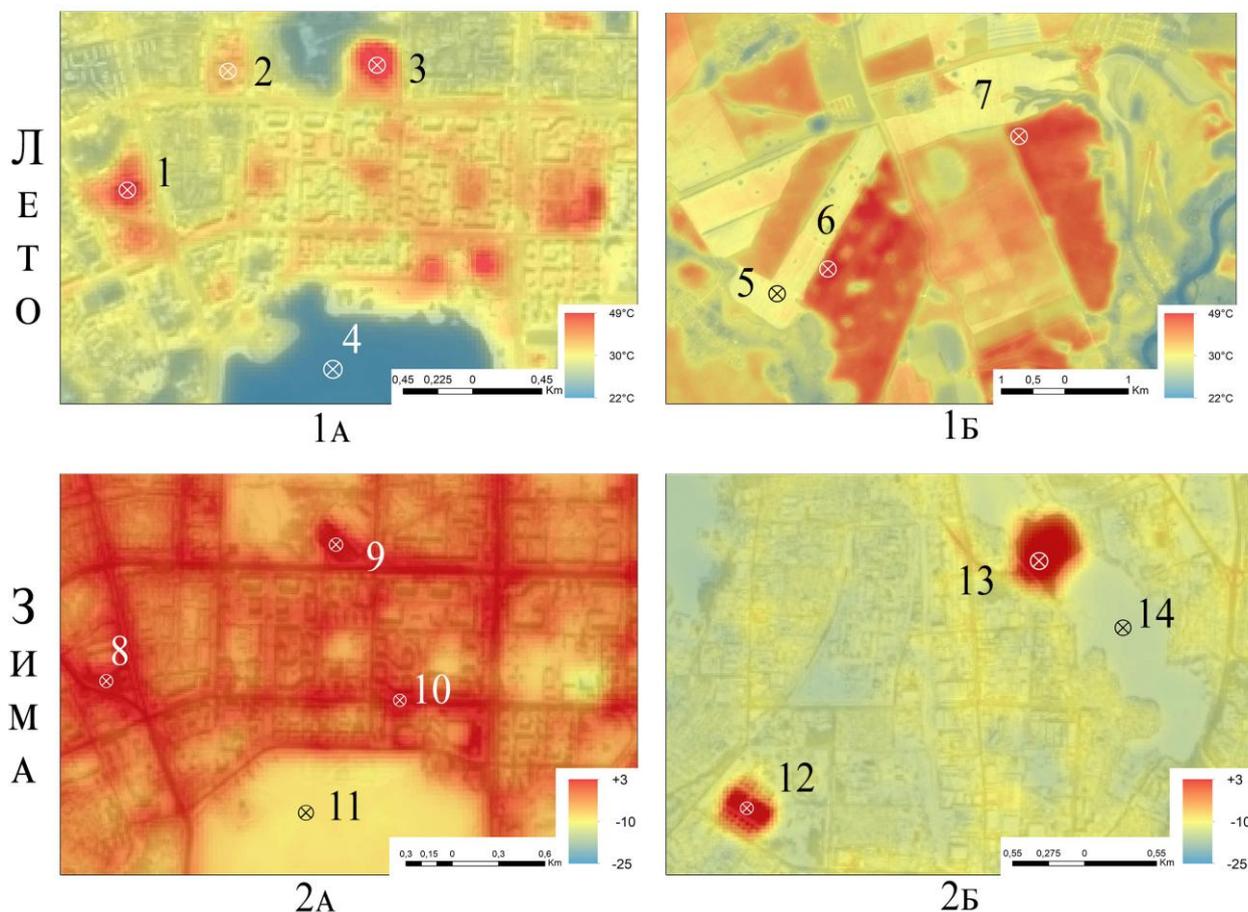
где, ε_v – отражательная способность густой растительности (0.99 в данной работе), ε_s – отражательная способность почвы (0.96 в данной работе), F – коэффициент (0.55 в данной работе).

Итогом вычислений по вышеприведенным формулам являлся растр температур (T) в градусах Цельсия. Из растра T были удалены области, занятые облаками, т.к. тепловой образ облака представлен чрезвычайно низкими температурами. Заключительный этап обработки состоял в сложение односезонных растров в один и вычисление средних температур за исследуемый период. Осреднение значений температур для каждого из сезонов позволило избавиться от случайных аномалий, ошибок, завышенных или заниженных значений. В итоге для каждого из сезонов (летнего и зимнего) были получены два растра – суммированный и усреднённый.

Результаты исследования аномалий

Анализ температурных полей показал наличие более десятка ярко выраженных аномалий в черте города (рис.1, табл.1). Летом самыми распространёнными источниками антропогенных аномалий являются большие по площади крыши (аномалии №№1,2). Но наибольшие значения температур относятся к полям и открытому грунту (аномалии №№6, 7) (вероятно, из-за цвета и состава поверхности). Для зимнего сезона наиболее характерными антропогенными аномалиями были структуры, которые можно интерпретировать как отапливаемые здания (аномалии №№8, 9) и дороги

(точка №10). Дороги проявляются в тепловом диапазоне, вероятно, из-за того, что они имеют, относительно снега, более тёмную поверхность и из-за реагентов и трения, которые, растапливают лёд и снег. Максимальные значения температур зимой обнаружены на открытой воде (аномалии №№12, 15). Действительно, это самые тёплые поверхности, которые можно встретить в зимний период. Значения подобных аномалий всегда больше 0 °С, что говорит о правильности методики обработки.



Изображения 1а, 1б - экстенды летнего суммированного растра, изображения 2а, 2б - экстенды зимнего суммированного растра. Цифрами выделены точки замера температур по растрам.

Рис 1. Обзор тепловых аномалий города Казани

Далее проводилось исследование теплового потока в зависимости от типа землепользования. Для этого по мультиспектральным снимкам (от 16.07.16 и 07.03.18) в видимом диапазоне была проведена обучающая классификация, выделены классы и определены температурные характеристики классов. Результаты классификации и статистика по классам представлена в таблице 2.

Можно наблюдать, что классы, обозначенные как «Высоко урбанизированные» (относящиеся к плотной застройке, заводам и трассам) не получили самых высоких средних температур ни в зимний, ни в летние периоды. Однако этот класс обладает наибольшими максимальными температурами и наибольшим разбросом температур в оба сезона.

Таблица 1

Значения температур поверхности земли в исследуемых точках, полученные из суммированных растров зимнего и летнего сезона

Лето			Зима		
№ точки	Объект	Температура, °С	№ точки	Объект	Температура, °С
1	ТЦ "Тандем"	40,7	8	ТЦ "Тандем"	-4,7
2	Жилой квартал	35,5	9	ТЦ "Парк Хаус"	-5,0
3	ТЦ "Парк Хаус"	43,1	10	ул. Чистопольская	-5,7
4	река Казанка (вода)	23,4	11	река Казанка (снег)	-10,4
5	Поле	33,4	12	Очистные сооружения	3,2
6	Поле	39,5	13	Сброс воды	1,6
7	Поле	38,8	14	озеро Средний Кабан (снег)	-10,0

Таблица 2

Распределение тепловых характеристик по типу землепользования

	Имя класса	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	Разброс, °С
Зима	Вода	-5,1	-11,0	1,6	12,7
	Лес	-9,5	-14,2	-3,2	11,0
	Высоко урбанизированные	-9,7	-15,2	3,4	18,5
	Низко урбанизированные	-10,1	-15,3	-0,3	15,0
	Низкая растительность	-10,9	-15,3	-2,0	13,2
	Снег	-11,6	-15,3	-5,7	9,6
Лето	Песок	32,0	25,3	38,7	13,4
	Поля	31,6	21,4	39,6	18,2
	Высоко урбанизированные	31,0	21,3	45,0	23,7
	Низко урбанизированные	29,9	22,8	43,1	20,3
	Лес	25,9	21,4	36,8	15,4
	Вода	23,3	21,1	30,3	9,2

Было проведено исследование распределения температур по районам города. В качестве исследуемых были выбраны жилой микрорайон «Азино-1» с типовой застройкой и территория завода «Казаньоргсинтез» с множественными тепловыми аномалиями. Для сравнения была исследована территория Казани в её административных границах.

Результаты исследования представлены в таблице 3. Полученные данные приводят к выводу, что средняя поверхностная температура в жилом районе больше, чем в промышленном, причем, в оба сезона.

Таблица 3

Распределение тепловых характеристик по району города

	Имя класса	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	Разброс, $^\circ\text{C}$
Зима	территория завода "Казаньоргсинтез"	-8,5	-10,1	-2,1	8,0
	микрорайон Азино-1	-7,7	-9,7	-6,3	3,4
	Казань	-9,8	-13,1	3,4	16,5
Лето	территория завода "Казаньоргсинтез"	32,9	28,1	38,5	10,4
	Азино-1	33,5	30,4	38,8	8,4
	Казань	29,1	21,1	45,0	23,9

Следовательно, можно предположить, что наиболее интенсивный тепловой поток в городских агломерациях генерируют именно жилые районы, а не промышленные комплексы.

Для изучения явления «теплового острова» города суммированный зимний растр был обработан с помощью функции фокального осреднения.

Результаты осреднения представлены на рисунках 2 и 3, радиус осреднения составил 6 км. Поскольку растр сильно сглажен, его аномалии – наиболее общие черты теплового поля исследуемой территории. Яркое пятно теплых тонов на карте и отчетливые положительные аномалии на графиках температур вдоль профилей АБ и ВГ свидетельствуют о наличии крупной протяженной аномалии. Аномалия имеет четко выраженные границы и, таким образом, подтверждает существование зимнего городского острова тепла. Летний суммированный растр не рассматривался из-за большого влияния сельхозугодий и множества мелких аномалий.

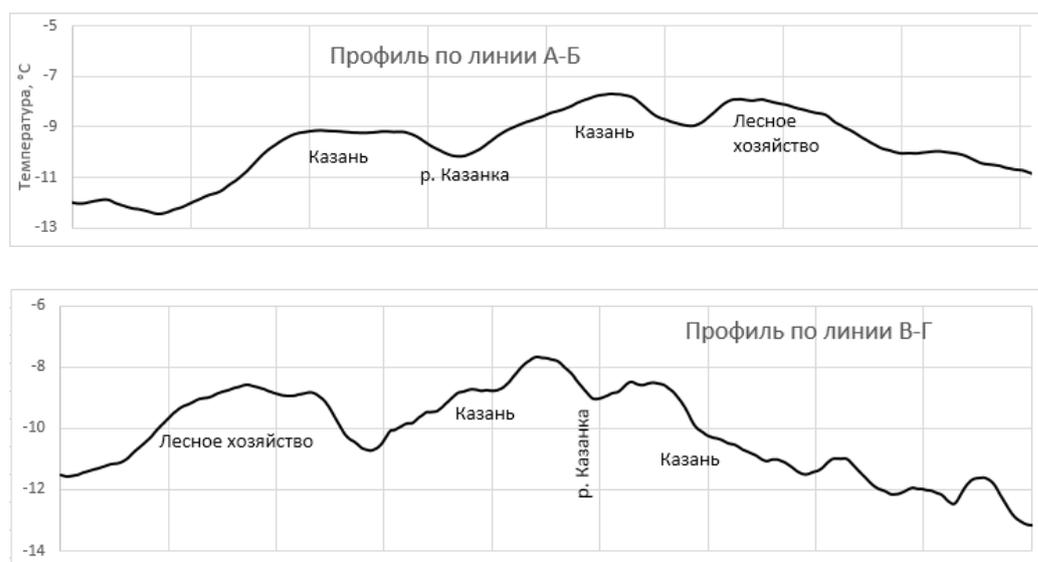


Рис. 2. Графики температур вдоль профилей АБ и ВГ по осредненному суммированному зимнему растру

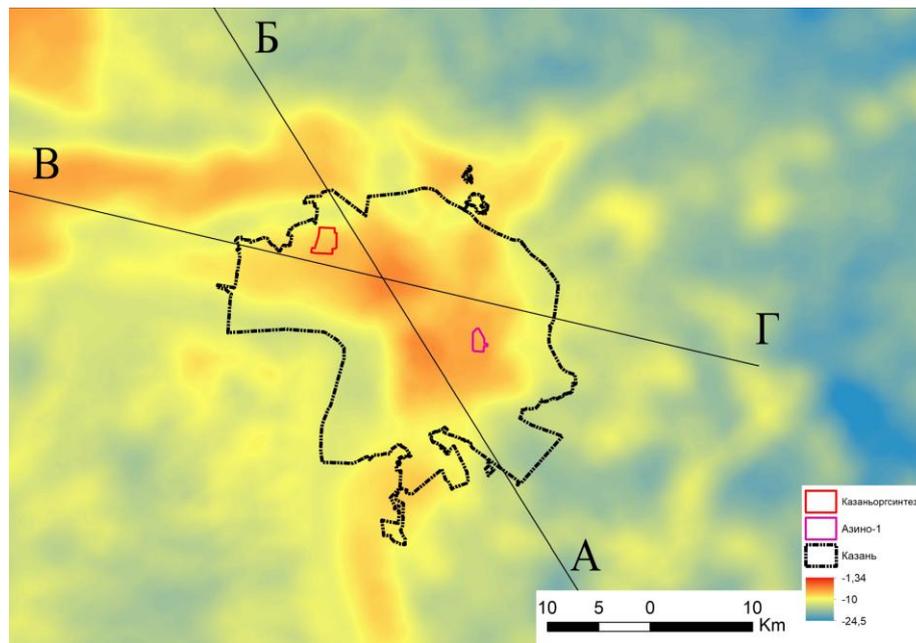


Рис. 3. Обнаружение явления «теплового острова» Казанской агломерации на обработанных зимних снимках

Библиографический список

1. Балдина Е.А., М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. №3. С. 35-42.
2. Дубровская С.А. Тепловая структура города Симферополя по результатам обработки мультиспектральных изображений // Успехи современного естествознания. 2017. №4. С. 72-77.
3. Лабутина И.А. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю., Хайбрахманов Т.С. Опыт использования космических снимков при экологических исследованиях территории Москвы // Земля из космоса: Наиболее эффективные решения. 2012. №12. С. 50-55.
4. Матушко А.К., Якубайлик О.Э. Мониторинг температуры земной поверхности территории красноярска и окрестностей на основе спутниковых данных Landsat-8 // Успехи современного естествознания. 2018. №7. С. 177-182.
5. Погорелов А.В., Липилин Д.А. Тепловой «портрет» города Краснодара. Поиск тепловых аномалий // Географические исследования Краснодарского края: сб. науч. тр. Кубанский государственный университет. Краснодар, 2016. Вып. 10. С.219-231.
6. Интернет ресурс: USGS GloVis. URL: <https://glovis.usgs.gov> (дата обращения: 08.04.2018).
7. Landsat 8 Data Users Handbook [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook-section-5>.
8. Amany S.M., Lamia G.E., El-Hattab M. Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt [Электронный ресурс] // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2017. №. just-accepted. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com>.
9. Cristóbal, J. [и др.]. An Improved Single-Channel Method to Retrieve Land Surface Temperature from the Landsat-8 Thermal Band // Remote Sens. 2018. №10 (3). №431.
10. Varade D., Dikshit O. Assessment of Winter Season Land Surface Temperature in the Himalayan regions around the Kullu area in India using Landsat-8 data // Geocarto International. 2018. №. just-accepted. С. 1-41.

С.О. Горкунов

Пермский государственный научный исследовательский университет,
Пермь, Россия

ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ «БЕЛКОМУР» В ПЕРМСКОМ ПРИУРАЛЬЕ

В статье приводится линеаментно-геодинамический анализ проекта железнодорожной магистрали «Белкомур». Рассматривается территория, проектируемой железнодорожной магистрали в пределах Пермского края, с целью выявления особо опасных геодинамических зон, которые в дальнейшем могут серьезно повлиять на работу железнодорожной магистрали.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, геодинамические зоны, железнодорожная магистраль.

S.O. Gorkunov

Perm State University, Perm, Russia

LINEAMATION AND GEODYNAMIC ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE PROJECTED RAILWAY "BELKOMUR" IN THE PERM PRIURAL

The article provides a lineamation and geodynamic analysis of the project of the railway "Belkomur". The territory of the projected railroad within the Perm Territory is considered in order to identify particularly dangerous geodynamic zones, which in the future may seriously affect the operation of the railroad.

Key words: aerospace methods, geodynamic zones, railway.

Введение

В составе инженерных изысканий, для проектирования железнодорожной магистрали «Белкомур», нужно учитывать важный вид исследований - выявление геодинамических зон. Они могут существенно повлиять на работоспособность железной дороги. Данные исследования проводятся на основе аэрокосмогеологических исследований. В проектировании железной дороги важно вовремя обнаружить проблематичные участки, охарактеризованные геологическими факторами, проявляющиеся в геодинамических зонах, для прокладки железнодорожных путей в менее опасных условиях.

Проект «Белкомур» предполагает строительство недостающих и реконструкцию существующих железнодорожных участков для запуска сквозного железнодорожного сообщения по спрямляющему маршруту Архангельск – Сыктывкар – Пермь (Соликамск), протяженностью 1161 км.

Магистраль обеспечит эффективное железнодорожное соединение между промышленно развитым Уралом России и морскими портами Северо-Запада России (Санкт-Петербург, Архангельский и Мурманский порты), сформирует устойчивые предпосылки долгосрочного социально-экономического развития регионов Европейского Севера РФ, развития ресурсного и промышленного потенциала транспортно недопустимых территорий, создаст новый международный транспортный коридор на направлении Европа – Россия – Юго-восточная Азия (Китай) [12]. В настоящей работе рассматривается участок трассы проекта «Белкомур» в пределах Пермского края (рис. 1).

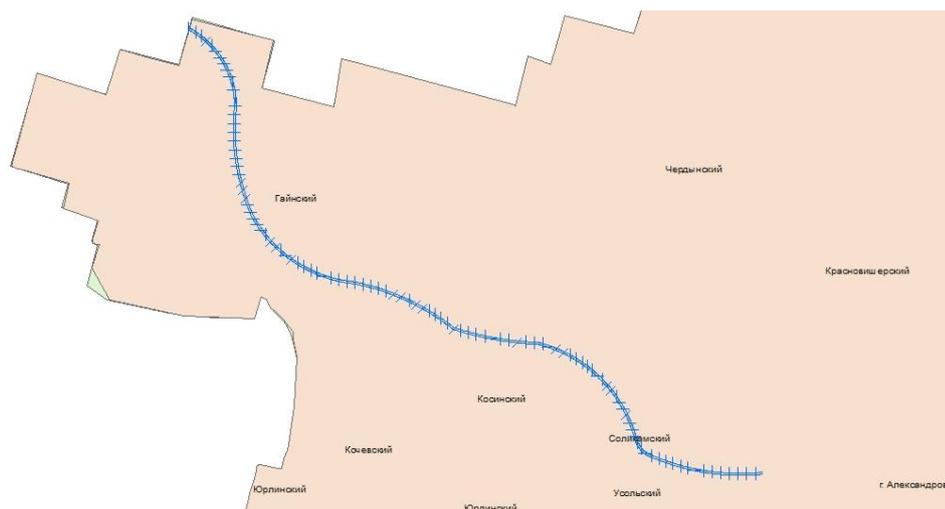


Рис. 1. Проектируемая линия расположения железнодорожной магистрали.

По физико-географическому и ландшафтному районированию территория входит в бореальную таежную зону, среднетаежную подзону Восточно-Русской равнины, находится в пределах мегагеохор аккумулятивной равнины Северного Прикамья и денудационной равнины Среднего Прикамья [15]. В гидрографическом отношении расположена в верхнем бассейне р. Камы. Характеризуется преимущественно низменным слабохолмистым рельефом. Основную часть занимают Веслянская и Косинская низменности со средними отметками 120–150 м. В северной части располагаются Северные Увалы (с высотами до 271 м), в западной части – Верхне-Камская возвышенность (до 329 м), в юго-восточной части – Кондасские увалы (до 266 м) [6, 7].

В геологическом отношении проектируемая трасса проходит по Камского свода, пересекая ряд валов в полосе распространения мезозойских и верхне-среднепермских терригенных пород [1, 7].

На рассматриваемой территории выделяется ряд геодинамических (неотектонических) активных зон с повышенной тектонической трещиноватостью пород, выделенных при проведении региональных аэрокосмогеологических исследований И.С. Копыловым, В.З. Хурсиком и др. [2-5]. Их количество и активность увеличивается в восточном направлении, где они объединяются в крупные аномальные зоны. Они являются участками

повышенной геологической опасности для условий строительства различных объектов и обуславливают повышенную сложность инженерно-геологических условий. Исследования требуют детализации.

Методика и результаты исследований

Основным видом работ в комплексе аэрокосмогеологических исследований является структурное (линеamentное) дешифрирование – 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 образования. Линеamentно-геодинамический анализ представляет собой комплекс геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов картирования полей тектонической трещиноватости и геодинамической активности [3-5].

Для аэрокосмогеологического анализа были использованы космические снимки миссии Landsat Геологической службы США (*USGS - United States Geological Survey*) <http://landsat.usgs.gov/index.php> [11].

Снимки с разрешением 15-30 м позволяют проводить дешифрирование объектов масштаба 1: 200 000 - 100 000.

Проведено компьютерное дешифрирование космического снимка 1:200 000 - 100 000 с помощью программы ArcGIS. Было выделено более 100 линеamentов, отождествляемых с тектоническими нарушениями, протяженностью 5-10 км, ориентированных преимущественно в северо-западном и северо-восточном направлениях.

