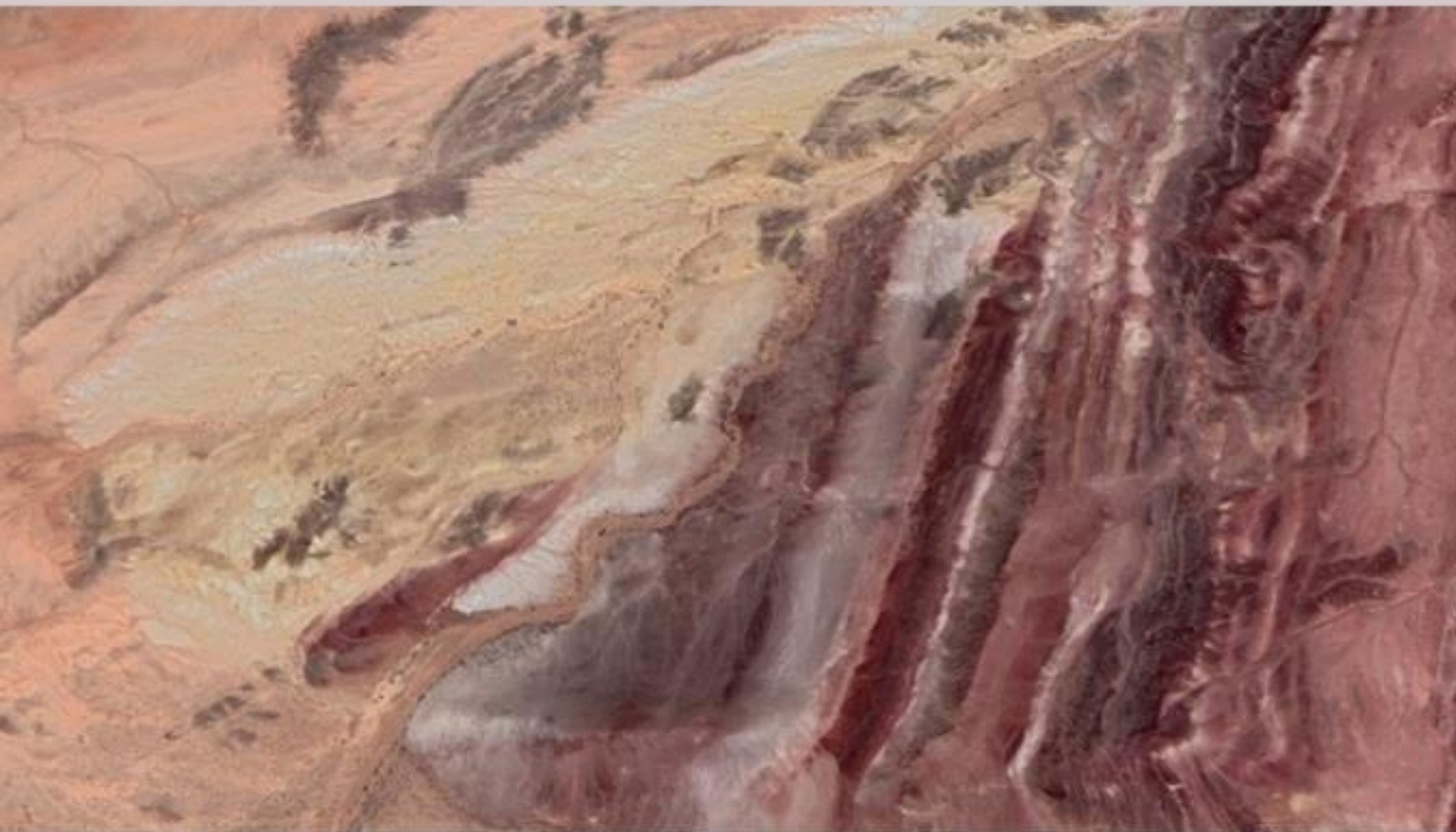




АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

AEROSPACE METHODS IN GEOLOGY



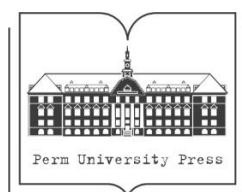
Пермь 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

Сборник научных статей

Выпуск 5



Пермь 2025

УДК 528.8+550.8

ББК 26.3

A992

Аэрокосмические методы в геологии [Электронный ресурс] :

A992 сборник научных статей / отв. ред. И. С. Копылов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2025 – Вып. 5 – 40,6 Мб ; 371 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/aerokosmicheskie-metodyv-geologii-2025.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3340-1

ISBN 978-5-7944-4215-1 (Вып. 5)

В основе сборника статьи по материалам V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аэрокосмические методы в геологии», состоявшейся 2 декабря 2022 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.

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

УДК 528.8+550.8

ББК 26.3

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

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:

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

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

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

ISBN 978-5-7944-3340-1

ISBN 978-5-7944-4215-1 (Вып. 5)

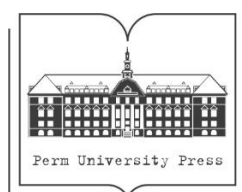
© ПГНИУ, 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
RUSSIAN FEDERATION
PERM STATE UNIVERSITY

AEROSPACE METHODS IN GEOLOGY

Series of scientific article

(Issue 5)



Perm 2025

UDC 528.8+550.8
LBC 26.3
A992

Aerospace methods in geology: Series of scientific article.
A992 Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2025. 371 p.

ISBN 978-5-7944-3340-1

ISBN 978-5-7944-4215-1 (Issue 5)

An issue of Series of scientific articles on Materials of IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Aerospace Methods in Geology", held on December 2, 2022 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

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

ISBN 978-5-7944-3340-1
ISBN 978-5-7944-4215-1 (Issue 5)

© Perm State University, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА.....	11
И.С. Копылов Анализ геологических и минерагенических условий, планетарная тектоническая трещиноватость и линеamentная сеть Африки.....	11
И.С. Копылов Аэрокосмогеологические нефтегазопроисковые исследования и ландшафтно-геодинамический анализ на Камском своде.....	42
И.С. Копылов Аэрокосмогеологический анализ и исследования для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром Трансгаз Чайковский» (Горнозаводск – Павда – Качканар – Кушва).....	68
И.С. Копылов Изучение планетарной трещиноватости и линеamentной сети по космическим снимкам в западной части Сибирской платформы.....	80
И.С. Копылов Методология ландшафтно-геодинамического анализа и результаты нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований на Вишерской площади (зона сочленения Камского свода с Соликамской и Висимской впадинами).....	92
И.С. Копылов, А.С. Чирков Методологический подход при поисках рудного и россыпного золота с применением аэрокосмических методов (на примере Бодайбинского района, Иркутской области).....	121
М.В. Рогозин Кольцевые структуры из деревьев на космоизображениях, их биолокация и идентификация по типам.....	138
Е.М. Шемякина, К.А. Воробьев Особенности космического мониторинга арктических территорий.....	149
Е.М. Шемякина, К.А. Воробьев Раскрытие основных механизмов методов космического мониторинга месторождений полезных ископаемых.....	158

**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ,
ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ,
РЕГИОНАЛЬНОЙ И НЕФТЕГАЗОПОИСКОВОЙ ГЕОЛОГИИ..... 164**

А.Л. Артёмов

Применение аэрокосмических методов на территории
Канчалано-Амгуэмской площади (Чукотка) для выделения
перспективных участков золотого оруденения..... 164

М.В. Галекбаров, Г.С. Фахретдинова, Д.О. Белканов

Применение аэрокосмических методов
для оценки перспектив нефтегазоносности территории листа Q-44-VI
(Северо-Ванкорский участок, Красноярский край)..... 175

А.В. Заводов

Применение аэрокосмических исследований при анализе листа N-57-VI
Госгеолкарты-200 (Рудное поле Кумроч, Камчатка)..... 185

А.В. Zubov

Комплексный геолого-геофизический и аэрокосмогеологический анализ
Базового рудного поля Моренного молибден-меднорудного узла
(Чукотский АО)..... 194

Г.М. Журавлев

Применение аэрокосмических методов для поисков золота
на территории Камчатки (месторождение аметистовое)..... 206

И.С. Копылов

Применение аэрокосмических методов при поисках полиметаллов
и золота на Приполярном Урале (ХМАО-Югра)..... 215

И.С. Копылов, А.О. Устинов

Аэрокосмогеологический анализ золоторудных месторождений
Карлинского типа (Невада, США)..... 228

А.С. Курдюмова

Аэрокосмогеологический анализ района месторождения золота
Березитовый Увал (Оренбургская область)..... 241

Элой Фернандо Кастро Эскибель

Аэрокосмический анализ региона Бояка (Колумбия)
для геодинамической оценки и поисков изумрудов..... 251

**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ,
ГИДРОГЕОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ..... 263**

И.А. Андреева, В.В. Андреева, С.Н. Гладких

Использование аэрокосмических методов в геоэкологии..... 263

С.С. Безруков, И.С. Копылов, С.М. Костарев Геоэкологическая оценка Дороховского газонефтяного месторождения с применением аэрокосмических методов.....	273
С.Н. Гладких, Н.Н. Семчук, И.И. Козлов Применение космического мониторинга для исследования Земли.....	285
Ф.А. Леонтьев Изучение инженерно-геологических условий территории прохождения трассы ВОЛП в западной части Республики Татарстан с использованием аэрокосмогеологического анализа.....	293
Р. Макаренко Применение космических снимков для целей инженерно-геологического анализа и выбора оптимальных фундаментов при проектировании электростанции города Афула, Израиль.....	303
С.В. Макаров Экологическая оценка состояния водных объектов и атмосферного возду- ха на территории Кокуйского месторождения нефти с использованием космических снимков.....	314
Н.Н. Семчук, С.Н. Гладких, О.В. Балун Использование летательных аппаратов для рекогносцировки ареала инвазионного вида.....	325
М.А. Фефилова, И.С. Копылов Изучение инженерно-геологических условий Чусовского городского округа с помощью космических снимков.....	333
А.А. Фишер Инженерно-аэрокосмический анализ трассы трубопровода «Участок «Аганская» – «Володино» на территории ХМАО.....	346
Н.О. Щекочихин Среднее днище топливного бака в ракета-носителе.....	355
Д.А. Юрочкин Исследование территории Республики Коми в районе населенных пунктов Ухта и Малая Пера с помощью линеаментно-геодинамического анализа...	362

CONTENTS

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE.....	11
I.S. Kopylov ANALYSIS OF GEOLOGICAL AND MINERAGENIC CONDITIONS, PLANETARY TECTONIC FRACTURING AND THE LINEAMENT NETWORK OF AFRICA.....	11
I.S. Kopylov AEROSPACE AND GEOLOGICAL OIL AND GAS PROSPECTING RESEARCH AND LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS ON THE KAMSKY ANTECLISE.....	42
I.S. Kopylov AEROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS AND RESEARCHES TO IDENTIFY GEODYNAMIC ACTIVE ZONES OF THE TERRITORY OF TRANSPORT GAS PIPELINES OOO GAZPROM TRANSGAZ TCHAIKOVSKY (GORNOZAVODSK - PAVDA - KACHKANAR - KUSHVA).....	68
I.S. Kopylov STUDY OF PLANETARY FRACTURING AND LINEAMENT NETWORK BASED ON SPACE IMAGES IN THE WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM.....	80
I.S. Kopylov METHODOLOGY OF LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS AND THE RESULTS OF OIL AND GAS PROSPECT FOR AEROSPACE AND GEOLOGY INVESTIGATIONS ON THE VISHERSKAYA AREA (ZONE OF JOINT OF THE KAMSKIY VAULT WITH THE SOLIKAMSKAYA AND VISIMSKAYA DEPRESSIONS).....	92
I.S. Kopylov, A.S. Chirkov METHODOLOGICAL APPROACH IN SEARCHING FOR ORE AND PLACER GOLD USING AEROSPACE METHODS (ON THE EXAMPLE OF THE BODAIBO DISTRICT, IRKUTSK REGION).....	121
M.V. Rogozin RING STRUCTURES OF TREES IN SPACE IMAGES, THEIR BIOLOCATION AND IDENTIFICATION BY TYPE.....	138
E.M. Shemyakina, K.A. Vorobyev FEATURES OF SPACE MONITORING OF ARCTIC TERRITORIES.....	149
E.M. E.M. Shemyakina, K.A. Vorobyev SUMMARY OF THE MAIN METHODS OF SPACE MONITORING MECHANISMS OF MINERAL DEPOSITS.....	158

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO SOLVING THE PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, SOLID MINERALS PROSPECTING, REGIONAL AND OIL AND GAS PROSPECTING GEOLOGY.....	164
A.L. Artemov APPLICATION OF AEROSPACE METHODS IN THE TERRITORY KANCHALANO-AMGUEMSKAYA SQUARE (CHUKOTKA) FOR THE ALLOCATION OF PROMISING AREAS OF GOLD MINERALIZATION.....	164
M.V. Galekbarov, G.S. Fakhretdinova, D.O. Belkanov APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO ASSESS THE PROSPECTS OF OIL AND GAS CAPABILITY OF THE TERRITORY OF SHEET Q-44-VI (NORTH-VANKORSKY SITE, KRASNOYARSK REGION).....	175
A.V. Zavodov AEROSPACE RESEARCHES' APPLICATION IN ANALYSIS OF THE N-57-VI SHEET OF THE GOSGEOLKARTA-200 (ORE FIELD KUMROCH, KAMCHATKA).....	185
A.V. Zubov COMPLEX GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND AEROSPACE GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE BASIC ORE FIELD OF THE MORAIN MOLYBDENUM-COPPER ORE NODE (CHUKOTKA AO).....	194
G.M. Zhuravlev APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO SEARCH FOR GOLD ON THE TERRITORY OF KAMCHATKA (AMETISTOVOE DEPOSIT).....	206
I.S. Kopylov APPLICATION OF AEROSPACE METHODS IN SEARCHING FOR POLYMETALS AND GOLD IN THE POLAR URALS (KHMAO-YUGRA).....	215
I.S. Kopylov, A.O. Ustinov AEROSPACE GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE GOLDEN FIELDS OF THE KARLINSKY TYPE (NEVADA, USA).....	228
A.S. Kurdyumova AEROCOSMOGEOLOGICAL ANALYSIS OF THE AREA OF THE GOLD DEPOSIT BEREZITOVY UVAL (ORENBURG REGION).....	241
Eloy Fernando Castro Esquivel AEROSPACE ANALYSIS OF THE BOYACA REGION (COLOMBIA) FOR GEODYNAMIC ASSESSMENT AND SEARCH FOR EMERALDS.....	251
APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO SOLVING PROBLEMS OF ENGINEERING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY.....	263
I.A. Andreeva, V.V. Andreeva, S.N. Gladkikh USE OF AEROSPACE METHODS IN GEOECOLOGY.....	263
S.S. Bezrukov, I.S. Kopylov, S.M. Koctarev GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF DOROKHOVSKOYE OIL AND GAS FIELD USING AEROSPACE METHODS.....	273
S.N. Gladkikh, N.N. Semchuk, I.I. Kozlov APPLICATION OF SPACE MONITORING FOR EARTH EXPLORATION.....	285

F.A. Leontyev STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY OF THE ROUTE OF FIBER-OPTIC TRANSMISSION LINES IN THE WESTERN PART OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN USING AEROSMOGEOLOGICAL ANALYSIS.....	293
R. Makarenko APPLICATION OF SPACE IMAGES FOR THE PURPOSES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL ANALYSIS AND SELECTION OF OPTIMUM FOUNDATIONS IN DESIGNING THE POWER PLANT IN THE CITY OF AFULA, ISRAEL.....	303
S. V. Makarov ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CONDITION OF WATER BODIES AND ATMOSPHERIC AIR IN THE TERRITORY OF THE KOKUY OIL FIELD USING SPACE IMAGES.....	314
N.N. Semchuk, S.N. Gladkikh, O.V. Balun THE USE OF AIRCRAFT FOR RECONNAISSANCE OF THE AREA OF AN INVASIVE SPECIES.....	325
M.A. Fefilova, I.S. Kopylov STUDYING THE ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF CHUSOVSKY CHUSOVSKY URBAN DISTRICT WITH THE HELP USING SPACE IMAGES.....	333
A.A. Fisher ENGINEERING AND AEROSPACE ANALYSIS OF THE PIPELINE ROUTE SECTION OF «AGANSKAYA – VOLODINO» IN THE TERRITORY OF THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG.....	346
N.O. Shchekochikhin THE MIDDLE BOTTOM OF THE FUEL TANK IN THE BOOSTER.....	355
D.A. Yrochkin STUDY OF THE TERRITORY OF THE KOMI REPUBLIC IN THE AREA OF SETTLEMENTS UKHTA AND MALAYA PERA USING LINEAMENT-GEODYNAMIC ANALYSIS.....	362

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF STUDYING EARTH FROM SPACE

УДК 551.1:528.8

И.С. Копылов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ПЛАНЕТАРНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ЛИНЕАМЕНТНАЯ СЕТЬ АФРИКИ

Проведен краткий анализ геологических условий и полезных ископаемых Африканского континента в связи с изучением закономерностей планетарной тектонической трещиноватости. На основе компьютерного дешифрирования цифровых космических снимков выполнен ландшафтно-линеamentно-геодинамический анализ. Установлены и охарактеризованы тектонические линеаменты и некоторые их закономерности по разным уровням дешифрирования: континентальном, регионально-континентальном, континентально-региональном, региональном. Закартированы региональные геодинамические активные зоны, обусловленные повышенной тектонической трещиноватостью и высокой плотностью линеаментов. Выделены крупнейшие блоковые структуры – геоблоки и мегаблоки. Выделены крупные кольцевые структуры – морфоструктурно-геодинамические ландшафтные аномалии.

Ключевые слова: планетарная трещиноватость, аэрокосмогеологический анализ, линеamentно-геодинамический анализ, космические снимки, дешифрирование, геодинамическая активность, геодинамические ландшафтные аномалии, Африка.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

ANALYSIS OF GEOLOGICAL AND MINERAGENIC CONDITIONS, PLANETARY TECTONIC FRACTURING AND THE LINEAMENT NETWORK OF AFRICA

A brief analysis of geological conditions and mineral resources of the African continent is carried out in connection with the study of patterns of planetary tectonic fracturing. A landscape-lineament-geodynamic analysis is carried out based on computer interpretation of digital satellite images. Tectonic lineaments and some of their patterns have been established and characterized at different levels of interpretation: continental, regional-continental, continental-regional, regional. Regional geodynamic active zones are mapped, caused by increased tectonic fracturing and high density of lineaments. The largest block structures are identified – geoblocks and megablocks. Large ring structures are identified – morphostructural-geodynamic landscape anomalies.

Key words: planetary fracturing, aerospace-geological analysis, lineament-geodynamic analysis, satellite images, interpretation, geodynamic activity, geodynamic landscape anomalies, Africa.

Введение

Изучение региональной геодинамики и тектоники, выявление геоактивных тектонических зон любых регионов мира необходимо для решения многих геологических проблем и задач, включая минерагенические, геоэкологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и другие. Важную роль в их решении играют аэрокосмогеологические методы, позволяющие изучать и картировать планетарную трещиноватость, тектонические линеаменты различных уровней – от планетарного и континентального до регионального, зонального, локального.

Планетарная трещиноватость (по определению С.С. Шульца) – системы закономерно ориентированных трещин, имеющих повсеместное распространение и ряд характерных особенностей, а также – способности проявляться в рельефе земной поверхности в виде линеаментов. Масштаб планетарных трещин м.б. весьма различным – от глубинных швов, пересекающих всю земную кору и уходящих в мантию Земли, до внутрипластовых трещин [16].

В данной работе рассматривается планетарная трещиноватость большого масштаба, наблюдаемая на земной поверхности по материалам дистанционного зондирования Земли (ДДЗ); объектом исследований является континент – Африка.

Цель работы: изучение планетарной трещиноватости и линеаментной сети (на планетарно-континентальном и континентально-региональном уровнях) Африканского континента аэрокосмогеологическими методами для последующих многоцелевых геологических задач.

Основные задачи: анализ природных и геологических условий по открытым источникам (в объеме, необходимом для проведения регионального аэрокосмогеологического анализа); космогеологическое (структурное) дешифрирование материалов дистанционного зондирования (МДЗ) включая цифровые космические снимки (КС) для изучения планетарной трещиноватости и глобальной линеаментной сети; линеаментно-геодинамический анализ, ландшафтно-геодинамический анализ.

Краткий анализ природных и геологических условий

Физико-географические условия

Африка расположена в четырех полушариях одновременно, омывается на севере Средиземным и Красным морями, на востоке Индийским океаном и Атлантическим океаном на западе. Материк соединяется с Азией узким (120 км) Суецким перешейком. От Европы Африка отделена Гибралтарским проливом (рис. 1). Крайние точки материка: северная – мыс Бланко (Бен-Секка, Рас-Энгела, Эль-Абьяд), южная – мыс Агульяс (Игольный), западная – мыс Альмади, восточная – мыс Рас-Хафун. Протяженность с севера на юг – 8103 км, ширина на севере – 7385 тыс. км, площадь суши – 29,2 млн км², с островами – 30,3 млн км² [31].

Рельеф. В рельефе Африки преобладают равнинные области с преобладанием высоких равнин: возвышенностей, плато, плоскогорья. Низменности простираются узкими полосами, преимущественно вдоль морских побережий.

Крупнейшие равнины расположены в северной и западной частях материка. Их поверхность весьма неоднородна. Характерным является чередование возвышенностей с низменностями и плато. В местах выхода на поверхность кристаллических пород фундамента вздымаются нагорья Ахаггар и Тибести, высотой более 3000 м. Среди высоких плато (до 1000 м) лежит заболоченная впадина Конго. Впадина Калахари так же со всех сторон окружена плоскогорьями и плато.

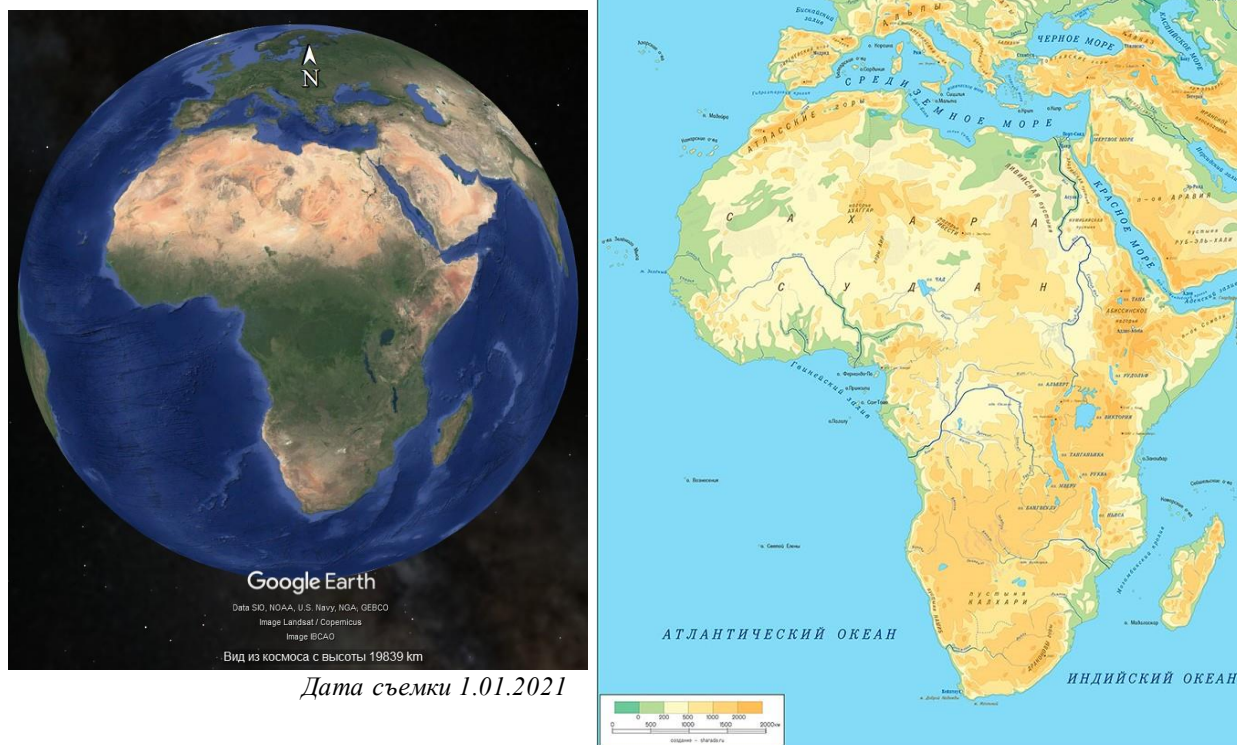


Рис. 1. Спутниковый снимок (Google Earth) и физическая карта [32] Африки

Относительно небольшая площадь в Африке занята горами. Самые высокие отметки имеет Восточно-Африканское плоскогорье. На нем расположены потухшие вулканы Кения (5199 м) и Килиманджаро (5895 м) – высшая точка Африки. Эфиопское нагорье с многочисленными потухшими вулканами приподнято на 2000-3000 м. Оно круто обрывается на востоке и уступами снижается на западе. В северо-западной части материка возвышаются горы Атлас (или Атласские горы), образовавшиеся на стыке двух литосферных плит. На юге материка поднимаются невысокие и плосковершинные Капские горы (до 2326 м) и Драконовы горы (до 3482 м).

Климат. По климату Африка – самый жаркий материк планеты, континент пересекает экватор, вся территория находится в жарких климатических поясах, включая субтропические, имеет много климатических зон. В центральной Африке и прибрежных районах Гвинейского залива в экваториальном поясе выпадают обильные осадки, нет смены времён года. К северу и к югу от экваториального пояса расположены субэкваториальные пояса. На севере расположена крупнейшая на Земле пустыня Сахара, на юге – пустыня Калахари.

Гидрография. Речная сеть развита очень неравномерно, огромные пространства полностью лишены местной речной сети. Насчитывается 35 рек с

протяженностью более 250 км, из них 21 река с протяженностью более 1 тыс. км. К бассейну Атлантического океана относятся крупные реки: Нил (длина 6852 км), Конго (4374 км) и Нигер (4180 км), Оранжевая (2200 км) и др. В Индийский океан впадает крупная река Замбези (2660 км). Великие Африканские озёра – группа озёр, находящихся в Восточно-Африканской зоне разломов и вокруг неё, включают: озеро Виктория (площадь 68 000 км², глубина до 80 м) – второе по величине пресноводное озеро в мире, Танганьiku, второе по глубине и по объёму в мире (площадь 32 900 км², глубина 1470 м), а также Ньяса, Рудольф, Альберт, Эдуард, Киву. Одно из крупнейших солёных озёр – озеро Чад [33].

Геологическая изученность

Основы геологии Африки были заложены исследованиями английских, французских и бельгийских геологов [1]. Первые геологические исследования в Африке были связаны с обнаружением месторождений полезных ископаемых в XVIII-XIX вв. Были найдены такие ископаемые, как уголь, железо, медь и золото. Эти открытия привели к развитию горнодобывающей промышленности.

В течение XIX и XX веков многие геологические экспедиции были организованы для изучения геологического строения Африки и поиска новых месторождений полезных ископаемых. Например, британский геолог Альфред Селигман провел обширные исследования в Судане, Египте и Эфиопии в 1920-х годах, которые привели к открытию месторождений золота, вольфрама и олова. В 1867 г. были обнаружены алмазы в районе Кимберли в Южной Африке, что привело к "алмазной лихорадке" и развитию алмазной промышленности в регионе. В течение XX века были открыты многие крупные медные месторождения в Африке, такие как Мессье в Замбии, Тенке-Фунгуруме в Демократической Республике Конго и Оканджанда в Намибии. В 1956 г. в Ливии было открыто первое коммерческое нефтяное месторождение в Африке. С тех пор были обнаружены многие другие крупные нефтяные и газовые месторождения, такие как Хасси-Месауд в Алжире, Агибами в Нигерии и Жирассоло в Анголе.

Обобщающие труды по геологии Африки опубликованы Э.Кренкелем (1934), Р.Фюроном (1950, 1961), Н. де Кюном (1965) и др. В 1973 г. вышла фундаментальная монография большого коллектива авторов (Геологического факультета МГУ и НИЛЗарубежгеология) под ред. В.Е. Хаина «Геология и полезные ископаемые Африки» [1].

В настоящее время геологические исследования в Африке продолжают с использованием современных методов и технологий. Изучается геологическое строение, геодинамические условия континента; активно ведутся поиски месторождений полезных ископаемых. Применяются современные геофизические и геохимические методы. Для изучения геологического строения используются данные спутниковой съёмки, аэрофотосъёмки Африки [2, 3, 15].

Геологическая картография имеет более чем 200-летний период своего развития – от общих эпизодических схем до современных цифровых геологических карт. Геологическая изученность по континенту в целом имеет разную степень детальности, от слабо изученных до детально изученных отдельных районов. Еще в 1964 г. советскими геологами был составлен атлас карт всей

Африки в масштабе 1:30 000 000 [19], включающий геологическую, тектоническую и др. карты, многие из которых впоследствии уточнялись (в основном по легенде).

В настоящее время масштаб карт отображается значительно детальнее – от 1:10 000 000 и подробнее, при этом применяются цифровые технологии. Например, существует разработка компании Esri – геопространственный портал OneGeology – первый открытый ресурс данных геологических служб. Его картографический веб-сервис (WMS) обеспечивает доступ к геологическим данным в масштабе 1:1000000 для всего мира и в масштабе 1:50000 для некоторых стран [35] (рис. 2).