Выделение линеamentов разных рангов на территории представлено на рис. 2.

Для выделения опасных активных геодинамических зон, на территории железной дороги проведена оценка плотности линеamentов с помощью модуля Spatial Analyst (рис. 3).

Анализ сравнения с картами линеamentов предшественников (Шитин, 1979ф, Нельзин, 1990ф, Копылов, 2004ф, 2012ф) показывает на сходность построений линеamentного поля. Количество и активность также увеличивается в восточном направлении, где в Соликамском районе выделяется наиболее контрастная аномальная зона.

Выводы

На основе построения карт можно сделать вывод, что проектируемая линия железнодорожной магистрали «Белкомур» спроектирована частично в крайне опасной геодинамической зоне в Соликамском районе.

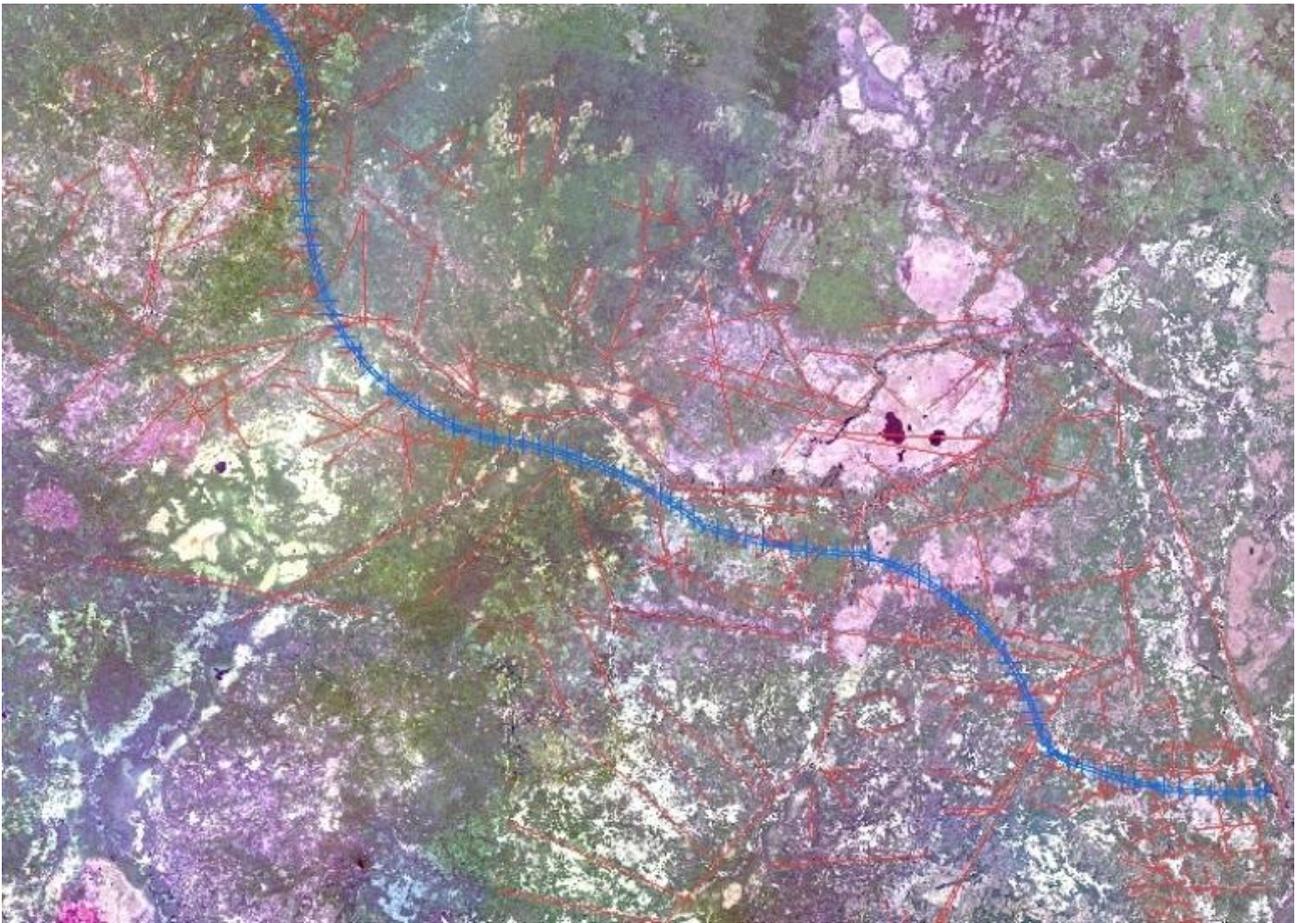


Рис. 2. Построение линеаментов на исследуемой территории с помощью программы ArcGIS

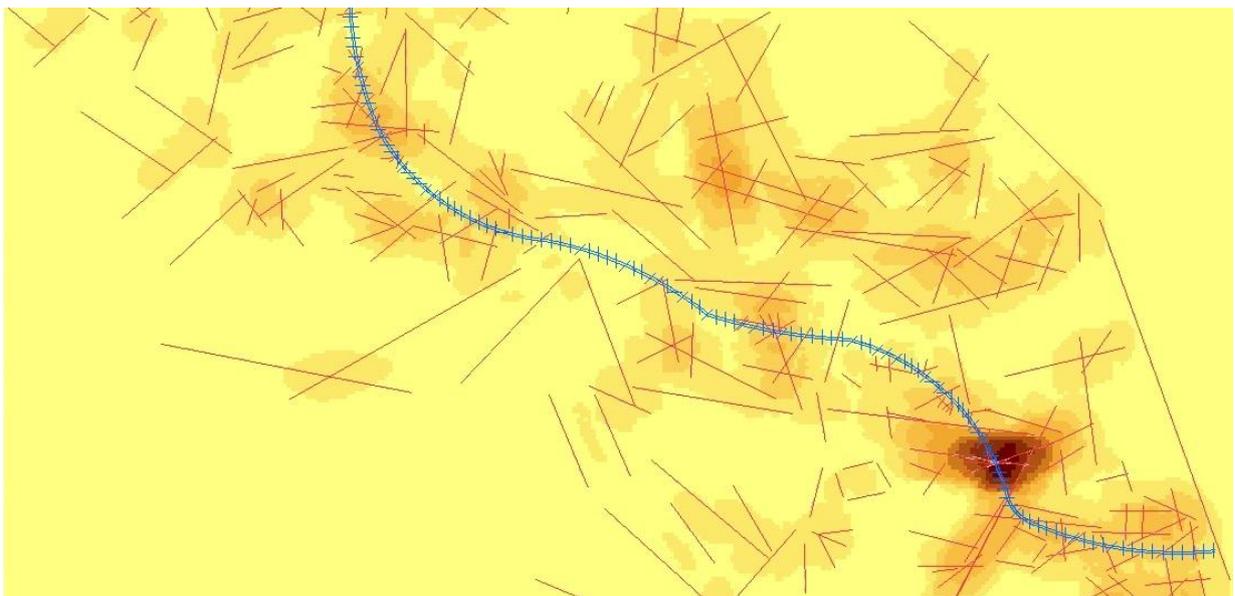


Рис. 3. Карта плотности линеаментов.

На территории установлена повышенная геодинамическая активность с наличием тектонических нарушений, проявленных в земной коре разрывами или геологическими и ландшафтными аномалиями. В Гайнинском районе железная дорога по проекту проходит по активной геодинамической зоне, которая может повлиять на работоспособность магистрали в дальнейшем. Более благоприятным вариантом для развития проекта будет смещение проектируемой линии в сторону северной части Соликамского района, через Чердынский район, и далее – в Гаинский район, с последующим пересчетом финансовых средств.

Библиографический список

1. Атлас Пермского края / Коллектив авторов. Под общей редакцией А.М. Тартаковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. ОАО ИПП «Уральский рабочий», Екатеринбург, 2012. 124 с.
2. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 6. С. 14-19.
3. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
4. 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.
5. Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 12-1. С. 172-177.
6. Копылов И.С., Даль Л.И. Геоэкологическая оценка состояния природной среды Коми-пермяцкого округа // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-2.
7. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Копылов И.С. Осовецкий Б.М. Об улучшении свойств грунтов как строительных материалов в связи с инженерно-геологическими проблемами в строительстве // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 3.
12. <http://landsat.usgs.gov/index.php>.
13. 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. Фонд ООО "ПермНИПИнефть".

ПОВЕРХНОСТНЫЕ КАРСТОВЫЕ ФОРМЫ В ЗОНАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯСЫЛЬСКОГО УЧАСТКА

Рассмотрены закономерности распределения поверхностных карстовых форм. Изучены неотектонические линеаменты в районе Красноясыльского участка Ординского района Пермского края.

Ключевые слова: линеаменты, карст, Пермский край.

SURFACE KARST FORMS IN ZONES OF LINEAMENTS MANIFESTATION BY THE EXAMPLE OF THE KRASNOYASYLSKY ARIA

Regularities of distribution of superficial karst forms are considered. Neotectonic lineaments were studied in the Krasnoyasylyk area of the Ordinsky district of the Perm region.

Keywords: lineaments, karst, Perm Krai

Введение. Основными факторами развития карстовых процессов (как подземных так и поверхностных форм), по мнению многих исследователей и ученых, являются геоморфологические особенности территории, ее рельеф, геологические и гидрогеологические условия. Также одним из основных факторов является *новейшая тектоника и современная геодинамика*, и их проявления – повышенная трещиноватость пород в геодинамических активных зонах.

Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются *аэрокосмогеологические исследования* (АКГИ) [7-10]. Данные исследования выполняются на основе дистанционных методов.

Наряду со стандартными методами дешифрирования аэрокосмоматериалов, в состав дистанционных методов исследования можно также включить и тепловизионные с получением снимков в инфракрасном диапазоне спектра. На снимках фиксируются приповерхностные карстовые формы, обводнённые зоны, зоны дробления карстующихся пород приуроченные к тектоническим нарушениям и т.д. [6].

На аэрокосмических изображениях достаточно отчетливо видны полосы, проявляющиеся самостоятельными фотоаномалиями, в виде прямолинейных границ между различными ландшафтными зонами или геологическими образованиями. Они получили название линеаментов. Таким образом, под линеаментом в геологии принято понимать линейные или дугообразные элементы планетарного значения, связанные на начальном этапе, а иногда и на протяжении всей истории развития литосферы с глубинными расколами [5]. При этом была выяснена интересная особенность их проявления: количество их зависит от масштабов космических съемок. Чем он мельче, тем отчетливее выглядят линеаменты на аэрокосмических снимках.

Подавляющее большинство глубинных разломов проявляются на аэрокосмических снимках линеаментами, совпадающими с их осевыми линиями или трассирующимися параллельно им в непосредственной близости.

Основой методологии изучения геодинамических активных зон является линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных методов.

Системы линеаментов ограничивают блоки земной поверхности различающиеся гипсометрическими уровнями, интенсивностью эрозионной и денудационной расчлененности карстовых процессов, особенностями геологического строения. Часто разницы блоков различных порядков фрагментарно прослеживаются на всю глубину осадочного чехла в виде флексур, разрывных нарушений, узких линейно вытянутых прогибов. Комплекс этих признаков позволяет судить о тенденциях и унаследованности современных вертикальных и горизонтальных сдвижений соседних блоков земной коры вдоль пограничных систем линеаментов. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры [9].

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур.

В массивах, разделенных на блоки тектоническими разломами, относительно опущенные блоки наиболее раздроблены. Зоны трещиноватости (зоны растяжения) очень часто являются индикаторами опущенных блоков.

Распределение карстовых форм во многом определяется распределением внутриблоковых трещинных зон, образующих своеобразную трещино-карстовую структуру блока и массива в целом [1].

Геологическая характеристика рассматриваемого района

В данной работе рассматривается участок магистрального газопровода Ужгородского коридора на 1646 – 1648 км участка Красный Ясыл Ординского района Пермского края.

Рассматриваемая территория по карстовому районированию Горбуновой К.А. [3, 11] относится к *Иренскому району преимущественно гипсового и карбонатно- гипсового карста*.

Приподнятая денудационная равнина Уфимского плато имеет эрозионно-тектонический рельеф и представляет собой плитообразную поверхность с плоскими водоразделами и глубокими речными долинами.

Красноясыльское поле имеет площадь 19 км², при средней плотности 133 формы на 1 км². Детальной карстологической съемкой охвачена территория в 2,42 км², южнее с. Красный Ясыл. На изученной площади описано 517 карстовых воронок. Они распространены неравномерно и приурочены к возвышенной столообразной поверхности водораздела. На этой территории отмечена наибольшая плотность, достигающая 209 воронок на 1 км². Чаще всего встречаются цепи воронок с азимутом 30° и 70° (рис. 1).



Рис. 1. Красноясыльское карстовое поле (по материалам карстомониторинга, института «Пермгипроводхоз» [2]).

Размеры воронок самые разнообразные и часто достигают 15-25 м в поперечнике и 5-10 м в глубину. В плане они в основном округлые, реже овальные. На данной площади насчитывается 383 конусообразных, 192 чашеобразных и 12 блюдцеобразных воронок. Кроме того, зафиксировано 7 сложных воронок [2].

Характерной особенностью данной территории является то, что почти во всех воронках имеются выходы коренных пород. Самые древние породы, выходящие на поверхность, относятся к иренскому горизонту кунгрусского яруса. Это гипсы буроватые, беловато-серые. В некоторых воронках есть входы в пещеры, поноры.

В неотектоническом отношении район работ расположен в пределах восточной окраины Русской плиты, Восточно-Европейской материковой платформы, в пределах Уфимского мегаблока Иреньского макроблока (рис. 2).

В целом территория характеризуется дизъюктивно - блоковым строением, что в конечном итоге определяет локализацию поверхностных и подземных вод, локализацию экзогенных процессов – эрозионных и карстовых.



Условные обозначения

Неотектонические таксоны: А- Восточно-Европейская материковая платформа; А- Русская плита; IV- Уфимский мегаблок; 18-Усинский макроблок; 19-Тулвинский макроблок; 20-Иреньский макроблок. В- Предсреднеуральская структурная зона (геоблок); V-Предсреднеуральский мегаблок; 26-Сылвинский макроблок.



Рис. 2. Карта неотектонических блоковых структур (по материалам ООО «ПермНИПИнефть, И.С. Копылов, 2006», с обновлением) [8, 10].

Породы тектонических блоков заключенные между логами разбиты сетью трещин расположение которых субпаралельно границам тектоблоков. Трещины преимущественно вертикальные [1].

Результаты исследований

По результатам структурного дешифрирования аэрофотоснимков в районе исследования выявлена сеть прямолинейных геоморфологических линеаментов, отображающих предполагаемые субвертикальные трещинно-разрывные структуры.

Вдоль них в осадочном чехле предполагается существование узких линейных зон усиленной тектонической трещиноватости. По вертикали и латерали в этих полосах трещиноватости могут формироваться малоамплитудные разрывные нарушения типа сбросов.

На изучаемом участке выявлены системы линеаментов двух генераций, подчиненные взаимно перпендикулярным направлениям; меридионально-широтному и северо-восточно - северо-западному.

Меридиональные и широтные системы линеаментов достаточно тесно коррелируются с параллельными, иногда плавно близкими осями разломов фундамента позднерифейского заложения, активизированных в палеозое и мезозое. Протяженность некоторых систем меридиональных линеаментов в изученной полосе по данным дешифрирования космических снимков (КС) оценивается в десятки километров [4].

Широтные системы, как правило, менее отчетливы, прерывисты, их соответствие глубинным нарушениям осадочного чехла не всегда уверенно опознается.

Система линеаментов генерации северо-восточного и северо-западного простираний отчетливо выражена в закономерностях деталей линейных эрозионных денудационных и карстовых микро- и мезоформ рельефа, но не всегда находит отчетливое соответствие линейным структурам осадочного чехла.

В сети прямолинейных линеаментов отчетливо выделяются полосы их плотной параллельной группировки, пересекающие один или несколько блоков разных порядков.

Вдоль таких полос наблюдается интенсивное развитие карстовых и денудационно-эрозионных форм, что свидетельствует в пользу тектонической активизации трещинно-разрывных структур, отображенных линеаментами.

Среди наиболее активных систем линеаментов в районе коридора трасс магистрального газопровода выделяются меридиональные: Каменская и Западно-Опачевская; северо-восточного простирания: Южно-Губановская и Ясьльская); северо-западного простирания: Средняясьльская и Верхняясьльская (рис. 3).

Вдоль Южно-Губановской и Ясьльской систем линеаментов ограничивающих и осложняющих Красноясьльский малый блок по результатам структурного дешифрирования предполагается вероятность левостороннего сдвига соседних блоков [4].

Наиболее отчетлив этот сдвиг в верховьях Ясьльского лога, где западные границы слабоопущенных Губановского и Опачёвского малых блоков смещены вдоль Южно-Губановской системы линеаментов на расстояние около 2,5 км.

Оба блока характеризуются очень близкими геологогеоморфологическим строением, особенностями карстового рельефа, высоким положением уровня подземных вод, благодаря чему в пределах этих структур широко распространены довольно крупные карстовые озёра.

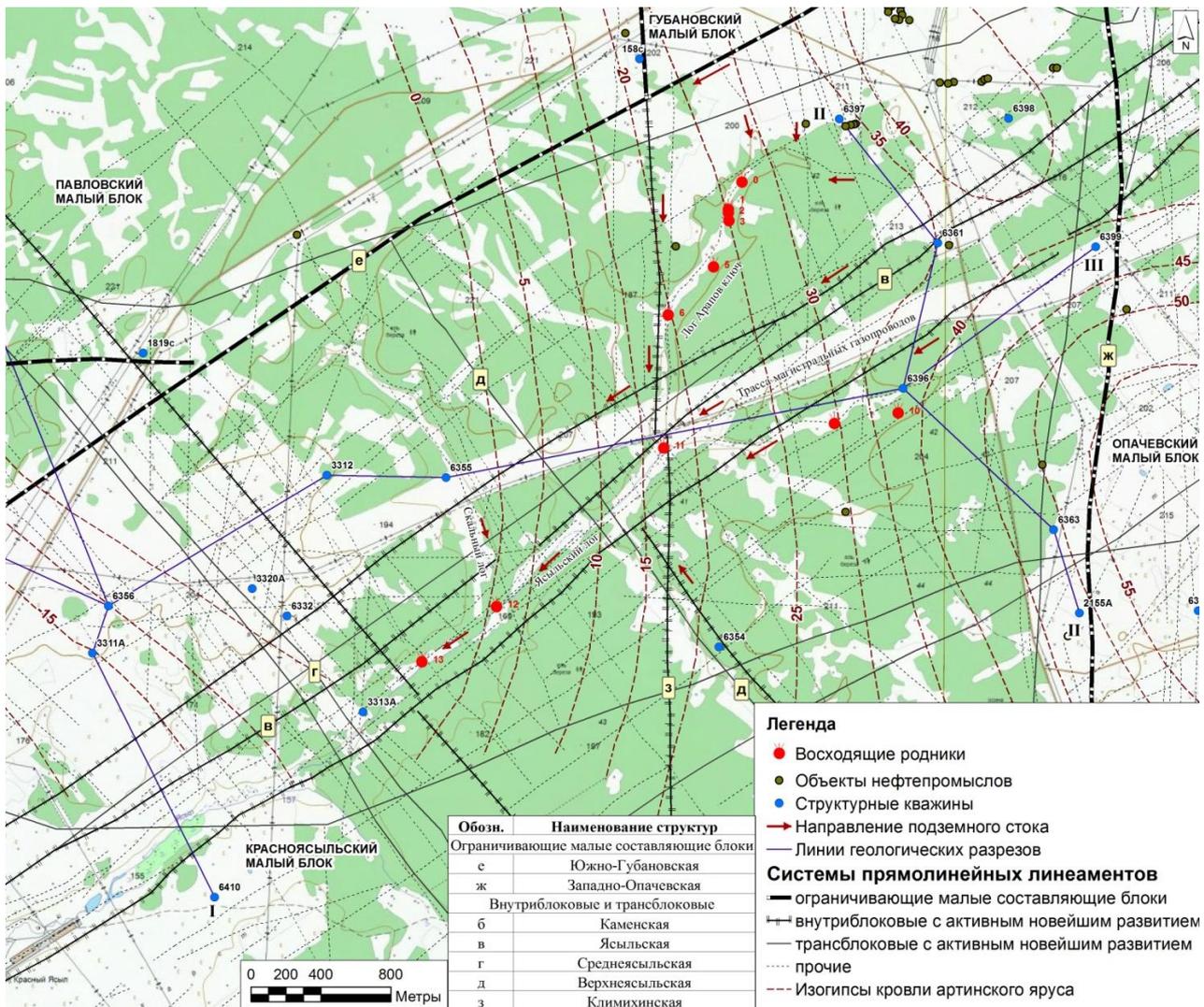
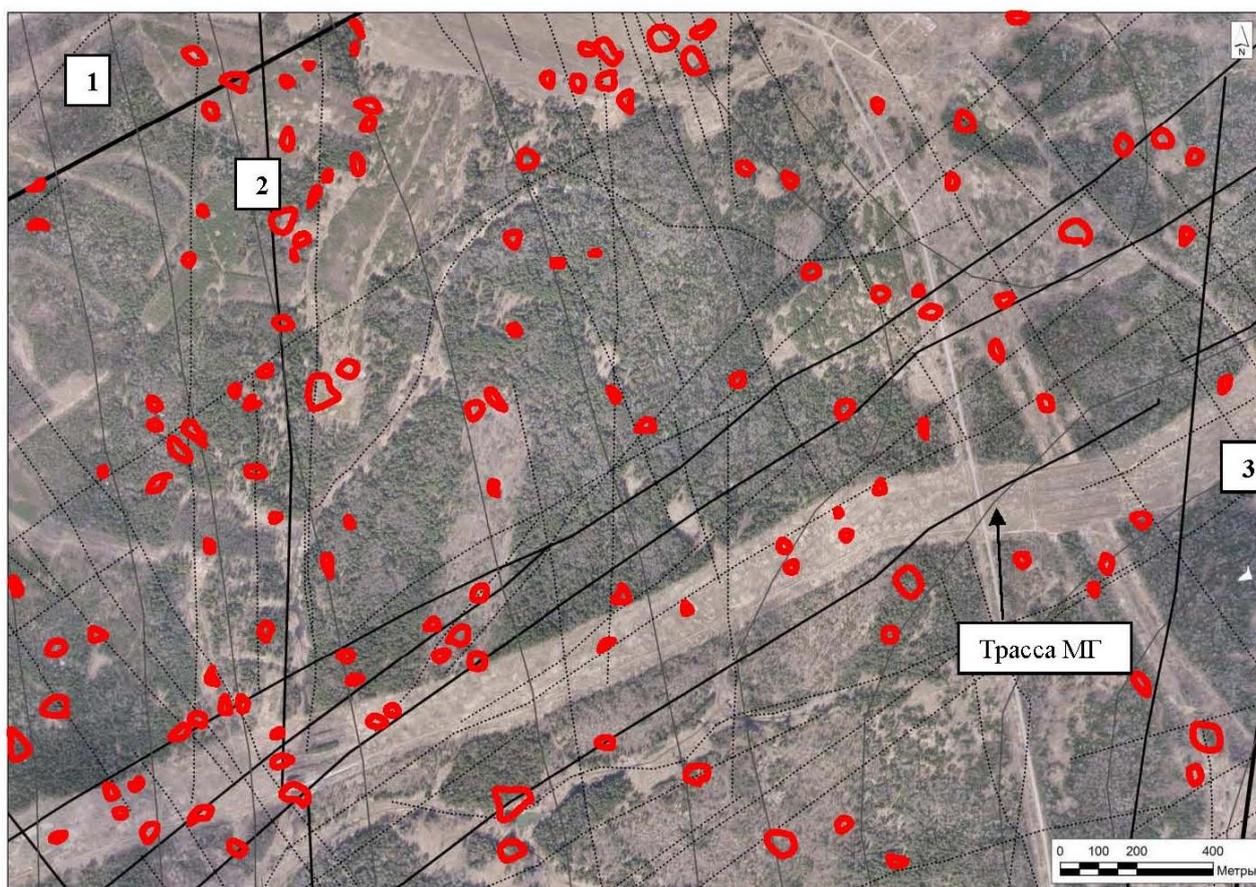


Рис. 3. Тектоническая схема исследуемого участка с линеаменами (составлено по материалам Ильиных Ю.А. [4]).

Самым протяженным на исследуемой территории является Ясылский блок, склоны которого осложнены эрозионно-карстовыми логами меньшей протяженности, с устьями выходящими в Ясылский лог. Северо-западный правый борт Ясылского лога наиболее крутой, по сравнению с противоположным, уклон поверхности ступенчатый; более опущенный лог является и более раздробленным.

Таким образом, район исследований характеризуется как район максимального проявления неотектоники в виде дифференцированных подвижек тектоблоков. Карстующиеся породы в составе осадочного чехла разорваны по границам блоков разноамплитудными нарушениями.

Как видно из рис. 4 наибольшая плотность поверхностных карстопроявлений сосредоточена на границах и в зонах контактов тектонических блоков. Таким образом, распределение поверхностных карстовых форм во многом определяется положением внутриблоковых трещинных зон, образующих трещино - карстовую структуру блока и массива в целом.



Условные обозначения:



- области с поверхностным карстопроявлением (карстовые воронки)



- границы линеаментов



-Павловский малый блок



-Красноясельский малый блок



-Опачевский малый блок

Рис. 4. Аэрокосмический снимок Красноярского участка

При этом пространственно карстовые формы тяготеют к пограничным участкам между раздробленными и монолитными блоками или между опущенными и приподнятыми блоками со смещением вертикальных и субвертикальных полостей в сторону приподнятого.

Вдоль активизированных систем линеаментов наблюдается повышенная проницаемость недр, вследствие 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 инфляции и инфильтрации поверхностных и грунтовых вод в обвально-карстовый горизонт

над процессами поверхностного стока [1].

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.

В свою очередь, проникающие в недра поверхностные и подземные грунтовые воды образуют в карстовых полостях системы подземного стока, активизирующие процессы выщелачивания и коррозионно-механического разрушения сульфатных и карбонатных пород. Эти потоки увеличивают объемы подземных полостей, способствуют гравитационной просадке и обрушению их кровли, усилению сети трещин, увеличению и углублению существующих форм поверхностного карста и образованию свежих просадок и провалов.

Основной вывод, следующий из анализа соотношения распределения линеаментов, трещинных зон, зон дробления пород и поверхностных карстопроявлений, заключается в том, что структурные особенности массива (характер залегания пород, ориентировка тещинных зон) оказывают влияние не только на направленность перемещения трещино-карстовых вод, являясь факторами, определяющими характер их гидродинамического режима, но и на пространственное распределение форм карста.

Следует также учитывать, что геодинамическая опасность на закарстованных территориях усиливается в условиях техногенеза (разработки месторождений полезных ископаемых; строительство и эксплуатация различных объектов, рудников, нефтяных промыслов, линейных сооружений, водохранилищ и др.). Синергетический эффект в системе «карст – техногенез – геодинамика» нарушает равновесие в природной системе (особенно гидрогеологических, инженерно-геологических условий) и приводит к образованию опасных геологических процессов, среди которых наибольшую опасность представляют техногенно-карстовые провалы на закарстованных урбанизированных территориях [7].

Библиографический список

1. Гаев А.Я., Катаев В.Н., Бельтюков Г.В., Маклашин А.В. и др. Экспертно-аналитическая оценка проектно-нормативных решений по созданию стационарного инженерно-геологического полигона на МГ Ужгородского коридора (1649-1653км). Научно-технический отчет. Пермь, 1997. Фонды Института карстоведения и спелеологии РГО, института «Пермгипроводхоз».

2. Гаев А.Я. Килин Ю.А. и др. Карстологические исследования аварийных участков трассы магистральных газопроводов ООО «Пермтрансгаз» в Добрянском, Кишертском, Ординском, Кунгурском районах Пермской области. Научно-технический отчет. Пермь, 2003. Фонды института «Пермгипроводхоз».

3. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, Из-во Пермского университета. 1992.

4. Ильиных Ю.А., Волкогон С.П., Проваров Ю.А. и др. Результаты крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований в междуречье р.р.Сылва – Ирень

- (1593-1656км магистральных газопроводов Ужгородского коридора). ОАО «ПермНИПИнефть», Пермь, 1998. Фонды Института Карстоведения и спелеологии РГО.
5. Кац Я.Г., Рябухин А.Г. Космическая геология. Москва, Просвещение. 1984.
 6. Килин Ю.А., Килина Е.Ю. Методы карстологических исследований на трассах магистральных газопроводов // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры инженерной геологии и охраны недр Пермского университета. Пермь, 14-15 ноября 2017. Пермь, 2018. С.188-198.
 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. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.
 9. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. №3(12). С.18-32.
 10. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
 11. 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.

И.С. Копылов

Пермский государственный национальный исследовательский
университет, г. Пермь, Россия

ПОИСКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ПЕРМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Рассмотрена проблема обеспечения водоснабжения г.Перми пресными подземными водами. Проведено дешифрирование космических снимков масштаба 1:100 000, выполнен линеаментно-геодинамический анализ. На левобережье г.Перми по геодинамическим активным зонам выделены водообильными трещинные зоны. Построена гидрогеологическая ГИС-карта территории Перми и окрестностей с геодинамическими активными, водообильными и гидрогеохимическими зонами, которые могут быть основой для поиска новых месторождений пресных подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, поиски, аэрокосмические методы, линеаментно-геодинамический анализ, водообильные зоны, гидрогеологическая карта, город Пермь.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

SEARCH FOR UNDERGROUND WATERS TO ENSURE DRINKING AND HOUSEHOLD AND WATER SUPPLY OF THE CITY OF PERM WITH APPLICATION OF AEROSPACE METHODS

The problem of providing water supply to Perm with fresh underground waters is considered. The interpretation of satellite images at a scale of 1:100 000 was carried out, a lineament-geodynamic analysis was performed. On the left bank of Perm, geodynamic active zones are identified by water-like fracture zones. A hydrogeological GIS map of the territory of Perm and its environs with geodynamic active, watery, and hydrogeochemical zones, which can be the basis for the search for new deposits of fresh underground waters, was constructed.

Key words: underground waters, searches, aerospace methods, lineament-geodynamic analysis, water-borne zones, hydrogeological map, city of Perm.

Введение

Проблема перевода крупных городов и населенных пунктов на подземные, защищенные источники питьевой воды, а также обеспечение резервным водоснабжением населения в периоды чрезвычайных ситуаций имеет стратегическое значение для России.

Решение данной задачи предусмотрено рядом правительственных документов, в частности: ФЦП от 6 марта 1998г. № 292 «Обеспечение населения России питьевой водой», Государственным стандартом Р.Ф. ГОСТ Р 22.6.01. – 93. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита систем хозяйственно – питьевого водоснабжения».

Обоснование необходимости и условия поисков подземных вод территории Перми

Пермь – крупнейший промышленный центр на Западном Урале с населением более 1 млн. человек. Здесь находится большое количество предприятий химической, нефтепромысловой, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной, целлюлозно-бумажной промышленности, энергетики, транспортной инфраструктуры. Всем производствам сопутствует образование с последующим складированием большого количества отходов – твердых, жидких, газообразных, которые непосредственно воздействуют на окружающую среду в т.ч. на подземные и поверхностные воды.

Происходящая активная социальная застройка городов и населенных пунктов с развитым, но изношенным, устаревшим коммунальным хозяйством, вызывают систематичное воздействие на подземные воды вызывая их площадное загрязнение. На прилегающих к городским территориях развито сельское хозяйство: пахотные земли, где практикуют широкое использование удобрений, ядохимикатов; животноводство, птицеводство с участками складирования фекальных отходов с последующей фильтрацией жидкой фазы в первый от поверхности водоносный горизонт. Наличие зарегулированного плотинами стока р. Камы вызвало формирование зоны подпора в долинах рек с нарушением естественной циркуляции подземных вод, уменьшения уклона их скорости движения, застою, сокращению их возможности природной самореабилитации.

Многочисленные мелкие водозаборы и одиночные скважины, разрабатывающие неутвержденные запасы, зачастую создают проблемы для пресных водоносных горизонтов подземных вод. Большое количество таких скважин бурилось без какого-либо гидрогеологического обоснования, зачастую они переуглублены, и, нарушая природный водоупор (гидроизоляцию) вскрывают минерализованные нижезалегающие воды обеспечивают их проникновения в пресные водоносные горизонты формируя локальное загрязнение природными компонентами. Бурение водозаборных скважин на отдельных участках, в пределах того или иного населенного пункта, хозяйства, объекта, предприятия, с неконтролируемым водоотбором может привести к частичному истощению ресурсов подземных вод в пределах ограниченных площадей.

Для города Перми доля использования подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет лишь 1-2%, при общем потреблении воды порядка 500 – 600 тыс. м³/сут. Необходимо признать, что динамично развивающийся город с миллионным населением находится на грани

экологической катастрофы. Для сравнения: в относительно маловодном регионе г.Уфа водообеспечен из пресных подземных водоисточников до 30%.

Город Пермь для хозяйственно-питьевого водоснабжения использует, в основном, поверхностные водные объекты: забор воды производится с Чусовского, Большекамского и Кировского водозаборов. На двух последних водозаборах эксплуатация осуществляется непосредственно в зоне промышленной и жилой застройки города. И только 1,8% (6,5 тыс. м³/сутки) подземных вод отбираются на Верхнекурьянском месторождении в правобережной части города (2,87 тыс. м³/сутки), а также на водозаборах с неутвержденными запасами (3,63 тыс. м³/сутки).

Несмотря на достаточно сложные гидрогеологические и геоэкологические условия в окрестностях г.Перми [2, 10-12], выявлено несколько месторождений пресных подземных вод (Мулянское, Верхнесыринское, Нытвенское, Мокинское, Васильевское и др.) с общими оценочными эксплуатационными запасами более 60 тыс. м³/сут., причем большинство из них находятся в нераспределенном фонде недр. В радиусе 100 км от г Перми ОАО «Запуралгидрогеология» опойсковано несколько месторождений (неэксплуатируемых и частично эксплуатируемых) с потенциальным запасом, по первичной оценке 100 – 150 тыс.м³/сут. Выявлено несколько крупных водообильных участков, на которых необходимо провести поисково-оценочные работы [8, 14]. Дальнейшие работы были приостановлены в связи с прекращением финансирования.

Учитывая возрастающую неблагоприятную техногенную обстановку региона и активно развивающегося социально-промышленного агломерата – г.Перми; незащищенность поверхностных вод Камского и Воткинского водохранилищ от внешнего загрязнения; возможности техногенных аварий; возможных сбросов техногенно-опасных накопленных вод; реальной перспективы ненадежности Чусовского, Большекамского и Кировского водозаборов необходимость решения поставленной задачи становится сверх актуальной.

Для левобережья г. Перми (объект 1 этапа) основные перспективы поиска новых месторождений пресных подземных вод связаны с водообильными трещинными зонами шешминского водоносного горизонта уфимского водоносного комплекса [6, 7].

Методика и результаты исследований

Один из основных методов поисков подземных вод являются аэрокосмические методы [1]. Для выявления водообильных трещинных зон целесообразно проводить линеаментно-геодинамический анализ.

Положение, согласно, которому, в формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена, ведущую роль играют состояние структурно-геологических условий и неотектонические движения, которые формируют водообильные трещинные зоны, является закономерностью, для многих регионов мира и подтверждено нами в других регионах [4, 13, 15].

В условиях дефицита финансирования на региональные и поисковые гидрогеологические работы (стоимость которых довольно высокая) на первый план выходит их комплексирование с более экономичными – дистанционными исследованиями, направленными на поиски водообильных зон и применением ГИС-технологий. При этом объем собственно гидрогеологических работ (гидрогеологические маршруты, бурение скважин с откачками, гидрометрия, опробование, и особенно площадные геофизические методы) уменьшается (и концентрируется преимущественно на ключевых участках) а площадь исследований увеличивается и обрабатывается способом групповой съемки. Применение ГИС-технологий на основе создания баз данных (БД), автоматизированных методов дешифрирования и обработки данных, а также пространственного анализа, позволяет намного эффективнее проводить общий комплекс исследований [8].

Основой для выделения геоактивных трещинных зон являлись материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты дешифрирования космических снимков (масштаб 1:500 000-1:100 000).

Структурно-геологическое дешифрирование выполнено на современных цифровых спектральных космоснимках высокого разрешения, с применением компьютерных технологий. Технология компьютерного дешифрирования космоснимков и обработки данных реализована на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS (Arc View) и его модулей (рис. 1).

Обработка линейных объектов – неотектонических линеаментов и мегатрещин, расчет их плотности (по протяженности на единицу площади) произведен в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density), которая ранжирована по баллам статистического распределения и классифицирована по геологическим признакам на классы неотектонической активности. Выделено более 5 тыс. прямолинейных линеаментов, различных таксономических рангов (региональных, зональных, локальных и коротких) [3, 5, 9]. (рис. 2).

Региональные и зональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Наиболее тектонически ослабленными являются 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 и водоносность [3, 5].

В результате комплексного анализа с применением данных ДЗЗ и ГИС-технологий построена гидрогеологическая ГИС-карта территории Перми и окрестностей (листы О-40-XIV, XV, XX, XXI) с геодинамическими активными, водообильными и гидрогеохимическими зонами [9, 11, 14].

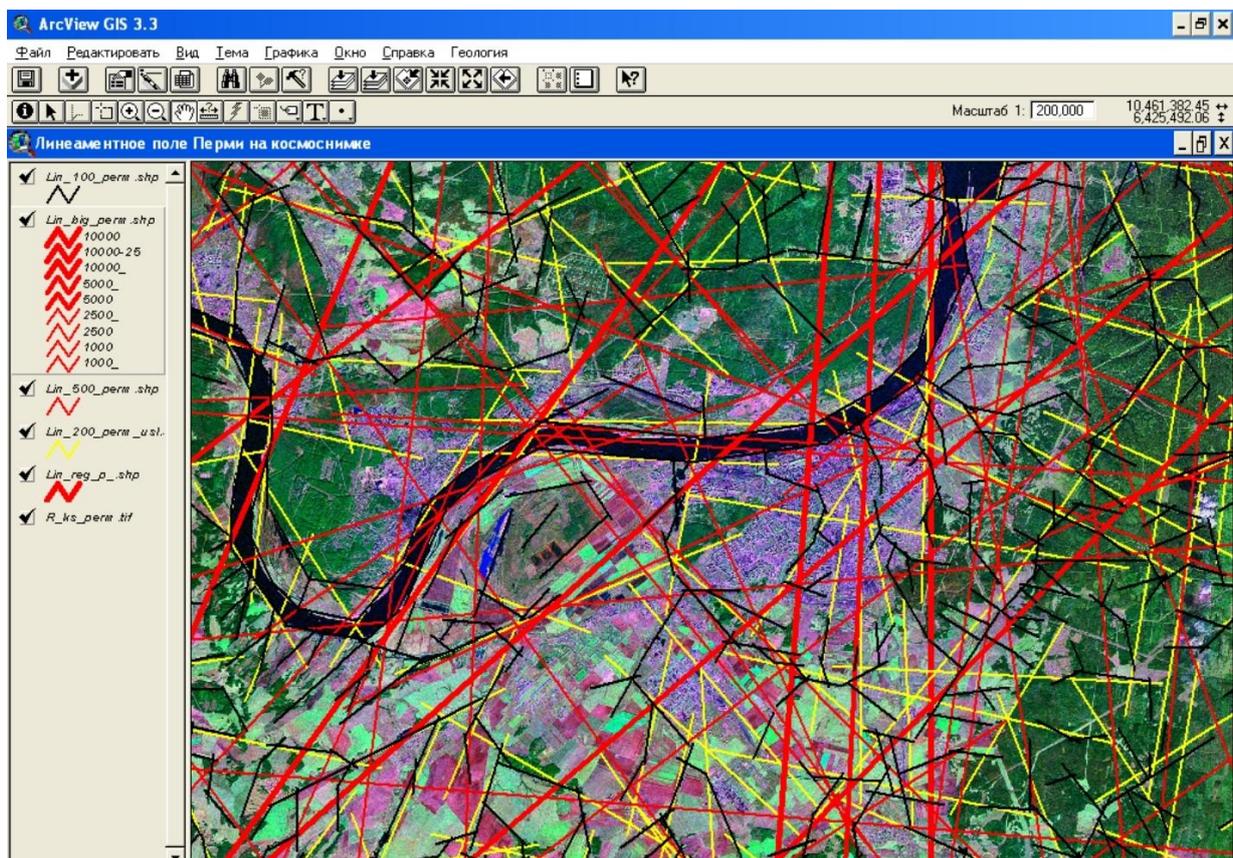


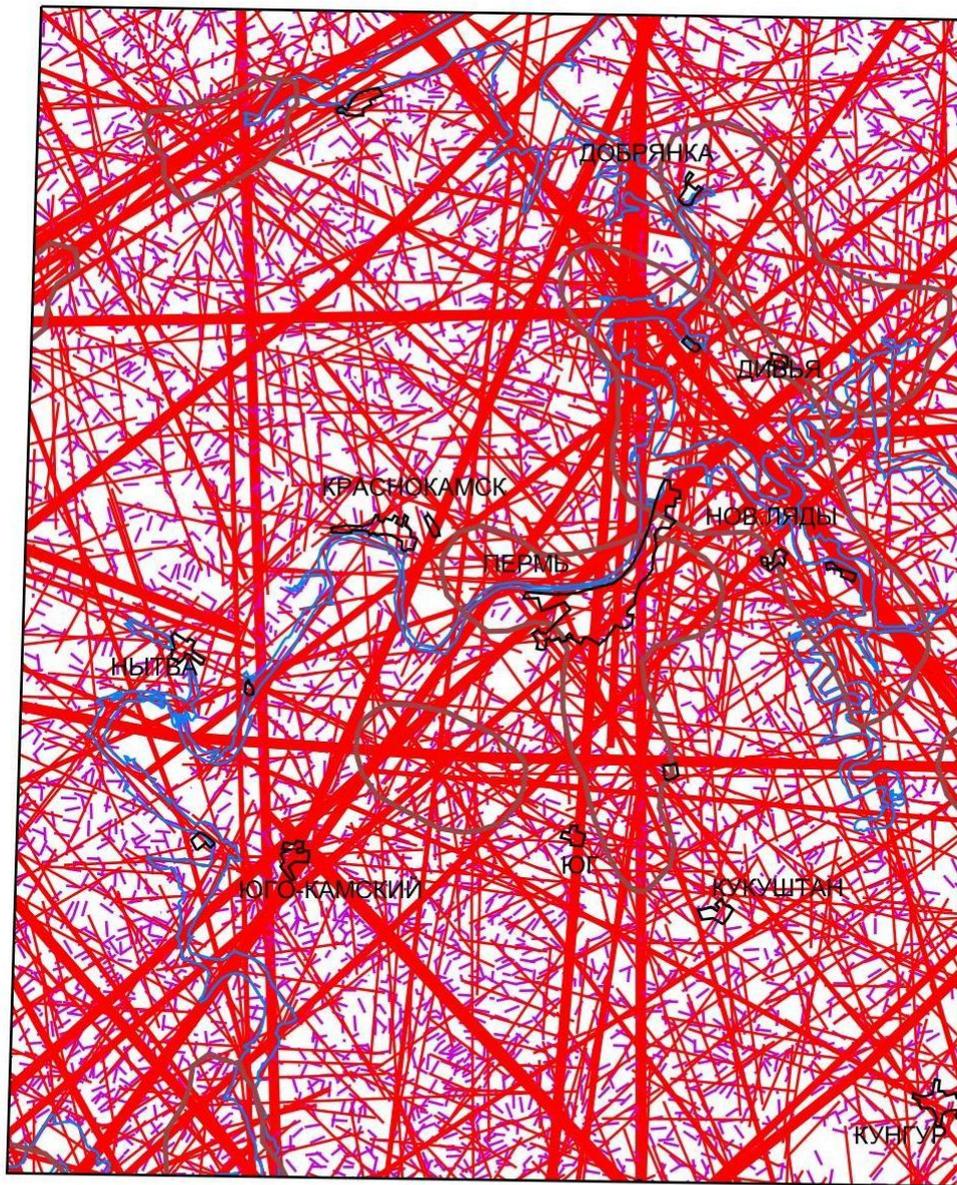
Рис. 1. Фрагмент рабочей программы компьютерного космогеологического дешифрирования района г. Перми (масштаб 1:100 000-1:200 000)

Базовый масштаб 1:200 000. С учетом локальных гидрогеологических баз данных и инструментов ARC GIS, масштабируемая среда карты находится в масштабе 1:1 100 000. В легенде и БД отражены: гидрогеологическое районирование по бассейнам подземного стока, характеристика гидрогеологических подразделений, водопроявления (месторождения пресных и минеральных подземных вод, гидрогеологические скважины, родники), водообильные зоны, химический состав подземных вод и другие данные (рис. 3).