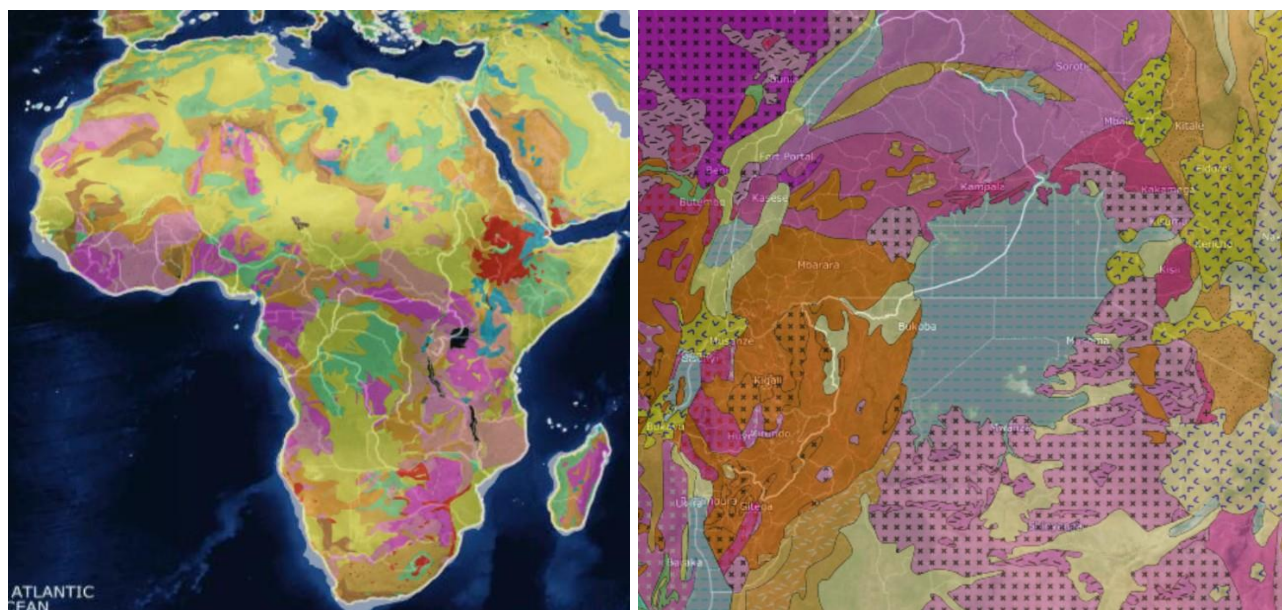


Рис. 2. Геологическая основа Африки (слева – континент, справа – фрагмент района оз. Виктория) [35]

Изучение и картирование линеаментов разных районов Африки проводилось многими исследователями. Обобщение этих материалов с созданием базы данных по активным разломам выполнено в Геологическом институте РАН [26]. Авторы этой работы отмечают неравномерную изученность по континенту, с концентрацией разломов в трех районах: 1) на северо-западе Африки (западная часть Альпийско-Центрально-Азиатского коллизийного пояса), 2) Большая Африканская рифтовая система в центральной и восточной частях (западная и восточная ветви представляют собой рифты с аномальной мантией под ними), 3) редкие разломы на западе Экваториальной Африки (рис. 3).

Из зарубежных исследований можно отметить работы д-ра Дункана Макгрегора [21, 36], в которых особое внимание уделяется времени активизации разломов, а также геологический атлас «THE AFRICA GEOLOGICAL ATLAS PROJECT», включающий ряд палеотектонических карт Африканской платформы (рис. 4).

Большой интерес в отношении сейсмической и геодинамической активности представляет современная сейсмотектоническая карта Африки, разрабо-

танная большим коллективом ученых в рамках проекта *IGC Project-601, “Seismotectonics and Seismic Hazards in Africa” of UNESCO-IUGS* [28] (рис. 5).

Важное значение для анализа планетарной трещиноватости, геодинамической активности линеаментов, их связи с минерагенией играет распределение мощности термальной литосферы [4] (рис. 6).

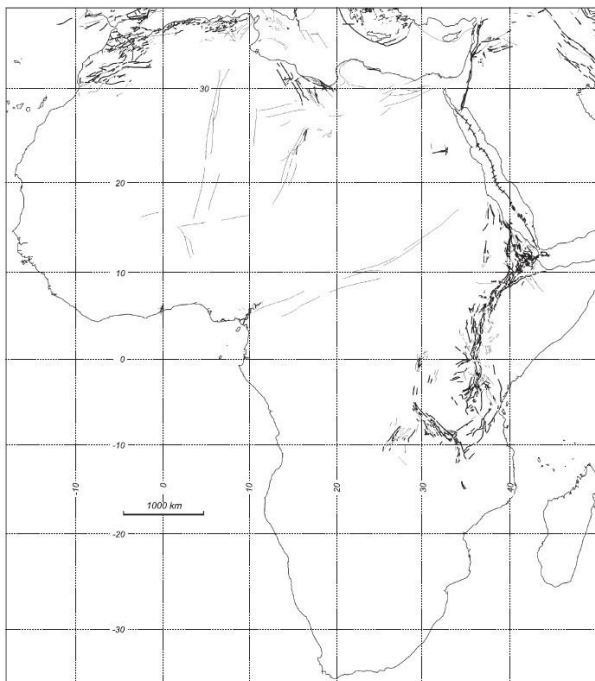


Рис. 3. Упрощенная карта активных разломов (более толстые линии) и предполагаемых активных разломов и линеаментов (более тонкие линии) в Африке [26]

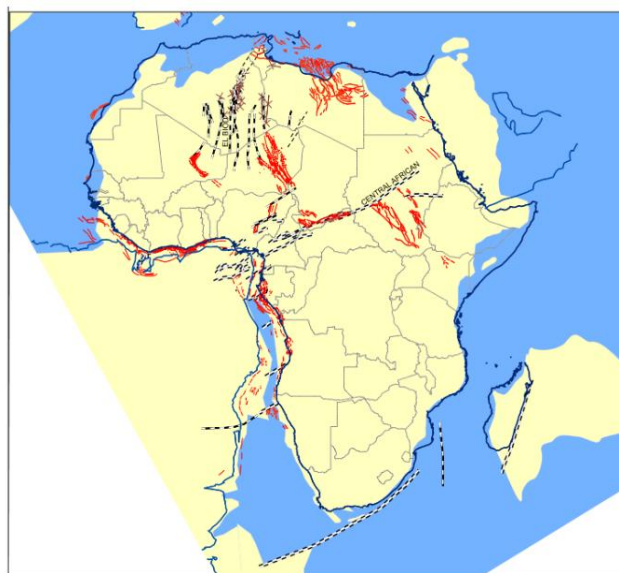


Рис. 4. Карта активных разломов – внутриплитных линеаментов Африки (фрагмент атласа палеотектонических карт) [36]

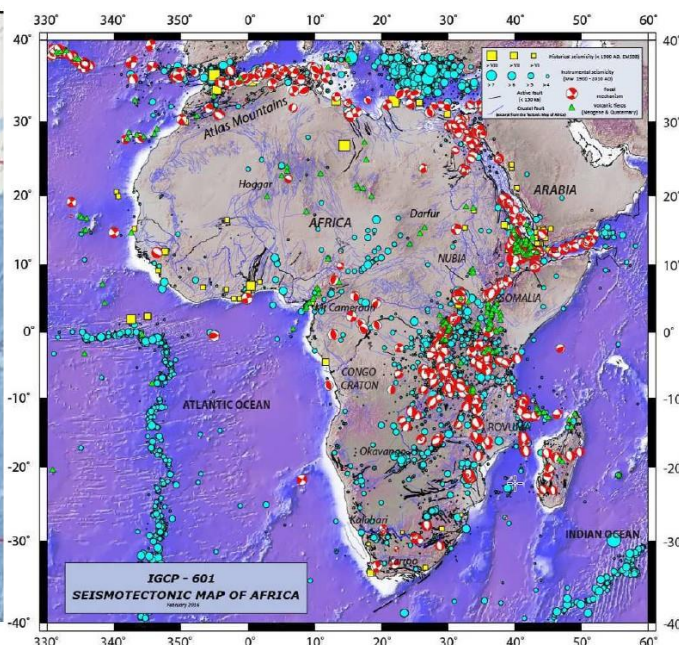
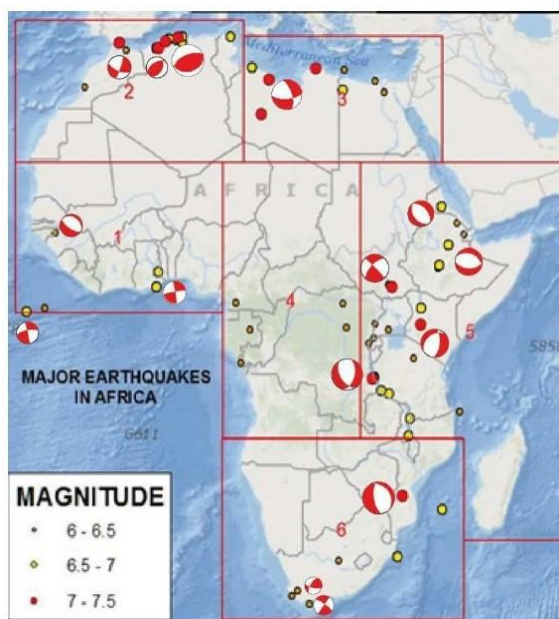


Рис. 5. Сейсмотектоническая карта и сейсмотектонические провинции Африки [28]

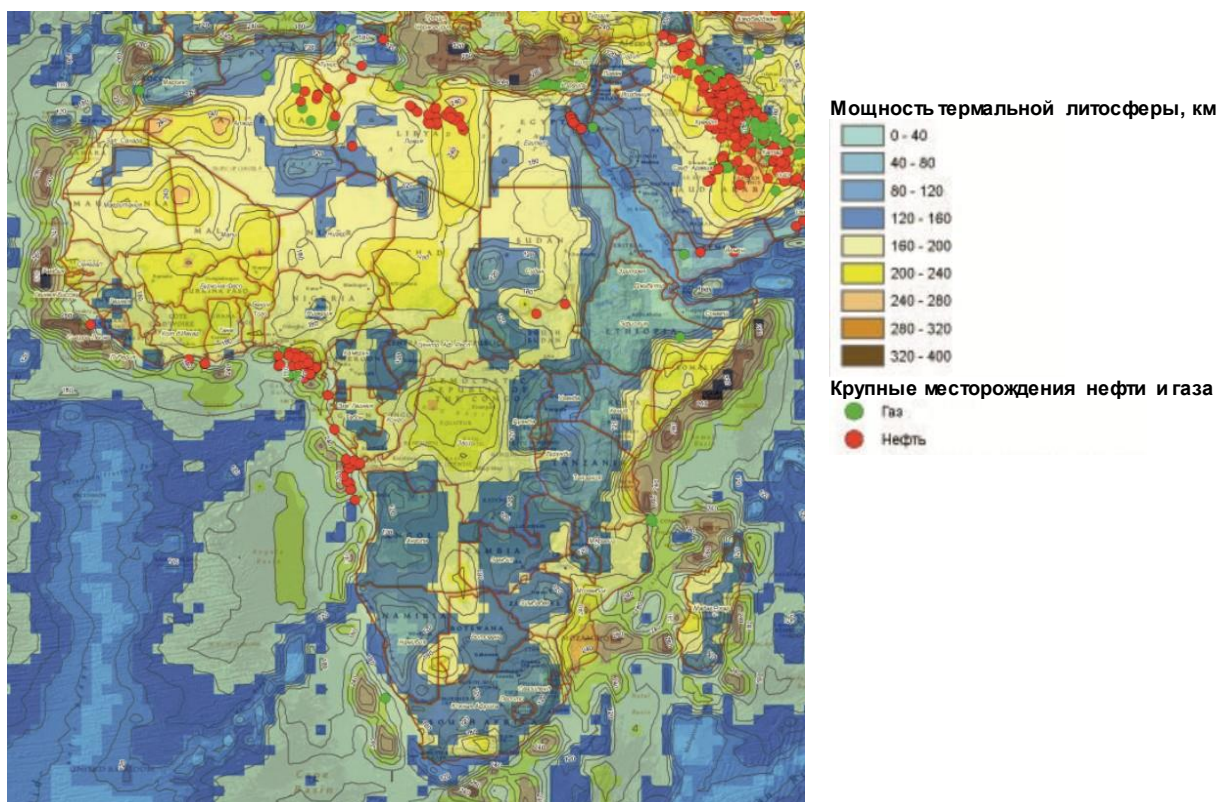


Рис. 6. Карта мощности термальной литосферы Африки с выделением перспективных земель на нефть и газ [4]

Геологические условия

Геологическое строение. Африканский материк почти целиком представляет собой древнюю платформу, за исключением горной системы Атласа на крайнем северо-западе и Капских гор на крайнем юге, которые относятся к альпийским и герцинским складчатым областям. Эта платформа, помимо собственно Африки, охватывает также весь Аравийский полуостров. Существует много различных геологических и тектонических схем Африки, составленных, как зарубежными, так и российскими исследователями. Некоторые из них приведены на рис. 7, 8, 9, 10). Краткое описание геологических условий приведено по [1, 30, 33 и др.].

Альпийская геосинклиналь занимает в северо-западной части Африки горы Рифа и Атласа, за исключением расположенного на юго-западе этой последней цепи Анти-Атласа. Альпийская геосинклиналь может быть разделена на несколько зон. На севере Алжира и Туниса узкой полосой вдоль берега моря протягивается Кабильская зона, где на поверхность выходят древние метаморфические и палеозойские породы, тогда как отложения альпийского цикла имеют меньшую мощность и характеризуются неполным разрезом. Мезозой представлен преимущественно известняками, а эоцен — флишевой формацией. Южнее находится зона Сахарского Атласа, где маломощные мезозойские отложения представлены главным образом терригенными породами. Южнее лежит Сахарская плита.

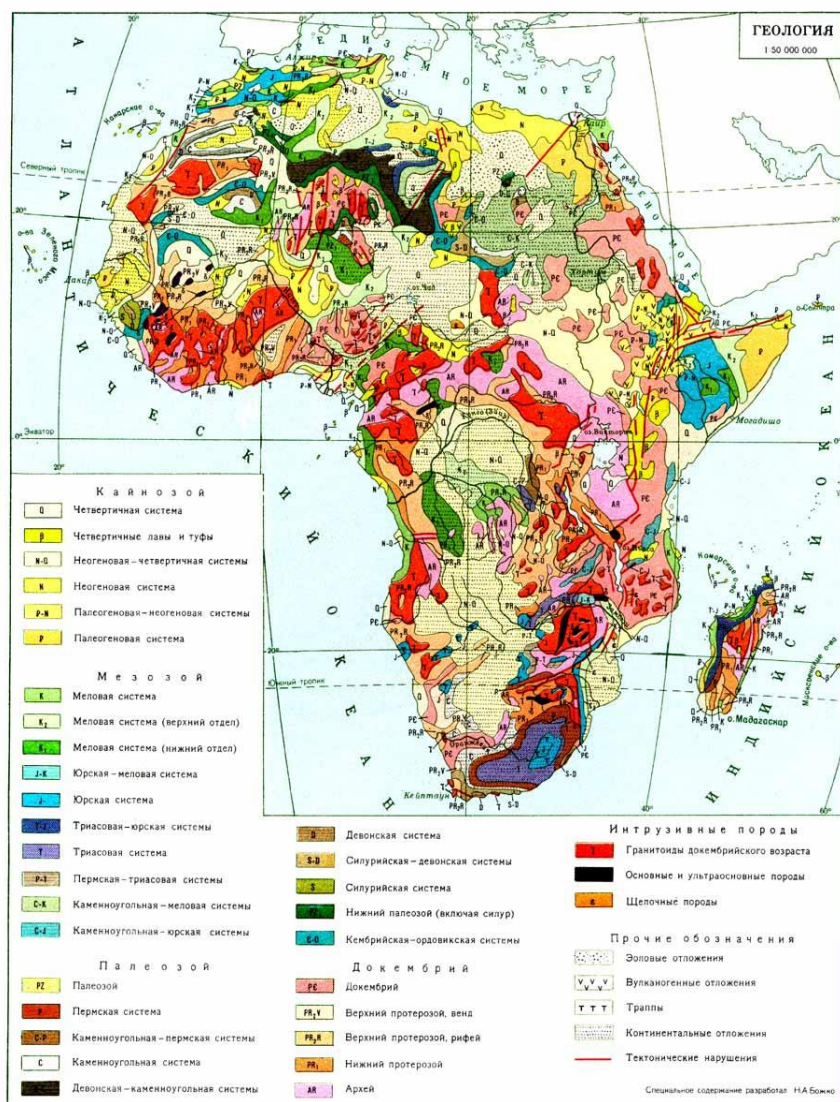


Рис. 7. Геологическая карта Африки (по Н.А.Божко) [30]

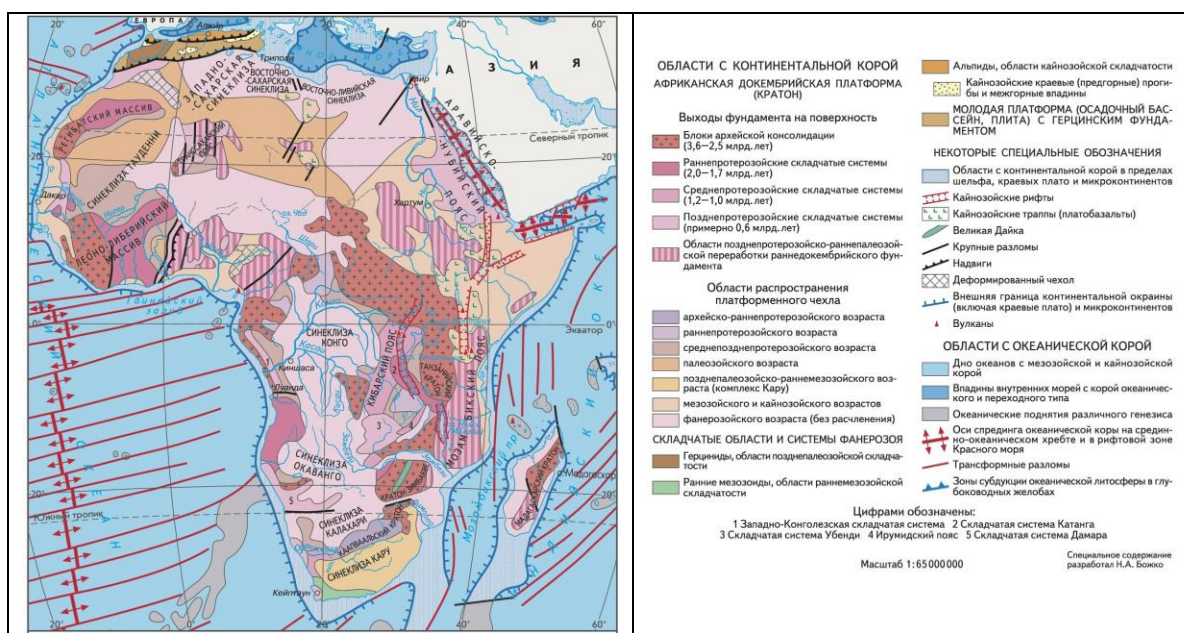


Рис. 8. Тектоническая карта Африки (по Н.А.Божко) [30]

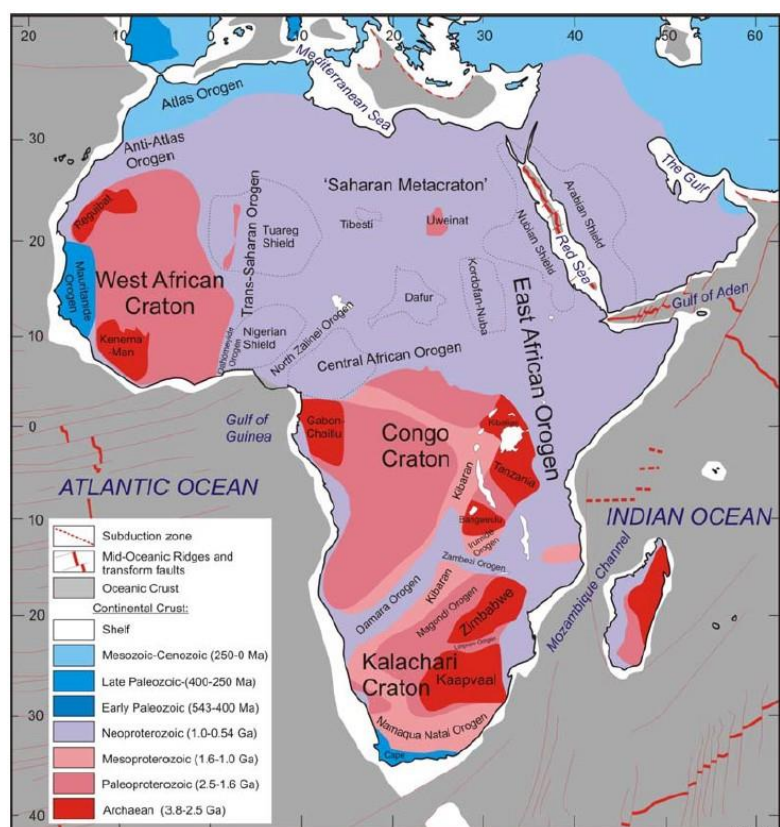


Рис. 9. Тектоническая схема и возраст фундамента земной коры в Африке [29]

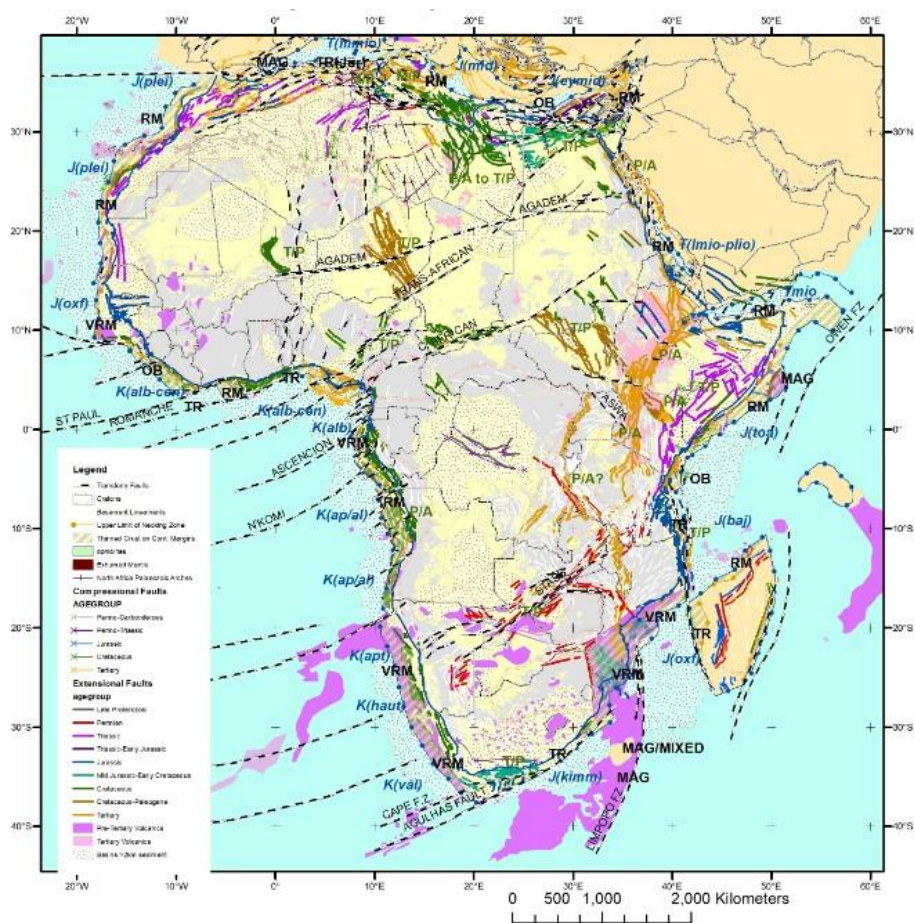


Рис. 10. Карта тектонических элементов Африканской плиты [36]

В юго-западной части горной системы Атласа – в Антиатласе – на поверхность выходит складчатый палеозой, прикрытый спокойно залегающими слоями мезозоя малой мощности. В этом месте Африканская платформа имеет герцинский складчатый фундамент, который развит также на крайней южной оконечности материка.

Древняя Африканская платформа имеет различный возраст своего складчатого фундамента. Наиболее широко развит архейский фундамент, сложенный гнейсами, гранитами и различными метаморфическими породами. Среди архейских пород имеются толщи разного возраста, которые были смяты в складки в разное время.

Складчатые зоны разного возраста имеют разное простирание и пересекают друг друга. Так, в южных районах Конго, по-видимому, более древними являются простирания северо-западные, а их пересекают более молодые – северо-восточные. В Южном Конго к ним относятся образования системы Катанга, представленные главным образом терригенными отложениями. В области их распространения участки спокойного залегания чередуются с полосами интенсивной складчатости.

В Южной Африке верхние толщи докембрия начинаются отложениями Витватерсрандской системы, представленными кварцитами (в том числе железистыми), гравелитами и конгломератами. В них развиты диабазовые пластовые интрузии. Мощность толщи колеблется в широких пределах и местами достигает 7 км. Эта толща образует обширные пологие прогибы и куполовидные поднятия.

Витватерсрандская система покрывается системой Вентерсдорп, сложенной преимущественно вулканогенными породами (основными лавами и пирокластическими породами) и обнаруживающей такое же залегание, как предыдущая система.

Далее следует Трансваальская система, образующая в центральном Трансваале обширную пологую мульду. Эта система сложена как известняками и доломитами, так и сланцами и кварцитами. Ее мощность исчисляется многими километрами. В центре мульды она покрывается внедрившимся в самые верхние ее слои огромным лополитом Бушвельдского магматического комплекса, имеющим протяженность на поверхности с востока на запад 480 км. Этот массив состоит из норита и красного гранита и считается классическим объектом для изучения процесса дифференциации магмы. Предполагается, что к этой фазе магматической деятельности относится «Великая дайка Родезии», которая протягивается прямолинейно в северо-северо-восточном направлении на расстоянии почти в 500 км, имея ширину от 5 до 10 км. Эта необычная интрузия сложена перидотитом, пироксенитом и норитом.

Более молодой, чем Трансваальская, является система Ватерберг, сложенная кварцитами, гравелитами и песчаниками характерной пурпуровой и фиолетовой окраски. Мощность этой системы достигает 3000 м.

На внутреннем плато Юго-Западной Африки почти горизонтально залегает система Нама, сложенная кварцитами и доломитами.

Все перечисленные послеархейские отложения отвечают длительному этапу перехода от типичного геосинклинального состояния, существовавшего в архее, к типичным условиям древней платформы, установившимся в конце протерозоя. Все последующие отложения накапливались уже в платформенной обстановке. Накопление их происходило в нескольких субгеосинклиналях. С юга на север выделяются следующие субгеосинклинали, выраженные в современной структуре в виде синеклиз: Капской, Калахари, Конго и обширной субгеосинклинали, занимающей северную часть континента, условно называемой Сахарской.

По представлению Н.А. Божко в северной части Африканской платформы, выделяется Сахарская плита, которая имеет чёткое двухъярусное строение: кристаллический фундамент, сложенный метаморфическими и магматическими образованиями докембрия и платформенный чехол, сложенный осадочными отложениями верхов докембрия и фанерозоя, отделёнными от фундамента «главным несогласием». Сахарская плита включает: в северной части – сводовое поднятие Антиатласа, складчатую зону Угарты, синеклизы (впадины) Тиндуф, Сирт, Ливийскую и др.; в южной части – массивы Регибатский, Ахаггарский (Туарегский), Тибести, Гурма и впадины (синеклизы) Тауденни, Мурзук, Куфра, Чад и др.

Неотектоника. В пределах Африканского континента в позднекайнозойское время произошла существенная активизация тектонических движений, в результате которой был создан современный рельеф. Особой интенсивностью отличались позднекайнозойские (новейшие) движения в Восточно-Африканской рифтовой системе. Позднекайнозойский наземный вулканизм Африки, пространственно и генетически связанный с неотектоническими деформациями не имел себе равных на других материках.

По неотектоническому районированию [1] на территории Африки выделены: 1) платформенная область Западной и Центральной Африки, 2) Аравийско-Восточно-Африканская рифтовая система, 3) Мозамбикский (или Мозамбикско-Сомалийский) прогиб, 4) Мадагаскарское поднятие, 5) эпигеосинклинальная орогеническая область Атласа (рис. 11).

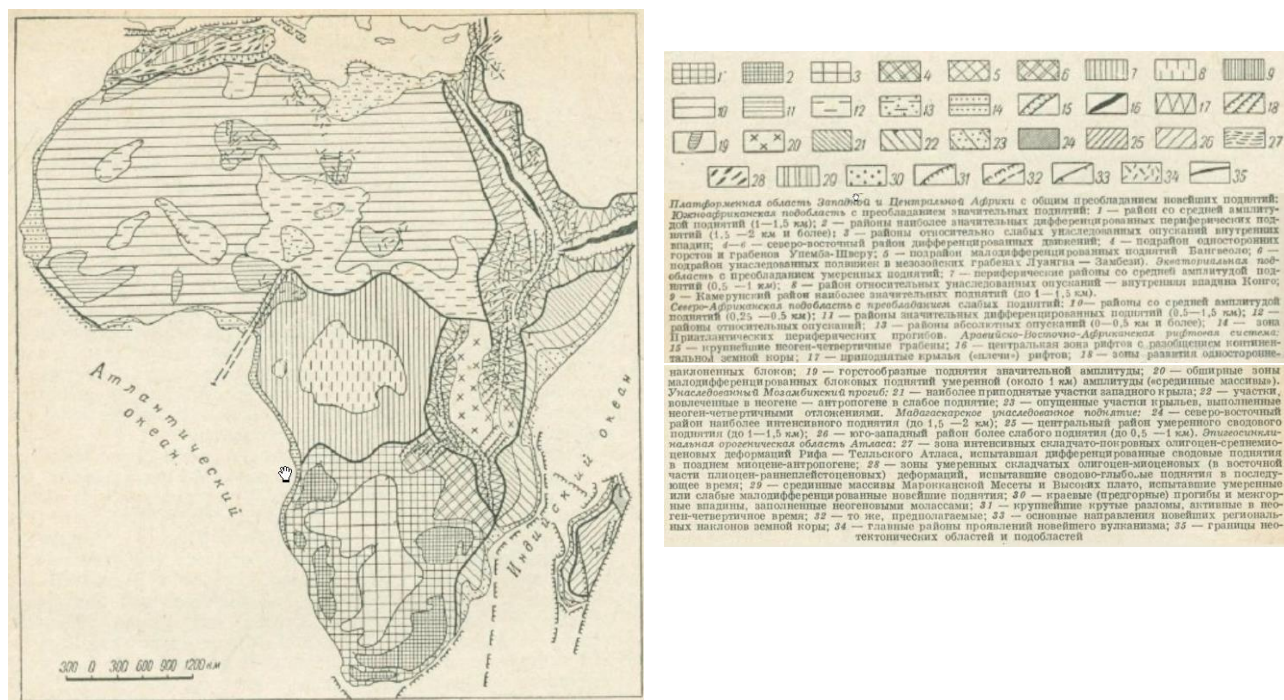


Рис. 11. Карта неотектонического районирования Африки [1]

По сеймотектоническому районированию [28] с учетом тектонического режима, фона сейсмичности и географической ситуации выделены 6 сеймотектонических провинций (рис. 5): 1) «Стабильные» тектонические зоны Западной и Центральной Африки и связанные с ними острова; 2) Северо-Западный Африканский складчато-надвиговый пояс (Атласские горы до Сахарской платформы), 3) Северо-Восточно-Африканские тектонические зоны Ливии, Египта и Северного Судана, 4) Центральнаяфриканские системы разломов Анголы, РД Конго, Камеруна до Чада, 5) Восточно-Африканский рифт (от Малави до Эфиопии, включая Мадагаскар), 6) Южно-Африканский щит включает Мозамбик, Намибию и южные части Анголы, а также Капский складчатый пояс.

Закономерности размещения полезных ископаемых

На Африку приходится 30% минеральных ресурсов мира. Установлены месторождения почти всех известных видов минерального сырья. Среди других континентов Африка занимает 1-е место по запасам алмазов, золота, платиноидов, марганца, хромовых руд, бокситов, кобальта, фосфоритов, флюорита, 2-е — по запасам руд меди, асбеста, урана, сурьмы, 3-е — по запасам нефти, газа, руд ртути, 4-е — по запасам железных руд; значительны также запасы руд титана, ванадия, никеля, висмута, лития, бериллия, тантала, ниобия, олова, вольфрама, драгоценных камней и другие полезные ископаемые [33] (рис. 12).

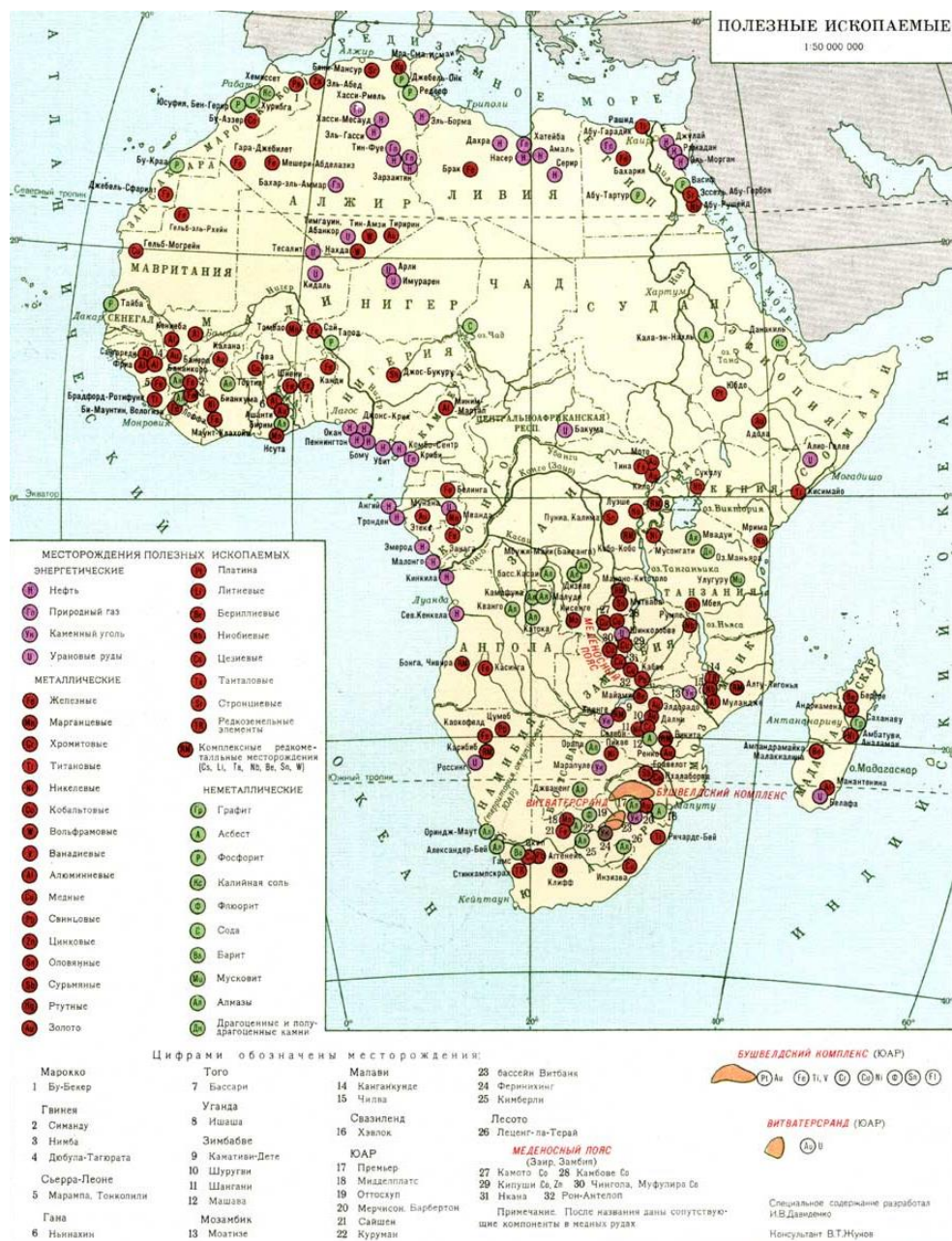


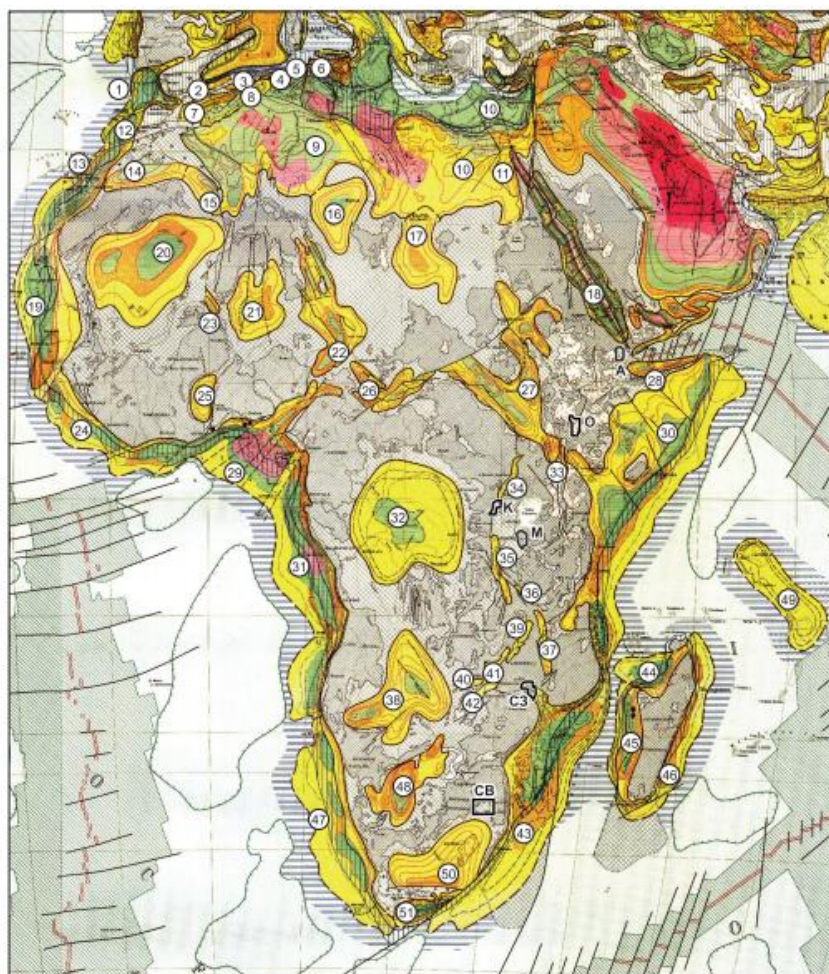
Рис. 12. Полезные ископаемые Африки [33]

Нефть и газ.

Африканский континент располагает в настоящее время крупнейшими нефтяными и газовыми ресурсами. Основные нефтедобывающие районы – Северная Африка (Сахара, Ливия, побережье Суэцкого залива), побережье Гвинейского залива (Габон, Нигерия и др.), Западная и Восточная Африка (Сомали, Кения, Конго, Мали, Мавритания, Нигер, Гана и др.). В современном структурном плане земной коры нефтегазоносные бассейны приурочены к различным по размерам и происхождения впадинам, выполненными осадочными отложениями [1].

В пределах африканского континента и прилегающих акваторий Средиземного моря, Индийского и Атлантического океанов к настоящему времени

выявлено 60 нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов (рис. 13).



Карта нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов Африки, по [Мар..., 1994] с добавлениями по информации, опубликованной в 1995—2015 гг., на основе геологической карты Африки [Levey, 2012].

Цифрами обозначены бассейны: 1 — Андалузско-Предрифский, 2 — Западный Телл, 3 — Южный Телл, 4 — Восточный Телл, 5 — Восточно-Атласский, 6 — Тунисско-Сицилийский, 7 — Внутренний Атласский, 8 — Центральнo-Атласский, 9 — Алжиро-Ливийский, 10 — Сахарo-Восточно-Средиземномoрский, 11 — впадина Суэцкого залива Крaсномoрско-Суэцкого бассейна, 12 — Западно-Марокканский, 13 — Ааюн, 14 — Тиндиф, 15 — Регтан, 16 — Муртук, 17 — Куфра, 18 — Крaсномoрская впадина Крaсномoрско-Суэцкого бассейна, 19 — Сенегальский, 20 — Таудени, 21 — Мали-Нигерский, 22 — Чадский, 23 — Гао, 24 — Леоне-Либерийский, 25 — Вольтa, 26 — Шарри, 27 — Верхненильский, 28 — Южно-Аденский, 29 — Гвинейского залива, 30 — Восточно-Африканский, 31 — Кванза-Камерунский, 32 — Конго, 33 — Туркана, 34 — Альберт, 35 — Танганьика, 36 — Руанда, 37 — Ньяса, 38 — Окаванго, 39 — Луангва, 40 — Кафуэ, 41 — Луанго, 42 — Кариба, 43 — Мозамбикский, 44 — Маджунга, 45 — Морондана, 46 — Восточно-Мадагаскарский, 47 — Намибийский, 48 — Калахарн, 49 — Сейшельский, 50 — Карру, 51 — Южно-Капский; бассейны, выявленные после 1994 г.: А — Афар, К — Киву, М — Малагаси, О — Омо, СЗ — Средний Замбези, СВ — бассейны северо-восточной части ЮАР (Ватерберг, Оригстаг, Саутпансберг, Сирингбок, Тули).

Рис. 13. Карта нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов Африки [17]

В 28 из этих бассейнов открыты промышленные месторождения нефти и газа, в 32 ведутся или планируются поисковые работы. За более чем 100-летнюю историю поисков нефти и газа в этом регионе найдено почти 2000 месторождений (свыше 1550 нефтяных, газонефтяных и 410 газовых, газоконденсатных). Более половины первых и почти две трети вторых открыто на суше.

Наибольшее количество месторождений (76 % нефтяных и 62 % газовых) связано с бассейнами континентальной окраины, прежде всего, с бассейнами Гвинейского залива, Сахаро-Восточно-Средиземноморским и Кванза-Камерунским, на которые приходится 63 % нефтяных и 39 % газовых месторождений, открытых на суше, и 82 и 56 % в акватории [17].

Каменный уголь. В Африке имеются запасы всех видов углей и состоят в основном из каменных углей и антрацита. Свыше 70% запасов углей приходится на ЮАР, 2-е место занимает Ботсвана (около 20%), 3-е – Зимбабве (2,5%). Среди других стран Африки значительными запасами угля обладают Свазиленд, Мозамбик, Нигерия, Мадагаскар, Танзания, Замбия; известны также месторождения угля в Конго, Египте, Марокко, Алжире и др. В Конго, в долинах рек Луалаба и Ломами, имеются крупные залежи горючих сланцев [33].

Железо. Месторождения железа Африкано-Аравийской платформы подразделяются на три генетические группы: экзогенные, эндогенные и метаморфогенные. Группа экзогенных месторождений железа объединяет месторождения осадочного происхождения и месторождения кор выветривания. Географически осадочные месторождения сконцентрированы в северной части материка – на территории Алжира, Марокко, Судана, Нигерии. К югу от экватора они установлены только в Зимбабве и Намибии. Промышленные скопления железных руд кор выветривания известны в Западной и Центральной Африке. Они концентрируются в тропической зоне вдоль экватора достаточно широкой полосой, образуя единый железнорудный пояс. Среди эндогенных железнорудных месторождений Африки выделяются магматические, в том числе и связанные с карбонатами контактово-метасоматические и гидротермальные руды. Магматические месторождения представлены скоплениями титаномагнетита. Самые крупные скопления титаномагнетитовых руд в юго-западной части Танзании и на территории ЮАР. Основная масса скарновых месторождений расположена в северной части континента. Метаморфогенные месторождения железных руд представлены, как правило, железистыми кварцитами и гематитовыми сланцами (Египет, Эфиопия, Судан, Мавритания, Гвинея, Мали, Гана, Судан, Кения).

Хром. Месторождения хрома связаны с докембрийскими пироксенитами, дунитами, гарцбургитами, норитами и продуктами гидротермальной переработки этих пород (ЮАР, Зимбабве, Мадагаскар, Судан, Эфиопия, Кот-д'Ивуар).

Титан. В Африке сосредоточено около 60% мировых запасов титанового сырья (ЮАР, Танзания, Мозамбик, Нигер, Египет, Камерун, Марокко, Мавритания).

Марганец. В Африке широко представлены три генетических типа марганцевых руд – эндогенные, экзогенные, метаморфогенные, которые локализуются в пяти основных рудных провинциях: Атласская, Красноморская, Западно-Африканская, Центрально-Африканская и Южно-Африканская.

Золото. По добыче золота Африка занимает одно из первых мест в мире (ЮАР, Зимбабве, Замбия). Известны три основных промышленных типа месторождений: метаморфогенный, гидротермальный и россыпной. Выделены 8 золотonosных провинций: Южно-Африканская, Западно-Африканская, Центрально-Африканская, Восточно-Африканская, Нильская, Сахарская, Ангольская и Мадагаскарская.

Цветные металлы. Среди цветных металлов большое значение имеет разработка медно-никелевых, свинцовых и цинковых месторождений (Конго, Замбия, ЮАР, Намибия, Марокко, Тунис, Алжир и др.). Месторождения цветных металлов распределены на Африканской платформе и в Атласской складчатой зоне [1].

Редкоземельные металлы. Основная масса месторождений редкоземельных металлов приурочена к докембрийскому фундаменту и сосредоточена в основном в юго-восточной части континента [5].

Уран. Значительные запасы урана имеются в Нигере – в каменноугольных осадочных толщах месторождений Имурарен, Арли и Акута, в Габоне — в протерозойских осадочных толщах месторождений Мунана, Окло, Бойиндзи, в Алжире — гидротермальных месторождениях Абанкор и Тимгаун, в Мали (месторождения Кидадь, Тессали) и Заире (магматогенное жильное месторождение Шинколобве). Крупные запасы урана заключены в золотоносных конгломератах докембрия на юге Африки, в ЮАР (Витватерсранд). Известны также крупное гидротермальное месторождение урана, тория и редкоземельных элементов Алио-Гелле в Сомали, докембрийские осадочные в ЦАР, гидротермальные и пегматитовые месторождения на Мадагаскаре, гидротермальное Давидитовое месторождение в Мозамбике и др. [33].

Алмазы.

На территории Африки известны и разрабатываются следующие типы россыпей алмазов: элювиальные, делювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и морские. В ряде стран: Гане, Кот-д'Ивуаре, ЦАР россыпи являются основным источником для получения алмазов. В других странах (ЮАР, Танзания), на территории которых алмазоносные россыпи в значительной степени отработаны, большая часть алмазов извлекается из коренных месторождений – кимберлитовых трубок (всего установлено более 800 трубок). В пределах Африканского континента выделены пять алмазоносных провинций: Ганская, Гвинейская, Центрально-Африканская, Южно-Африканская, Восточно-Африканская [1].

По минерагеническому районированию [18] Африканская платформа представляет собой единую алмазоносную провинцию (рис. 14).

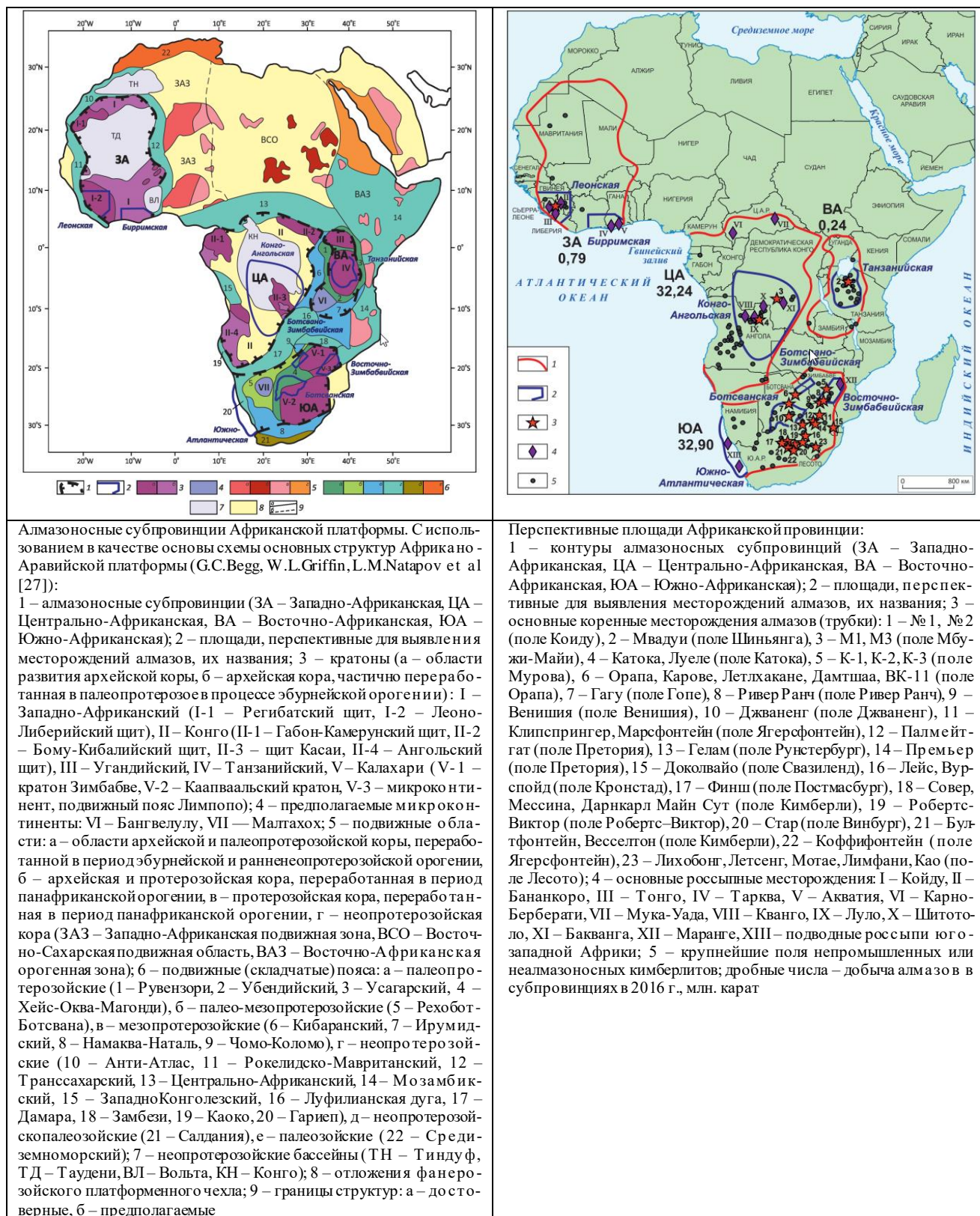


Рис. 14. Алмазоносные субпровинции Африканской платформы и перспективные алмазоносные площади [18]

Расположенные в ее пределах 4 крупных кратона (мегакратона) – Западно-Африканский, Конго, Угандийско-Танзанийский, Калахари с надвинутыми на них частями окружающих подвижных поясов выделены в качестве алмазоносных субпровинций (рис. 14): Западно-Африканской (ЗА), Центрально-

Африканской (ЦА), Восточно-Африканской (ВА), Южно-Африканской (ЮА). В Африке добыто (2016 г.) почти 67 млн. карат алмазов, что по объему составляет 49,8% общемировой добычи (134,1 млн. карат), а по стоимости – почти 60%.

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований

Методология аэрокосмогеологических исследований в основном изложена в работах [6-14, 22-25].

В общем виде она включает:

- анализ природных и геологических условий (в объеме, необходимом для проведения регионального аэрокосмогеологического анализа);
- компьютерное космогеологическое структурное дешифрирование МДЗ для выделения планетарной трещиноватости, глобальной и региональной линейной сети всего Африканского континента и более подробной линейной сети для отдельных регионов, которое осуществляется по разным иерархическим уровням. Методологически это выполняется путем системного аэрокосмогеологического анализа – дешифрирования МДЗ разного масштаба от мелкого – к крупному и картирования линейных элементов разного ранга;
- линейно-геодинамический анализ крупных регионов с целью картирования крупнейших тектонических линейных элементов и по их концентрации оценки геодинамической активности;
- линейно-блоковый анализ с целью выделения крупных блоковых структур, контролирующих неотектонические условия, возможные минерогенические закономерности;
- ландшафтно-геодинамический анализ с целью выделения крупных кольцевых структур – морфоструктурно-геодинамических ландшафтных аномалий, контролирующих крупные тектонические структуры, возможные минерогенические закономерности.

Методика компьютерного космогеологического (структурного) дешифрирования заключается в выявлении по характеру фотоизображения различных ориентированных тектонических линейных элементов и кольцевых структур, (представляющих собой морфоструктурно-геодинамические ландшафтные аномалии) с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами, с применением ГИС-технологий. Технология компьютерного дешифрирования цифровых КС и обработки данных реализуется на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей.

При компьютерном дешифрировании МДЗ и картировании планетарной трещиноватости, линейных элементов, тектонических структур, геодинамических ландшафтов на крупных территориях особенно перспективно применение Quantum GIS – QGIS. Интерпретация объектов производится непосредственно в определенной географической координатной системе, что позволяет прово-

дить дешифрирование на любой территории вплоть до континентального уровня. При необходимости существует возможность оперативно менять среду дешифрирования – спутниковые или географические (а также и геологические, где они уже имеются или специально создаются) подкладки, что значительно повышает качество интерпретации (рис. 15). Именно такой подход применялся при дешифрировании МДЗ Африканского континента, которое проводилось в следующей стадийной последовательности по уровням генерализации:

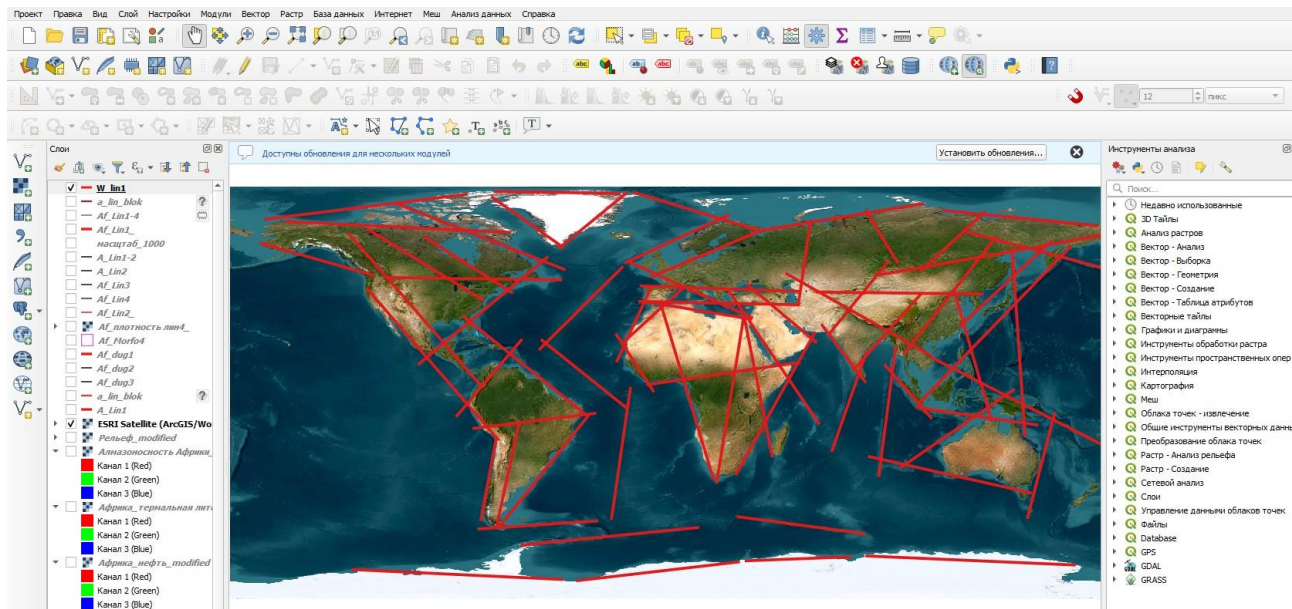


Рис. 15. Рабочее окно программы. Планетарная линеаментная сеть.
(Масштаб дешифрирования 1:100 000 000)

- планетарное дешифрирование КС масштаба 1:100 000 000, для изучения планетарной трещиноватости и глобальной линеаментной сети планетарного уровня с линеаментами протяженностью более 5 тыс. км;
- континентальное дешифрирование КС масштаба 1:50 000 000, для изучения планетарной трещиноватости и линеаментной сети континентального уровня с линеаментами протяженностью 2500-5000 км;
- регионально-континентальное дешифрирование КС масштаба 1:25 000 000 для изучения планетарной трещиноватости и линеаментной сети континентального уровня с линеаментами протяженностью 1000-2500 км;
- континентально-региональное дешифрирование КС масштаба 1:10 000 000 для изучения планетарной трещиноватости и линеаментной сети континентального уровня с линеаментами протяженностью 500-1000 км;
- региональное дешифрирование КС масштаба 1:5 000 000, для изучения планетарной трещиноватости и линеаментной сети регионального уровня с линеаментами протяженностью 200-500 км.

Дальнейшая детализация планетарной трещиноватости и линеаментной сети проводится по отдельным регионам континентов (в задачи настоящей работы не входило).

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 или в QGIS (интерполяция, плотность линий). Рассчитывается плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного раstra. Плотность вычисляется в единицах длины на единицу площади ($\text{км}/\text{км}^2$). 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 осуществляется по 6 градациям (в данной работе 5 и 6 баллы объединены) с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности:

- 1-й балл $< (\bar{x}-s)$, низкая плотность линеаментов;
- 2-й балл $(\bar{x}-s) - \bar{x}$, средняя плотность линеаментов;
- 3-й балл $\bar{x} - (\bar{x}+s)$, повышенная плотность линеаментов;
- 4-й балл $(\bar{x}+s) - (\bar{x}+2s)$, высокая плотность линеаментов;
- 5-й балл $(\bar{x}+2s) - (\bar{x}+3s)$, очень высокая плотность линеаментов;
- 6-й балл $> (\bar{x}+3s)$, чрезвычайно высокая плотность линеаментов.