Заключение

Комплексный гидрогеологический и линеаментно-геодинамический анализ с учетом параметров водоносности и плотности трещиноватости позволил скорректировать границы известных водообильных зон (до масштаба 1:100 000) и спрогнозировать новые зоны на территории г.Перми и окрестностей.

Ближайшие задачи гидрогеологических работ на территории г. Перми связаны с проведением поисково-оценочной стадии работ в комплексе с крупномасштабным (масштаб 1:25 000) дешифрированием цифровых космических снимков и детальным гидрогеодинамическим моделированием.



КМ 10 0 10 КМ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Тектонические и неотектонические нарушения по дешифрированию космоснимков
(И.С. Копылов, 2012, 2019)

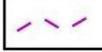
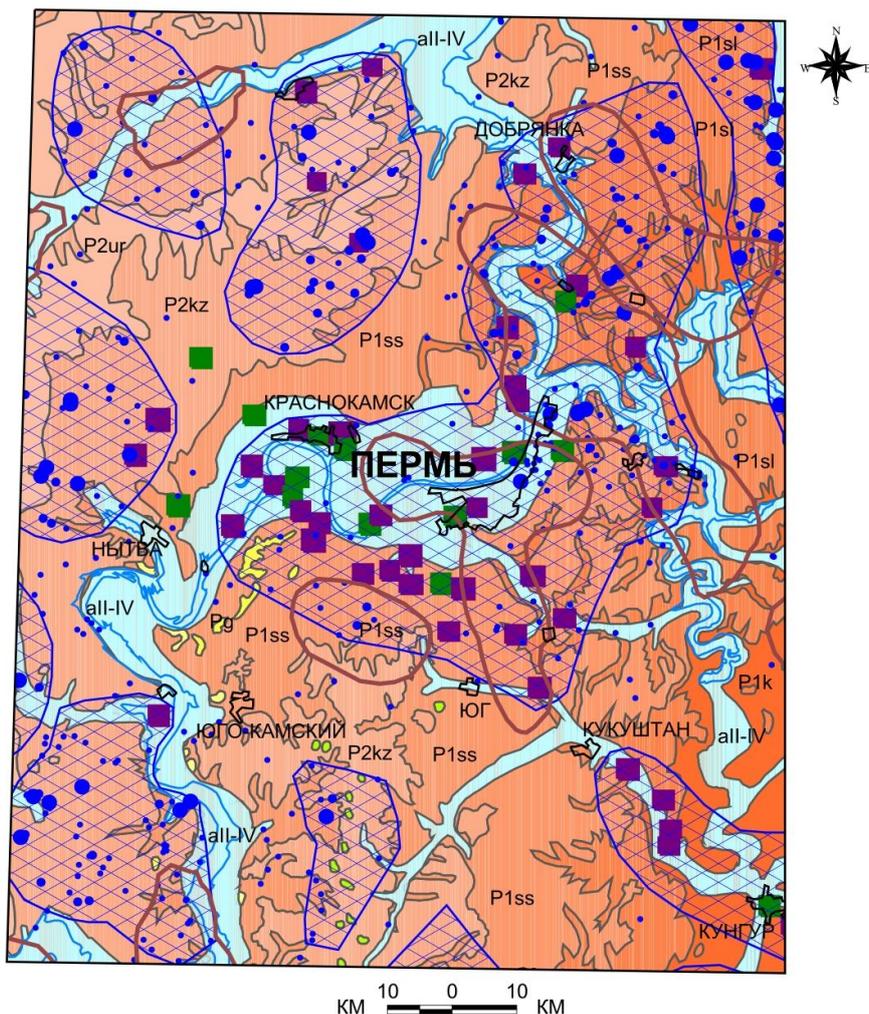
-  Зоны линеаментов (протяженностью более 200 км)
-  Региональные линеаменты (более 50 км)
-  Зональные и локальные линеаменты (10-50 км)
-  Локальные и короткие линеаменты (<10 км)
-  Геодинамические активные зоны с высокой тектонической трещиноватостью

Рис. 2. Линеаментное поле территории г. Перми и окрестностей (листы О-40-XIV, XV, XX, XXI)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Гидрогеологические подразделения

all-IV	Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных образований
N-Pg	Относительно водоупорный горизонт неогеновых и палеогеновых образований
P2ur	Водоносный горизонт уржумских отложений средней перми
P2kz	Водоносный горизонт казанских отложений средней перми
P1ss	Водоносный горизонт шешминских отложений уфимского яруса
P1sl	Водоносный горизонт соликамских отложений уфимского яруса
P1k	Водоносный комплекс отложений кунгурского яруса

Месторождения подземных вод, водопроявления и перспективные участки

	месторождения пресных подземных вод
	месторождения минеральных подземных вод
	крупные родники (с дебитом > 10 л/с)
	родники с дебитом 1-10 л/с
	площади групп водообильных зон
	перспективные участки на поиски подземных вод (зоны высокой тектонической трещиноватости по космоснимкам)

Рис. 3. Гидрогеологическая карта и водообильные зоны г. Перми и окрестностей (листы О-40-XIV, XV, XX, XXI)

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы поисков подземных вод / А.В. Садов, М.И. Бурлешин, А.С. Викторов. М.: Недра, 1985. 144 с.*
2. *Копылов И.С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-2. С. 335-339.*
3. *Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.*
4. *Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-3. С. 86-90.*
5. *Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18-32.*
6. *Копылов И.С. Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // Успехи современного естествознания. 2014. № 9-2. С. 105-110.*
7. *Копылов И.С. Подземные воды западного склона Среднего Урала и их перспективы для водоснабжения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6-3. С. 460-464.*
8. *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.*
9. *Копылов И.С. Результаты и перспективы региональных гидрогеологических работ в Пермском крае и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. ГИС центр ПГНИУ. Пермь, 2013. С. 34-40.*
10. *Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // Успехи современного естествознания. 2016. № 12-1. С. 172-177.*
11. *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.*
12. *Копылов И.С. Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 4 (17). С. 39-46.*
13. *Копылов И.С., Ликотов Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. 2012. № 9-3. С. 602-606.*
14. *Копылов И.С. и др. Гидрогеологическое доизучение с геоэкологическим картированием масштаба 1:200 000 листа О-40-XV. Отчет ФГУП «Геокарта-Пермь». Пермь, 2004. 72 с.*
15. *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.*

**ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ И
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ПТБО Г. ИГАРКИ
НА ОСНОВЕ ИЗЫСКАНИЙ, АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ**

Изучены инженерно-геологические и геокриологические условия района города Игарки на полигоне твердых бытовых отходов. Проведено детальное дешифрирование космических снимков. Выделено большое количество линеаментов отождествляемых с тектоническими нарушениями осадочного чехла. Проведена оценка геодинамической активности района. Применение комплекса инженерных изысканий, аэрокосмогеологических исследований и геофизики показало на хорошую сходимость результатов дешифрирования космоснимков с данными электроразведки. Предложены рекомендации и комплекс мероприятий по снижению экологического ущерба.

Ключевые слова: инженерная геология, геокриология, геодинамика, инженерные изыскания, электроразведка, дешифрирование космоснимков, линеаменты, оценка, прогноз, полигон твердых бытовых отходов, город Игарка.

I.S. Kopylov², V.V. Oborin¹

¹ Perm State University, Perm, Russia
LLC «Zapuralgidrogeologiya», Perm, Russia

**STUDY OF ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL AND GEODYNAMIC
CONDITIONS OF THE TERRITORY OF THE
SOLID WASTE DISPOSAL OF THE IGARKA CITY BASED ON
ENGINEERING SURVEYS, AEROSPACE AND ELECTRO-GEOPHYSICAL
RESEARCHES**

The engineering-geological and geocryological conditions of the Igarka district were studied at a solid waste landfill. A detailed interpretation of satellite images was carried out. A large number of lineaments identified with tectonic disturbances of the sedimentary cover were identified. An assessment of the geodynamic activity of the area. The use of a complex of engineering surveys, aerospace and geological research, and geophysics has shown good convergence of the results of decoding satellite images with electrical exploration data. Recommendations and a set of measures to reduce environmental damage are offered.

Keywords: engineering geology, geocryology, geodynamics, engineering surveys, electrical exploration, satellite image interpretation, lineament, estimation, forecast, solid waste landfill, Igarka city.

Введение

Полигоны для захоронения отходов в соответствии с ГОСТ 30772-2001 представляют ограниченные территории, предназначенные и при необходимости специально оборудованных для захоронения отходов, исключения воздействия захороненных отходов на незащищенных людей и окружающую среду. Но с учетом специфики и условий захоронения ТБО более логичное и полное определение дается в Инструкция [3], согласно которой, «Полигоны – комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов».

Объект исследований – полигон твердых бытовых отходов (ПТБО) находится в г. Игарка Туруханского района, Красноярского края (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение объекта исследований на космоснимке

Город расположен на берегу Игарской протоки р. Енисей, в 1330 км к северу от города Красноярск. Находится за полярным кругом. В городе имеется аэропорт, морской порт. Объект исследований расположен в микрорайоне Северный городок г. Игарка. В 4 км севернее Игарской протоки реки Енисей, в 1,2 км южнее р. Гравийка (рис. 2).

Цель работы – оценка инженерно-геологических условий территории полигона твердых бытовых отходов (ПТБО) г. Игарка. Основные задачи: 1). Проведение комплексного инженерно-геологического анализа района ПТБО г. Игарка, по материалам инженерных изысканий, аэрокосмогеологических

исследований; 2). Инженерно-геологическая оценка, районирование по степени сложности инженерно-геологических условий и прогноз их изменений в районе ПТБО; 3). Разработка рекомендаций по строительству и эксплуатации ПТБО.



Рис. 2. Общий план территории Игарского ПТБО

Основные природно-геологические и мерзлотно-гидрогеологические факторы определяющие инженерно-геологические условия

Западная часть района представлена северо-восточной окраиной Западно-Сибирской равнины, восточную часть района занимает Средне-Сибирское плоскогорье. Рельеф здесь довольно однообразный, плоский, типичный равнинный с высотами до 200 м. Данная территория сильно заболочена с ярко выраженной широтной зональностью природных условий. ПТБО г. Игарка расположен на водоразделе. Площадка полигона слабодренирована. Климат района характеризуется суровой, продолжительной зимой, сравнительно коротким, но теплым летом и резким колебанием температур. Количество осадков за год превышает 400 мм.

Район характеризуется большим количеством озер и болот, развитию которых способствует плоский слаборасчлененный рельеф, малая глубина эрозионного вреза большинства рек, их замедленный сток, превышение осадков над испарением, наличие многолетней мерзлоты.

Объект исследований – ПТБО, располагается в Енисейском инженерно-геологическом регионе первого порядка и Норильско-Туруханский инженерно-геологический регионе второго порядка, расположенном на стыке двух тектонических структур: Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы, в

пределах Норильско-Туруханской зоны поднятий, представленной серией гребневидных и куполовидных антиклиналей, флексур и мульд. Фундамент Сибирской платформы сложен архейскими и протерозойскими складчатыми комплексами и имеет расчлененный рельеф [1, 2].

Большое значение в формировании инженерно-геологической обстановки региона имеют разрывные нарушения, особенно глубинные разломы, а также оперяющие их многочисленные тектонические трещины, (которые выделяются на космических снимках серией линеаментов различных направлений), формирующих участки различной геодинамической активности.

Подземные воды имеют различный химический состав и минерализацию, доминируют воды хлоридно-натриевого, хлоридно-гидрокарбонатного натриевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого составов. Широкое развитие мощной толщи многолетней мерзлоты в целом и возникновение ее до образования современных форм рельефа предопределяет длительно существующие условия затрудненного водообмена на большей части территории.

По геокриологическому районированию г.Игарка располагается на границе раздела двух крупных зон: зоны распространения многолетнемерзлых пород (ММП) с таликами и зоны распространения ММП островного характера (в виде отдельных островов среди обширных пространств талых пород). Температура ММП в зоне их распространения с таликами от -5° до $-1,5^{\circ}$, причем в самих таликах температура выше $-1,5^{\circ}$; в зоне распространения ММП островного характера температура пород колеблется около 0° .

Повсеместное развитие в Норильско-Туруханском районе многолетней мерзлоты и суровые климатические условия обусловили региональное развитие геокриологических процессов: солифлюкцию, термокарст, пучение, образование наледей. Многочисленные термокарстовые озера играют роль природных отстойников-накопителей, а гидролакколиты поддерживают постоянный геокриотермический режим природных «морозильников».

Методика и результаты инженерных изысканий

В процессе инженерных изысканий (ОАО «Запуралгидрогеология», отв. исполнитель – В.В. Оборин) проводились: топо-геодезические работы, маршрутное обследование (на территории полигона по сетке 50×50 м, за территорией объекта только по аномальным геолого-геоморфологическим элементам рельефа), горные работы, бурение инженерно-геологических скважин (7 скважин глубиной до 14 м), инженерно-геокриологическое опробование, геофизические работы (ВЭЗ, СЭП), аэрокосмогеологические исследования, лабораторные работы [9, 10].

В пределах проектируемого ПТБО г. Игарки установлены различные виды современных техногенных образований, залегающие на алевролитоглинистых сланцах нижнего протерозоя (рис. 3):

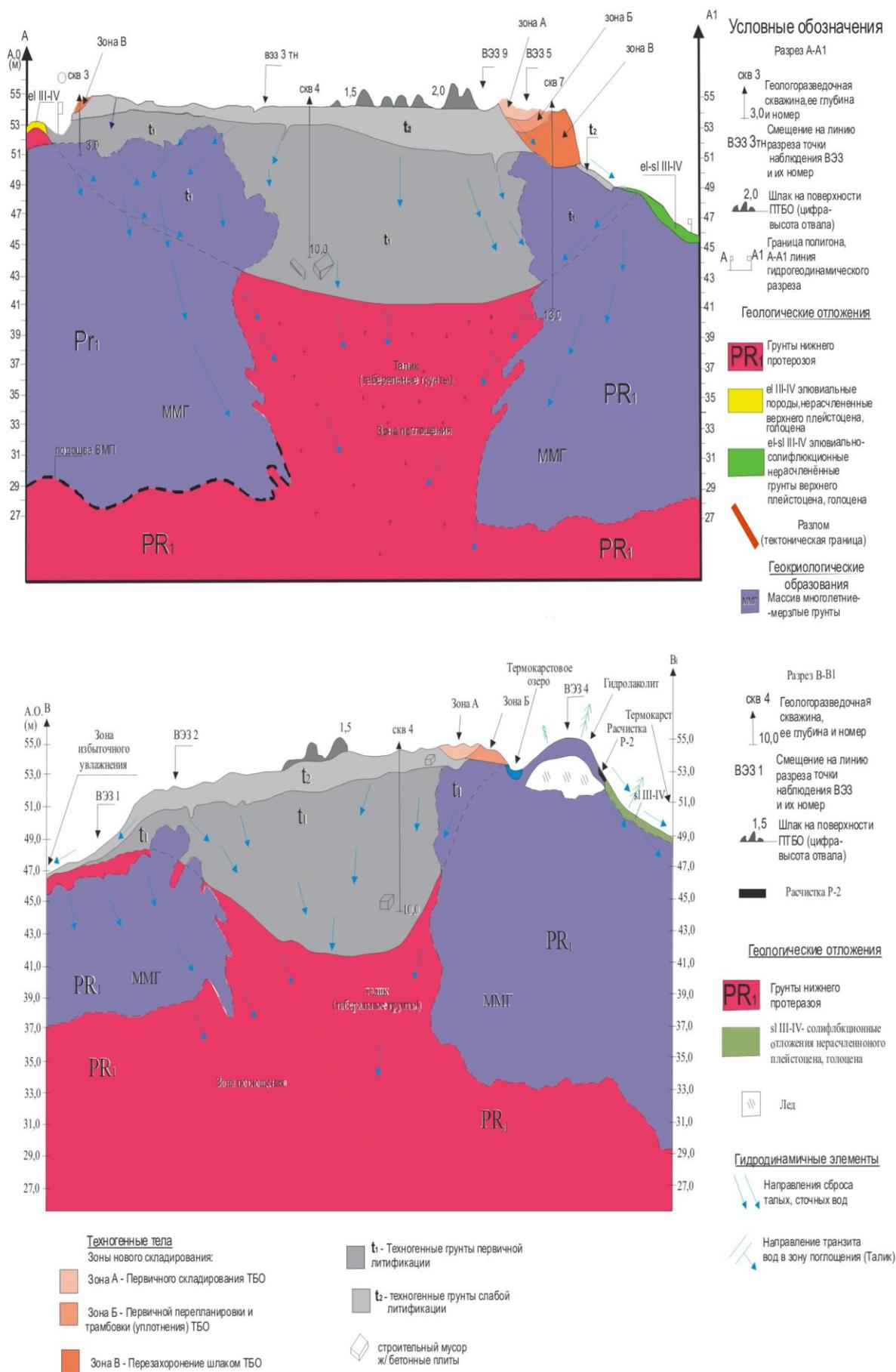


Рис. 3. Инженерно-геологические и гидрогеодинамические разрезы

- ИГЭ 1 (t_2)– техногенные отложения, насыщенные водой;
- ИГЭ 2 (t_1)– техногенные отложения; слабо- и ненасыщенные водой;
- ИГЭ 3 (PR_1)– алевролито-глинистые сланцы.

По данным электроразведки участкам с повышенной, высокой и очень высокой плотностью линеаментов соответствуют участки 50-100 ом м и менее, что характерно для водопроницаемых участков. На фоновых геодинамических участках удельное сопротивление составляет 300-600 ом м, что характерно для мерзлых толщ (рис. 4).