Вполне уверенно предполагается, что они отражают соответственно различную степень геодинамической активности (от условно стабильной до условно очень высокоактивной) [12].

Результаты структурного дешифрирования и линеаментного анализа по МДЗ по Африканскому континенту приведены в таблице 1 и отображены на схемах линеаментных сетей (полей) (рис. 16-21).

Таблица 1

Результаты дешифрирования линеаментов по МДЗ

Уровень генерализации	Масштаб дешифрирования МДЗ	Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Количество линеаментов
Планетарно-континентальный	1:100 000 000	планетарно-континентальные	более 5 тыс.	7
Континентальный	1:50 000 000	континентальные	2500-5000	11
Регионально-континентальный	1:25 000 000	регионально-континентальные	1000-2500	132
Континентально-региональный	1:10 000 000	континентально-региональные	500-1000	512
Региональный	1:5 000 000	региональные	200-500	1350

Основной каркас планетарной трещиноватости на Африканском континенте, составляют прямолинейные линеаменты (линеаменные зоны) планетарно-

го и континентального рангов, протяженностью 2,5-5 тыс. и более км, выделяемые на КС масштабов 1:100 000 000 – 1:50 000 000 (рис. 16).

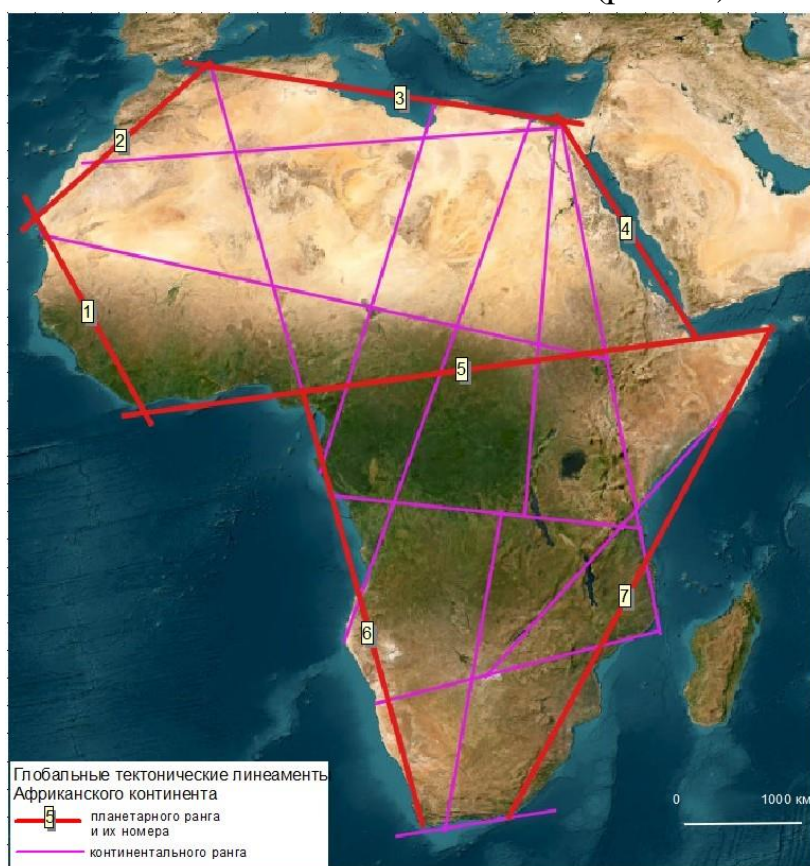


Рис. 16. Континентальная линейментная сеть Африки (Масштаб дешифрирования 1:50 000 000)



Рис. 17. Регионально-континентальная линейментная сеть Африки (Масштаб дешифрирования 1:25 000 000)



Рис. 18. Континентально-региональная линейная сеть Африки
(Масштаб дешифрирования 1:10 000 000)



Рис. 19. Региональная линейная сеть Африки
(Масштаб дешифрирования 1:5 000 000)

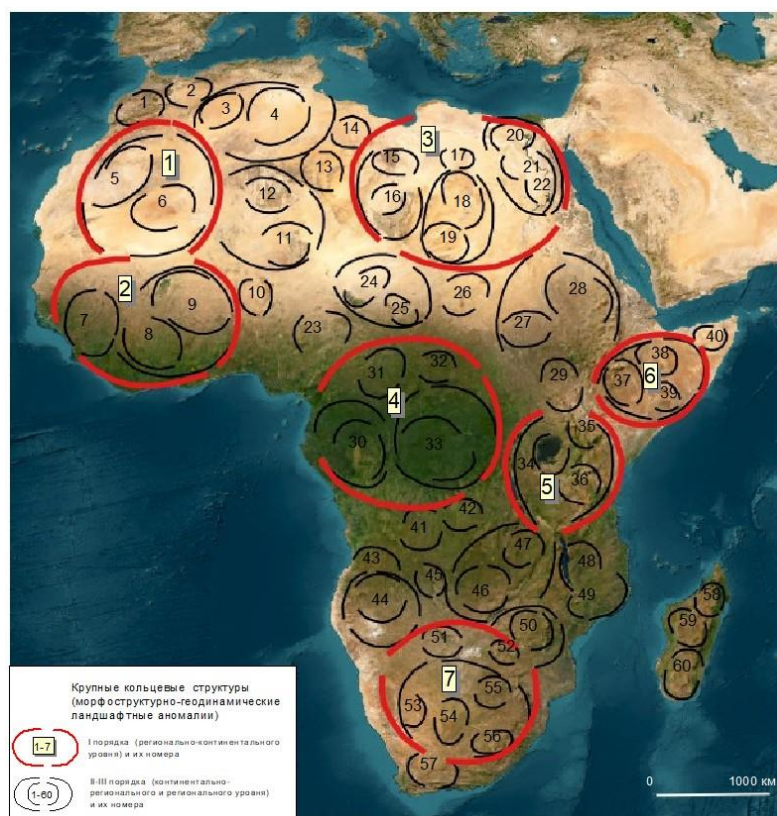


Рис. 20. Крупные кольцевые структуры (морфоструктурно-геодинамические ландшафтные аномалии) Африки (Масштаб дешифрирования 1:50 000 000-1:10 000 000)

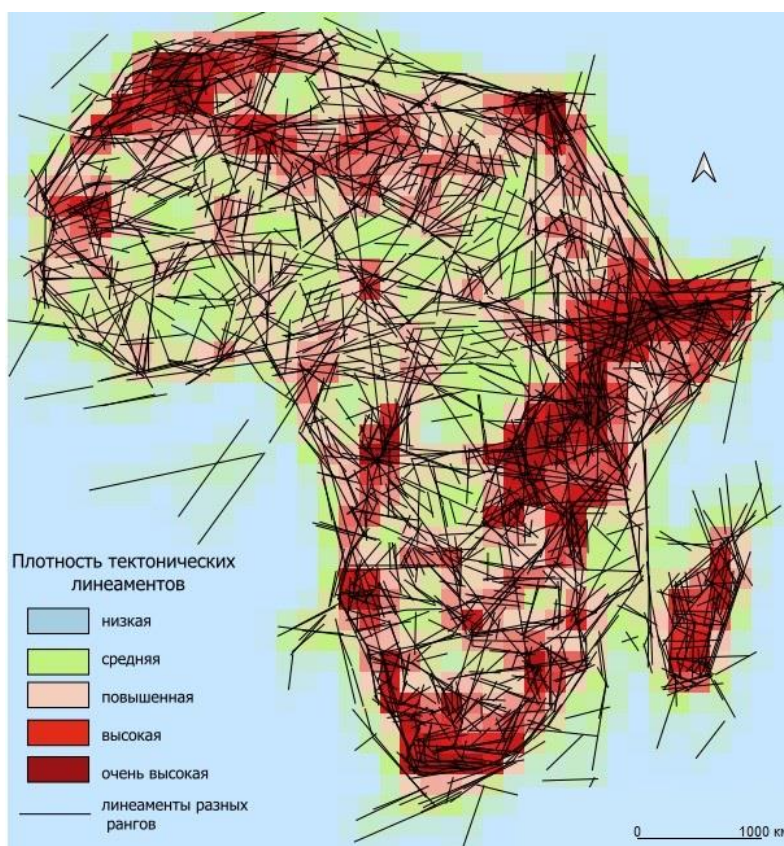


Рис. 21. Геодинамическая активность (по плотности тектонических линементов) Африки (Масштаб анализа 1:5 000 000)

Планетарно-континентальная линеаментная сеть включает 7 линеаментов планетарно-континентального ранга (на карте показаны их фрагменты для Африки), из которых 6 оконтуривают континент и один пересекает его в субширотном направлении (мыс Пальмас – мыс Рас-Хафун).

Их направления и протяженность:

- 1) ССЗ (330°) направления протяженностью 2,5 тыс. км;
- 2) СВ (40°) направления протяженностью 2,5 тыс. км;
- 3) субширотного (280°) направления протяженностью 3,4 тыс. км;
- 4) ССЗ (330°) направления протяженностью 2,7 тыс. км;
- 5) субширотного (80°) направления протяженностью 6,7 тыс. км;
- 6) ССЗ (345°) направления протяженностью 4,7 тыс. км;
- 7) ССВ (30°) направления протяженностью 5,7 тыс. км.

Внутри континента прослеживаются 12 линеаментов континентального ранга: 5 субширотных (80-85° и 285°), 6 субмеридиональных (0° ±15°) и 1 СВ (40°).

Регионально-континентальная линеаментная сеть включает 127 прямолинейных линеаментов регионально-континентального ранга, выделенных по дешифрированию МДЗ масштаба 1:25 000 000 (рис. 17). Протяженность их в основном 1000-2500 км. Четко выражены линеаменты ортогональной (субширотные 90° ±15° и субмеридиональные 0° ±15°) и диагональной систем (СЗ 315° ±15° и СВ 45° ±15°).

Континентально-региональная линеаментная сеть включает 500 прямолинейных линеаментов континентально-регионального ранга, выделенных по дешифрированию МДЗ масштаба 1:10 000 000 (рис. 18). Протяженность их в основном 500-1000 км. Характерны направления линеаментов всех систем с учетом континентально-региональных закономерностей.

Региональная линеаментная сеть включает 1350 прямолинейных линеаментов регионального ранга, выделенных по дешифрированию МДЗ масштаба 1:5 000 000 (рис. 19). Протяженность их в основном 200-500 км. Характерны направления линеаментов всех систем с учетом региональных закономерностей.

Более детальная линеаментная сеть рассматривается по отдельным регионам континента. Так в восточной части Африки (полуостров Сомали) по дешифрированию КС масштаба 1:500 000 и мельче выделено 143 региональных (протяженностью 100-200 и более км) и 537 зональных линеаментов (протяженностью 15-100 км). В северной части Сомали по дешифрированию КС масштаба 1:200 000-1:100 000 выделено 523 региональных (протяженностью 100-200 и более км) и 537 локальных линеаментов (протяженностью 5-15 и менее км), (рис. 22) [20, 23].

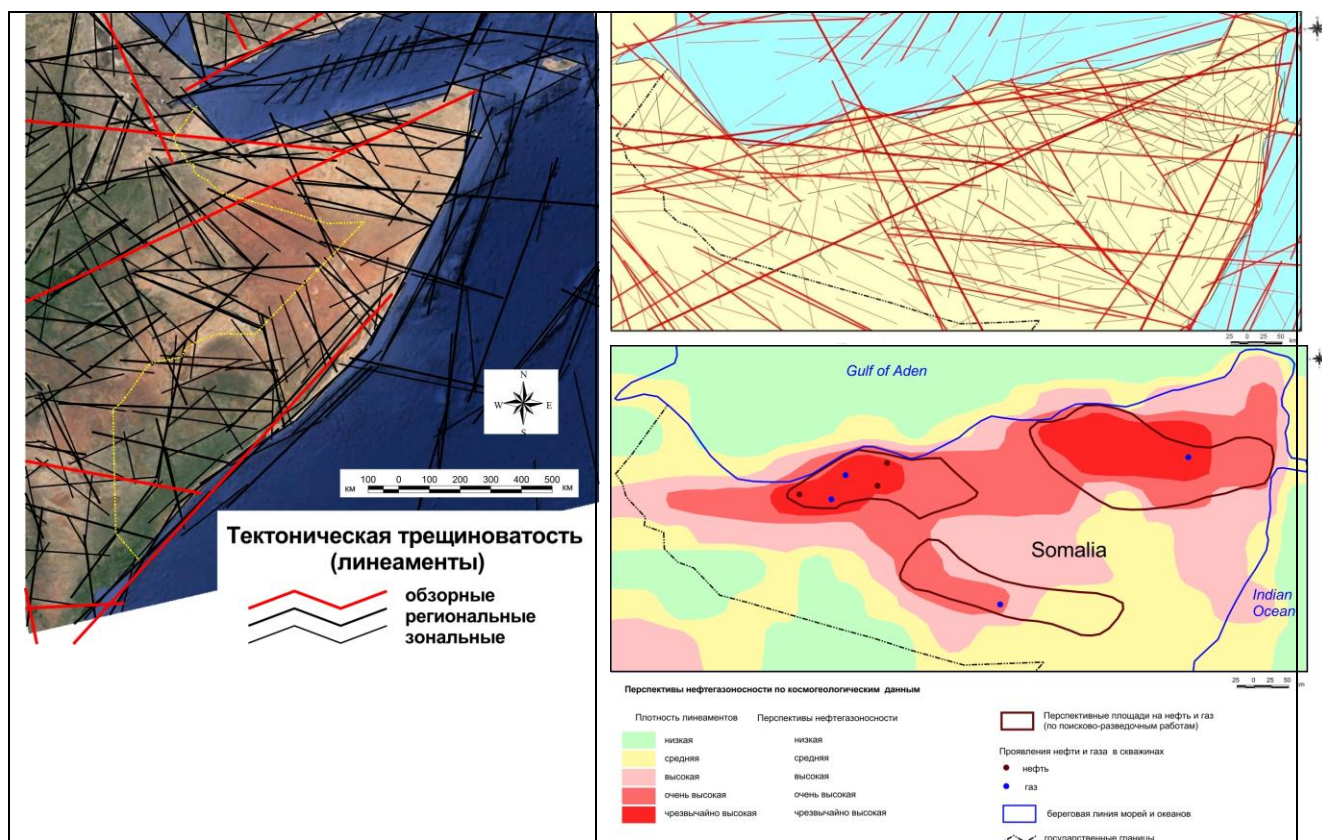


Рис. 22. Карты линеаментных полей полуострова Сомали [23]

Линеаментно-геодинамический анализ. На основе анализа плотности линеаментов геодинамическая активность распределяется по площади континента следующим образом. Поля с низкой и средней геодинамической активностью преобладают в Западной и Центральной Африке, при этом первые распространены локально. Поля с повышенной геодинамической активностью характерны для любых регионов Африки, распространены, как регионально, так и локально. Поля с высокой и очень высокой геодинамической активностью регионально преобладают в Северной и Южной и особенно – Восточной Африке и распространены локально в других частях континента.

Особенно крупные поля – региональные геоактивные зоны с очень высокой геодинамической активностью, очень высокой тектонической трещиноватостью сконцентрированы в Северо-Западной Африке (Атласс), Северо-Восточной Африке (устье Нила), Южной Африке (Калахари), Восточной Африке (Восточно-Африканская рифтовая система, Сомали, Мадагаскар) (рис. 21).

Ландшафтно-геодинамический анализ. Наиболее крупные кольцевые объекты планетарного ранга (соответствующими территориям континентов или их крупнейших частей), дешифрируемых на МДЗ в масштабе 1:100 000 000 и мельче, можно считать надпорядковыми кольцевыми структурами.

На КС масштаба 1:50 000 000 (континентальный уровень) достаточно отчетливо дешифрируются и картируются 7 крупных кольцевых структур (названных нами морфоструктурно-геодинамическими ландшафтными аномалиями или МГЛА I порядка) (рис. 20).

Форма их округлая или оваловидная, с линейными размерами по длинной оси 1,5-2,2 тыс. км, по короткой оси 1-1,8 тыс. км.

- 1) Северо-Западно-Африканская (Таудени) МГЛА (1,5 х 1,3 тыс. км);
- 2) Западно-Африканская МГЛА (Нигерийская) (2,0 х 1,3 тыс. км);
- 3) Северо-Восточно-Африканская (Сахаро-Восточно-Средиземноморская) МГЛА (2,2 х 1,6 тыс. км);
- 4) Центрально-Африканская (Конго) МГЛА (2,0 х 1,8 тыс. км);
- 5) Центрально-Восточно-Африканская (Виктория – Танганьика) МГЛА (1,3 х 1,3 тыс. км);
- 6) Восточно-Африканская (Сомали) МГЛА (1,2 х 1,0 тыс. км);
- 7) Южно-Африканская (Калахари) МГЛА (1,5 х 1,5 тыс. км).

На КС масштаба 1:10 000 000 – 1:25 000 000 дешифрируются и картируются 17 МГЛА II порядка (с преобладающими размерами 800-1000 км) и 60 МГЛА III порядка (с преобладающими размерами от 300-400 до 800 км). Часть из них осложняет МГЛА I порядка, располагаясь в их пределах, другие располагаются изолированно.

Линеаментно-блоковый анализ по планетарной трещиноватости. Линеаменты планетарного и континентального рангов являются главными тектоническими границами крупнейших блоковых структур Африканского континента. Время их заложения предположительно AR-PR одновременно или несколько позже с образованием континентальных плит. Линеаменты регионально-континентального и континентально-регионального уровней, предположительно, были образованы в раннем PZ. Региональные, зональные, локальные вероятно были заложены в позднем PZ, активизированы в Mz и KZ. Последние – «разбивают» крупные блоковые структуры на более мелкие.

Линеаментно-блоковое континентального уровня (плита – геоблок – мегаблок) районирование представляется следующим образом (рис. 23).

Континент разделен субширотным линеаментом №5 планетарного ранга на две части – северную и южную Африку. Северной части соответствует большая часть Северо-Африканской (Сахарской или Сахаро-Аравийской) плиты. Она характеризуется преобладающей мощностью термальной литосферы в интервалах 160-240 км. Южную часть Африканской платформы также можно условно считать плитой, большую ее часть занимают древние кратоны, характеризуется преобладающей мощностью термальной литосферы Африки в интервалах 120-200 км (согласно рис. 6). Северо-Африканская плита включает 3 геоблока: Западно-Африканский, Северо-Африканский и Северо-Восточно-Африканский. Южно-Африканская плита включает 5 геоблоков: Западно-Центрально-Африканский, Восточно-Африканский, Южно-Центрально-Африканский, Южно-Африканский и Мадагаскарский. Каждый из геоблоков разделен на несколько мегаблоков, всего выделено 18 мегаблоков. Более подробное линеаментно-блоковое районирование (мегаблок – макроблок – ме-

зоблок – блоки разного порядка) проводится на региональном и более детальных уровнях.

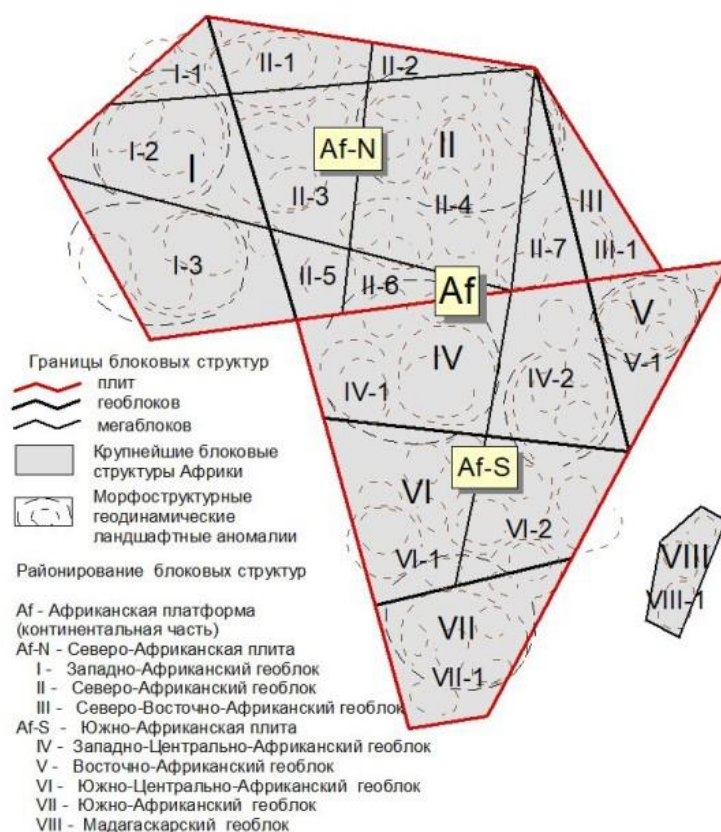


Рис. 23. Линеаментно-блоковое строение Африки

Крупным блокам – геоблокам и мегаблокам соответствуют крупные кольцевые структуры – морфоструктурно-геодинамические ландшафтные аномалии) Африки.

Обсуждение результатов

Необходимо отметить и пояснить некоторые моменты, как обосновывающие результаты, так и сами результаты.

В виду длительного изучения геологии огромной территории Африки многими учеными и исследователями, взгляды и представления которых со временем менялись, а карты геологического содержания, составленные разными авторами (и даже одним автором в разное время) противоречат друг другу; это свидетельствует о не достаточной и даже еще слабой изученности геологии Африки в целом.

Основной результат исследований в статье – это отражение планетарной трещиноватости и некоторых ее закономерностей по дешифрированию на современных космических снимках с использованием современных ГИС-технологий. Как отмечено выше, существуют разные понимания о планетарной трещиноватости от мельчайших размеров (фиксируемых на мелких обнажениях) до гигантских. В нашем понимании планетарная трещиноватость – это тектонические трещины (или тектонические линеаменты; мегатрещины) крупных

размеров, вызванные тектоническими движениями и возможно – ротацией Земли. Автор не претендует на истину по распределению планетарной трещиноватости на Африканском континенте, но считает, что основные закономерности по направлениям главных тектонических линейментов; повышенной их плотности в разных частях континента, указывающей на повышенную геодинамическую активность; выделение кольцевых морфоструктурно-геодинамических ландшафтных аномалий – предварительно установленными. Однако необходимо детализировать исследования для установления более точных границ объектов, что выполняется в более крупном масштабе (от 1:2 500 000 и детальнее) по отдельным регионам.

Сопоставление схемы крупных кольцевых структур – МГЛА Африканского континента с картами структурно-геологических условий показывает, что они во многих случаях пространственно совпадают с различными геологическими структурами, или располагаются в их пределах, а иногда имеют близкие очертания с ними, т.е. фактически отражают эти структуры. МГЛА I порядка отражают крупнейшие тектонические структуры Африканской платформы – Западно-Африканский кратон (МГЛА-1, 2), Сахарский мегакратон (МГЛА-3), кратон Конго (МГЛА-4), кратон Калахари (МГЛА-7), Восточно-Африканский ороген (МГЛА-5, 6). МГЛА II и III порядков отражают крупные тектонические структуры – синеклизы, орогены, выступы фундамента и др. (рис. 8, 9). Хорошо выражены МГЛА I-II порядков сейсмотектонические особенности (рис. 5). Отражают МГЛА, особенно III порядка геоморфологические (особенно – рельеф) и ландшафтные особенности, но это имеет подчиненное значение, перед геологическими и проявляется в более локальных структурах (рис. 24).

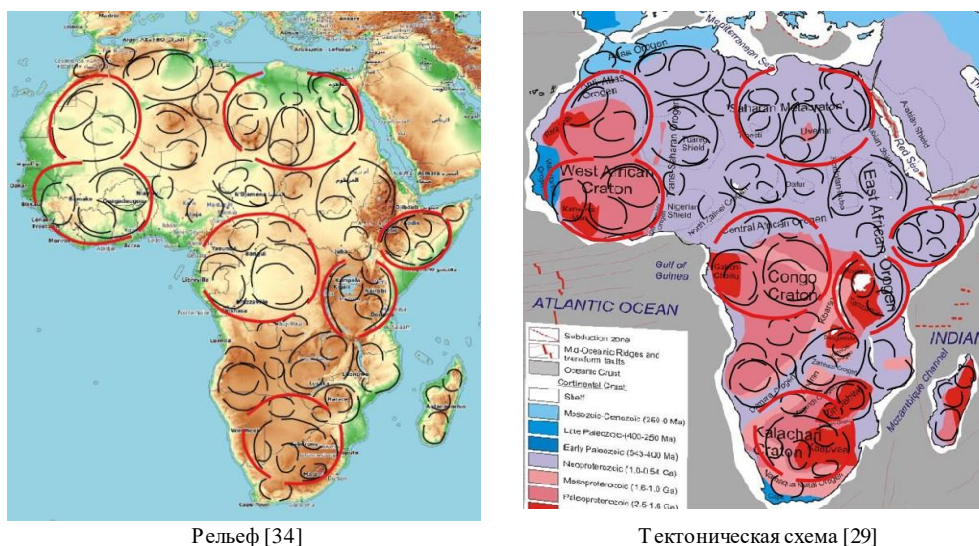
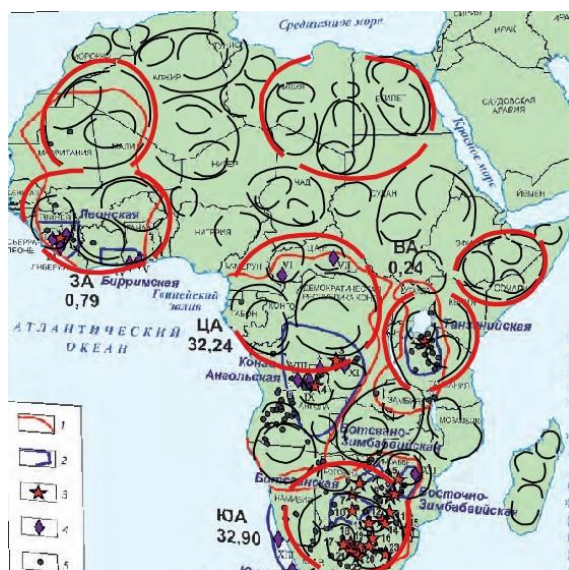


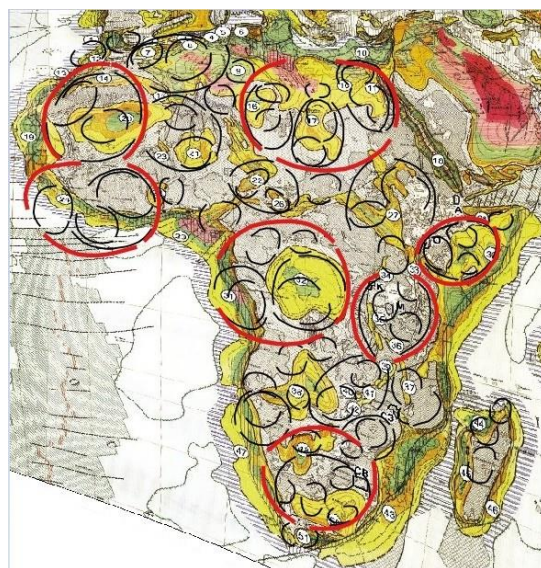
Рис. 24. Сопоставление морфоструктурно-геодинамических ландшафтных аномалий с геоморфологическими и тектоническими условиями

Достаточно уверенно прослеживаются минерагенические закономерности с учетом результатов проведенного анализа. Отмечается связь крупных ландшафтных аномалий – МГЛА с перспективными зонами полезных ископаемых,

особенно по алмазам и углеводородам (рис. 25). Во многих МГЛА III порядка на севере и западе Африки установлены основные месторождения нефти и газа.



Перспективные площади Африканской провинции [18]



Нефтегазоносные и потенциально нефтегазоносные бассейны [17]

Рис. 25. Сопоставление морфоструктурно-геодинамических ландшафтных аномалий с перспективными алмазонасными и нефтегазонасными районами Африки

Заключение

На основе структурного дешифрирования цифровых космических снимков рассмотрена планетарная трещиноватость и линеamentная сеть Африканского континента. По дешифрированию масштабов 1:100 000 000 – 1:5 000 000 выделено: 7 планетарно-континентальных, 11 континентальных, 132 регионально-континентальных, 512 континентально-региональных, 1350 региональных линеamentов. Крупнейшие линеamentы «разбивают» Африканскую платформу на 2 плиты, 8 геоблоков, 18 мегаблоков,

На границах крупных и других блоковых структур наблюдается повышенная геодинамическая активность. Закартированы региональные геодинамические активные зоны, обусловленные повышенной тектонической трещиноватостью и высокой плотностью линеаментов. Выделены крупные кольцевые структуры – морфоструктурно-геодинамические ландшафтные аномалии. Установлены 7 МГЛА I порядка, 17 МГЛА II порядка и 60 МГЛА III порядка. Отмечается связь крупных МГЛА с перспективными зонами полезных ископаемых, особенно по алмазам и углеводородам.

Использование современных ГИС-технологий (особенно в программе QGIS) для дешифрирования и анализа планетарной тектонической трещиноватости дает огромные возможности для установления новых региональных геодинамических закономерностей и по-новому взглянуть на ранние представления о строении и геодинамике планеты.

Библиографический список

1. Геология и полезные ископаемые Африки / И.В. Высоцкий, Я.Г. Кац, Г.П. Леонов, Е.Е. Милановский, В.П. Поникаров, В.Е. Хаин (отв. ред.). М.: Недра, 1973. 544 с.
2. Ероменко В.Я. Геодинамика платформенных областей и дистанционные методы ее изучения. 2-е изд., доп. С.Пб.: ВСЕГЕИ, 1999. 201 с.
3. Кац Я.Г., Рябухин А.Г., Трофимов Д.М. Космические методы в геологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 246 с.
4. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
5. Колотухина С.Е., Первухина А.Е., Рожанец А.В. Геология месторождений редких элементов Африки и их экономическое значение. М.: Наука, 1964. 304 с.
6. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
7. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18-32.
8. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
9. Копылов И. С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Пермь, 2019. 131 с.
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. Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-1. С. 82-86.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
13. 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.
14. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибраминов Р.Г. Новейшая тектоника и современная геодинамика Западного Казахстана на Жиянском месторождении калийных солей // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
15. Космическая информация в геологии / Коллектив авторов. Ред.: А.В. Пейве, А.В. Сидоренко, А.Л. Янишин и др. М.: Наука, 1983. 536 с.
16. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. 136 с.
17. Моделевский М.С., Моделевский М.М. Общая оценка нефтегазового потенциала Африканского континента // Геология и геофизика. Т. 57, № 9. 2016. С. 1707-1714.
18. Устинов В.Н., Голубев Ю.К., Загайный А.К., Кукуй И.М., Микоев И.И., Лобкова Л.П., Антонов С.А., Конкин В.Д. Анализ перспектив алмазности Африканской провинции в связи с развитием минерально-сырьевой базы Российской Федерации за рубежом // Отечественная геология. 2017. № 6. С. 52-66.
19. Физико-географический атлас мира / под ред. акад. И.П. Герасимова. М.: Издание АН СССР и Главного управления геодезии и картографии ГТК СССР, 1964.
20. Ali M.D., Kopylov I.S. Lineament-geodynamic analysis of the republic of Somalia for oil and gas search // Aerospace methods in geology. Perm, 2021. Pp. 204-216.
21. Duncan Macgregor. History of the development of the East African Rift System: A series of interpreted maps through time. Journal of African Earth Sciences 101 (2015) 232–252.

22. Kopylov I.S. Estimation of geodynamic activity and its effect on mining-geological conditions and flooding of potassium mines // *Mine Water: Technological and Environmental Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference. Perm State University, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of RAS. 2019. Pp. 16-22.*
23. Kopylov I.S., Ali M.D. Aerospace analysis of East Africa and Northern Somalia (for geodynamic assessment and searching for oil and gas) // *Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherkinskie reading. Perm, 2021. Pp. 406-418.*
24. 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.*
25. Kopylov I.S., Kovin O.N., Nahesbik S. Regional engineering-aerospace analysis for the design of large linear structures of Western China // *Aerospace methods in geology. Perm, 2019. 55-62 pp.*
26. Skobelev S.F., Govorova N.N., Lukina N.V., Hanon M., Klerkx J., Kazmin V.G. Active faults in Africa: a review. *Tectonophysics* 380 (2004) 131-137. doi:10.1016/j.tecto.2003.10.016.
27. The lithospheric architecture of Africa: Seismic tomography, mantle petrology, and tectonic evolution / G.C.Begg, W.L.Griffin, L.M.Natapov et al // *Geosphere. 2009. Vol. 5. № 1. Pp. 23–50.26.*
28. The Seismotectonic Map of Africa / Mustapha Meghraoui (Coordinator), Paulina Amponsah, Abdelhakim Ayadi, Atalay Ayele, Bekoa Ateba, Abdunnur Bensuleman, Damien Delvaux, Mohamed El Gabry, Rui-Manuel Fernandes, Vunganai Midzi, Magda Roos, Youssef Timoulali. DOI:10.18814/epiiugs/2016/v39i1/89232. Website: <http://eost.u-strasbg.fr/igcp601/index.html>.
29. Van Hinsbergen, D. J. J., Buiter, S. J. H., Torsvik, T. H., Gaina, C. & Webb, S. J. (eds) *The formation and evolution of Africa from the Archaean to Present: introduction. Geological Society, London, Special Publications, 357, 1–8. DOI: 10.1144/SP357.1 0305-8719/11/\$15.00 # The Geological Society of London 2011.*
30. <https://africa.academic.ru/5/Африка>
31. <https://bigenc.ru/c/afrika-0897b5>. Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия».
32. <http://bigkarta.ru/map-afrika-fiz.htm> (дата обращения 30.12.24)
33. <http://www.mining-enc.ru/a/afrika/>.
34. <https://opentopomap.org/#map=2/-3.7/2.8>
35. <https://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal/>
36. <https://www.africageologicalatlas.com/tectonic-elements>

АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛАНДШАФТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА КАМСКОМ СВОДЕ

Проведен аэрокосмогеологический анализ в Приуралье на территории Камского свода с целью уточнение геологического и тектонического строения территории для постановки нефтепоисковых работ. Выполнен ландшафтно-геодинамический анализ для поисков нефтегазоперспективных структур. Установлены и описаны 562 ландшафтных аномалий, отображающих предполагаемые тектоногенные поднятия брахиантисклиналиного типа. Рекомендованы участки для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями.

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

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

AEROSPACE AND GEOLOGICAL OIL AND GAS PROSPECTING RESEARCH AND LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS ON THE KAMSKY ANTECLISE

An aerospace-geological analysis was carried out in the Ural region on the territory of the Kamskiy vault in order to clarify the geological and tectonic structure of the territory for setting up oil exploration. A landscape-geodynamic analysis was carried out to search for oil and gas prospective structures. 562 landscape anomalies have been identified and described, reflecting the supposed tectonic uplifts of the brachian-anticlinal type. Sites are recommended for carrying out detailed seismic work in combination with gravimetric and geochemical surveys and detailed aerospace geological studies.

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

Введение

Камский свод – структура I порядка, располагается на восточной окраине Восточно-Европейской платформы в пределах Волго-Камской антеклизы. Большая часть располагается в северо-западной части Пермского края.

В южной половине Камского свода установлены три субмеридионально вытянутых вала (Кочевский, Кудымкарский и Воскресенский), представляю-

щих собой системы структурных мысов, раскрывающихся в северной направлении.

По карте термальной мощности литосферы (которая составляет 200-240 км) территория относится высокоперспективным землям [7, 8]. Характеризуется различной геодинамической активностью с выраженными региональными аномалиями геодинамического поля, которые находят отражение в современных геодинамических ландшафтах и неотектонических построениях (картах расчлененности рельефа, мегатрещиноватости, неотектонической активности и др.) [5, 14, 15, 36, 39, 43, 44], гидрогеологических и геохимических аномалиях [17, 22, 32, 40, 41, 48, 49].

По нефтегазогеологическому районированию [1] находится в пределах Верхнекамской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. По нефтегазогеологическому районированию [41] относится к нефтегазоносной области северо-западного позднедевонского палеошельфа, относится к Камскому потенциальному району слабо изученных земель, входит в Кудымкарско-Гайнинскую потенциальную систему зон. Система зон нефтегазонакопления занимает почти всю территорию Камского свода. Для этой территории характерно последовательное и весьма существенное сокращение мощности верхнедевонских, нижне- и среднекаменноугольных отложений от юго-восточных границ к северо-западу. В палеоплане позднефранского времени на рассматриваемой территории существовал Пономаревский прогиб Камско-Вятской системы, обрамленный массивами (палеоплато), в краевых частях которых, очевидно, развивались позднефранские биогенные сооружения. В отдельных частях с ними, возможно, связаны залежи нефти. Залежи нефти в ловушках литологического и стратиграфического типов предполагаются в полосе выклинивания отложений нижнего карбона и верхнего девона.

Месторождений нефти и газа здесь пока не установлено. Промышленная нефтегазоносность зоны выявлена на Долдинской и Дружнинской структурах в башкирских, тульских, турнейских и фаменских отложениях. Непромышленная залежь нефти установлена в верейских (Южно-Долдинская), башкирских отложениях (Усть-Козыревская и Южно-Долдинская), в терригенном девоне (Кудымкарская площадь, тиманский горизонт). Нефте- и битумопроявления отмечены по всему разрезу.

Территория Камского свода недостаточно изучена геолого-геофизическими методами (проведены региональные сейсмические и гравиметрические работы и среднемасштабная аэромагнитная съемка) и слабо – глубоким бурением. Выявлено или подготовлено к бурению 11 структур.

Изученность АКГИ

Аэрокосмогеологическими исследованиями (АКГИ) большая часть Камского свода изучена неравномерно – от слабо изученных до хорошо изученных

на отдельных участках. Схемы изученности приведены в наших работах [10, 16, 31, 33, 37, 38], здесь не приводятся.

Западная и северо-западная части Камского свода охвачена только региональными АКГИ масштаба 1:500 000 (Шитин и др., 1979ф) [50]. Дешифрированием мелкомасштабных (1:200 000) аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС) были выделены крупные изометричные по форме кольцевые фотоаномалии размером в 10-30 км в поперечнике, отождествляемые с неотектоническими поднятиями и вытянутые субмеридиональные аномалии длиной порядка 20-60 км при ширине в 2-10 км, которые отождествляются с неотектоническими валообразными структурами. Предполагается соответствие данных неотектонических структур при унаследованном неотектоническом развитии территории поднятиям и валам в осадочном чехле. Также, отмечено большое количество локальных ландшафтных аномалий (ЛА) размером по длинной оси от 2-3 до 8-11 км преимущественно СВ и субмеридионального направления, которые часто образуют линейно вытянутые цепи или компактные группы изометрической или округлой формы. Большинство из них находится в контурах кольцевых фотоаномалий и цепей. Данные построения в настоящее время считаются схематичными, как правило, переинтерпретируются более поздними и детальными работами, локальные ЛА выделенные мелкомасштабным КС и АФС обычно при более детальном исследовании серьезно изменяются [9, 42].

В 2008-2010 гг. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком проведено обобщение и анализ всех данных АКГИ на территории Пермского края в т.ч. – на Камском своде. При этом выполнено региональное дешифрирование (доизучение территории по АКГИ) на основе современных космических снимков (КС) и составлена аэрокосмогеологическая карта территории Пермского края масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) [11] (рис. 1). Нумерация ЛА в тексте приводится в соответствии с этой картой. Кроме того, в процессе этих работ и более ранних (Копылов и др., 2004ф, 2006ф) были заложены основы системного неотектонического районирования с выделением неотектонических блоковых структур Приуралья и Урала и оценки их геодинамической активности [13, 20, 21, 27-30].

Северо-восточная и юго-западная части Камском свода охвачена регионально-зональными (масштаба 1:200 000) АКГИ, восточная часть – зональными (масштаба 1:100 000) АКГИ, центрально-восточная часть – крупномасштабными (1:50 000) АКГИ. Всего на Камском своде методами АКГИ закартировано и описано 415 ЛА (кроме намеченных ЛА при региональных АКГИ и 147 ЛА на Пономаревской площади) (рис. 2).

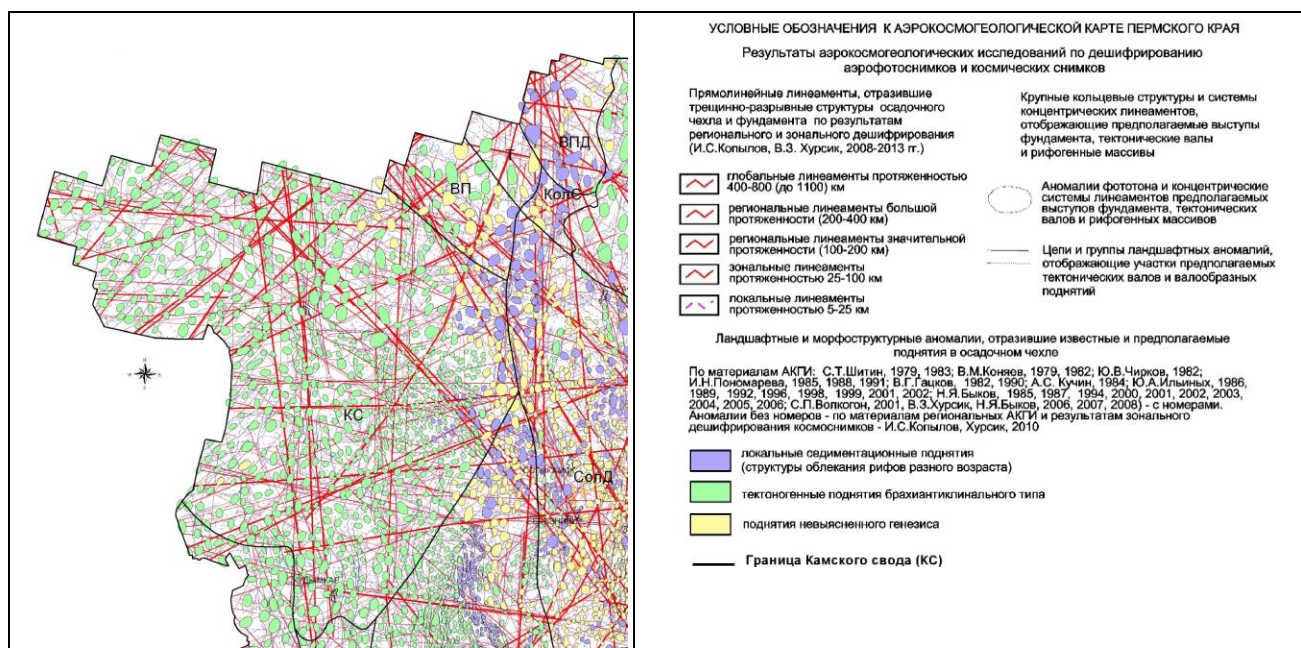


Рис. 1. Фрагмент аэрокосмогеологической карты Пермского края в пределах Камского свода [19]

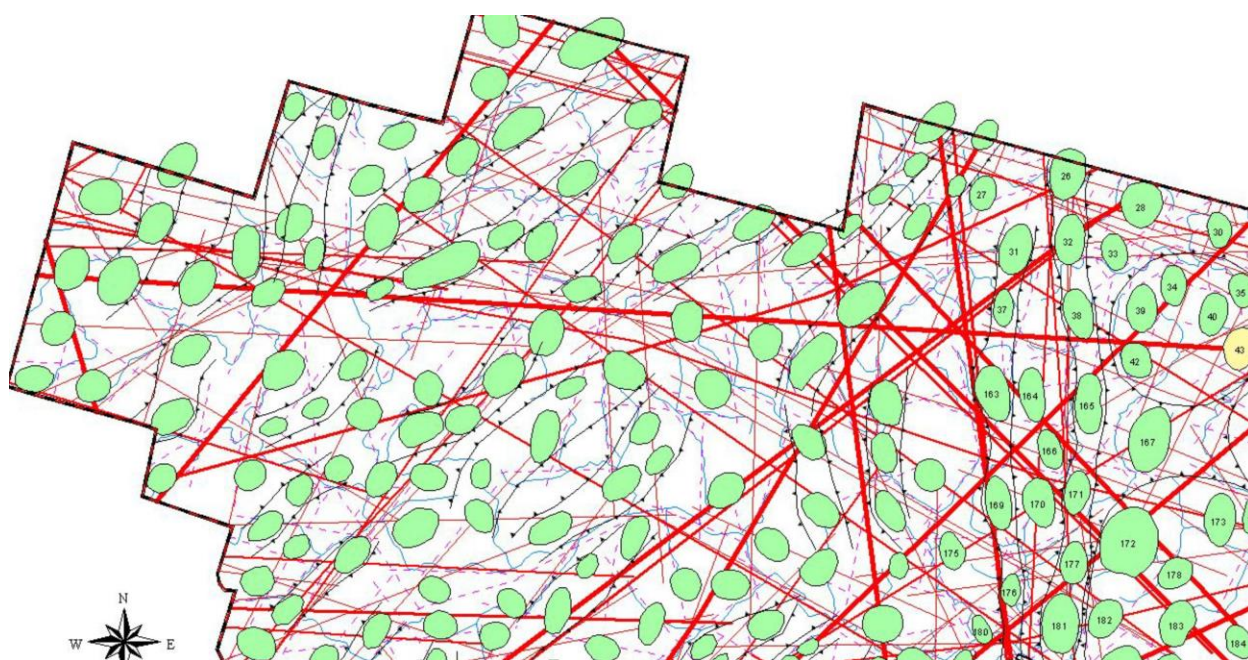


Рис. 2. Фрагмент аэрокосмогеологической карты в северной части Камского свода [19]

Северо-восточная часть Камского свода изучена регионально-зональными АКГИ на Гайнинской и Пильвенской площадях, в которых были также переинтерпретированы материалы более ранних зональных АКГИ. Тектоническое строение Камского свода на этой территории бурением и сейсморазведкой изучено крайне слабо и не позволяет с достаточной степенью уверенности отождествлять выделенные ЛА с определённым типом структур осадочного чехла.

Ландшафтно-геодинамический анализ

Гайнинская площадь

В юго-западном углу Гайнинской площади [4] (рис. 3) выделена цепь (I) локальных ЛА, протянувшаяся в ССЗ (субмеридиональном) направлении на расстояние около 20 км.

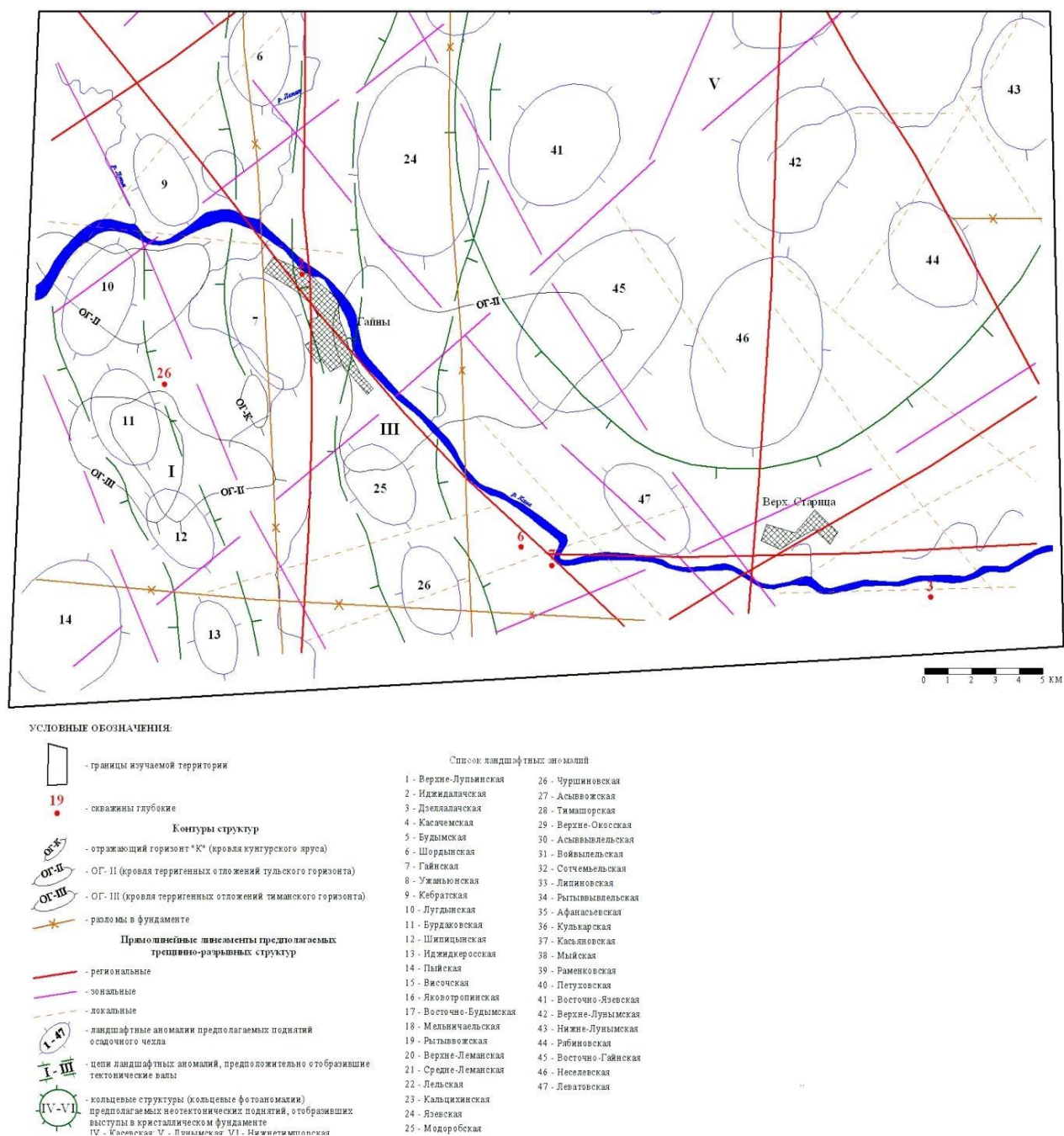


Рис. 3. Карта ландшафтных аномалий Гайнинской площади (Хурсик, Быков, 2006ф) [4]

Цепь аномалий уверенно контролируется двумя зонального ранга прямолинейными линеаментами ССЗ простирания, располагаясь в промежутке между ними. Цепь образована ЛА Лугдинской (185), Бурдаковской (186), Шипицын-

ской (192), и Иджидкеросской (194). Аномалии близки по своим параметрам, имеют форму овалов с размерами 3,0-5,0 км по длинной оси и 1,8-2,8 км по короткой. Аномалии, кроме Лугдынской, ориентированы в ССЗ направлении, Лугдынская ЛА ориентирована на ССВ. Лугдынская ЛА в плане располагается над приподнятым участком, намеченным сейсморазведкой по кровле терригенных отложений тульского горизонта (ОГ II). Приподнятый участок имеет неправильную форму, простирание субширотное размеры 7,0 x 4,0 км. Аномалия расположена в его средней части.

Бурдаковская ЛА почти полностью, а Шипицынская ЛА своим северным участком заходят в границы поднятия, выделенного сейсморазведкой по кровлям терригенных отложений тиманского (ОГ III) и тульского (ОГ II) горизонтов. Предполагается, что эти ЛА отобразили в ландшафте земной поверхности погребённые тектоногенные структуры брахиантиклинального типа. Цепь ЛА предположительно отобразила структуру в толще палеозоя типа тектонического вала.

Верхне-Лупьинская (27) ЛА закартирована в северо-западном углу территории. Размер 4,7 x 3,5 км, форма близка к изометричной. Ужаньонская (175) ЛА размером 5,0 x 3,7 км и Пыйская (193) ЛА размером 6,0 x 4,7 км отдешифрированы соответственно на западной границе и в юго-западном углу Гайнинской площади. Форма аномалий близка к изометричной. Аномалии отразили структуры с не выясненным характером на настоящей стадии геолого-геофизической изученности территории. В долине р. Кама у н.п. Кебраты выделена Кебратская (180) ЛА овальной формы с размерами 4,0 x 2,0 км, ориентирована в ССЗ направлении. Предполагается отображение аномалией тектонического брахиантиклинального поднятия.

Вдоль западной границы Гайнинской площади прослежена на расстояние 65 км меридиональная цепь ЛА II. Восточный борт цепи чётко контролируется меридиональным прямолинейным линеamentом региональной протяжённости. Цепь II включает Иджидалачскую (31), Дзёляалачскую (37), Косачемскую (163), Будымскую (169), Шордынскую (176) и Гайнскую (187) ЛА. Инджидалачская ЛА размером 6,8 x 4,0 км и Косачемская ЛА размером 7,4 x 4,4 км имеют форму расширенных овалов, ориентированных соответственно субмеридионально и на ССЗ. Дзёляалачская аномалия правильной овальной формы размером 5,0 x 2,8 км ориентирована меридионально. Будымская ЛА размером 7,0 x 3,6 км ориентирована субмеридионально, Шордынская ЛА размером 4,2 x 2,5 км меридиональной ориентировки и Гайнская ЛА размером 4,9 x 2,6 км ориентирована в ССЗ направлении, форма их овальная. Предполагается, что эти аномалии отразили в ландшафте земной поверхности тектонические поднятия либо брахиантиклинального типа, либо структурные мысы, раскрытые к северу, осложнившие предполагаемый тектонический вал вследствие ундуляции его шарнира. Следует отметить, что к югу по простиранию цепи ландшафтных аномалий II в южной части Камского свода выделен меридиональный Кочевский вал.

Восточнее прослежена меридиональная цепь ЛА III, которая протянулась на расстояние более 80 км. Включает Мельничаёвскую (26), Рытыввожскую (32), Верхне-Леманскую (38), Средне-Леманскую (165), Лёльскую (171), Кальцихинскую (177), Язевскую (181), Модоробскую (188) и Чуршиновскую (195) ЛА. Все аномалии имеют форму овалов, простирание большинства из них меридиональное и только у Верхне-Леманской, Модоробской и Чуршиновской аномалий простирание ССЗ. Модоробская ЛА (размер 3,8 x 2,5 км) и Чуршиновская ЛА (размер 3,9 x 2,4 км) абсолютно идентичны по своим морфометрическим показателям и геоиндикационным признакам. Северной периклиналью Модоробская ЛА заходит с юга в крупную приподнятую зону, выделенную сейсморазведкой по кровле терригенных отложений тульского горизонта (ОГ II). Приподнятая зона по ОГ II имеет неправильную форму и широтное простирание, размер её порядка 12,0 км x 5,0-8,0 км. Другие морфоаномалии крупнее, размером 6-7 x 4 км. Самая крупная – Язевская (181) ЛА размером 8,0 x 5,1 км выделена на участке уплотнённого интенсивно заболоченного днища левобережья долины р. Камы, образующего современную эрозионно-тектоническую депрессию. Предполагается, что ЛА, образующие цепь III, возможно отобразили брахиантиклинальные тектонические поднятия или структурные мысы, осложняющие предполагаемый тектонический вал вследствие ундуляции его шарнира. На простирание цепи III в южной части Камского свода выделен меридиональный Кудымкарский вал.

В промежутке между цепями аномалий II и III отдешифрированы Височьская (164), Яковотропинская (164) и Восточно-Будымская (170) ЛА. Восточно-Будымская ЛА имеет форму неправильного овала с расширением в северной части аномалии. Размер аномалии 6,8 x 4,0 км, ориентировка по длинной оси субмеридиональная с некоторым отклонением её к западу. Морфологические и морфометрические характеристики ее отвечают аномалиям, отображающим структуры, обусловленные рифогенными образованиями. Яковотропинская (166) ЛА овальной формы размером 5,5 x 3,0 км с ССЗ простиранием и Височьская (164) ЛА, имеющая форму вытянутого в субмеридиональном направлении овала размером 7,2 x 3,4 км, предположительно отображают брахиантиклинальные тектоногенные поднятия.

На северо-востоке Гайнинской площади отдешифрированы Асыввожская (28), Тимашорская (33) и Верхне-Окосская (30) ЛА. Асыввожская (28) ЛА отличается своей изометричной, округлой формой размером около 6 км в поперечнике, характерной для аномалий, отобразивших структуры облекания погребённых рифогенных образований. Тимашорская ЛА размером 5,0 x 3,3 км и Верхне-Окосская ЛА размером 5,0 x 3,0 км имеют овальную форму и ориентированы в ССЗ направлении, предположительно отразили тектонические поднятия брахиантиклинального характера, не исключается возможное отображение ими и структур, связанных с верхнедевонскими рифами.

Леватовская (191) ЛА выделена в эрозионно-тектонической современной депрессии на левобережье р. Камы. Аномалия имеет правильную овальную форму, размер её 4,5 x 2,9 км, ориентирована в СЗ направлении. Природа структуры в осадочном чехле, отображённая Леватовской аномалией, остаётся

невыясненной. Кулькарская (167) ЛА имеет форму крупного расширенного овала с размерами 9,0 x 5,3 км, ориентированного в меридиональном направлении. Предполагается отображение брахиантиклинального тектонического поднятия.

На мелкомасштабных (1: 1 000 000 и 1: 500 000) КС отдешифрированы крупные кольцевые структуры (фотоаномалии) Касевская, Лунымская, Тит-Ёльская, Тимшорская, Веселовская (Шитин и др., 1979ф) [50]. Предполагается, что ими отображена структура поверхности кристаллического фундамента: возможные выступы в фундаменте, которым соответствуют неотектонические поднятия в осадочном чехле. Отмеченные кольцевые фотоаномалии по геофизическим данным располагаются на наклонённой к востоку структурной террасе меридионального простирания, ограниченной изогипсами минус 2300 м и минус 2500 м, и шириной порядка 30 км, намечающейся по поверхности кристаллического фундамента. Эти кольцевые структуры осложнены компактными группами ЛА, которые можно рассматривать как дочерние аномалии по отношению к материнской кольцевой структуре.

Касевская кольцевая структура (фотоаномалия) имеет изометричную до округлой форму с размером порядка 21 км в поперечнике, охватывает Асывыввлёльскую (34) ЛА, Липиновскую (35) ЛА, Афанасьевскую (43) ЛА, Рытывыввлёльскую (42) ЛА и Войвыввлёльскую (39) ЛА, кольцеобразно расположенные по её периферии, и Сотчемьёлскую (40) ЛА расположенную в центральной части кольцевой фотоаномалии. Все перечисленные аномалии имеют форму расширенных овалов (близкую к изометричной). Расположенные по кольцу Рытывыввлёльская ЛА размером 5,0 x 4,0 км, простирание северо-западное, меридиональная Войвыввлёльская ЛА размером 6,0 x 4,0 км, субмеридиональная Асывыввлёльская ЛА размером 5,4 км x 3,4 км, Липановская ЛА размером 4,6 км x 3,3 км ССЗ простирания и изометричная Афанасьевская ЛА размером 6,0 x 5,0 км, близки по своим морфометрическим, морфологическим и геоиндикационным характеристикам. Сотчемьёлская аномалия размером 6,0 км x 3,7 км, ССЗ простирания.