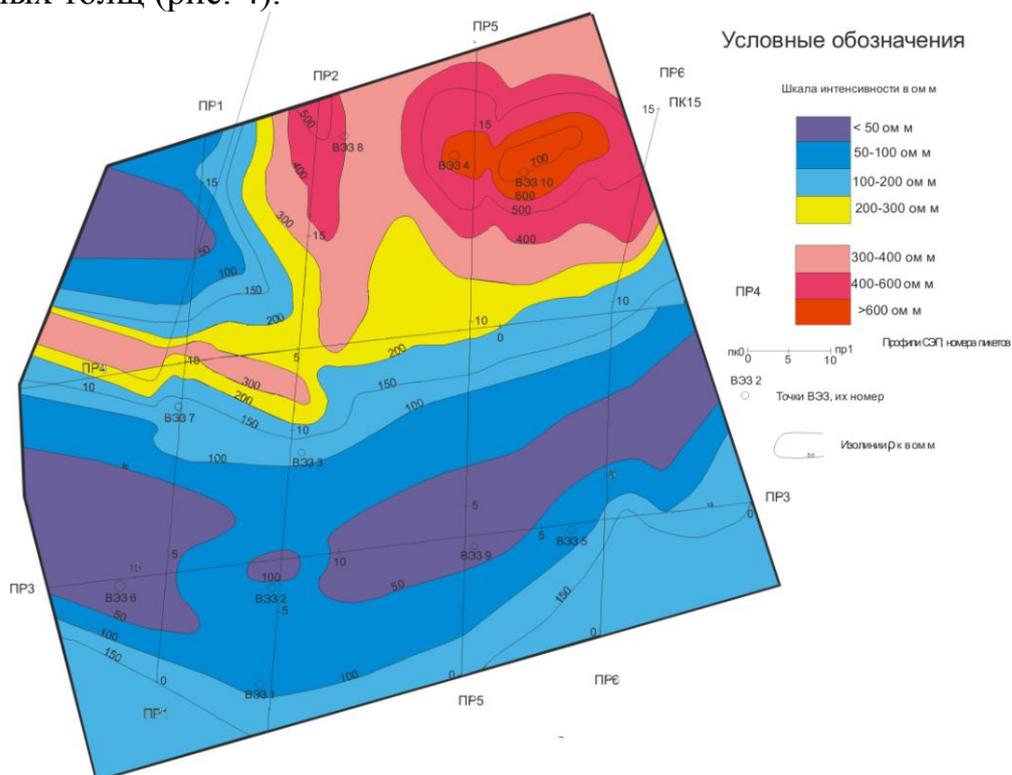


Рис. 4. План изоом кажущегося удельного сопротивления

Результаты инженерно-аэрокосмогеологические исследования

Структурно-тектоническое дешифрирование и линеаментно-геодинамический анализ на рассматриваемой территории проводились с применением компьютерных технологий в соответствии с методиками [4-8] в стадийной последовательности от мелкого масштаба – к крупному (рис. 5).

При обработке данных дешифрирования применялись различные технологии, одной из основных являлось определение плотности линеаментов. Обработка линеаментов, расчет их плотности производился в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density).

По дешифрированию космических снимков на рассматриваемой территории выделены тектонические нарушения (линеаменты различных размеров и направлений). Наиболее четко на снимках выражена серия северо-восточных, и северо-западных линеаментов (рис. 6).

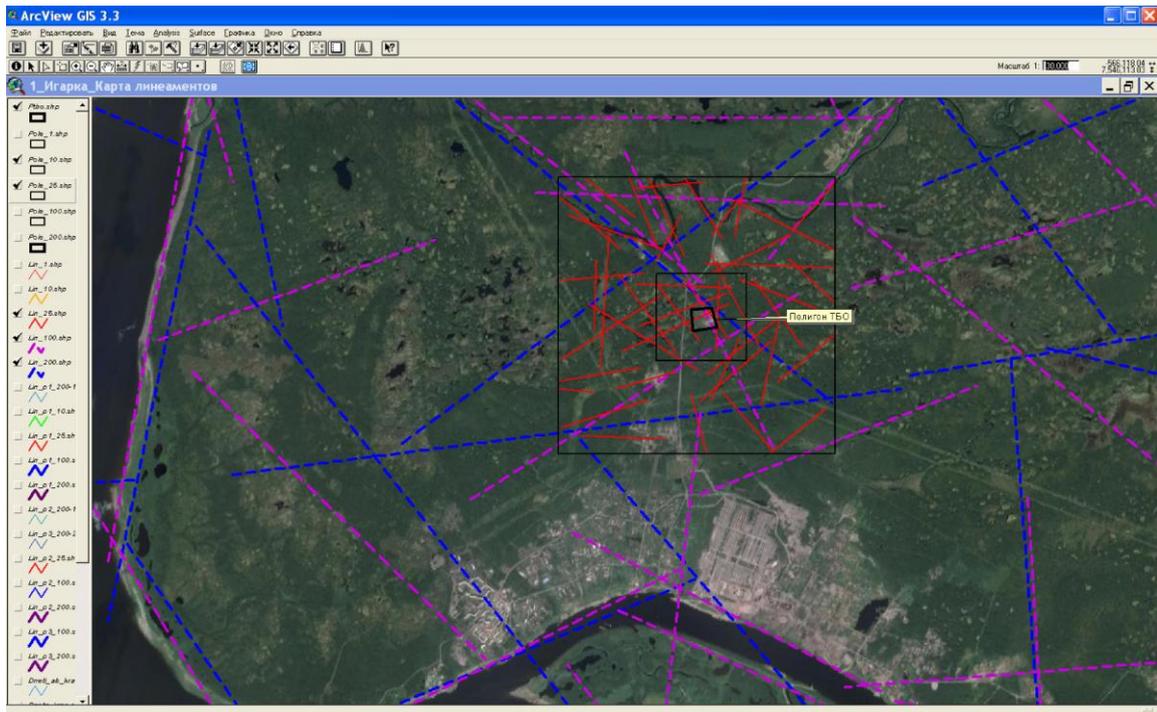


Рис. 4. Фрагмент рабочей программы компьютерного космогеологического дешифрирования района Игарского ПТБО по разным уровням (масштабы 1:1 000 000-1:25 000)

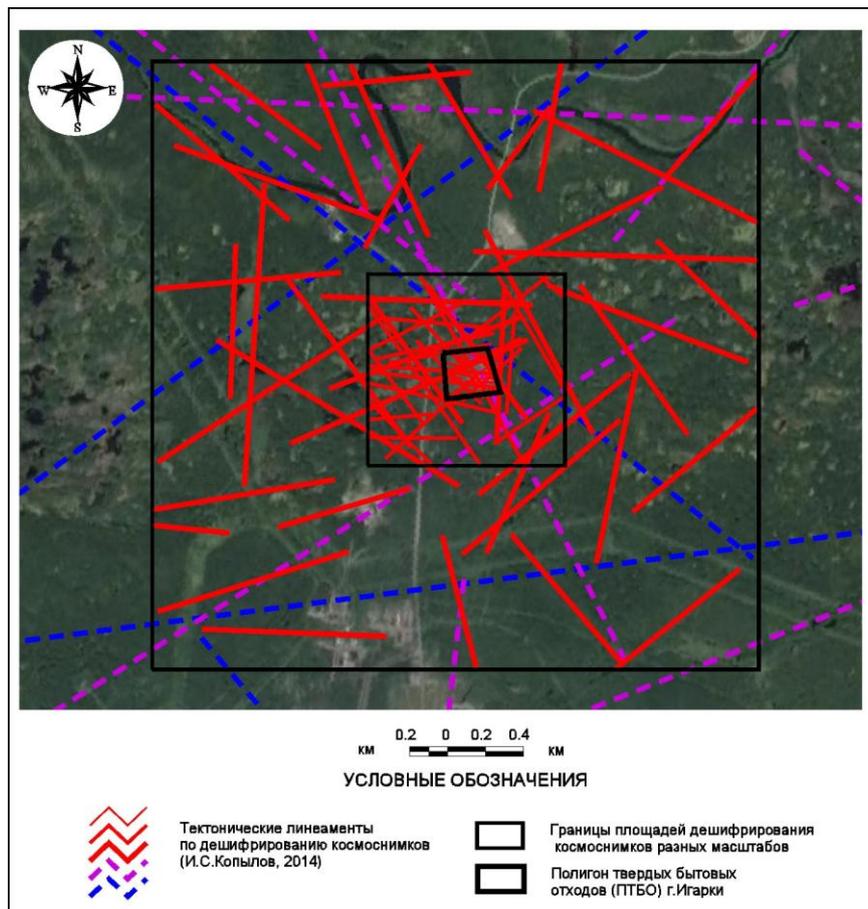


Рис. 6. Карта линяментного поля района Игарского ПТБО по разным уровням (масштабы 1:1 000 000-1:25 000)

Выделено большое количество прямолинейных линеаментов отождествляемых с тектоническими нарушениями осадочного чехла. По протяженности они ранжированы на 5 градации - региональные (более 100 км), зональные (50-100), локальные (10-50), короткие (5-10 и менее) км и очень короткие (первые сотни м).

Проведена оценка геодинамической активности района. Выделены участки: с очень низкой, с низкой и средней плотностью линеаментов (геодинамической активностью), составляющие фон района и участки с повышенной, высокой и очень высокой плотностью линеаментов, которые преобладают в центрально-южной части района (рис. 7).

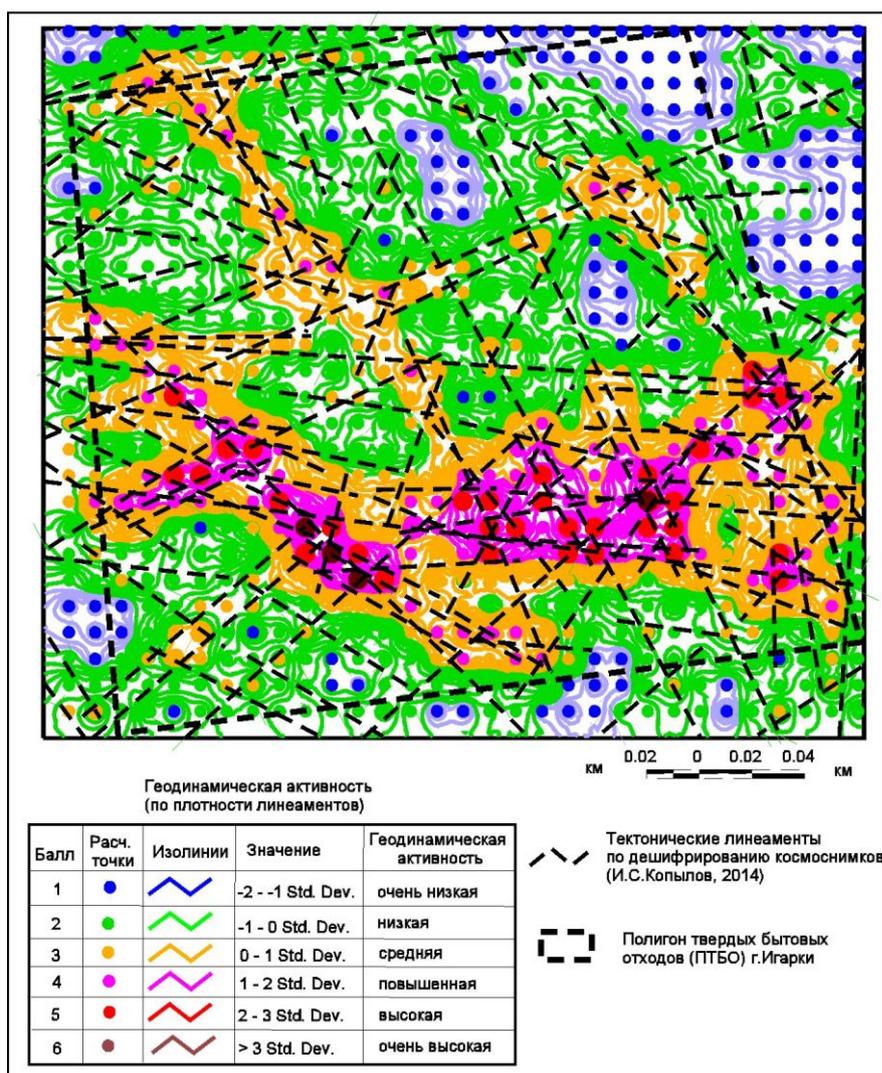


Рис. 7. Карта тектонической трещиноватости и геодинамической активности района Игарского ПТБО масштаба 1:25 000

Обсуждение результатов

Установлено, что состояние ММП зависит от степени развития тектонической трещиноватости. На участках с повышенной плотностью линеаментов отмечается просачивание и дренирование вод, повышенная водоносность грунтов – здесь мерзлота отсутствует, сформирован сквозной

талик. На участках со средней степенью плотностью линеаментов – в приталиковой части ММП деградируют. На периферийных участках полигона (особенно в северо-восточной части) многолетнемерзлые породы находятся в неизменном состоянии (плотность линеаментов пониженная).

Наиболее благоприятными для строительства ПТБО грунтами являются четвертичные гравийно-галечные грунты, позволяющие вести строительство без учета сжимаемости и теплового состояния пород основания. Песчаные грунты являются хорошим основанием сооружений, однако следует учитывать их значительные осадки в результате температурных изменений. На сильнольдистых глинистых грунтах строительство рекомендуется вести с сохранением их мерзлого состояния. При строительстве на талых глинистых породах следует учитывать их значительную сжимаемость.

По сложности инженерно-геологических условий площадь изысканий относится ко II категории. По типологическому инженерно-геологическому районированию в пределах Игарского ПТБО выделено 5 типов участков (рис. 8): 1) зона осложненная гидролакколитами, термокарстовыми озерами, пластовыми льдами; 2) зона осложненная преимущественно гидролакколитами; 3) таликовая зона; 4) приталиковая зона; 5) зона уступов техногенных грунтов.

Наиболее неблагоприятные инженерно-геологические условия имеют таликовая, приталиковая зоны и зона осложненная термокарстовыми озерами.

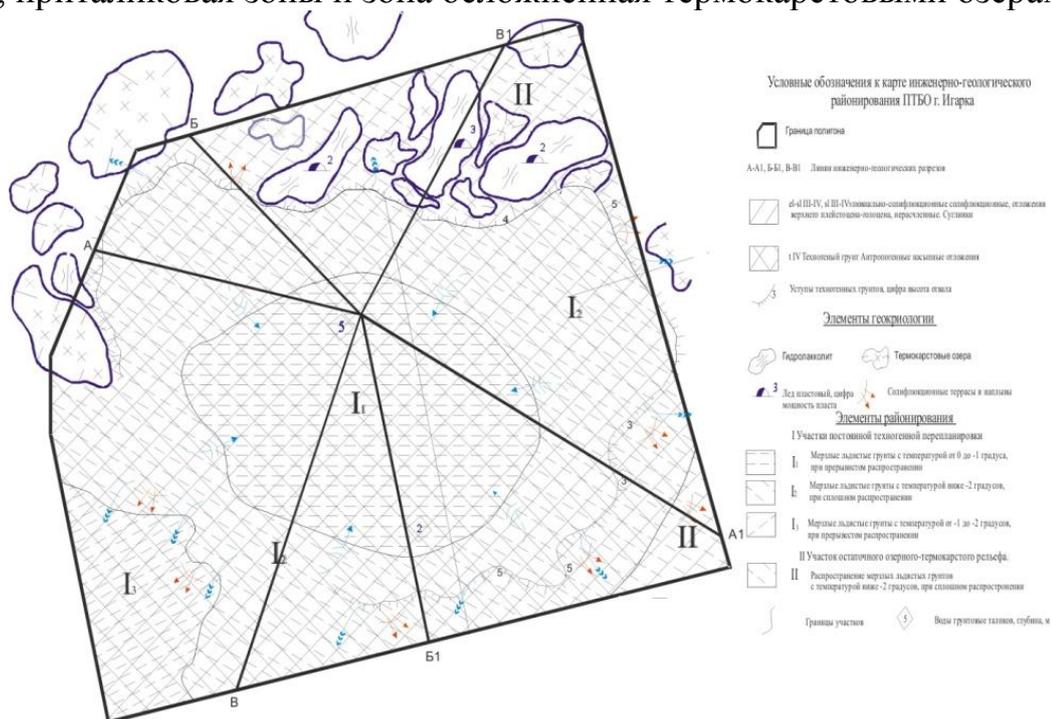


Рис. 8. Карта инженерно-геологических условий ПТБО

Заключение

В результате исследований на территории ПТБО был выявлен и локализован талик. Определена его роль в термодинамическом, геодинамическом и гидрогеодинамическом режиме полигона. Выведены и локализованы термокарстовые озера, гидролакколиты. Определена их геокриологическая специфика. Дана гидрогеодинамическая оценка их

деятельности. По данным электроразведки и АКГИ определены параметры и границы техногенных отложений. Установлены закономерности влияния геодинамической активности на инженерно-геологические условия, интенсивность проявления геокриологических процессов. Дана гидрогеодинамическая оценка деятельного слоя и его характеристики. Определены основные направления сброса талых, сточных вод (надповерхностных, надмерзлотных) по полигону, дана их первичная геоэкологическая оценка. Выявлена и характеризуется гидрогеодинамика зоны избыточного увлажнения. Были разработаны рекомендации по комплексу специальных мероприятий, обеспечивающих геоэкологически безопасную эксплуатацию полигона [9, 10].

Применение комплекса инженерных изысканий, аэрокосмогеологических исследований и геофизики показало на хорошую сходимость результатов дешифрирования космоснимков с данными электроразведки.

Библиографический список

1. Геология и ландшафты Центральной Сибири / Б.В. Шибистов, Ю.А. Задисенский, Е.Д. Шульце и др. Красноярск, Красноярское геологическое общество, 2007. 184 с., ил.
2. Гидрогеология СССР. Т. XVIII. Красноярский край и Тувинская АССР /Ред. И.К.Зайцев. М.: Недра, 1972. 479 с.
3. Инструкция по проектированию. Эксплуатации и рекультивации полигонов твердых бытовых отходов. М.: Министерство строительства РФ, 1996.
4. Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 3.
5. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы: монография / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
6. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 5-2. С. 110-114.
7. 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.
8. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
9. Оборин В.В., Копылов И.С. Инженерно-геокриологическая оценка и прогноз развития геодинамических процессов территории ПТБО г. Игарки // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. / гл. ред. И.С. Копылов; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2018. С.231-238.*
10. Оборин В.В., Копылов И.С. Оценка и прогноз инженерно-геокриологических условий ПТБО г. Игарки на основе инженерных изысканий и аэрокосмогеологических исследований // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Сб. ст. по мат. Всеросс.науч.–практ.конф. с междунар. участием. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь. № 18. 2018. С.257-260.*

И.С. Копылов, К.С. Порозков

Пермский государственный научный исследовательский университет,
Пермь, Россия

ИНЖЕНЕРНО-АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА КУЮМБА-ТАЙШЕТ

Проведено инженерно-геологическое дешифрирование космоснимков и линеаментно-геодинамический анализ трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет. Выполнено районирование трассы нефтепровода по степени инженерно-геологической сложности и построена карта районирования. Выделены локальные активные геодинамические зоны, влияющие на эксплуатацию нефтепровода. Установлено, что возрастание неотектонической активности, выражающееся в увеличении количества и плотности неотектонических линеаментов на том или ином участке трассы нефтегазопровода, приводит к увеличению интенсивности развития экзогенных геологических процессов, усложнению инженерно-геологических условий.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, нефтепровод, Красноярский край.

I.S. Kopylov, K.S. Porozkov

Perm State University, Perm, Russia

ENGINEERING-AEROSPACE ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE KUYUMBA-TAYSHET OIL PIPELINE

An engineering-geological interpretation of satellite images and a lineament-geodynamic analysis of the Kuyumba-Taishet pipeline was carried out. The pipeline route was zoned according to the degree of engineering and geological complexity and a zoning map was constructed. Local active geodynamic zones are identified that affect the operation of the pipeline. It has been established that an increase in neotectonic activity, expressed in an increase in the number and density of neotectonic lineaments in one or another section of the pipeline route, leads to an increase in the intensity of the development of exogenous geological processes, complication of engineering and geological conditions.

Keywords: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, oil pipeline, Krasnoyarsk Territory.

Введение

Магистральный нефтепровод Куюмба - Тайшет в экономике Восточной Сибири имеет стратегическое значение. Он позволит подключить к трубопроводной системе Восточная Сибирь - Тихий океан крупные Юрубчено-Тохомское и Куюмбинское нефтегазовые месторождения, расположенные в центральной части Красноярского края.

Инженерные изыскания по трассе Куюмба-Тайшет проводились различными организациями с применением стандартного комплекса исследований (рекогносцировка, бурение, опробование, лабораторные работы) [10] без проведения инженерно-аэрокосмогеологических исследований.

Необходимо комплексное изучение территории по степени сложности инженерно-геологических условий, особенно – по неотектонике, которая не изучалась при проведении инженерных изысканий, но имеет важное значение при оценке потенциальной аварийности трассы [11-13].

Цель работы: комплексная оценка инженерно-геологических условий трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет (северный участок) с применением аэрокосмических методов.

Природно-геологические условия

В административном отношении исследуемый северный участок нефтепровода Куюмба – Тайшет протяженностью 200 км (протяженность всего нефтепровода составляет 719 км) расположен на территории Эвенкийского муниципального района Красноярского края РФ. Начало трассы находится в 115 км ЮВ пос. Байкит, в 6 км СЗ пос. Усть-Камо, расположенного в устье р. Камо, левого притока р. Подкаменная Тунгускам (рис. 1). Трасса проходит через Среднесибирское плоскогорье, представляющего собой холмисто-увалистые междуречья с преобладающими уклонами 8-15°, расчленённые V-образными и трапецеидальными долинами. Абсолютные высоты колеблются от 204 м до 500м.

Территория расположена в юго-западной части Сибирской платформы в пределах Байкитской антеклизы. В пределах рассматриваемой территории вскрываются отложения большого стратиграфического диапазона – от архейского возраста до – четвертичного с выходом на поверхность средне-верхнекембрийских и ордовикских терригенно-карбонатных отложений, пронизанных интрузиями траппов основного состава (рис. 2). Четвертичные отложения представлены отложениями элювиально-делювиального, озерно-болотного и аллювиального генезиса [1, 4, 5].

Территория Байкитской антеклизы в неотектоническом плане соответствует Байкитскому крупному приподнятому блоку с амплитудами неотектонических поднятий в основном 500-600 м. За начало неотектонического этапа на Сибирской платформе принята граница палеогенового и неогенового времени. Основная тектоническая активизация, в целом началась на границе олигоценного и неогенового времени, затем резко усилилась в конце миоцена и неоднократно усиливалась в плиоцен-четвертичное время. В строении земной коры выделяются два основных геодинамических элемента – относительно монолитные геоблоки со стабильным неотектоническим режимом и геодинамические активные зоны со значительно более высокой мобильностью неотектонических движений. Отличительной особенностью этого региона является довольно высокая плотность разрывных нарушений, которая является результатом проявления новейшей и современной тектоники.