Лунымская кольцевая структура (фотоаномалия) имеет форму близкую к изометричной, размер её 32 x 28 км, простирание субмеридиональное. Состоит из ЛА: Касьяновская (172), Мыйская (173), Раменковская (174), Нижне-Лунымская (179), Рябиновская (184), Неселевская (190), Восточно-Гайнская (189) и Восточно-Язевская (182). В центре Лунымской кольцевой фотоаномалии выделены Петуховская (178) и Верхне-Лунымская (183) ЛА. Касьяновская ЛА является самой крупной с размерами 9,0 x 8,0 км, форма изометричная. Мыйская ЛА имеет форму овала размером 7,0 км x 4,2 км, простирание длинной оси меридиональное, Раменковская ЛА имеет неправильную овальную форму, размер 5,1 x 3,7 км, ССЗ простирание. Нижне-Лунымская ЛА имеет форму овала, ориентирована меридионально. Восточно-Гайнская ЛА овальной формы размером 8,4 x 5,0 км СВ простирания, Неселевская ЛА меридиональная овальная размером 8,1 x 5,2 км. Южной половиной Восточно-Гайнская ЛА в плане располагается на восточной периклинали поднятия, намеченного сейсморазведкой по кровле терригенных отложений тульского (ОГ II) горизонта. Пе-

туховская и Восточно-Язевская аномалии имеют форму правильных овалов размером 5,1 х 4,0 км и 5,9 х 4,0 км соответственно, ориентированы в СВ направлении. Правильной овальной формы размером 4,6 х 3,2 км Рябиновская ЛА ориентирована по длинной оси на СЗ. Верхне-Лунымская ЛА имеет форму неправильного овала, размер её 6,2 км х 4,1 км, ориентировка ССВ.

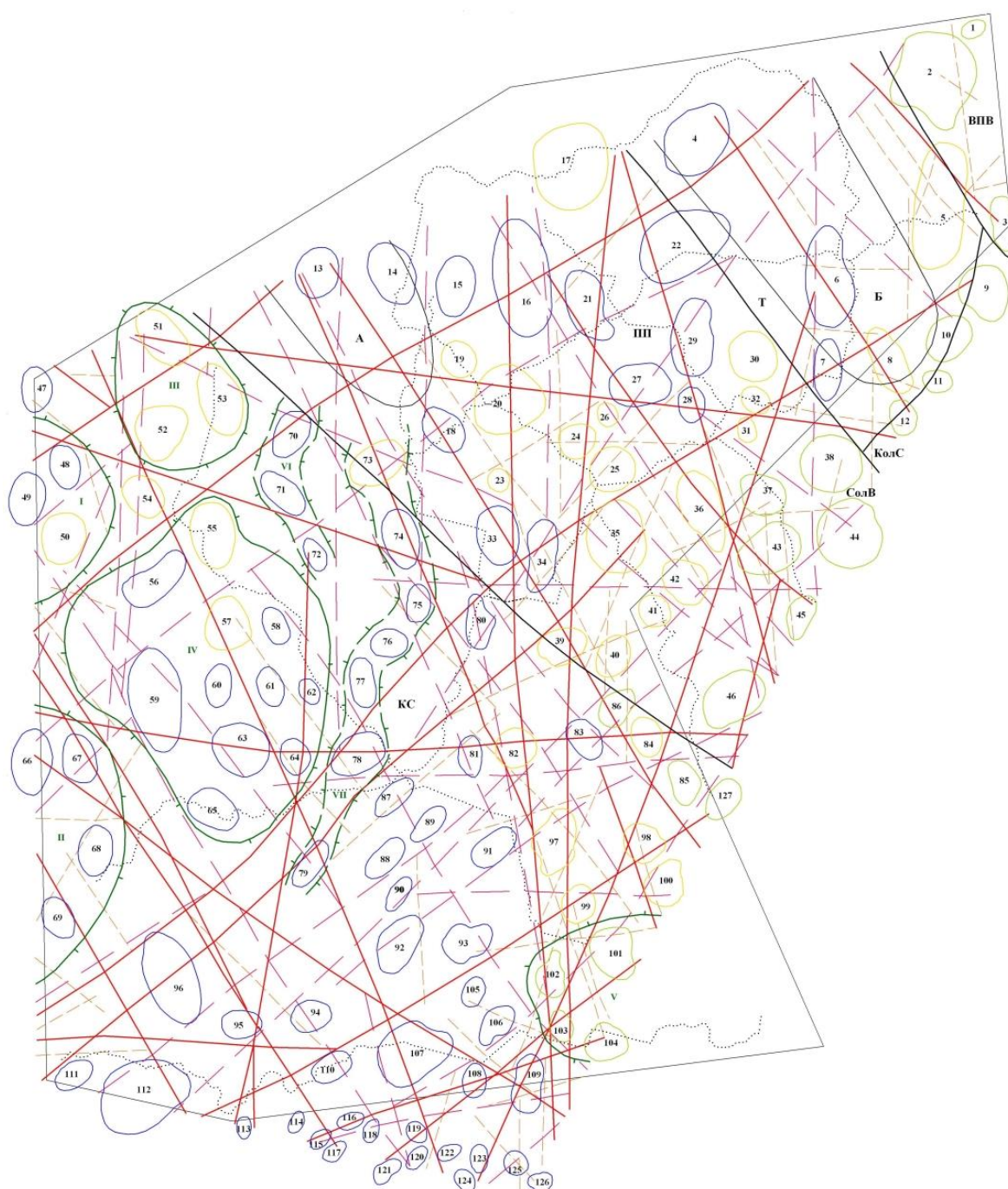
Пильвенская площадь

В северо-западном углу Пильвенской площади [47] на водораздельном пространстве между верховьями рек Южная Кельтма и Тимшор закартирована Тит-Ёльская кольцевая структура, размером 18х12 км, ССЗ направления, форма широкого овала, близкая к изометричной. Она осложнена тремя локальными ЛА: Микита-Ёльской (29), Восточно-Черновской (36) и Вурда-Ёльской (55). Микита-Ёльская и Вурда-Ёльская аномалии имеют форму правильных овалов размером 7,0х4,0 км и 7,5х4,5 км и ориентированы в СЗ направлении. Восточно-Черновская аномалия по форме близка к изометричной с размером порядка 5,5 км в поперечнике (рис. 4).

Южнее выделена Тимшорская структура (фотоаномалия), размером 38 х 28 км, она имеет форму широкого неправильного овала, ориентированного меридионально. Она осложнена компактной группой локальных ЛА: Чепечанская (68), Верхнее-Юговская (44), Южно-Чепечанская (198), Усть-Чепечанская (200), Юговская (168), Верхне-Алымская (199), Бельчиковская (201), Глубинная (210), Восточно-Алымская (209), Пернатовская (211), Савиноборская (218). Размеры аномалий изменяются в пределах от 3 х 2 км (Глубинная аномалия) до 11 х 6 км (Юговская аномалия). Форма большинства аномалий овальная, у Южно-Чепечанской и Восточно-Алымской близкая к изометричной. Ориентировка ССЗ, субмеридиональная и северо-западная, Верхне-Юговская аномалия ориентирована на северо-восток.

Вследствие весьма ограниченного геолого-геофизического материала отождествление локальных ЛА, осложняющих Касевскую, Лунымскую, Тит-Ёльскую и Тимшорскую кольцевые морфоструктуры, с определёнными объектами осадочного чехла представляется довольно затруднительным. Основываясь на результатах АКГИ, выполненных на более изученных площадях, ландшафтные аномалии предположительно отождествляются с малоамплитудными тектоническими брахиантиклинальными поднятиями платформенного типа.

Не исключается возможность отображения локальными ЛА Микита-Ёльская (29), Восточно-Черновская (36), Вурда-Ёльская (55), Афанасьевская (43), Чепечанская (68) и Южно-Чепечанская (198) структур, связанных с верхнедевонскими рифами или обусловленных их останцами. Морфометрические параметры, морфологические и геоиндикационные характеристики перечисленных аномалий близки для аномалий, выделенных над верхнедевонско-турнейскими рифами в Соликамской депрессии.



Условные обозначения:

- Пильвенская площадь
- границы тектонических элементов с карты фонда структур: КС - Камский свод, ПП - Предтиманский прогиб, Т - Тиман, ВПВ - Верхнепечорская впадина, КолС - Колвинская седловина, СолВ - Соликамская впадина, А - Кельтменский вал, Б - Ксенофонтовский вал
- линии гравиметрических профилей съемки 2006г.
- Прямолнейные линеаменты трещинно-разрывных структур
 - региональные, более 100 км
 - зональные, 25 - 100 км
 - локальные, менее 25 км
- Ландшафтные аномалии, предположительно отображенные:
 - структуры обложения верхнедевонских рифов
 - тектонические поднятия
 - поднятия различного генезиса
- 1-127 - номера ландшафтных аномалий
- Кольцевые аномалии фототона предполагаемых выступов фундамента и рифогенных массивов:
 - I - Касевская, II - Лунымская, III - Тит-Ельская, IV - Тимшорская, V - Веселовская
- цепи ландшафтных аномалий предполагаемых тектонических валов

Рис. 4. Карта ландшафтных аномалий Пильвенской площади (Хурсик, Быков, 2007ф) [47]

На северо-востоке Камского свода, на границе с Вычегодским прогибом выделены две цепи локальных ЛА (VI и VII), протянувшиеся в субмеридиональном направлении на расстояния порядка 20 км (цепь VI) и 50 км (цепь VII).

Цепь VI образована Еньвинской (60), Кунтегской (61) и Верхне-Чепецкой (69) ЛА. Аномалии имеют овальную форму с размерами по длинной оси 4–6 км, 2,0–3,5 км – по короткой. Еньвинская аномалия ориентирована в ССВ, две другие аномалии в северо-западном направлении.

Протяжённую цепь VII образуют Усть-Лопьинская (63), Южно-Кельтминская (70), Северо-Бызимская (204), Бызимская (203), Средне-Чепецкая (202), Нижне-Чепецкая (212) и Кумикушская (219) ЛА. Эта цепь приурочена к очень крупной Кельтминско-Косинской эрозионно-тектонической депрессии, протянувшейся в меридиональном направлении на расстояние более 200 км. Все аномалии имеют форму правильных овалов с размерами 4–6 км по длинной оси и 2–4 км по короткой, ориентировка аномалий северо-восточная и субмеридиональная, одна аномалия (Бызимская) имеет широтное простираие. На участке Усть-Лопьинской (63) ЛА ранее геофизическими работами выделена Тепляковская структура, в зоне Южно – Кельтминской (64) ЛА намечено поднятие, в районе Северобызимской (204) ЛА, Бызимской (203) ЛА и Средне-Чепецкой (202) ЛА были выделены Чепецкая и Верхне-Чепецкая структуры в палеозойском осадочном чехле.

Предполагается отображение локальными ЛА, образующими цепи VI и VII, погребённых тектоногенных структур брахиантиклинального типа или раскрытых к югу структурных выступов (структурных носов). Цепи ландшафтных аномалий предположительно отобразили структуры типа тектонических валов.

На южной границе Пильвенской площади исследований в её юго-восточной части закартированы локальные ЛА Верхне-Маякская (256), Западно-Светличная (258), Лебяжья (259), Светличная (260), Южно-Лебяжья (261), Полуденно-Светличная (264), Восточно-Светличная (265), Котосская (266), Западно-Бушасовская (270), Северодиковская (271), Бушасовская (272) и Средне-Пурузайская (273). Они имеют овальную форму, размеры по длинной оси составляют 2,5–3,8 км, ширина колеблется в пределах 1,6–2,5 км. Ландшафтные аномалии выделены на участке, не изученном сейсморазведкой и структурным бурением. Предполагается отображение аномалиями 256, 258, 259, 260, 261, 264, 265, 266, 267, 269, 270, 271, 272, 273 малоамплитудных тектоногенных брахиантиклиналей платформенного типа.

Ландшафтные аномалии, выделенные на северо-востоке Камского свода в левобережной части р.Кама, Прикельтменская (205), Усть-Тимшорская (213), Знобихинская (214), Урочинская (215), Усть-Чепецкая (220), Северо-Кумикушская (222), Нижне-Тимшорская (221), Дикая (228), Чепецкая (223), Новожиловская (229), Тылтынская (230), Окининская (235), Тундровская (234) и Нахтынская (227) располагаются среди болот, унаследующих Кельтминско-Косинскую депрессию. Знобихинская аномалия отличается округлой формой от всех остальных аномалий, имеющих форму овалов. Наиболее крупная Нахтынская аномалия имеет размеры 10,5 x 5,0 км и северо-западную ориентировку.

Размеры других аномалий составляют 4,0-6,5 км по длинной оси и 1,8-3,7 км по короткой, ориентированы в большинстве на северо-восток. Прикельтменская и Усть-Тимшорская аномалии имеют меридиональную, Окининская и Тундровская субширотную, Урочинская северо-западную ориентировку. Предполагается отображение аномалиями 205, 213, 214, 215, 220, 222, 221, 228, 223, 229, 230, 235, 234, 227 малоамплитудных брахиантиклинальных поднятий. Не исключается возможность отображения изометрично-округлой Знобихинской аномалией структуры облекания верхнедевонского рифа во внешней прибортовой зоне Камско – Кинельской системы прогибов (ККСП).

Верхнее-Окосская (30) и Красно-Горская (41) ЛА расположены в северо-западном углу Пильвенской площади. Аномалии размером их 5,0 x 3,0-3,8 км, имеют правильную овальную форму и ориентированы субмеридионально и в СЗ направлении соответственно. Аномалиями предположительно отражены тектонические поднятия брахиантиклинального характера, не исключается возможное отображение более изометричной Красногорской аномалией структуры, связанной с верхнедевонским рифом.

В юго-западном углу Пильвинской площади крупная размером 9 x 7 км Кривцовская (197) ЛА. Аномалия имеет форму широкого овала, ориентированного в СВ направлении. Западнее выделена Панинская (196) ЛА размером 4,0 x 2,5 км овальной формы и СВ простираения, располагается на участке Пятигорской приподнятой зоны, выявленной сейсморазведкой. Предполагается отображение Кривцовской и Панинской аномалиями тектонических брахиантиклинальных структур платформенного типа.

На северо-востоке Камского свода вблизи границы с Соликамской депрессией закартирована Веселовская кольцевая структура размером 20 x 14 км, с северо-восточной ориентировкой по длинной оси. Располагается во внешней прибортовой зоне ККСП. Веселовская кольцевая структура (фотоаномалия) кольцеобразно по её периметру осложнена локальными ЛА, из которых в границах Пильвенской площади располагаются Лембинская (232), Северо-Соплекская (239), Средне-Соплекская (240) и Соплекская (241) ЛА. Форма аномалий близка к изометричной с несколько изогнутыми контурами, размеры колеблются в пределах от 3,5 x 2,8 км до 6,0 x 4,5 км. Веселовская кольцевая структура, предположительно отождествляется с верхнедевонским рифогенным массивом, а сгруппированные в ней локальные ЛА предположительно отражают структуры облекания рифовых вершин, осложняющих данный массив.

К северу от Веселовской кольцевой структуры, в крупной излучине р. Камы выявлены ЛА Старо-Мазунинская (224), Муртинская (226), Визянская (231) и Казанцевская (233). Визянская и Муртинская ЛА имеют изометричную до округлой форму размером порядка 4 км в поперечнике. Старо-Мазунинская размером 6,6 x 4,7 км и Казанцевская размером 5,2 x 4,1 км ЛА имеют очертания неправильных широких овалов, ориентированных меридионально. Муртинская и Казанцевская ЛА в плане располагаются во внешней прибортовой зоне ККСП, возможно, к этой зоне приурочены также Старо-Мазунинская и Визянская ЛА, т.к. границы прибортовой зоны на данном участке достоверно не установлены. Предполагается отображение аномалиями погребённых текто-

ногенных поднятий, либо структур облекания верхнедевонских одиночных рифов. За последнее предположение свидетельствуют их морфометрические и геоиндикационные характеристики.

Севернее, на левобережье р. Камы вдоль границы Камского свода с Вычегодским прогибом располагаются ЛА Пильвинская (216), Кедровская (217), Бондюжская (225) и Ужгинская (326). Размеры аномалий весьма близки 4,5 – 5,0 км по длинной оси и порядка 3 км по короткой. Аномалии находятся во внешней прибортовой зоне ККСР. Пильвинская ЛА в плане близко соответствует одноимённому поднятию, выявленному сейсморазведкой по кровлям тульских терригенных отложений (ОГП) и артинского яруса. Сейсморазведочными работами в площади Бондюжской ЛА выявлена по отражающим горизонтам Ш, П и А^Г, а в площади Ужгинской ЛА по ОГП и ОГА^Г поднятия Бондюжское и Ужгинское соответственно. Предполагается отображение Пильвинской, Бондюжской и Ужгинской ЛА структур облекания верхнедевонских рифов; Кедровской ЛА может быть отражено как тектоническое поднятие, так и тектоно-седиментационная структура облекания верхнедевонского рифа.

К юго-западу от Веселовской кольцевой структуры на правобережье р. Камы выделены Москалинская (237), Чёрная (238), Ворцевская (236), Эстакадная (246), Сумычская (247) и Светличная (245) ЛА. Наиболее крупная Ворцевская ЛА размером 8 х 6 км и Чёрная ЛА размером 5 х 3 км, имеющие неправильную овальную форму, а также Светличная ЛА размером 4,5 х 2,8 км правильной овальной формы – ориентированы в СВ направлении. Москалинская ЛА размером 3,0 х 2,2 км, Эстакадная ЛА размером 3,6 х 2,4 км и Сумычская ЛА размером 6 х 3 км имеют овальную форму и ориентированы субмеридионально. Предполагается отображение ЛА 237, 238, 236, 246, 247, 245 малоамплитудных погребённых брахиантиклинальных поднятий платформенного типа.

В целом, по результатам регионально-зональных АКГИ на северо-востоке Камского свода намечается пролонгация Кудымкарского и Кочёвского валов в северном направлении до северных границ Пермского края (Хурсик и др., 2006ф; 2007ф).

Кочевская площадь

Юго-западная часть Камского свода изучена регионально-зональными АКГИ масштаба 1:200 000 на Кочевской площади [3], где были выделены около 60 локальных ЛА – предполагаемых поднятий в осадочном чехле (рис. 5). Крайне неравномерная и слабая геолого–геофизическая изученность этой территории усложняет интерпретацию результатов аэрокосмогеологических исследований.

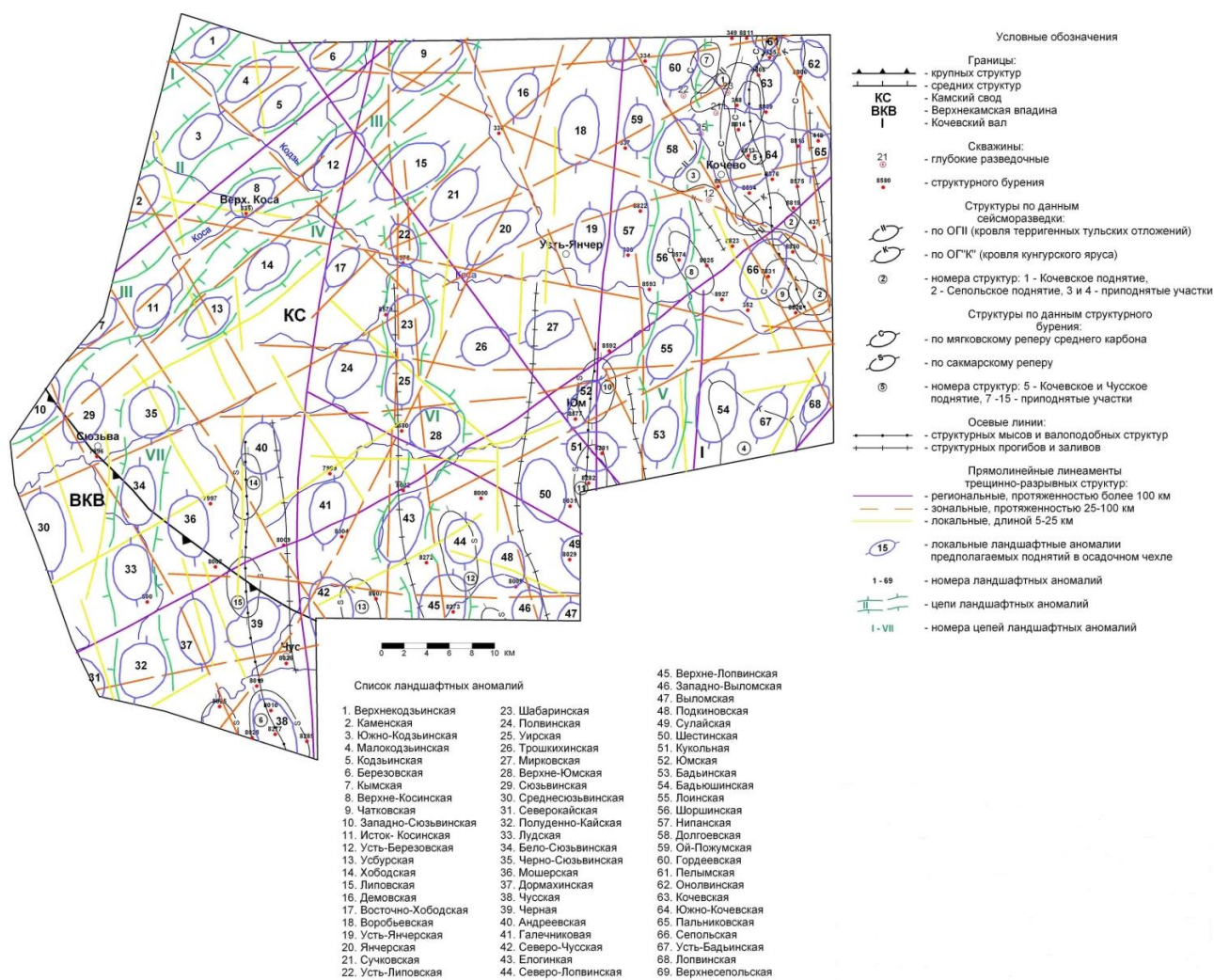


Рис. 5. Карта ландшафтных аномалий Кочевской площади (Хурсик, Быков, 2008ф) [3]

В северо-западной части Кочевской площади ЛА образуют цепи северо-восточного простирания, согласуясь с направлениями прямолинейных линейментов. При этом они ориентированы по длинной оси в этом же направлении. Восточнее линеймента зонального ранга ССЗ простирания, прослеженного по долине р.Янчер в правобережье р.Юм, ориентировка большинства ЛА приобретает субмеридиональное направление.

В северо-восточной части площади намечается цепь I, где выделена только Верхнекодзьянская (471) ЛА, которая имеет форму правильного овала с размерами 3,4 км х 2,0 км, ориентирована в северо-восточном направлении.

Цепь II образуют ЛА Каменская (480), Южно-Кодзьянская (476), Малокодзьянская (475), Кодзьянская (477) и Берёзовская (472) ЛА, ориентированные в северо-восточном направлении. Они имеют правильную овальную форму, размер по длинной оси 4,7– 5,1 км, по короткой – 2,3– 2,7 км. Предположительно аномалии отображают малоамплитудные тектонические поднятия и структурные носы.

Цепь III образуют ЛА Западно-Сюзьвинская (494), Кымская (487), Исток-Косинская (488), Усть-Берёзовская (478), Верхне-Косинская (481), Чатковская (473). Цепи II и III разделены северо-восточным региональным линейментом. Вдоль осевой линии цепи III прослежен линеймент зональной протя-

жённости. В цепи III все аномалии также правильной овальной формы с ориентировкой на северо-восток. Наиболее крупной является Чатковская (473) ЛА с размерами 7,3 x 4,0 км. Другие аномалии размером 4,5-6 км x 2,5-3,5 км характерным является огибание западного крыла долинами р. Берёзовая и её левого безымянного притока. Предполагается возможное отражение этими ЛА, тектоногенных приподнятых участков, структурных носов и малоамплитудных поднятий в толще палеозоя. Зональный линеамент северо-восточного простирания разграничивает ландшафтные цепи III и IV.

Цепь IV образована ЛА Усбурская (489), Хободская (482) и Липовская (479) ЛА. Усбурская ЛА овальной формы размером 4,9 x 2,9 км, Хободская ЛА размером 5,0 x 3,0 км с очертаниями несколько неправильного овала, Липовская ЛА размером 7,2 x 3,6 км, овальной формой с расширением в северо-восточной части. Предполагается отображение аномалиями тектонических поднятий, однако не исключается возможность отображения аномалиями Хободской и Липовской поднятий иного генезиса, например, брахиантиклиналей с небольшими верхнедевонскими шельфовыми биогермами в ядре.

Восточнее, отмеченного выше линеамента, ограничивающего распространение цепей ЛА в северо-восточном направлении, ориентация аномалий изменяется.

Цепь V образована ЛА Бадьинской (519), Лоинской (514), Шоршинской (511), Долгоевской (506) и Гордеевской (500) протягивается в меридиональном направлении по осевой линии Кочевского вала. Аномалии близки по морфометрическим и морфологическим характеристикам, имеют форму несколько расширенных овалов, размеры по длинной оси колеблются в интервале 4,6 – 5,8 км, ширина изменяется в пределах 2,9 – 3,5 км, ориентированы субмеридионально с некоторым отклонением длинной оси на ССВ. В плане Шоршинская ЛА располагается над северо-западной периклиналью приподнятого участка в районе скв. 8574, выделенного по результатам структурного бурения по мячковскому реперу в верхнемосковском подъярусе среднего карбона. Условно можно принять мячковский репер за кровлю среднего карбона. Здесь выделен приподнятый участок по замкнутой изогипсе -850 м, его размер составляет 6,3 x 2,2 км, форма овальная, ориентирован по длинной оси в северо-западном направлении, амплитуда не более 5 м. Гордеевская ЛА восточным крылом с небольшим перекрытием планово соприкасается с приподнятым участком, намеченным структурным бурением по кровле мячковского горизонта, по замкнутой изогипсе -830 м имеет овальную форму меридионального простирания, размер 4,5 x 2,5 км амплитуда не превышает 5 м. Непосредственно к юго-востоку от Долгоевская (58) ЛА сейсморазведкой по кровле терригенных отложений тульского горизонта (ОГ II) намечается приподнятый участок сложной конфигурации. Аномалия восточным крылом с незначительным перекрытием соприкасается с приподнятым участком. Ландшафтные аномалии Бадьинская и Лоинская ЛА отдешифрированы на правобережье р. Коса на участке, не затронутом структурным бурением. Отмечается влияние на этом участке меридиональных прямолинейных линеаментов на группировку ландшафтных аномалий. Можно предполагать, что аномалии 519, 514, 511, 506, 500 отображали брахиформные

малоамплитудные поднятия, осложняющие Кочевский вал вследствие ундуляции его шарнира.

Восточнее Кочевского вала структурным бурением закартировано по мячковскому реперу крупное поднятие размером по последней замкнутой изогипсе -825 м 22,5 х 6,0 км меридионального простирания с амплитудой порядка 20 м. По осевой линии структура осложнена двумя поднятиями – северным и центральным, выделенными в мячковском горизонте по замкнутым изогипсам - 810 м, с амплитудами около 10 м. Северный купол имеет плановые размеры 5,0 х 2,5 км. На его участке сейсморазведкой намечается по кровле кунгурского яруса (ОГ К) приподнятый участок. В плане северный купол близко отображён Пелымской (501) ЛА, овальной формы размером 4,0 х 2,4 км.

Центральное поднятие, выделенное структурным бурением по мячковскому реперу как Кочевское поднятие, имеет размер 7,5 км х 2,5 км. На участке Кочевского поднятия сейсморазведочными работами было выделено одноимённое поднятие более крупное по кровле терригенных отложений тульского горизонта (ОГ II) и соразмерное структуре по кровле кунгурского яруса (ОГ–К). Кочевская (502) ЛА планово располагается своей восточной половиной над северо-западной частью Кочевской структуры в районе скв.8805. Аномалия размером 4,5 км х 3,2 км, имеет форму расширенного овала, близкую к изометричной, ориентирована субмеридионально с отклонением на северо-восток. Разведочные скважины №№ 21, 22, 25 и 12 в границы Кочевской структуры, намеченной по ОГ II, мячковскому реперу и ОГ К, не попадают и только скв.23 располагается в площади поднятия по отражающему горизонту ОГ II. Южно-Кочевская (507) ЛА овальной формы северо-восточного простирания с размерами 5,6 км х 3,4 км располагается над южной периклиналью Кочевского поднятия.