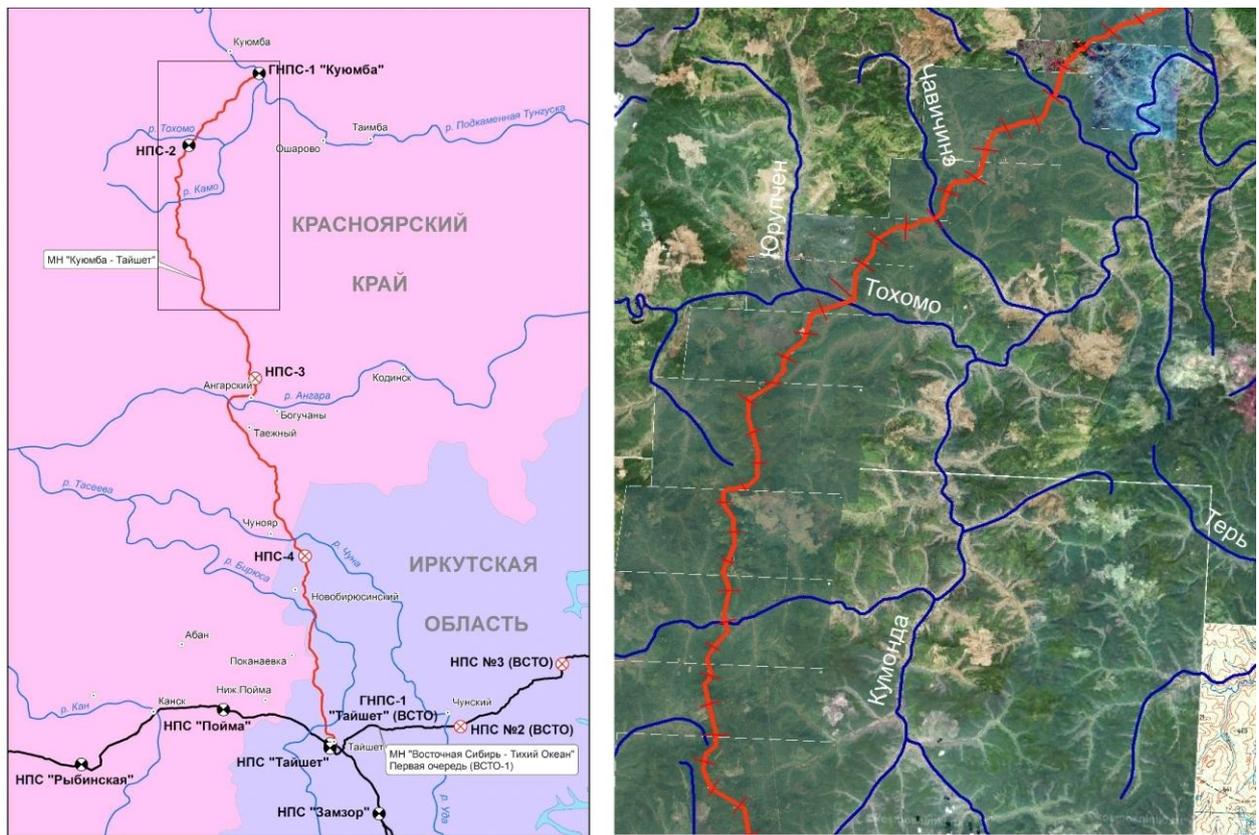


Рис. 1. Обзорная схема района и исследуемый участок (на космоснимке) трассы нефтепровода Куюмба - Тайшет

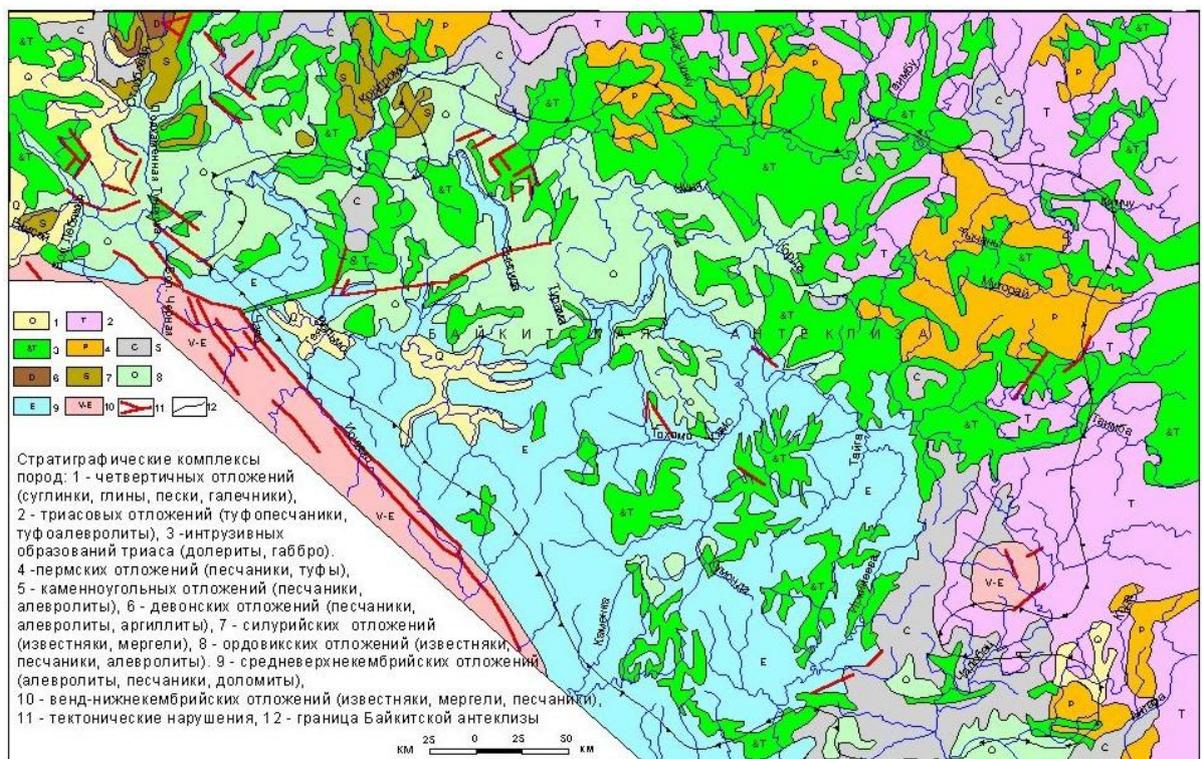


Рис. 2. Геологическая карта [4]

На территории установлены экзогенные геологические процессы (ЭГП) и явления, среди которых преобладают геокриологические процессы (морозное пучение, наледи, термокарст, солифлюкция), а также – заболачивание, овражная и речная эрозия, оползни [1, 4, 5].

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований

На региональном этапе аэрокосмогеологических исследований И.С.Копыловым по методикам [2, 3, 6-9] проведено районирование неотектонической активности Байkitской антеклизы по морфонеотектоническому и линеаментно-геодинамическому анализу на основе региональных АКГИ – выделены сводные аномалии с высокой неотектонической активностью по комплексу морфонеотектонических показателей и участки с преимущественно фоновым распределением морфонеотектонических показателей. Выделены десятки тысяч тектонических линеаментов различной протяженностью: региональных (100-200 км и более), зональных (25-100 км), локальных (5-25 км), коротких (менее 5 км), отображающих тектонические нарушения фундамента и осадочного чехла. Закартированы многочисленные геодинамические активные зоны, обусловленные повышенной тектонической трещиноватостью и высокой плотностью линеаментов (рис. 3).

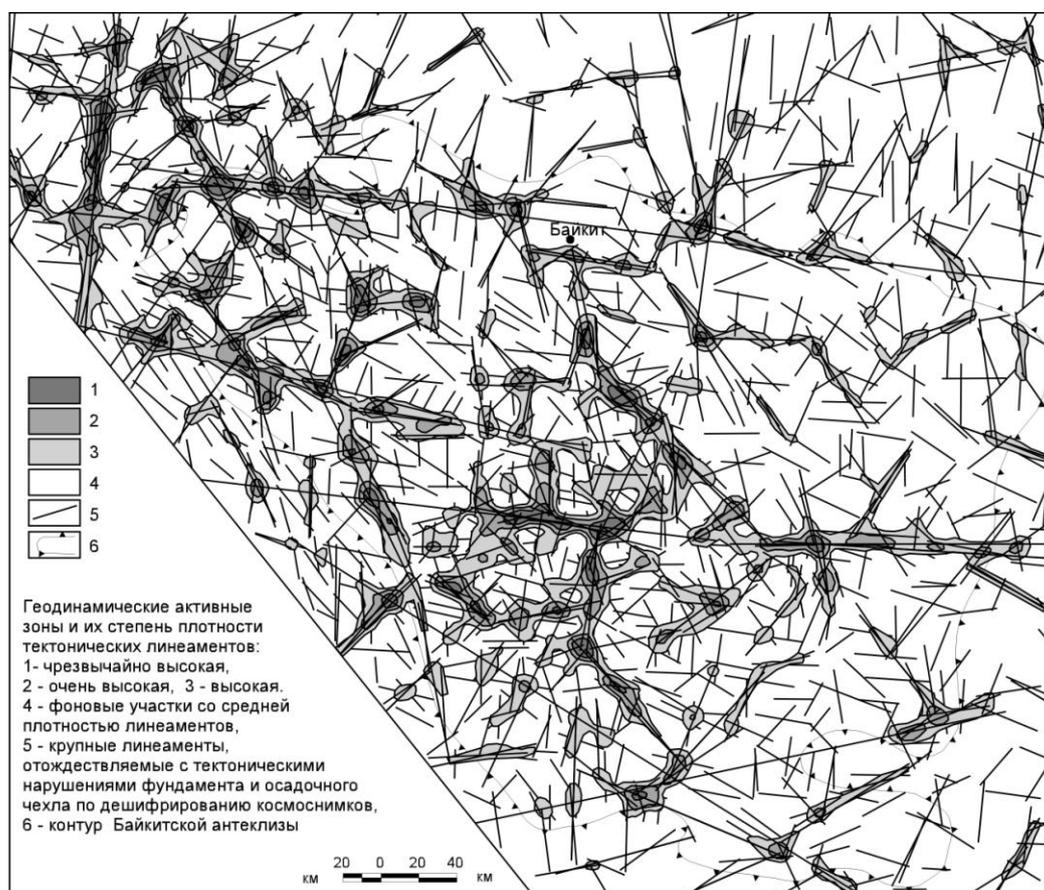


Рис.3. Геодинамические активные зоны Байkitской антеклизы [4]

При подготовке к дешифрированию территории трассы нефтепровода «Куюмба-Тайшет» были использованы космические снимки (Landsat – 8), соответствующие масштабу 1:50 000-1:100 000, с помощью которых выявлялись участки, наиболее неблагоприятных и опасных инженерно-геологических и геокриологических процессов.

Структурно-тектоническое дешифрирование проводилось в стадийной последовательности от мелкого масштаба – к крупному. При обработке данных дешифрирования применялись различные технологии, одной из основных являлось определение плотности линеаментов. Обработка линеаментов, расчет их плотности производился в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density).

В результате дешифрирования космоснимков (в полосе трассы шириной 5 км) К.С. Порозковым было выделено 910 локальных прямолинейных неотектонических линеаментов различных направлений (рис. 4).

По результатам АКГИ построена карта оценки неотектонической активности и геодинамического риска трассы нефтепровода «Куюмба-Тайшет». На ней проведено геодинамическое (неотектоническое) районирование по степени неотектонической активности.

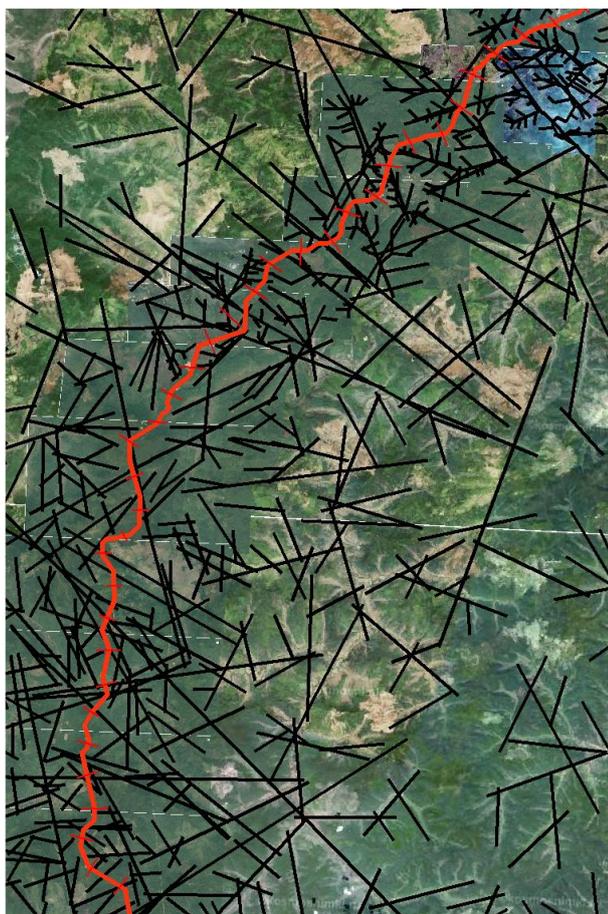


Рис. 4. Схема дешифрирования локальных линеаментов

На основе критериев оценки геодинамической опасности и риска в коридоре трассы магистрального нефтепровода выделено 4 геодинамические

активные зоны локального уровня. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки (рис. 5).

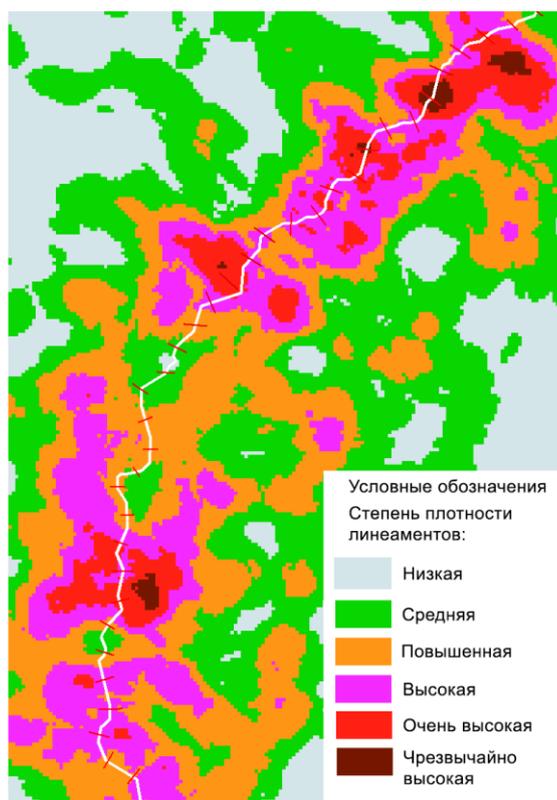


Рис. 5. Схема локальных геоактивных зон (по высокой степени плотности линеаментов)

Оценка влияния тектонической трещиноватости на количество и интенсивность распространения ЭГП

Для определения влияния тектонической трещиноватости на количество процессов, были проанализированы космоснимки и выявлено наличие экзогенных процессов. На рисунке 6 представлен график зависимости количества ЭГП от тектонической трещиноватости (плотности линеаментов).

Каждому показателю плотности линеаментов соответствуют баллы: 2 балла - средняя плотность; 3 балла - повышенная плотность; 4 балла - высокая плотность; 5 баллов - очень высокая плотность; 6 баллов - чрезвычайно высокая плотность.

На графике видно, что при понижении плотности линеаментов уменьшается и количество процессов на данной территории.

Проанализирована интенсивность распространения ЭГП по площади. На рисунке 7 представлен график зависимости интенсивности распространения ЭГП (заболоченность, пучение, эрозия и др.) от плотности линеаментов.

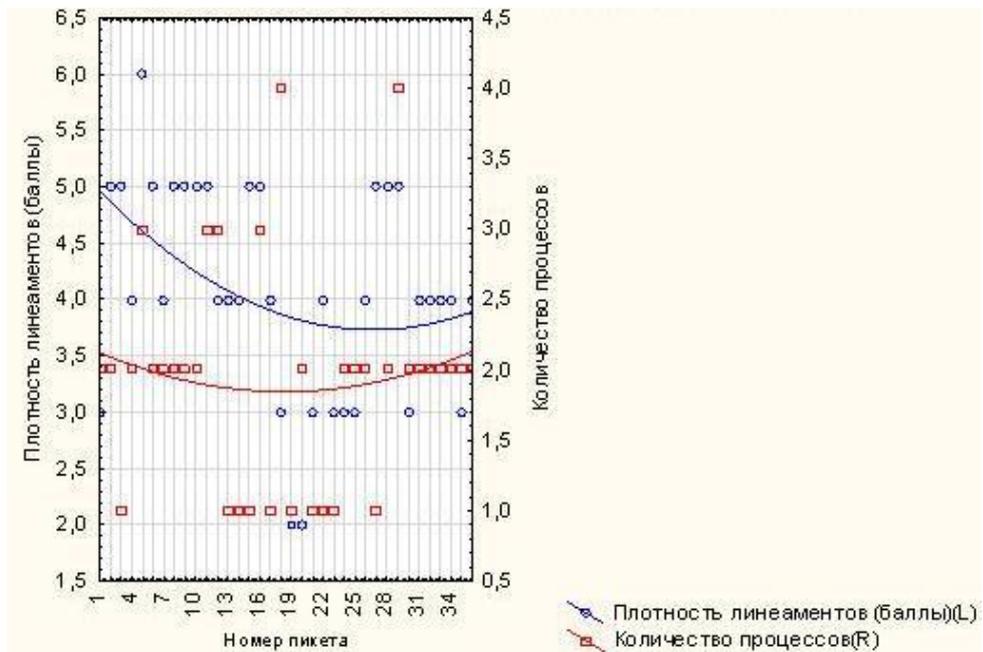


Рис 6. График зависимости количества ЭГП от тектонической трещиноватости

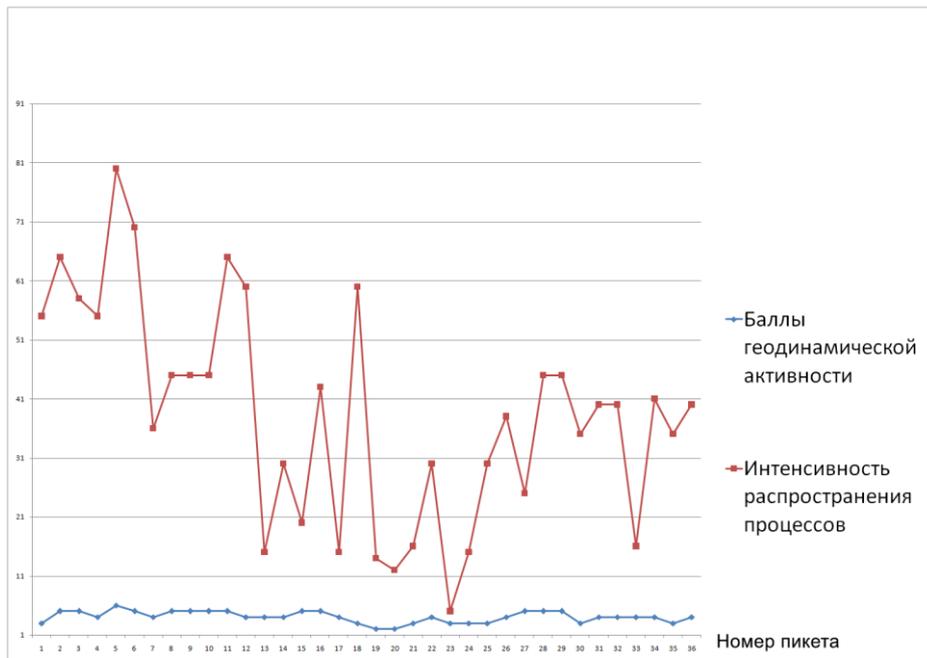


Рис. 7. График зависимости интенсивности распространения ЭГП (заболоченность, пучение, овраги др.) от плотности линеаментов

На графике видно, что при повышении плотности линеаментов, возрастает и интенсивность распространения процессов. Это говорит о том, что тектоническая трещиноватость грунтов негативно влияет как на количество экзогенных процессов, так и на интенсивность их распространения, тем самым усложняя инженерно-геологические условия участков на трассе нефтегазопровода.

Районирование по степени сложности инженерно-геологических условий

В результате инженерно-геологического районирования с учетом АКГИ территория трассы нефтепровода разделена на 9 инженерно-геологических участков, которые ранжированы на 3 класса по степени инженерно-геологической сложности (табл. 1, рис. 8) с учетом балльной оценки факторных признаков инженерно-геологических условий.

Таблица 1

Результаты выбора и балльной оценки факторных признаков

Наименование факторных признаков	Индекс признака	Весовой коэффициент (ранг)	Балльная оценка факторных признаков			
			1	2	3	4
Показатель консистенции грунтов	А	1	Показатель текучести			
			Тугопластичный	Мягкопластичный	Текучепластичный	Торф мощностью >1м.
Эндогенные процессы	Б	2	Неоэктоническая трещиноватость, баллы			
			Средняя (2)	Повышенная (3)	Высокая (4)	Очень высокая (5)
Экзогенные процессы	В	3	Интенсивность распространения ЭГП (речная и овражная эрозия, оползневые процессы, заболачивание)			
			0-5%	5-20%	20-50%	Более 50%

I - таксон характеризуется благоприятными условиями. По территории участков не выявлено.

II - таксон характеризуется условно благоприятными условиями, по территории выявлено 22 участка. Рельеф – слабо и среднерасчлененный, верхняя и средняя части склона и водораздел. Участки сложены глинистыми грунтами туго- и мягкопластичной консистенции. Наблюдается образование оврагов и заболачивание. Степень геодинамической активности от средней (2 балл) до высокой (4 балл).

III - таксон характеризуется условно неблагоприятными условиями, по территории выявлено 14 участков. Рельеф – нижняя часть склона и переходы через водотоки. Участки сложены преимущественно глинистыми грунтами текучепластичной консистенции и торфом. В непосредственной близости наблюдается образование оврагов, оползневые процессы, речная эрозия и заболачивание. Степень геодинамической активности – высокая (4 балл) и очень высокая (5 балл), локально отмечается чрезвычайно высокая степень геодинамической активности.

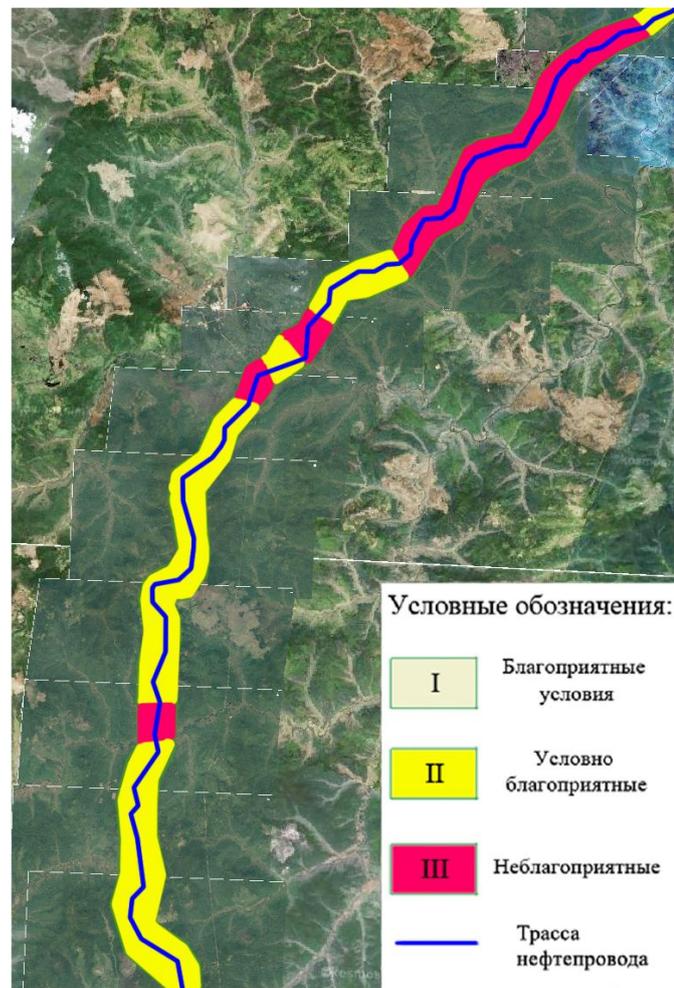


Рис. 8. Карта районирования трассы нефтепровода по степени инженерно-геологической сложности

Примерно 40% территории находится в неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Наиболее опасные участки наблюдаются в местах переходов трассы через водотоки. Также в непосредственной близости наблюдается заболачивание и образование оврагов, что негативно влияет на инженерно-геологические условия трассы нефтепровода.

Выводы

Проведенная комплексная оценка инженерно-геологических условий и районирование трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет, позволяют детализировать существующие инженерно-геологические представления о данной территории и выделить наиболее опасные инженерно-геологические участки.

Установлена зависимость влияния плотности линеаментов на количество и интенсивность распространение ЭГП. Данная зависимость показала, что с увеличением плотности линеаментов возрастает количество ЭГП и интенсивность их распространения. Эта закономерность наиболее сильно проявляется в геодинамических активных зонах высокого порядка.

Прогнозируется усиление этой закономерности при эксплуатации нефтепровода.

Рекомендации

При проектировании и строительстве нефтепроводов и инженерной инфраструктуры необходимо учесть и следующие неблагоприятные факторы, осложняющие строительство и эксплуатацию сооружений:

- периодическую затопляемость пойм пересекаемых рек, подмыв береговых склонов;

- наличие специфических грунтов – торфов. Прочностные характеристики (удельное сцепление, угол внутреннего трения) близки к нулю, жидкий торф не может служить основанием любых видов сооружений, так как при нагрузках он будет выдавливаться.

- наличие элювиальных грунтов. При вскрытии и замачивании водой, элювиальные грунты мелкообломочной зоны и зоны бесструктурного элювия – очень быстро размокаемые.

При проектировании должны предусматриваться мероприятия, снижающие воздействие неблагоприятных факторов, как в период строительства, так и при эксплуатации, мероприятия предохраняющие грунты от ухудшения их свойств.

Особое внимание при эксплуатации нефтепровода следует уделять участкам геоактивных зон, где следует организовать мониторинг с наблюдений за геологическими процессами.

Библиографический список

1. *Инженерная геология СССР. Т. III. Восточная Сибирь. М.: МГУ, 1977.*
2. *Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.*
3. *Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
4. *Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.*
5. *Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.*
6. *Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.*
7. *Копылов И.С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // Перспективы науки. 2011. № 8 (23). С. 126-129.*
8. *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.*

9. Ликутков Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 4. С. 125-133.

10. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 (1:100000-1:500000). М.: Недра, 1978. 391 с.

11. 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.

12. 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.

13. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. Москва, Недра, 1979. 223 с.

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ЕЛОВСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАСС НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Проведено дешифрирование космических снимков территории юго-запада Пермского края с целью оценки инженерно-геологических условий трасс нефтегазопроводов. Выполнен линеаментный анализ, установлены активные геодинамические участки, влияющие на эксплуатацию нефтегазопроводов.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, Еловский район, Пермский край.

K.S. Porozkov

Perm State University, Perm, Russia

AEROSPACE ANALYSIS OF THE TERRITORY OF THE ELOVSKY DISTRICT FOR THE ESTIMATION OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF OIL AND GAS PIPES

Space images were interpreted on the territory of the south-west of the Perm Territory to assess the engineering and geological conditions of the routes of oil and gas pipelines. Lineament analysis was performed.

Keywords: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, Elovsky district, Perm region.

Введение

Применение аэрокосмических методов в геологии основано на существовании тесной связи между геологическим строением, с одной стороны, и рельефом, гидрографической сетью, почвенно-растительным покровом и др. особенностями земной поверхности - с другой. Изучение этих особенностей визуально или по снимкам путем их дешифрирования, позволяет установить многие особенности геологического строения района, не обнаруживаемые традиционными методами геологических исследований, и имеет важное научное и практическое значение [9, 10, 15].

В юго-западной части Пермского края расположено большое количество нефтегазопроводов. Периодически возникают на них аварии техно-природного характера, при этом их число увеличивается в активных геодинамических (неотектонических) участках. Такие участки достаточно надежно выявляются аэрокосмическими методами [16, 17].

Целью данной работы было выделение геодинамических активных зон на основе инженерно-аэрокосмогеологических исследований в целях безопасного строительства на юго-западе Пермского края, в частности на территории Еловского района.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: провести компьютерное геологическое дешифрирование; выделить основные тектонические линеаменты; провести линеаментный анализ, выделить опасные геодинамические участки.

Физико-географические и геологические условия

Еловский район расположен юго-западной части Пермского края, граничит на севере с Осинским, на востоке с Бардымским, на юго-востоке с Куединским, на юго-западе с Чайковским районами Пермского края, а на северо-западе земли района непосредственно примыкают на протяжении 60 км к Воткинскому водохранилищу (рис.1.). На западе, по судовому ходу Воткинского водохранилища граничит с Частинским районом.

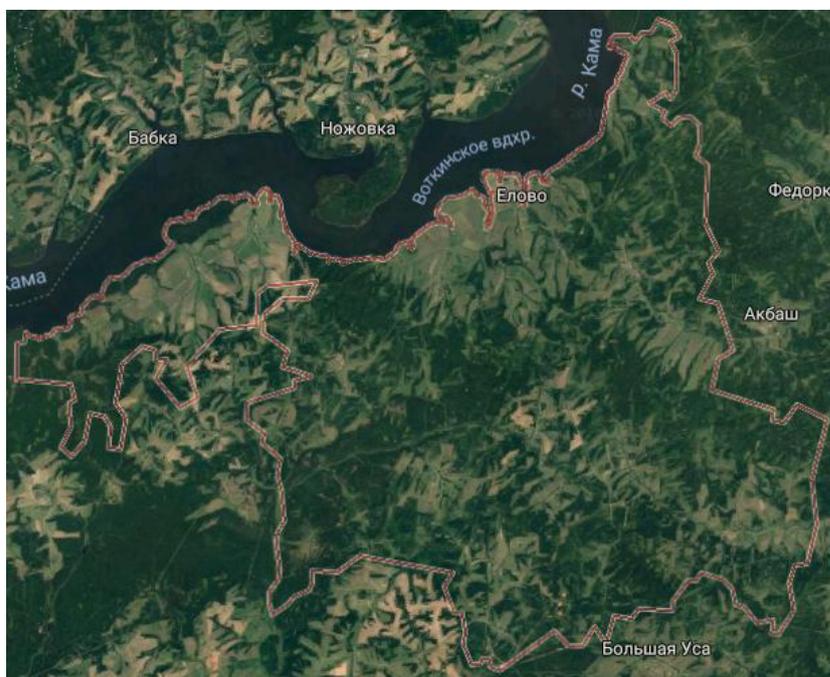


Рис.1 Физико-географическая обстановка района исследования на космоснимке

По физико-географическому положению территория района расположена в восточной части Восточно-Европейской равнины, в пределах Оханско-Воткинской плато, в основном Тулвинской возвышенности [1].

Рельеф Еловского района и его характерные черты обусловлены расположением территории в приграничной части Восточно-Европейской равнины, в основе которой залегает крупная тектоническая область - Русская платформа.

В геоморфологическом отношении территория Еловского района представляет собой холмисто-увалистую равнину, располагающуюся на

платообразном возвышении, являющемся сглаженным отрогом Тулвинской возвышенности со средними высотами 150-250 м над уровнем моря. Тулвинский неотектонический блок характеризуется высокой расчлененностью рельефа [3].

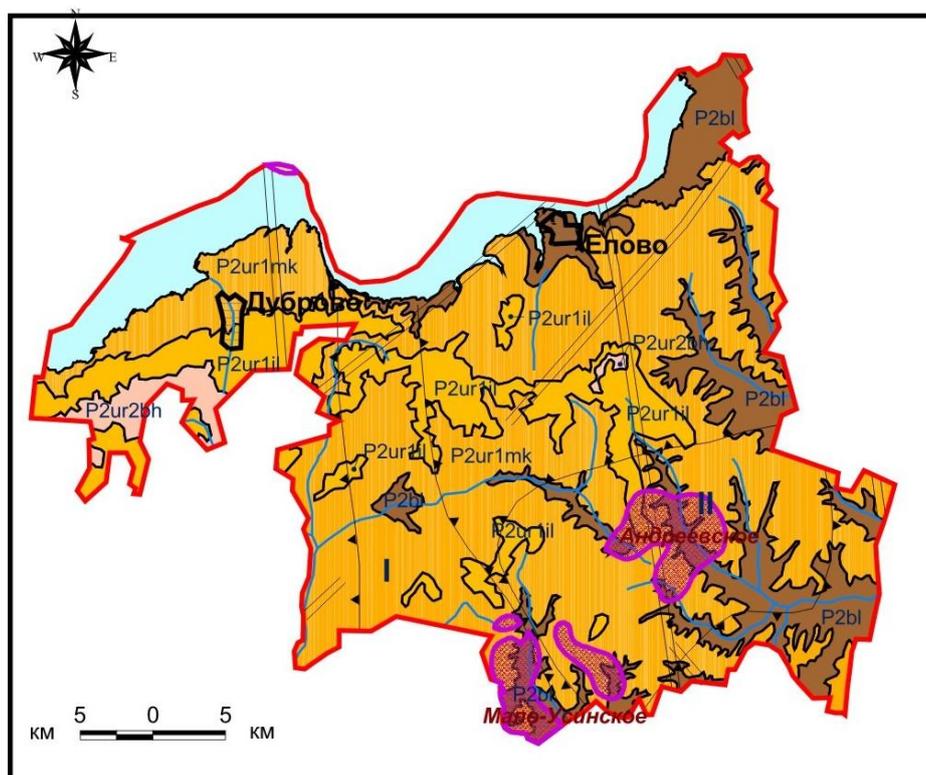
В тектоническом отношении данный участок располагается главным образом на Верхнекамской впадине. Глубина залегания кристаллического фундамента здесь составляет 3000-4000 м. В верхней части геологический разрез представлен породами палеозоя с выходом на поверхность терригенных пород пермской системы. Средняя мощность этих пород составляет 500-1000 м. Повсеместно коренные породы перекрыты маломощными отложениями четвертичного возраста. В основном это аллювиальные, делювиальные и элювиально-делювиальные пески, суглинки, глины [2, 12] (рис. 2).

Инженерно-геологические условия района различной степени сложности, обусловлены физико-географическими, геологическими и гидрогеологическими факторами среди которых ведущими часто оказывается неотектонический фактор [3, 10-14].

Методика исследований

Дешифрирование территории можно условно разделить на три последовательных этапа. Начальным этапом дешифрирования считается обнаружение, заключающееся в поиске на снимке наиболее вероятного места нахождения того или иного объекта (нефтегазопроводов). Второй этап заключается в распознавании основных объектов дешифрирования (линейных и кольцевых структур). На этом этапе производится классификация объекта, выявляется его сущность. Как правило, в большинстве случаев первый и второй этапы дешифрирования выполняются практически одновременно. Третьим этапом дешифрирования является определение качественных и количественных характеристик и обозначение выявленных структур конкретными условными знаками. В основе исследований лежит структурное дешифрирование [8, 15].

При дешифрировании использовались ДДЗ со спутников Landsat 7 и 8. Дешифрирование проводилось в стадийной последовательности от мелкого масштаба – к крупному. При обработке данных дешифрирования применялись различные технологии, одной из основных являлось определение плотности линеаментов. Обработка линеаментов, расчет их плотности производился в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density). Дешифрирование и линеаментно-геодинамический анализ выполнялись по методикам, приведенным в работах [5-10].



Условные обозначения

Тектоническое районирование

Восточно-Европейская платформа
 Волго-Уральская антеклиза
 Верхнекамская впадина

Структуры 2 порядка:

- I - Куединский вал
- II - Андреевский выступ

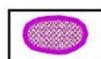


Границы структур 2 порядка



Глубинные тектонические разломы

Полезные ископаемые (в дочетвертичных отложениях)



Месторождения нефти и газа

Геологические подразделения

Уржумский ярус. Уржумская свита



Белохолуницкая пачка. Алевролиты и глины с прослоями мергелей, песчаников



Ильинская пачка. Алевролиты и песчаники с прослоями глин, мергелей



Максимовская пачка. Глины с прослоями мергелей, песчаников



Казанский ярус. Белебеевская свита. Песчаники, алевролиты, глины, мергели



Населенные пункты



Воткинское водохранилище



Границы Еловского муниципального района Пермского края

Рис. 2. Геологическая карта Еловского района (по И.С. Копылову и др., [2, 11])

Результаты исследований

В результате проведенных исследований по дешифрированию космоснимков было выделено 227 прямолинейных неотектонических линеаментов различных направлений. По протяженности они ранжируются на 4 класса (табл. 1).

Распределение выделенных линеаментов по протяженности

Стадия работ	Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Количество линеаментов, шт
Обзорная	региональные	100-200	3
	зональные	50-100	8
Региональная	зональные	15-50	88
Зонально-региональная	локальные	5-15	134

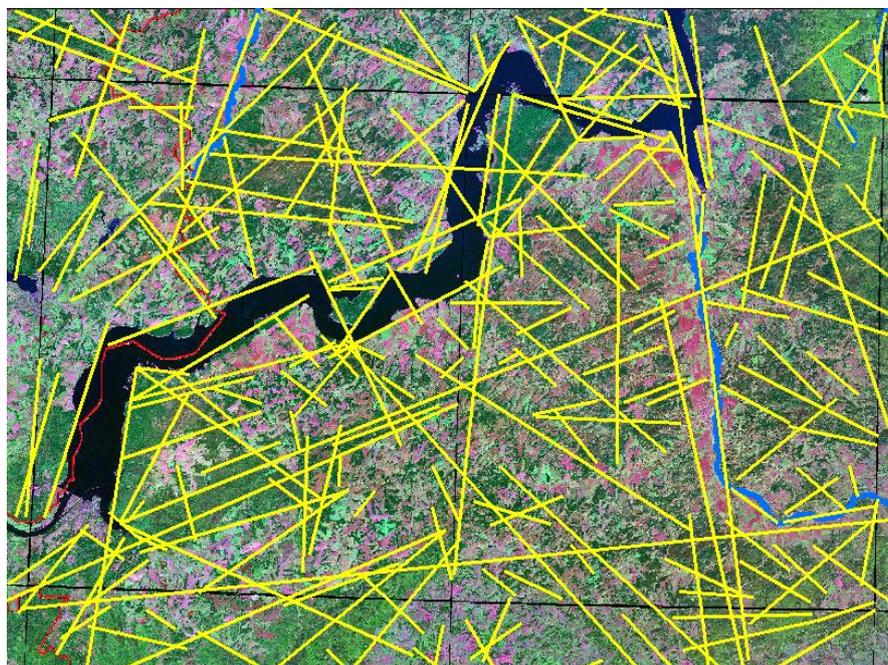


Рис.3. Карта дешифрирования линеаментов

Построены два варианта модели плотности линеаментного поля, ранжированные на 3 класса (рис. 4) и 6 классов (рис. 5).

В коридорах трасс магистральных газонефтепроводов выделен 31 геодинамический участок на основе критериев оценки геодинамической опасности и риска. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки. Так же было выделено 5 групп линеаментов (табл.1)

К зонам пересечения линеаментов с линейными объектами (нефте- и газотрубопроводы, сооружения связи, транспортные магистрали и др.) приурочена большая часть аварий, обусловленных природными факторами [16, 17].