Южнее на простирании отмеченной выше крупной структуры по мячковскому реперу (изогипса -825 м) в непосредственной близости от последней, в междуречье рек Коса и Сеполь структурным бурением выделен приподнятый участок, в виде намечающегося поднятия по замкнутой изогипсе -830 м имеет изометричную, близкую к округлой форму размером около 4,0 км в поперечнике, амплитуда составляет около 5 м. На южной периклинали отмеченной крупной структуры и в районе приподнятого участка со смещением к юго-востоку от последнего сейсморазведкой по кровле кунгурского яруса (ОГ К) закартированы два поднятия, отнесённые к Сепольской структуре. Сепольская (512) ЛА выделена на участке одноимённого поднятия. Аномалия имеет вид правильного широкого овала размером 5,6 км х 3,6 км, ориентированного в ССВ направлении. Кочевская и Сепольская структуры первоначально были приняты в качестве подготовленных к глубокому бурению. Впоследствии первая была выведена, как неподтвердившаяся, из фонда, а вторая – по пересмотру геолого-геофизических материалов без проведения дополнительных исследований. Вдоль восточных крыльев Кочевского и Сепольского поднятий в толще мячковского горизонта среднего карбона намечается субмеридиональный структурный прогиб, раскрывающийся на ЮЮВ. Осевая линия прогиба контролируется субмеридиональным прямолинейным линеamentом зонального ранга и

прослежена на расстояние порядка 20 км. В границах Кочевской площади осевая линия прогиба проходит между скв.418 и скв.437. Таким образом, ландшафтные аномалии Пельмская, Кочевская, Южно-Кочевская и Сепольская образуют меридиональную цепочку, протянувшуюся вдоль восточного борта Кочевского вала. Анализ материалов структурного бурения и сейсморазведки позволяет предполагать возможность существования на данном участке структуры подобной тектоническому валу, осложнённой локальными поднятиями, отображаемыми названными ландшафтными аномалиями. Восточный борт предполагаемого вала ограничивается структурным прогибом. Возможно восточная граница Кочевского вала проходит восточнее границы показанной на схеме тектонического районирования Пермского края (Хурсик и др., 2008ф).

Пальниковская (508) ЛА закартирована в северной части выше названного структурного прогиба, а Онолвинская (503) ЛА выделена севернее, на участке закрытия последнего. Пальниковская ЛА размером 4,2 х 2,6 км субмеридионального и Онолвинская размером 3,5 х 2,2 км ССЗ простираний характеризуются определённым сходством в результатах дешифрирования. Возможно аномалии отразили погребённые или наложенные тектонические поднятия.

Бадьюшинская (515) ЛА – крупная размером 6,6 км х 3,8 км субмеридионального простирания расположена на восточном склоне Кочевского вала. Несколько восточнее находится Усть-Бадьинская (520) ЛА размером 4,4 х 2,6 км, с ССВ простиранием. На участке этих аномалий сейсморазведкой выделен по кровле кунгурского яруса крупный по размерам 12,0 км х 7,0 км приподнятый участок. Аномалии в плане располагаются на его северной периферии. Предполагается отображение Бадьюшинской и Усть-Бадьинской аномалиями тектоногенных брахиформных поднятий. Следует отметить, что предполагаемая подобная валу структура, протянувшаяся вдоль восточного борта Кочевского вала, возможно, продолжается в южном направлении и включает в себя Бадьюшинскую и Усть-Бадьинскую ЛА.

Лопвинская (521) ЛА размером 3,6 х 1,8 км ССВ простирания выделена на правобережье р.Лопва. Отмечается контроль аномалии прямолинейными линеаментами. Предполагается отображение малоамплитудного тектоногенного поднятия брахиантиклинального типа.

Определённый интерес представляют ландшафтные аномалии Нипанская (510) и Ой–Пожумская (505), выделенные по западному крылу Кочевского вала. Они ориентированы меридионально, имеют форму правильных овалов с размерами 5,2 км х 2,9 км (Нипанская) и 4,1 км х 2,6 км (Ой–Пожумская). Предполагается отображение тектонических поднятий, осложняющих западное крыло Кочевского вала.

На участке, ограниченном северо-западным зональным линеamentом, прослеженным по долине р.Янчер, и меридиональным региональным линеamentом, проходящим вдоль западного борта Кочевского вала, выделены ландшафтные аномалии Демовская (474) размером 4,0 х 2,5 км, Воробьёвская (504) размером 6,4 х 3,6 км, Усть-Янчерская (509) размером 4,9 х 2,8 км и Верхне-Сепольская (409) размером 3,0 х 2,2 км. Аномалии правильной овальной формы, ориентировка меридиональная. Аномалии выделены на участке, не изучен-

ном площадной сейсморазведкой и структурным бурением. Возможно, они отображают тектоногенные малоамплитудные брахиформные поднятия или структурные носы.

К западу от Кочевского вала структурным бурением картировались поднятия по кровле сакмарского яруса нижней перми. На правобережье р.Юм в районе пос. Юм по результатам структурного бурения намечается по кровле сакмарского яруса малоамплитудный приподнятый участок овальной формы размером по замкнутой изогипсе -605 м 5,8 х 3,4 км меридионального простирания, амплитуда, вероятно, не превышает 5 м. Приподнятому участку, с некоторым смещением к западу соответствует Юмская (516) ЛА размером 4,6 х 2,1 км ССВ простирания. Южнее, намечается по изогипсе -605 аналогичный приподнятый участок размером 5,8 х 2,8 км. Северной частью он заходит в площадь Кукольной (517) ЛА, размером 4,8 км х 3,5 км широтной ориентировкой.

На левобережье р.Лопва закартирован по замкнутой изогипсе -615 м подобный выше описанным приподнятый участок, которому довольно близко соответствует Сулайская (960) ЛА, выходящая большей своей частью за пределы Кочевской площади.

Отмеченные выше приподнятые участки по кровле кунгурского яруса имеют вид малоамплитудных (вероятно не более 5 м) поднятий и располагаются меридиональной цепочкой, которая прослеживается к югу в долину р.Кува, где включает в себя Кувинский структурный выступ. Таким образом, можно предполагать о наличии на данном участке небольшого тектонического вала, осевая линия которого проходит через Кувинский структурный выступ в северном направлении в район н.п.Юм на расстояние не менее 40 км. Осевая линия предполагаемого вала отчётливо контролируется меридиональным линеamentом регионального ранга.

Западная граница предполагаемого вала контролируется субмеридиональным структурным прогибом. Осевая линия прогиба прослеживается в южном направлении из долины р.Коса в 3 км западнее н.п.Усть-Янчер в верховья р.Лопва в 2 км восточнее скв.8008. На отдельных участках склоны прогиба контролируются локальными и зональными линеamentами. Южнее, за пределами Кочевской площади, прогиб сливается со структурным прогибом, разделяющим Пограничную структуру и Кувинский выступ. Прогиб прослежен на расстояние порядка 50 км.

В границах Кочевской площади структурные прогибы ограничивают в толще кунгурского яруса приподнятую меридиональную зону шириной порядка 9 – 12 км, осложнённую приподнятыми участками. По западному краю приподнятой зоны выявлены ландшафтные аномалии: Мирковская (513) размером 4,4 х 2,6 км, простирание северо-восточное, Шестинская (518) размером 5,8 х 3,9 км, простирание субмеридиональное, Выломская (962) размером 3,8 х 2,5 км, простирание меридиональное. Предполагается, что данные аномалии, возможно, отображали тектонические поднятия, осложнившие западный борт приподнятой зоны.

Аналогичный предыдущему субмеридиональный структурный прогиб, раскрывающийся к югу, намечается западнее упомянутой приподнятой зоны.

Осевая линия прогиба прослеживается вдоль зонального линеамента из района скв.8578 в долине р.Коса в южном направлении в район н.п.Мыс в истоках р.Лопва. Далее на юг, за пределами Кочевской площади он сливается с широтным структурным прогибом, обрамляющим с севера Пограничную структуру. Прогиб прослежен на расстояние 40 км.

Осевые линии двух последних из отмеченных выше прогибов ограничивают меридиональную зону шириной 11 – 12 км. В западной краевой части зоны вдоль осевой линии прогиба располагается ландшафтная меридиональная цепь VI, уверенно контролируемая линеаментами зональной протяжённости.

Цепь VI образуют ЛА Усть–Липовская (484), Шабаринская (491), Чирская (492), Верхне–Юмская (498), Елогинская (950) и Верхне–Лопвинская (952). Усть–Липовская ЛА размером 4,0 х 2,4 км ССЗ простирания; Шабаринская ЛА и Верхне–Юмская размерами в 4,2 км в поперечнике, изометричные, близкие к округлым меридионального простирания; Чирская ЛА размером 4,0 х 2,4 км и ССВ простирания; Елогинская ЛА размером 6,2 х 3,2 км и Верхне–Лопвинская ЛА имеет форму широкого овала размером 5,8 км х 4,0 км, ориентированы меридионально. Ландшафтные аномалии, сгруппированные в цепь VI, предположительно могут отображать тектоногенные малоамплитудные поднятия платформенного типа, осложнившие западный борт структурного прогиба. Возможно, аномалии изометричной формы отобразили тектонические куполовидные поднятия, имеющие в своём ядре мелкие шельфовые биогермы позднедевонского возраста.

Во внутренней части зоны, ограниченной структурными прогибами, располагаются ЛА Трошкихинская (493) размером 4,2 км х 3,1 км субширотного простирания, меридионально ориентированные Северо–Лопвинская (451) размером 3,9 х 3,2 км, Подкиновская (459) размером 4,0 х 2,8 км и Западно–Выломская (961) размером 3,4 х 2,6 км. На участке Северо–Лопвинской ЛА структурным бурением закартирован по кровле сакмарского яруса приподнятый участок размером 7,2 х 3,0 км по замкнутой изогипсе -615 м и с амплитудой около 5 м, простирание его субмеридиональное. СевероЛопвинская ЛА в плане близко соответствует приподнятому участку. Близкие по форме к изометричным Трошкихинская, Северо–Лопвинская, Подкиновская и Западно–Выломская аномалии предположительно отображают тектонические поднятия, возможно усиленные небольшими шельфовыми верхнедевонскими биогермами.

В междуречье р.Коса и нижнего течения р.Янчер, не изученном площадной сейсморазведкой и бурением, выделены Янчерская (486) и Сучковская (485) ЛА размером 6,5 х 3,0 и 5,5 х 3,0 км соответственно. Юго-западнее на правом берегу р.Коса отдешифрирована Восточно–Хободская (483) ЛА размером 4,0 х 2,0 км. Аномалии овальной формы, ориентированы в северо-восточном направлении, согласуясь с северо-восточными прямолинейными линеаментами зонального ранга. Предполагается отображение аномалиями малоамплитудных тектоногенных брахиформных поднятий платформенного типа.

Ландшафтные аномалии Галечниковая (949) размером 5,6 х 3,2 км, Северо–Чусская (957) размером 7,0 х 3,8 км и несколько севернее Полвинская (490)

размером 5,8 x 3,8 км имеют форму правильных овалов, ориентированных меридионально. Они входят в меридиональную цепь, прослеживающуюся к югу за пределами Камовского свода. С запада цепь аномалий контролируется субмеридиональным линеamentом регионального ранга. Северо–Чусская аномалия со значительным смещением к западу перекрывает западное крыло приподнятого участка, намечаемого структурным бурением по кровле сакмарского яруса. Приподнятый участок по замкнутой изогипсе -620 м в форме овала ССЗ простирания имеет размеры 7 км x 3 км. Можно предполагать, что данные ЛА обусловлены тектоническими брахиформными поднятиями небольшой амплитуды. Западнее выделена Андреевская (497) ЛА по форме близка к изометричной, размером 4,6 x 3,6 км, ориентирована субмеридионально. Расположена на северном замыкании намечающегося вала и частично перекрывает северную периклиналь приподнятого участка (размером по изогипсе -620 м 6,0 x 2,8 км, с амплитудой 5 м).

В юго-западном углу Камского свода прослеживается северное окончание ландшафтной цепи VII, которая соответствует небольшому тектоническому валу, в пределах Верхнекамской впадины. Здесь выделена самая северная – Чёрно–Сюэвская (496) ЛА, изометричной формы, размером 4 км в поперечнике.

В центрально-восточной части Камского свода АКГИ выявлено около 240 ЛА, из них 194 ЛА (№№ 250-308, 522-658) выделены крупномасштабными (1:50 000) АКГИ (Быков и др., 1994ф), другие аномалии выделялись зональными АКГИ (Коняев и др., 1982ф; Чирков и др., 1982ф). Аномалии, выделенные на АФС крупного масштаба имеют правильную овальную форму размером 2-4 x 1,5-2,5 км и в большинстве своём ориентированы в северо-западном направлении, образуя цепи того же простирания. Большинство аномалий сгруппированы в цепи, ограниченные или разделённые линеаментами, как правило, регионального или зонального ранга. Некоторые цепи или их отрезки отвечают валообразным структурам и структурным мысам. Аномалии, полученные в результате дешифрирования средних масштабов размером 5-7 x 2-3,5 км правильной или неправильной овальной или изометричной формы (рис. 6).

Аномалии отождествлены с тектоническими малоамплитудными структурами брахиантиклинального типа. Некоторое количество аномалий (№№ 546, 547, 554, 556, 586, 587, 610, 611, 613, 616, 617, 618, 622, 645) предположительно отображают структуры, связанные с артинскими (сылвенско-саргинскими) рифами. Ряд аномалий отождествляется с тектоно-седиментационными структурами облекания верхнедевонских рифов (№№ 326, 379, 393, 395, 396, 709).

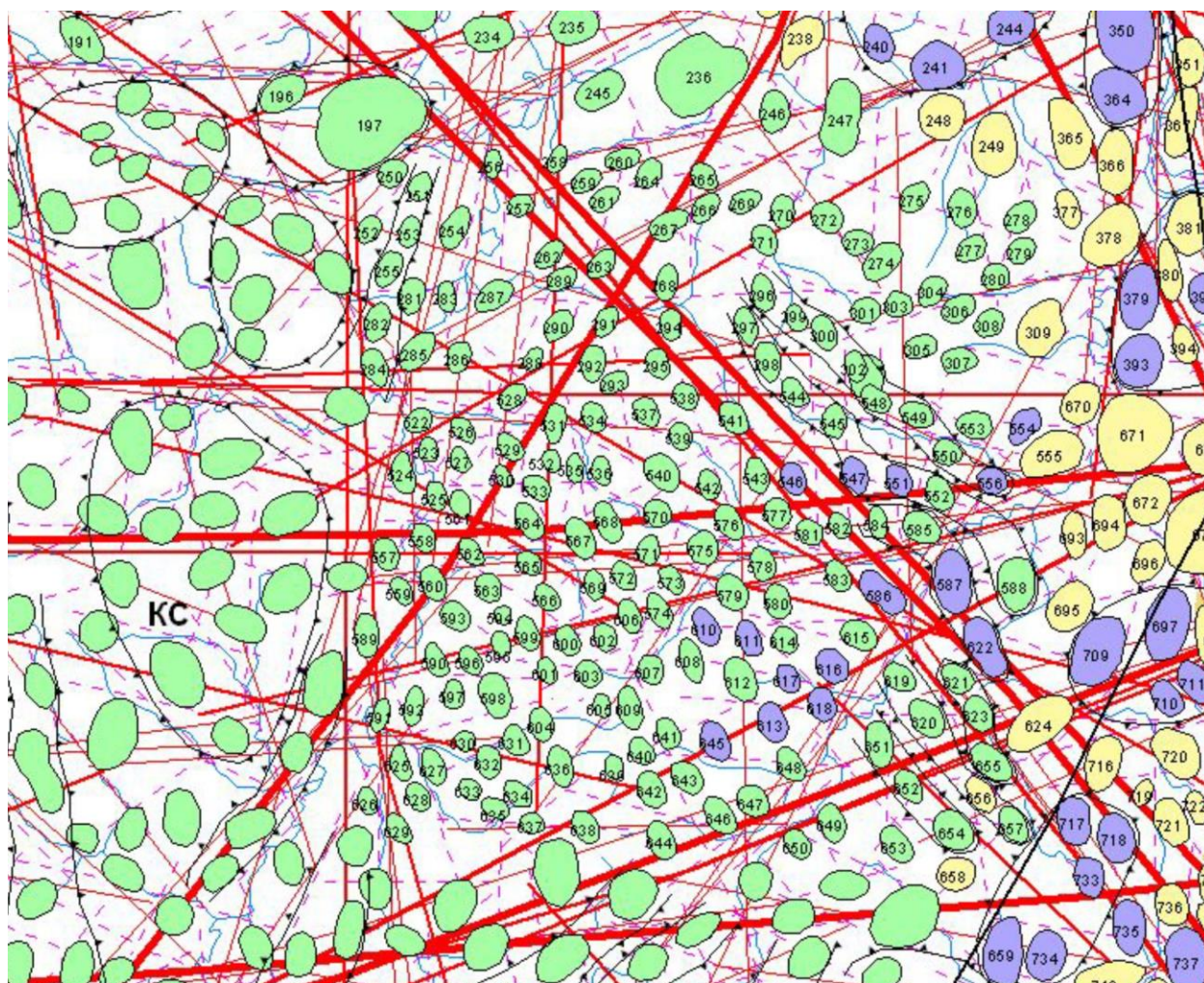


Рис. 6. Фрагмент аэрокосмогеологической карты в центрально-восточной части Камского свода [19]

Большинство выявленных или намеченных поднятий и приподнятых участков отразились в ландшафтных аномалиях, вне зависимости от их генезиса. Точнее отображаются структуры, прослеживающиеся по нескольким поверхностям палеозоя, намеченные по одной поверхности иногда не находят своего отображения. Аномалиями отобразились известные локальные поднятия осадочного чехла – Львовская, Багайская, Гришкинская и др. По данным АКГИ (Быков и др., 1994ф) Багайская и Гришкинская структуры прослеживаются к северу параллельно друг другу в виде валообразных зон, обозначенных цепями аномалий.

Ландшафтными аномалиями отобразились также известные локальные поднятия осадочного чехла, в т.ч. с промышленной нефтеносностью (350 и 364 – Долдинская): 225 – Бондюжская, 326 – Ужгинская, 226 и 233 – Гаревская, 242 и 244 – Сумычская, 381 – Усть-Уролкинская, 673 и 672 – Керчевская., 588 – Нылобско-Урайская. А также на границе с Соликамской депрессией – 330 – Дружинская, 367 – Усть-Козыревская.

Таким образом, на Камском своде по результатам АКГИ на Гайнинской, Пильвенской и Кочевской площадях в качестве первоочередных объектов для изучения структурным бурением и сейсморазведкой для поисков брахиан-

тиклинальных тектонических поднятий, в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными АКГИ масштаба 1:25 000 рекомендованы аномалии №№ 30, 32, 33, 35, 38, 39, 40, 42, 43, 163, 165, 167, 169, 172, 173, 176, 177, 178, 181, 185, 186, 187, 188, 189, 232, 239, 240, 243, 244, 284, 297, 325, 326, 379, 350, 364, 381, 395, 396, 522-525, 533, 558, 560, 561, 564-566, 584, 593, 596, 599-602, 608, 609, 615, 619, 620, 632, 634, 636, 640-642, 644, 646, 651, 653, 654, 657, 671-673.

Геохимические исследования, проведенные ГИ УрО РАН на Камском своде на вышеперечисленных площадях, показали эффективность дифференциации прогнозируемых структур по признаку наличия углеводородов. Однако необходимо применять полный комплекс геохимических поисков нефти и газа (ГПНГ) на прогнозно-рекогносцировочной стадии [2, 34, 35, 45].

Пономаревская площадь

Расположена в центральной части Камского свода, на территории Гайнского, Косинского, Кочевского и Юрлинского районов Пермского края, в пределах тополистов О-40-I, II и Р-40-XXXI, XXXII, площадь – 4226 км².

В 2011 г. на Пономаревской площади И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком были проведены регионально-зональные АКГИ [26]. Линеаментно-блоковый, линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы с составлением соответствующих карт проводились по методикам, изложенным в работах по АКГИ на площадях Приуралья [6, 11, 18, 19, 23-26]. В результате структурного дешифрирования современных цифровых КС масштаба 1:50 000-1:100 000 проведена новая группировка аномалий. Было выделено и описано 147 ЛА (рис. 7) результаты подробно изложены в работе [26].

К объектам первой очереди изучения отнесены 44 аномалии: Никоновская – 2, Вартановская – 4. Пятигорская – 4, Порошевская – 3, Нижнекосинская – 2, Нижнекосинская – 3, Сольмская – 4, Сольмская – 5, Юксеевская – 1, Чазевская – 3, Чазевская – 4, Сосновская – 2, Отопковская – 4, Отопковская – 2, Отопковская – 6, Пелымская – 1, Пелымская – 5, Бачмановская – 1, Бачмановская – 2, Бачмановская – 3, Бачмановская – 4, Бачмановская – 5, Бачмановская – 6, Бачмановская – 7, Бачмановская – 8, Маратинская – 2, Маратинская – 3, Маратинская – 4, Чирковская – 1, Чирковская – 2, Чирковская – 3, Пуксибская – 1, Пуксибская – 2, Пуксибская – 3, Пуксибская – 5, Кочевская – 2, Краснокурьянская – 3, Краснокурьянская – 4, Лопанская – 1, Лопанская – 4, Лопанская – 5, Лопанская – 6, Лолымская – 1, Усть-Кокольская – 3. Особый интерес представляют ландшафтные аномалии № 84 (Бачмановская – 1) и № 85 (Бачмановская – 2), расположенные на предполагаемом продолжении Кудымкарского вала.

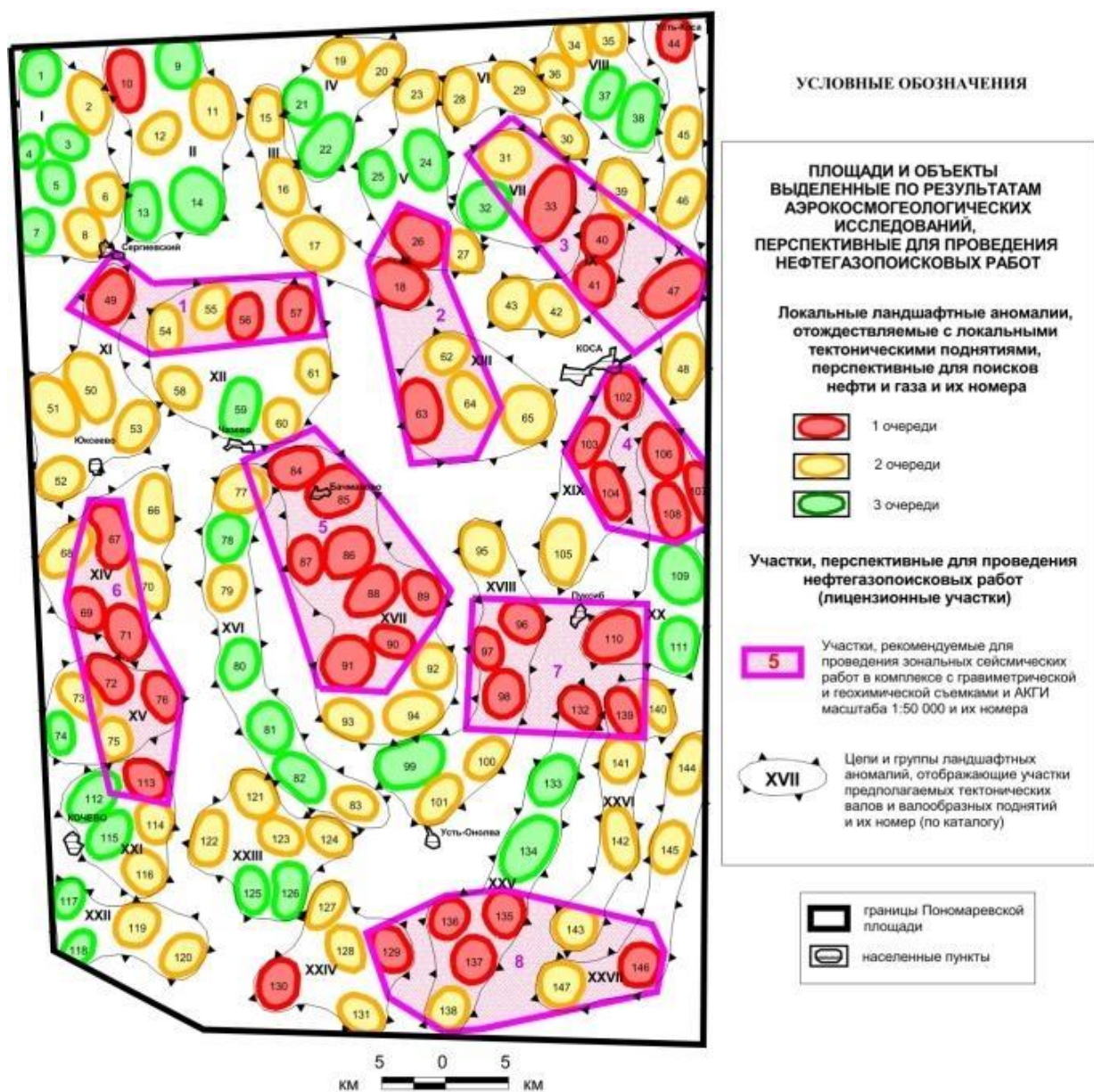


Рис. 7. Карта ландшафтных аномалий, перспективных участков и рекомендаций по данным аэрокосмогеологических исследований Пономаревской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000) [Копылов, Хурсик, 2011ф, 24]

По геохимическому и гидрогеохимическому анализу Пономаревская площадь практически полностью совпадает с площадями Косинской геохимической (с площадным распространением: Mn, Cu, Pb, Cr, Ti, Ga, Zn, Cd, с локальным и точечным распространением: Ni, Ba, Co, V, Sr) и Косинской гидрогеохимической (с площадным распространением: Br, Ba; с локальным: Mn, V) аномальных зон [16, 17, 22, 32, 36, 40, 41].

В результате анализа материалов АКГИ на Пономаревской площади рекомендуются 8 участков для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными АКГИ масштаба 1:25 000 (рис. 7).

Площади участков: 1 – 100 км², 2 – 128 км², 3 – 145 км², 4 – 103 км², 5 – 195 км², 6 – 133 км², 7 – 147 км², 8 – 191 км² [24].

Заключение

В результате проведения аэрокосмогеологического и ландшафтно-геодинамического анализа на территории Камского свода с целью уточнение геологического и тектонического строения территории для постановки нефтепоисковых работ, поисков нефтегазоперспективных структур установлены и описаны 562 ландшафтных аномалий, отображающих предполагаемые тектонические поднятия брахиантиклинального типа.

В качестве первоочередных объектов для дальнейшего изучения рекомендованы 111 ландшафтных аномалий. Рекомендованы участки для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями масштаба 1:25 000.

Библиографический список

1. Бычков С.Г., Неганов В.М., Мичурин А.В. Нефтегазогеологическое районирование территории Пермского края // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2010. URL: <http://www.ogbus.ru>.
2. Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений / О.В.Барташевич, Л.М.Зорькин, С.Л.Зубайраев и др. М.: Недра. 1984. 300 с.
3. Зонально-региональные сейсмические работы в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками на Кочевской площади (зоны сочленения Верхнекамской впадины и Камского наложенного свода) с целью обнаружения и локализации нефтеперспективных объектов в осадочном чехле для лицензирования / отв. исп. О.Б.Ермакова. Пермь: Пермь: ОАО «Пермнефтегеофизика», ГИ УрО РАН, 2008.
4. Зонально-региональные сейсмические работы в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками на Гайнинской площади (Камский свод) с целью обнаружения и локализации нефтеперспективных объектов в карбоне и девоне для лицензирования / отв. исп. Л.В.Захарова. Пермь: Пермь: ОАО «Пермнефтегеофизика», КамНИИКИГС, ГИ УрО РАН, 2006.
5. 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.
6. 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.
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. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в Калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
9. Копылов И.С. Анализ и обобщение результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 13-42.
10. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
11. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
12. Копылов И.С. Аэрокосмогеологическая основа территории Пермского края для выбора перспективных направлений, площадей, объектов нефтегазопоисковых работ и экологической безопасности // В сборнике: Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Сборник научных трудов к 100-летию со дня рождения профессора П.А. Софроницкого. Пермь, 2010. С. 208-212.
13. Копылов И.С. Блоковое строение Пермского Приуралья на основе линейно-блокового и морфонеотектонического анализа // В сборнике: Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов: материалы научно-практической конференции. Пермь: КамНИИКИГС, 2007. С.270-279.

14. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Пермского Приуралья на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2010. № 10. С. 14-18.
15. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
16. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
17. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145-149.
18. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические нефтегазопромысловые исследования на Ново-Губахинском лицензионном участке // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 224-252.
19. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
20. Копылов И.С. Линеаментно-блоковый анализ, блоковое строение и карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 11-29.
21. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
22. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 2 (15). С. 16-34.
23. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
24. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и результаты нефтегазопромысловых аэрокосмогеологических исследований на Керчевской площади (камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 47-72.
25. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазоносности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.
26. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95.
27. Копылов И.С. Морфометрическая система оценки неотектонической активности // В сборнике: Геология Западного Урала на пороге XXI века. Пермь, 1999. С. 16-18.
28. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
29. Копылов И.С. Неотектонические блоковые структуры Пермского Приуралья и их роль в формировании месторождений нефти и газа // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Пермь, 2006. С. 80-82.
30. Копылов И.С. Неотектоническое строение Приуральского сегмента в границах главного Пермского поля // В сборнике: Пермская система земного шара – 180 лет. Пермь, 2022. С. 78-87.
31. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – история и изученность Приуралья аэрокосмогеологическими исследованиями // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 13-24.
32. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. № 1. С. 26-37.
33. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – характеристика основных результатов региональных и нефтегазопромысловых аэрокосмогеологических исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. 2020. С. 13-40.
34. 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.
35. Копылов И.С. Прогнозирование нефтегазоносных объектов комплексом геохимических и аэрокосмогеологических методов // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 16-17.
36. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
37. Копылов И.С. Результаты аэрокосмогеологического анализа Пермского Приуралья и обоснование перспективных объектов и участков с целью поисков залежей нефти // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 38-47.