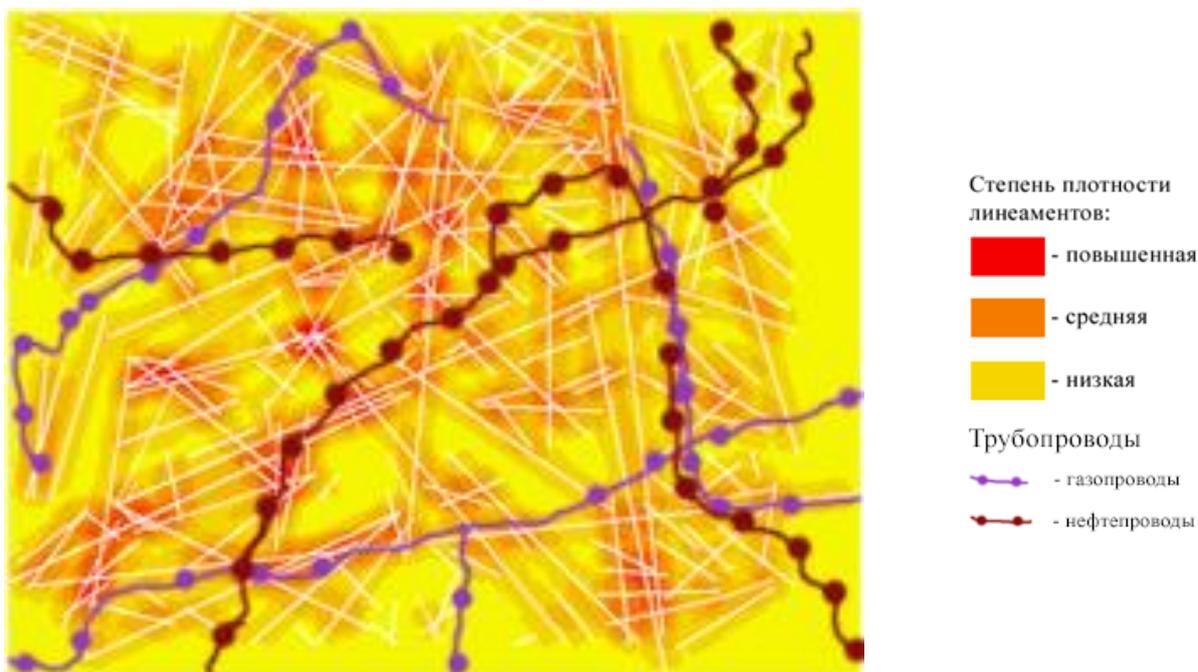


Рис.4. Карта плотности линеаментов

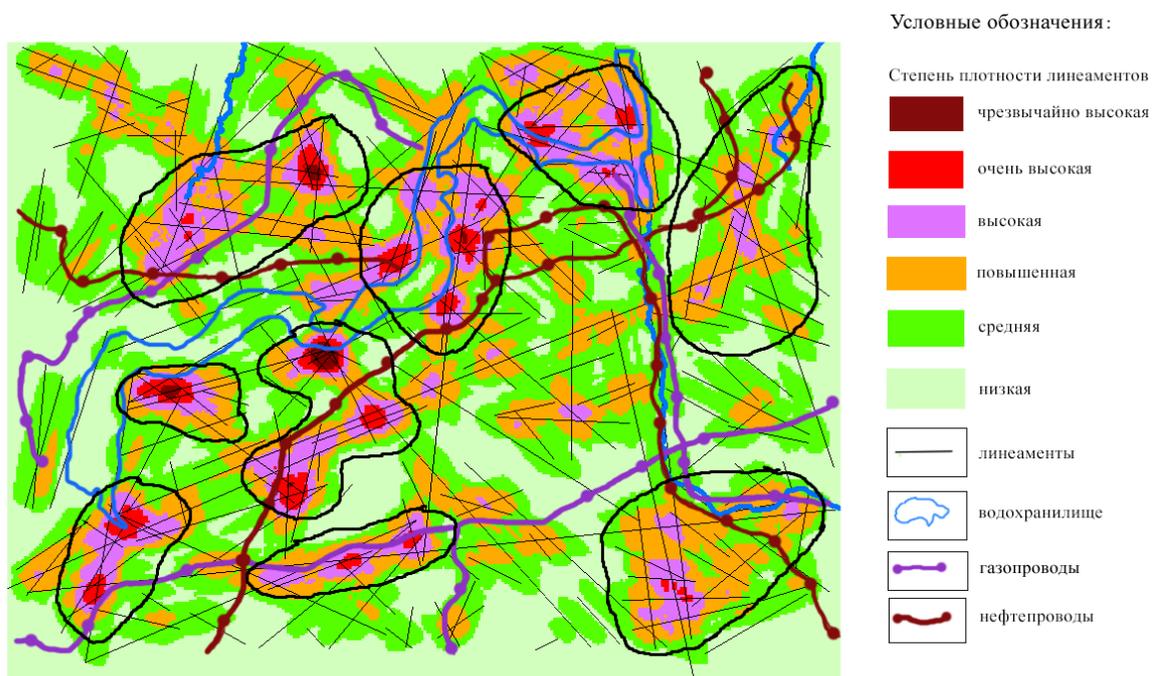


Рис.5. Карта плотности линеаментов и геодинамической активности района трасс газонефтепроводов

Библиографический список

1. Атлас Пермского края / Коллектив авторов. Под общей редакцией А.М. Тартаковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. ОАО ИПП «Уральский рабочий», Екатеринбург, 2012. 124 с.
2. Бабенышев В.М. и др. Информационный отчет по геологическому доизучению масштаба 1:200 000 Очерской площади, листы О-40-ХІХ, О-40-ХХV. ФГУП «Геокарта-Пермь», 2000. Пермь, 2004.

3. *Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 1. Русская платформа. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1978.*
4. *Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Копылов И.С. Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности (Пермское Приуралье) // Геотектоника. 2008. № 6. С. 46-69.*
5. *Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.*
6. *Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.*
7. *Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.*
8. *Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
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. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // Успехи современного естествознания. 2016. № 12-1. С. 172-177.*
11. *Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.*
12. *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.*
13. *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.*
14. *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.*
15. *Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М., Аспект Пресс, 2004. 184 с.*
16. *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.*
17. *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.*

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЯКУТИИ

Рассматриваются аэрокосмические методы исследования как способ быстрого получения информации в региональном и локальном масштабах, которая затем используется для решения прикладных геологических задач, в частности, при гидрогеологических исследованиях.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, аэромагнитные методы, линейментный анализ, подземные воды, Республика Саха (Якутия).

М.М. Sanklo
PJSC «Gazprom Spetsgazautotrans», Izhevsk, Russia

AEROCOSMIC RESEARCH METHODS FOR SEARCHING UNDERGROUND WATER IN YAKUTIA

Aerospace research methods are considered as a way to quickly obtain information on a global, regional and local scale, which is then used to solve applied geological problems, in particular, in hydrogeological research.

Key words: aerospace methods, aeromagnetic methods, lineament analysis, groundwater, Republik Sacha (Yakutia).

Введение

Важное значение для формирования месторождений подземных вод играет интенсивность неотектонических движений, повышенная трещиноватость пород, обусловленная геодинамической активностью. Для их изучения используются аэрокосмогеологические, гидрогеологические, геофизические, геоморфологические и геодезические методы. Отличительной особенностью аэрокосмических методов исследований является их очень высокая производительность. Дистанционные аэрокосмические методы позволяют за относительно короткое время получать достоверные результаты по геологическим и гидрогеологическим условиям. На территории Республики Саха (Якутия) аэрокосмические и аэрогеофизические методы исследования для различных задач геологии начали применяться с конца 50-х годов прошлого столетия. Однако для решения задач гидрогеологии - поиска и оценки месторождений пресных подземных вод этих материалов оказывается недостаточно.

Методика и объекты исследований

Целевое назначение работ – поиск и оценка месторождений пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого, производственного и противопожарного водоснабжения площадки ПСП нефтегазоконденсатного месторождения.

Район исследований – площадь листов Р-49-XXXIII, Р-49-XXXIV, Р-49-XXXV и О-49-III входит в состав Ленского района Республики Саха (Якутии) и лишь небольшая северо-западная часть ее относится к Катангскому району Иркутской области.

На рисунке 1 представлен космоснимок азиатской части РФ, на котором хорошо просматривается Приленское плато, примыкающее к Центрально-Якутской равнине [17]. Выделена площадь проводимых поисково-оценочных работ, в которых автор статьи принимал непосредственное участие (рис. 2).

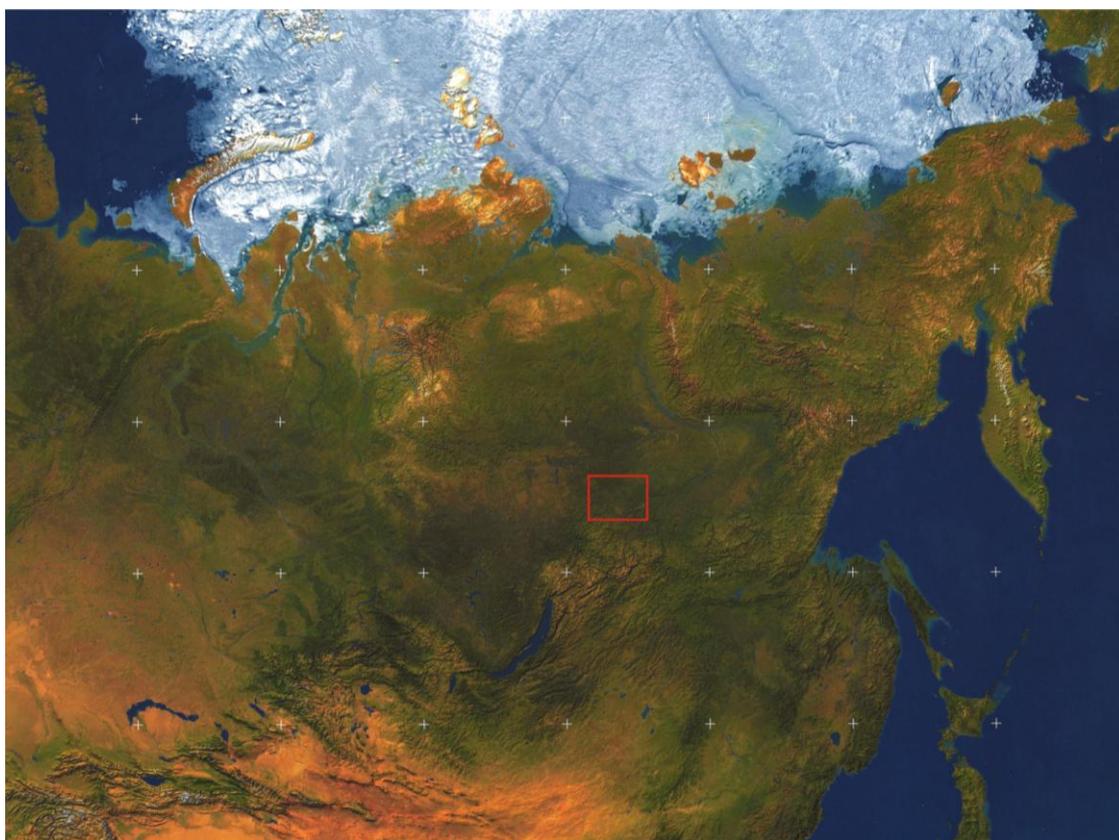


Рис. 1. Космоснимок азиатской части РФ (NASA)

Для последовательного решения геологических задач на первом этапе поисково-оценочных работ проведены сбор, анализ и обобщение материалов по геолого-гидрогеологическим условиям района работ, рекогносцировочное обследование с применением аэрофотосъемки, что позволило более детально изучить площадь работ и окончательно определиться с местом заложения поисково-оценочных скважин (рис. 3).

Сопоставление разных методов аэрокосмических исследований позволяет говорить о том, что нет единственно правильного, обеспечивающего решение всех поставленных геологических задач, варианта съемки и вида

дешифрования. Экспериментально подбирают несколько вариантов съемок, максимально разнесенных в диапазоне спектра (черно-белых, цветных, спектральнозональных) и сходных по качеству для решения поставленной проблемы.



Рис. 2. Типичный вид водосборов притоков среднего течения р. Ньюи (аэрофотосъемка района работ)



Рис.3. Наземная съемка района работ

Но, несмотря на то, что пятиминутная многоканальная съемка из космоса представляет объем информации, сопоставимый с многолетними исследованиями обычной полевой геолого-геофизической партии, наиболее полную картину мы получаем при сочетании дистанционных и наземных методов исследований, а также изысканий прошлых лет.

На втором этапе проведено региональное дешифрирование космоснимков (масштаб 1:1 000 000-1:500 000) с выделением неотектонических линеаментов, контролирующих разгрузку подземных вод.

Методология оценки геодинамической активности территорий, а также роль геоактивных зон в формировании гидрогеологических условий подробно рассмотрена в работах И.С. Копылова и др. [5-14]. Основными методами являются морфонеотектонический, линеаментно-геодинамический, структурно-гидрогеологический, структурно-геохимический методы. Одним из важнейших расчетных показателей для выявления геодинамических активных зон являются коэффициент интегральной неотектонической активности и плотность неотектонических линеаментов.

Анализ аэрокосмических и аэрогеофизических исследований результатов предшественников

В 1956 году Ф.Ф. Вильсоном и В.И. Корнутовой на основании дешифрирования аэрофотоснимков, а также редких маршрутных пересечений были составлены геологическая и геоморфологическая карты масштаба 1:200000 бассейна среднего течения р. Нью.

В 1957 году на территории листа Р-49 проведена аэромагнитная съемка масштаба 1:200000. Для территории листа Р-49-XXXV построена карта изодинам ΔT , выявлено дайковое тело, подтвержденное наземными съемками. Аномалий «трубчатого» типа не обнаружено (имеются ввиду алмазоносные кимберлитовые трубки) [4].

В 1958 году с целью определения природы гамма-аномалии, выявленной аэрогеофизической съемкой, В.В. Боровский и В.М. Олешко проводят буровые работы в бассейне р. Тымпычан [3]. Установлено, что повышенная радиоактивность вод имеющихся здесь источников обусловлена радоном, выносимым из глубоких горизонтов осадочного чехла.

Аналогичные явления отмечаются в Воткинском районе Удмуртии. Например, при исследовании проб воды из водозаборной скважины, пробуренной на правом берегу Воткинского водохранилища, отмечено превышение ПДК по радону в 4 раза. Скважина находится в районе северо-восточного окончания Евсиновской брахиантиклинали, новейшей структурной формы 4 порядка, которая примыкает к Воткинско-Сиванскому прогибу, новейшей структуре 3 порядка. Между ними проходит неотектонический разлом, который разветвляется и оперяется к северо-востоку. Можно предположить, что природой созданы все условия для проникновения радона по разлому из более глубоких горизонтов в каптируемый скважиной водоносный комплекс.

В 1957-1962 гг. проведена аэромагнитная съемка масштаба 1:200000 территории листов Р-49-XXXIII, Р-49-XXXIV, О-49-III, по материалам которой построены карты изодинам ΔT , схемы строения кристаллического фундамента; выделены поля распространения траппов. Вдоль восточного борта Непско-Ботубинской антеклизы на несколько сот километров установлена зона

линейных аномалий, обусловленная «слепыми» дайками долеритов, впоследствии названная Вилуйско-Мархинской [1].

В 1966 г. проведена аэромагнитная съемка смежных к югу площадей (О-49-VIII, О-49-IX, О-49-X). Характерная для этой территории структура магнитных полей связана с неоднородностью петрографического состава пород фундамента и различной глубиной его залегания. Отмечается разнонаправленность структурных планов магнитных полей и осадочного чехла. Выделены линейные зоны магнитных полей северо-западного и меридионального направлений и сонаправленные им разрывные нарушения [6].

В 1972-1974 годах на территории водораздела Нюя-Улахан-Бахтабыл-Вакунайка проведена аэромагнитная съемка масштаба 1:25000. По итогам работы выявлено 15 локальных магнитных аномалий и большое количество тел долеритов среднепалеозойского возраста. Глубина залегания кристаллического фундамента определена в 1,5-2,0 км. В верховьях рек Июель и Курунг-Тымпычан установлена магнитная аномалия [15, 16].

В 50-х и 60-х гг. аэрокосмическая съемка территории листа Р-49 велась достаточно активно, но с годами все более «уходя» в сторону исследования алмазности и нефтеносности изучаемых площадей. В Якутском территориальном геологическом фонде хранятся картограммы изученности территории листа Р-49 аэрофотогеологическим картированием (АФГК), а в Росгеолфонде составляются и ежегодно пополняются сводные картограммы изученности АФГК.

В 1998 г. завершена геологическая съемка масштаба 1:200 000. листов Р-49-XXXIII (р. Тымпычан), Р-49-XXXIV (Хамаакы), О-49-III (Терешкино), составлены геологические карты дочетвертичных и четвертичных образований, выделены основные тектонические нарушения [2].

Результатом проведенных исследований являются отчеты о региональных геологосъемочных работах, к которым приложены аэро- и космофотогеологические карты масштаба 1:200 000 и крупнее. Однако, проводить поиски подземных вод по этим картам сложно, поскольку они имели специфику поисков алмазов, углеводородов и др. полезных ископаемых. Выделенные на них тектонические нарушения достаточно редки и не позволяют картировать водообильные зоны.

Результаты современного дешифрирования космоснимков

На 2 этапе исследований проведено дешифрирование космоснимков масштаба 1:1 000 000-1:500 000 и начато дешифрирование масштаба 1:200 000-1:100 000. В результате дешифрирования выделено несколько десятков неотектонических линеаментов, контролирующих разгрузку подземных вод. Часть из них группируется в зоны повышенной трещиноватости, связанной с повышенной геодинамической активностью. Методика выявления таких зон описана, как отмечено выше в работах [5-14] и апробирована нами в других регионах – на территории Удмуртии и Мурманской области (Кольский полуостров).

По проведенным исследованиям составлена предварительная схема дешифрирования неотектонических линейаментов и перспективных участков на поиски подземных вод (рис. 4).

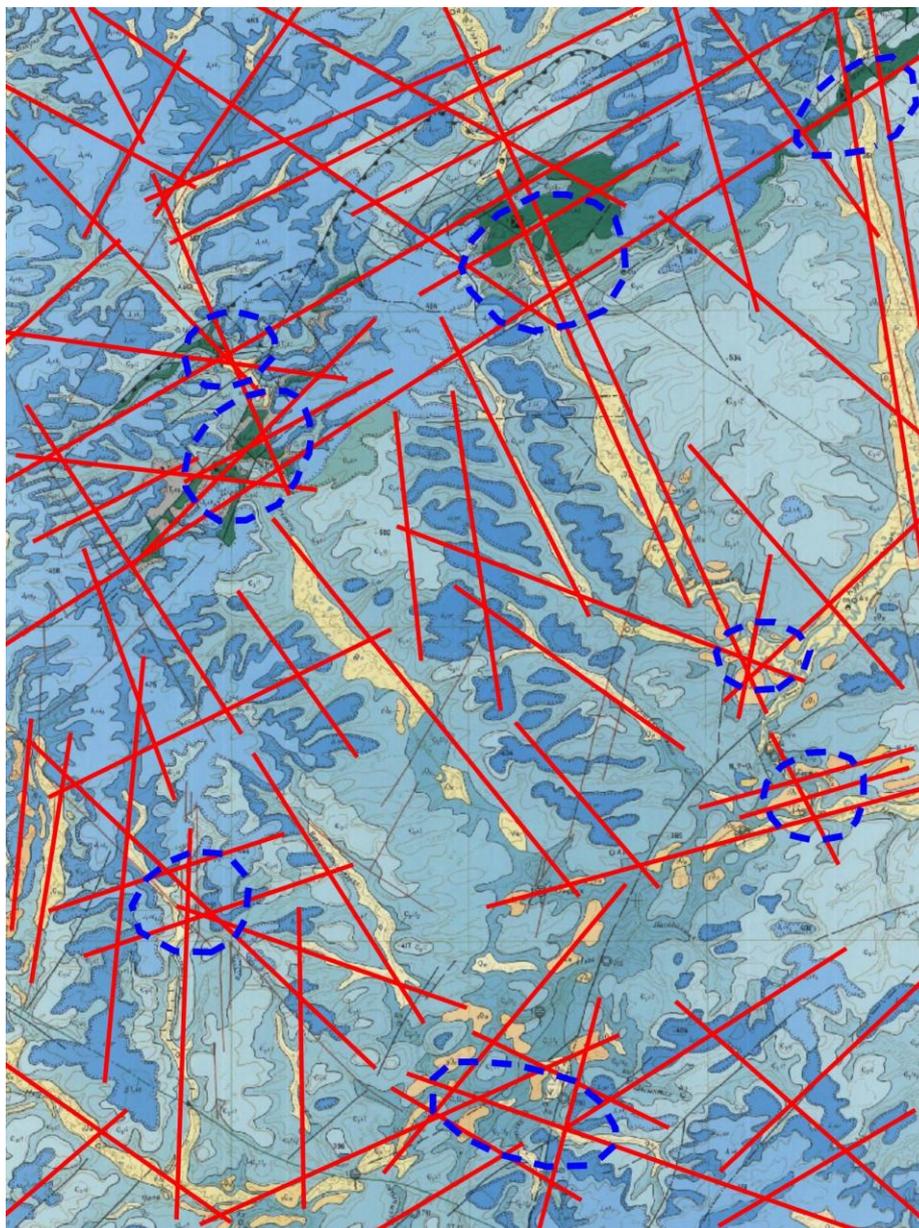


Рис. 4. Предварительная схема дешифрирования неотектонических линейаментов и перспективных участков на поиски подземных вод (на геологической карте листа Р-49-XXXIII)

Заключение

По региональному ретроспективному анализу аэрокосмических и аэрогеофизических материалов и современному дешифрированию космических снимков на рассматриваемой территории Якутии предварительно намечены участки перспективные на поиски подземных вод. Для их уточнения необходимо выполнить детальное дешифрирование космоснимков и провести опережающее бурение гидрогеологических скважин.

Библиографический список

1. Бабушкин Б.В., Кутузова Т.С., Каспарова Е.А. Отчет о результатах аэромагнитной съемки масштаба 1:200000, проведенной партией № 4 в 1957 г. на территории Олекминского, Верхневиллюйского, Жиганского и Ленского районов ЯАССР. 1958, Фонды Амакинской экспедиции ПГО «Якутскгеология», № 81.
2. Блажкун Д.В., Ивашина Е.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Верхневиллюйская. Листы Р-49-XXXIII (р. Тымпычан), Р-49-XXXIV (Хамаакы), О-49-III (Терешикино). Объяснительная записка. М., 1998, 78 с.
3. Боровский В.В., Олешко В.М. Отчет о поисково-разведочных работах в районе Тымпычанской аномалии партии № 254. 1959, № 47.
4. Дукарт Ю.А. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Верхневиллюйская. Лист Р-49-XXX. Объяснительная записка. М., 1978. 70 с.
5. Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 3.
6. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2013. 166 с.
7. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 9-3. С. 86-90.
8. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
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. 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.
11. Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 12-1. С. 172-177.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
13. Копылов И.С., Ликуттов Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9-3. С. 602-606.
14. Ликуттов Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2013. № 4. С. 125-133.
15. Парасотка Б.С. Отчет Джункунской партии о результатах аэро-магнитной съемки масштаба 1:25 000, проведенной в Юго-Западной Якутии. 1975, № 3847.
16. Шитицин А.И., Либс Л.К. Отчет по аэрогеофизическим исследованиям на междуречье Н. Тунгуски и Лены Ичерской аэрогеофизической партией. 1967, Якутские ТГФ, № 8294.
17. Philip Eales. *Map:Satellite*. DK Publishing, New York, 2007.

Научное издание

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

**Сборник научных статей по материалам
Международной научно-практической конференции**

г. Пермь, 5-6 декабря 2018 г.

Издается в авторской редакции
Техническая подготовка и обработка материалов: *И. С. Копылов*

Объем данных 29 Мб
Подписано к использованию 09.09.2019

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