38. Копылов И.С. Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 321-328.
39. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
40. 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
41. Копылов И.С. Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.
42. Копылов И.С., Быков Н.Я., Хурсик В.З. Основные результаты и перспективы аэрокосмогеологических нефтегазописковых и геодинамических исследований на территории Пермского края и прилегающих регионов // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов: материалы научно-практической конференции. Пермь: КамНИИКИГС, 2007. С.244-251.
43. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.
44. 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.
45. Копылов И.С., Козлов С.В. О перспективах развития аэрокосмогеологических методов в геологии и неотектонический прогноз нефтегазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2013. № 13. С. 68-73.
46. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия / Коллектив авторов. Гл. ред. А.И.Кудряшов. Горный институт УрО РАН. «Книжная площадь», Пермь, 2006. 463 с.
47. Региональные сейсмические, гравиметрические и геохимические исследования для геологического изучения зоны сочленения Камского свода, Вычегодского прогиба и Тимана с целью выявления нефтеперспективных зон и участков для лицензирования по четырем региональным профилям (Пильвенская площадь) / отв. исп. В.М.Новоселицкий. Пермь: ОАО «Пермнефтегеофизика», КамНИИКИГС, ГИ УрО РАН, 2007.
48. 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.
49. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.
50. 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). Пермь: ООО «ПермНИПИнефть», 1979.

**АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ЗОН
ТЕРРИТОРИИ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЧАЙКОВСКИЙ»
(ГОРНОЗАВОДСК – ПАВДА – КАЧКАНАР – КУШВА)**

Проведены аэрокосмогеологические исследования на территории прохождения трасс магистральных газопроводов на востоке Пермского края и западе Свердловской области на площади 17,2 тыс. км². Региональным и зональным дешифрирование космических снимков выделено 5310 тектонических линеаментов. Закартированы 6 крупных аномальных геодинамических зон. Непосредственно по трассам магистральных газопроводов выделены 192 локальных геодинамических активных участков. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки для эксплуатации газопроводов.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментно-геодинамический анализ, геодинамические активные зоны, газопровод, Средний Урал, Россия.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

**AEROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS AND RESEARCHES TO
IDENTIFY GEODYNAMIC ACTIVE ZONES OF THE TERRITORY OF
TRANSPORT GAS PIPELINES OOO GAZPROM TRANSGAZ TCHAIKOV-
SKY (GORNOZAVODSK – PAVDA – KACHKANAR – KUSHVA)**

Aerospace-geological researches were carried out on the territory of the main gas pipeline routes in the east of the Perm Territory and the west of the Sverdlovsk Region on an area of 17.2 thousand square meters. 5310 tectonic lineaments were identified by regional and zonal interpretation of satellite images. 6 large anomalous geodynamic zones have been mapped. Directly along the routes of the main gas pipelines, 192 local geodynamic active sections have been identified. They represent potentially dangerous emergency sites for the operation of gas pipelines.

Keywords: aerospace geological research, aerospace methods, interpretation, lineament-geodynamic analysis, geodynamic active zones, gas pipeline, Middle Urals, Russia.

Введение

Для геологической безопасности функционирования магистральных газопроводов необходимо изучение геологических факторов, и в первую очередь – геодинамической активности. Геодинамические активные зоны (как мобильные зоны трещинно-разрывных нарушений на границах блоковых структур или узлы пересечения разнонаправленных нарушений осложняющие неотектонические блоки; внутриблоковые участки сгущения сети нарушений) являются потенциальными аварийноопасными участками на линейных трассах [5, 40, 41].

Установлено, что определенная часть аварийных ситуаций приурочивается к активным геодинамическим зонам деструкции осадочного чехла и концентрируется на контактах неотектонических блоковых структур [32, 44].

Целью работ являлось выявление тектонически активных зон в верхней части осадочного чехла на территории прохождения трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Чайковский», могущих оказать негативное влияние на техническое состояние магистральных газопроводов на основе проведения аэрокосмогеологических исследований (АКГИ).

Работы проводились в соответствии с техническим заданием, утвержденным ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и Горным институтом УрО РАН и проходили в 3 этапа, соответствующих трем районам исследований (рис. 1).

В настоящей статье рассматриваются результаты АКГИ 3-го этапа (результаты 1 и 2 этапов рассмотрены в работах [26, 27]), выполненных в 2009 г., автором совместно с В.З. Хурсиком. Пространственные границы объекта на 3 этапе: Приволжский ФО, Пермский край, Уральский ФО, Свердловская область. В пределах топографических планшетов масштаба 1:200 000: (листы О-40-XI, XII, XVII, XVIII) (Горнозаводск – Павда – Качканар – Кушва). Площадь исследований 17,2 тыс. км².

Геологические и инженерно-геологические условия

Рассматриваемая территория расположена на Среднем Урале, в пределах Уральской складчатой системы, включает части Западно-Уральской зоны складчатости (западная внешняя мегазона краевых структур) и Тагило-Магнитогорской синклинойной (внутренней) мегазоны [24, 31, 38]. По ландшафтно-геохимическому районированию [30] площадь располагается в пределах мегагеохор остаточных горных массивов западного склона и центральной части Среднего Урала. Рельеф в западной и восточной частях – холмистый со средними высотными отметками от 200-400 м и среднегорный – в центральной части с преобладающими отметками рельефа 400–600 м, в которой также наблюдается наиболее сильная расчлененность рельефа.

Преобладают таежные денудационные ландшафты с дерново-подзолистыми, подзолистыми, лесными, преимущественно супесчаными и суглинистыми почвами. Среди экзогенных геологических процессов преобладают эрозионные, оползневые и особенно – карстовые процессы с наибольшей интенсивностью в западной части территории [9, 28, 36, 37].

В инженерно-геологическом отношении располагается в пределах инженерно-геологического региона первого порядка – Урало-Новоземельской горной страны (включающей два региона второго порядка – Западно-Уральский и Центрально-Уральский) [34, 35].

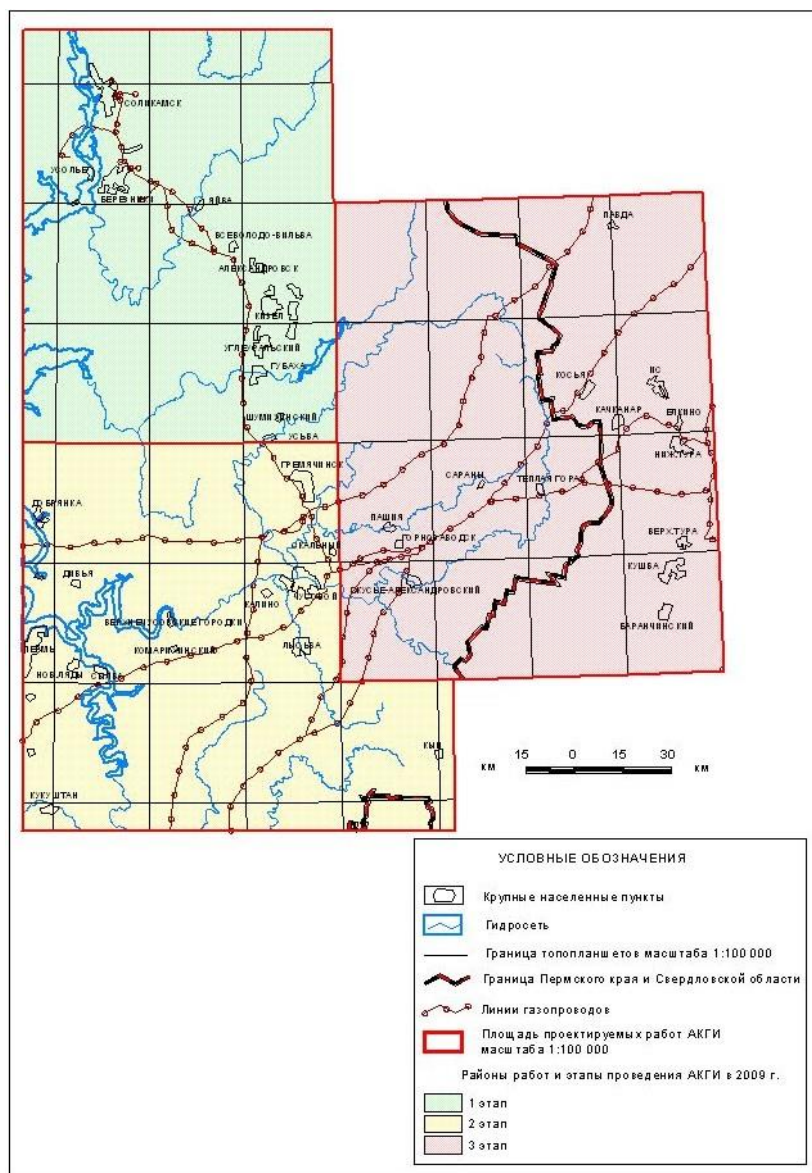


Рис. 1. Обзорная схема АКГИ по этапам [26, 27]

В западной и центральной частях территории коридор трассы магистральных газопроводов располагается в пределах Западно-Уральской зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия, где на поверхности залегают в основном терригенно-карбонатные породы артинского яруса нижней перми и среднего-верхнего карбона, а также преимущественно терригенные отложения девона, венда и рифея. В восточной части территории в верхней части разреза преимущественно залегают комплексы силурийских и ордовикских осадочно-магматических образований. Среди четвертичных физико-геологических комплексов, перекрывающих практически повсеместно формации коренных пород преобладают элювиальные и элювиально-делювиальные отложения, а в речных долинах – аллювиальные отложения пойменных и террасовых комплексов [9, 38]. На территории распространены многочисленные разломы различных систем направлений, характерно субмеридиональное (уральский тип) направление, осложненное тектоническими нарушениями других направлений.

Регион является сейсмически и геодинамически неоднородным, где, современные тектонические движения проявляются по-разному, формируют на фоне относительно стабильных территорий геодинамические активные зоны и участки [6-10, 16-19]. Как отмечает Н.И. Николаев [41, С. 201] большинство землетрясений на Урале тектонические, все они приурочены к Среднему Уралу и попадают на участки пересечения предполагаемых зон глубинных разломов, отразившихся в неотектонической структуре в виде внутриконтинентальных флексур [42].

Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований

Исследования проводились по методологии и методикам, изложенным в работах [2, 11, 14, 15, 20-22, 25, 29, 33, 39, 42 и др.].

Основные виды и состав работ 3 этапа:

1). Проведение зонального дешифрирования космических снимков (КС) масштаба 1:100 000 (на площади 17,2 тыс. км²) с выделением коротких и локальных прямолинейных линеаментов, протяженностью 2-5 (до 10 км), составление карты тектонической трещиноватости (линеаментов);

2). Проведение линеаментно-блокового анализа и составление карты неотектонических блоковых структур;

3). Проведение линеаментно-геодинамического анализа (анализа плотности мегатрещиноватости). Оценка геодинамической (неотектонической) активности и выделение геодинамических активных зон и участков, составление карты геодинамической активности;

Проведение зонального дешифрирования аэрокосмических снимков масштаба 1:100 000

В результате дешифрирования КС на территории района №3 в восточной части Пермского края и западной части Свердловской области (листы О-40- XI, XII, XVII, XVIII), на общей площади на площади 17,2 тыс. км² выявлена сеть основных прямолинейных линеаментов различных направлений, предположительно отобразивших активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте.

Региональным и зональным дешифрированием КС в рассматриваемом районе выделено 5310 неотектонических прямолинейных линеаментов (рис. 2).

По размеру они подразделены на следующие таксономические ранги:

- региональные линеаменты большой протяженностью (> 200-300 до 1100 км) – 29 линеаментов;
- региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км) – 87 линеаментов;
- зональные линеаменты (25-100 км) – 110 линеаментов;
- локальные линеаменты (5-25 км) – 834 линеаментов;
- локальные и короткие линеаменты (от 2-5 до 10 км) – 4250 линеаментов.



Рис. 2. Карта тектонической трещиноватости (линеаментов) территории трасс магистральных газопроводов (листы О-40- XI, XII, XVII, XVIII) по результатам регионального и зонального дешифрирования космоснимков (уменьшение с масштаба 1:100 000)

Установлены те же закономерности размещения линеаментов, что и в районах №1 и №2 [26, 27]. Многие региональные и зональные линеаменты прослеживаются по другим районам или выходят за их пределы [12, 13, 24]. Установлены прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия северо-западных и северо-восточных линеаментов, а также субмеридиональные. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем глобальных и региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 330° и 60° ; ортогональная система – 10° и 285° . Необходимо отметить, что подавляющее большинство глубинных разломов, выделенных геолого-геофизическими методами [3], проявляются на КС линеаментами, совпадающими с их осевыми линиями, или трассирующимися параллельно им в непосредственной близости.

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

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

Проведение линеаментно-блокового анализа

На рассматриваемой территории проведен линеаментно-блоковый анализ с детальностью исследований соответствующий масштабу картирования 1:200 000 и построена карта неотектонических блоковых структур (рис. 3).

Выделение блоковых структур производилось в соответствии с принципами линеаментной тектоники [4]. Границами блоковых структур послужили отрезки протяженных прямолинейных линеаментов, контролирующих геологические структуры, неотектонические блоки. Все неотектонические блоки характеризуются определенными орографическими уровнями поверхностей рельефа.

В качестве основы для неотектонического районирования на структурно-блоковой основе до уровня выделения геоблоков взята карта геолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала) масштаба 1:1 500 000, под редакцией В.И. Бабака и Н.И. Николаева (1983) [1]. Границы региональных неотектонических блоковых структур (мегаблоки, макроблоки, мезоблоки) проведены в соответствии с картой неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000 [9, 16, 23].

Карта неотектонических блоковых структур территории трасс магистральных газопроводов
(листы О-40-ХІ, ХІІ, ХІІІ, ХІІІІ)

Масштаб 1:200 000
Авторы-составители И.С. Копылов, В.З. Хурсин
2009 г.

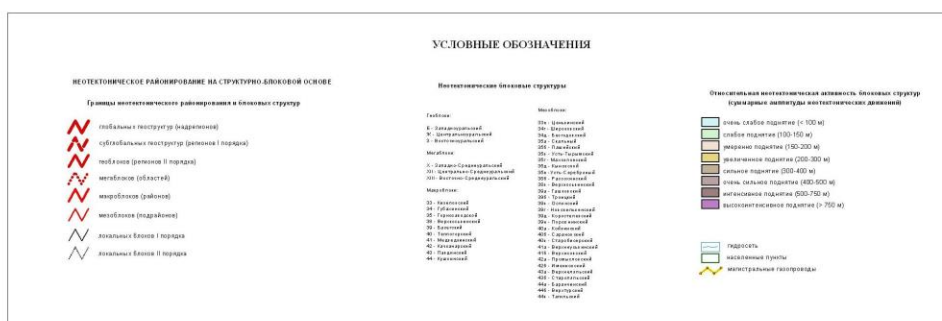
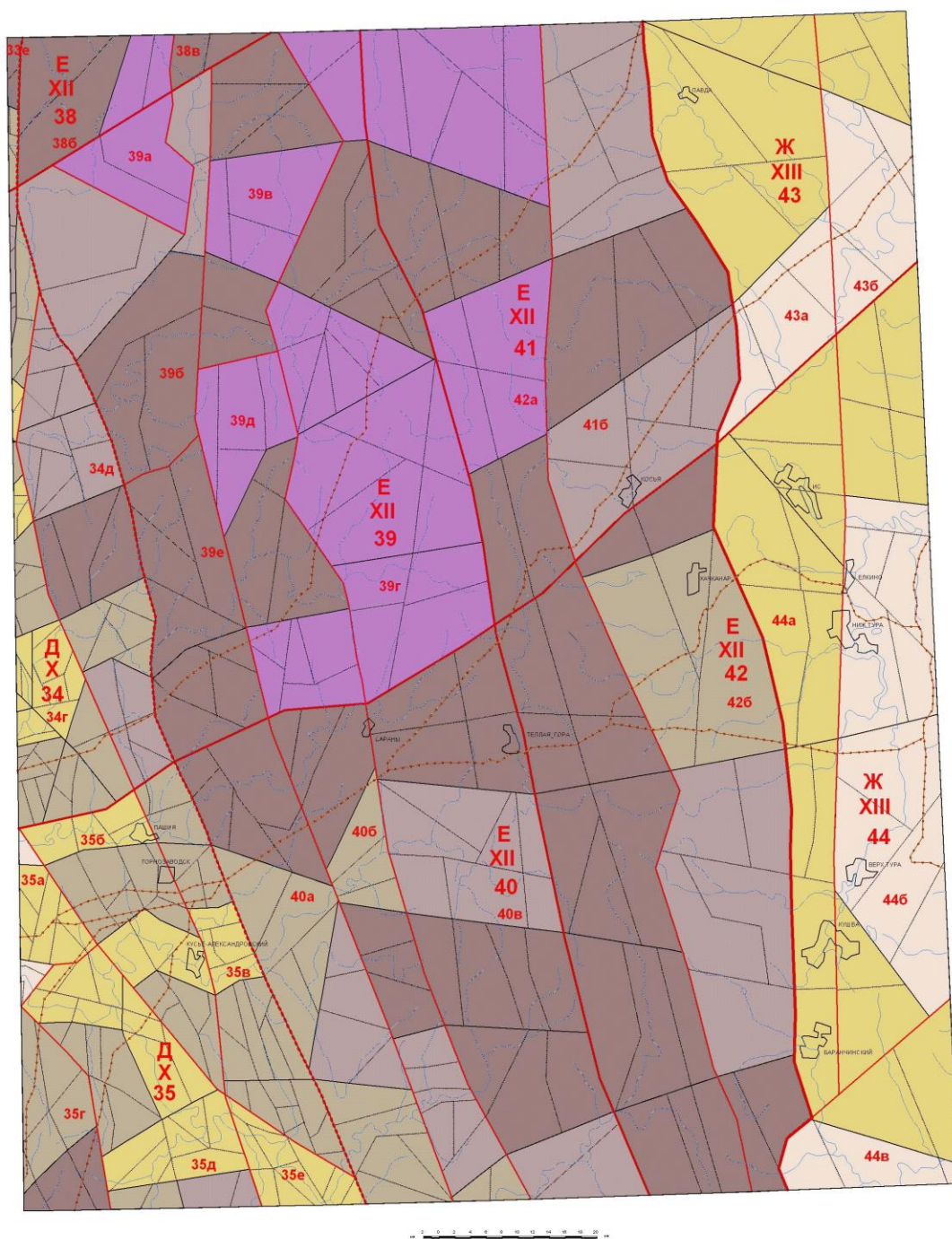


Рис. 3. Карта неотектонических блоковых структур
(уменьшение с масштаба 1:200 000)

Рассматриваемая территория (в границах района 3) входит в пределы планетарной геоструктуры – Уральской складчатой системы. С запада на восток выделяются фрагменты 3 геоблоков: Западноуральского, Центральноуральского и Восточноуральского, которым отвечают соответственно фрагменты 3 мегаблоков: Западноевропейского, Центральноевропейского и Восточноевропейского. Выделяются частично или полностью 10 макроблоков и 29 мезоблоков.

Мезоблоки в свою очередь «разбиты» на локальные структуры – блоки разного порядка. Задачей линеаментно-блокового анализа при детальности исследований масштаба 1:200 000 являлось выделение локальных блоков 1 порядка. На изученной территории (в границах района №3) выделено 117 локальных блоков 1 порядка.

Установлено, что на этой территории трассы магистральных газопроводов пересекают границы 23 региональных блоковых структур – мезоблоков, 39 локальных блоков 1 порядка и 102 локальных блоков 2 порядка (рис. 3).

Проведен анализ степени неотектонической активности блоковых структур.

Оценка геодинамической (неотектонической) активности и выделение геодинамических активных зон и участков

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность [8, 9, 29, 45].

На рассматриваемой территории проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости (по их протяженности на единицу площади) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории, построена карта геодинамических активных зон и участков (рис. 4).

Плотность линеаментов и мегатрещиноватости (которая рассчитывалась для всей площади по региональным, зональным, локальным и коротким линеамен-там) на рассматриваемой территории колеблется в широких пределах.

Отмечается резкая неоднородность в ее распределении, обусловленная блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями. Многочисленные, но небольшие по площади аномалии с повышенной и высокой степенью интенсивности, характерны для участков границ неотектонических блоковых структур.

Общий фон составляют значения с низкой (2 балл), очень низкой (1 балл), средней (3 балл) степенью плотности линеаментов. Они занимают около 85% рассматриваемой территории.

Аномалиями являются локальные участки с высокими (5 балл) и очень высокими (6 балл) значениями плотности линеаментов. Выделяется более 100 геодинамических активных участков (размерами 3-15 x 0,5-1 км) с высокой и очень высокой степенью плотности линеаментов. Они занимают примерно 5% рассматриваемой территории. Отдельные участки магистральных газопроводов находятся в пределах геодинамических активных зон и участков с высокой степенью плотности линеаментов.

Непосредственно по трассам магистральных газопроводов в пределах района №3 выделены 192 активных геодинамических участков (в местах пересечений двух и более линеаментов, а также их сгущений). Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки (рис. 4).

Наиболее опасными можно считать следующие участки:

- участки (1 + 1 км) в 9 км южнее п. Вильва;
- участки (по 1-1,5 км) в 13 км западнее, 6,5 км восточнее и 1 км южнее п. Горнозаводск;
- участок (2 км) в 5,5 км южнее п. Сараны;
- участок (1 км) в районе п. Теплая Гора.
- участок (1,7 км) в 9 км северо-западнее п. Промысла.
- участок (2,3 км) в 2 км западнее п. Бушуевка (Свердловская область).

Заключение

В результате аэрокосмогеологических исследований на территорию трасс магистральных газопроводов Среднего Урала (листы О-40- XI, XII, XVII, XVIII) составлены карты:

- карта тектонической трещиноватости (линеаментов) по результатам регионального и зонального дешифрирования КС масштаба 1:100 000;
- карта неотектонических блоковых структур масштаба 1:200 000.
- карта геодинамических активных зон и участков масштаба 1:100 000.

Региональным и зональным дешифрирование КС выделено 5310 тектонических линеаментов. Закартированы 6 крупных аномальных геодинамических зон. Непосредственно по трассам магистральных газопроводов выделены 192 локальных геодинамических активных участков. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки для эксплуатации газопроводов.

Библиографический список

1. Бабак В.И., Николаев Н.Н. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечернозёмной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000. М.: ГУГК. 1984.
2. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использованию их результатов при нефтегазопроисловых исследованиях / Коллектив авторов. Отв. ред. В.В. Стасенков, А.А. Аксенов. Министерство нефтяной промышленности. АН СССР. М.: ИГиРГИ, 1987. 159 с.
3. Кассин Г.Г., Шеринев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра. 1986. 140 с.
5. Кочарян Г.Г., Родионов В.И., Бенедик А.Л., Галицкий Ю.В., Моренков С.П. Влияние геодинамических факторов на механическую устойчивость протяжённых инженерных сооружений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 6. С.489-500.

6. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
7. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
8. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
9. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. 501 с.
10. Копылов И.С. Картирование геодинамических активных зон Среднего Урала при проведении аэрокосмогеологических исследований территории трасс магистральных газопроводов // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С.196-198.
11. Копылов И.С. К разработке теории о геодинамических активных зонах и эколого-геодинамическая оценка трасс линейных сооружений // Академический журнал Западной Сибири. 2013. Т. 9. № 4 (47). С. 17.
12. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 148-158.
13. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические нефтегазопроисловые исследования на Ново-Губахинском лицензионном участке // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 224-252.
14. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.
15. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
16. Копылов И.С. Линеаментно-блоковый анализ, блоковое строение и карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С.11-29
17. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 3. С. 18-32.
18. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Пермского края // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С.30-46
19. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
20. Копылов И.С. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических опасных зон на трассах магистральных нефтегазопроводов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021 С. 43-55.
21. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
22. 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.
23. Копылов И.С. Неотектоническое строение Приуральского сегмента в границах главного пермского поля // В сборнике: Пермская система земного шара – 180 лет. Пермь, 2022. С. 78-87.
24. Копылов И.С. Оценка геодинамической активности территории Качканарского ГОК по результатам крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 240-253.
25. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – история и изученность Приуралья аэрокосмогеологическими исследованиями // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 13-24.
26. Копылов И.С. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром Трансгаз Чайковский» (Соликамск – Кизел – Усьва) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 316-326.
27. Копылов И.С. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Чайковский» (Гремячинск – Чусовой – Кын) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С.205-216.

28. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
29. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
30. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-1.
31. Копылов И.С., Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2013. №3(20). С.5-30.
32. 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.
33. 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.
34. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибраминов Р.Г., Осовецкий Б.М. Инженерно-геологическое изучение, картографирование, районирование территории Пермского края // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-10. С. 2190-2195.
35. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибраминов 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.
36. 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.
37. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. С. 678.
38. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
39. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 (1:100000-1:500000). М.: Недра, 1978. 391 с.
40. 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.
41. 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.
42. Николаев Н.И. Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР (вопросы региональной и теоретической неотектоники). М.: Гос. науч.- тех. изд-во лит. по геологии и охране недр, 1962. 392 с.
43. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. Москва, Недра, 1979. 223 с.
44. Султангареев Р.Х. Оценка влияния геодинамики на работоспособность магистральных газопроводов // *Нефтегазовое дело*. Уфа, 2006. Т.2. С. 60-63.
45. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТНОЙ СЕТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Изучены закономерности планетарной трещиноватости и линеamentной сети в западной части Сибирской платформы в пределах Байkitской антеклизы. Проведен аэрокосмогеологический анализ с компьютерным дешифрированием цифровых космических снимков. Закартированы многочисленные геодинамические активные зоны, обусловленные повышенной тектонической трещиноватостью и высокой плотностью линеamentов.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические исследования, линеamentно-геодинамический анализ, космические снимки, дешифрирование, геодинамическая активность, Восточная Сибирь, Красноярский край.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

STUDY OF PLANETARY FRACTURING AND LINEAMENT NETWORK BASED ON SPACE IMAGES IN THE WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

The regularities of planetary fracturing and lineament network in the western part of the Siberian platform within the Baikite antecline were studied. Aerospace geological analysis with computer interpretation of digital satellite images was carried out. Numerous geodynamic active zones caused by increased tectonic fracturing and high density of lineaments were mapped.

Keywords: aerospace geological studies, lineament-geodynamic analysis, satellite images, interpretation, geodynamic activity, Eastern Siberia, Krasnoyarsk Krai.

Введение

Планетарная трещиноватость, под которой понимаются системы закономерно ориентированных трещин, имеющих повсеместное распространение и ряд характерных особенностей, а также – способности проявляться в рельефе земной поверхности в виде линеamentов (по С.С. Шульц [37]) вызывает большой интерес исследователей уже несколько десятков лет. Существует много методов по изучению планетарной трещиноватости от непосредственных измерений тектонических трещин на обнажениях горных пород до прослеживания их глубинными геолого-геофизическими методами.

Аэрокосмические методы (АКМ) дают возможность изучать и картировать тектонические линеamentы различных уровней – от планетарного и транс-континентального до локального.

На многих космических снимках отчетливо прослеживается взаимосвязь, как планетарных разрывов, так и небольших линеamentов с геологическими

структурами, геоморфологическими элементами рельефа и их ландшафтно-геодинамическими особенностями [4-6, 20, 21].

Байкитская антеклиза (главный объект исследований в настоящей работе) представляет собой крупную надпорядковую положительную структуру на западе Сибирской платформы, четко выраженную по поверхности фундамента и перекрывающим его рифей-венд-нижнекембрийским горизонтам осадочного чехла. Она простирается в северо-западном направлении на 500-540 км при ширине до 360 км в центральной части (в контурах сейсмического отражающего горизонта «Б» – кровли собинской свиты венда). Площадь ее составляет 120 тыс. км². В центральной части выделяется Камовский свод, с площадью 43 тыс. км² и амплитудой до 200 м, осложненный локальными положительными структурами [2, 38]. По отложениям эвенкийской свиты кембрия, вскрытым эрозионным врезом, на Байкитской антеклизе структурно-геологических работ (В.И. Бурмин, М.В. Чусов, И.С. Копылов и др.) выделены 73 локальные положительные структуры в основном пликативного типа, группирующихся в 8 зон поднятий: Светланинская, Вайвидинская, Тохомо-Куюмбинская, Тайгино-Танадинская, Тайгинская, Иркинеевская зоны поднятий, Енгидинский дизъюнктивный вал, Оленчимино-Кординский вал [28, 29].

На некоторых структурах Камовского свода установлены месторождения нефти и газа, в т.ч. Юрубчено-Тохомское, Оморинское, Куюмбинское и др.. При этом 80 % продуктивных на нефть и газ структур имеют высокую степень тектонической трещиноватости, обусловленной геодинамической (неотектонической) активностью [1, 36, 40].

Район исследований показан на рис. 1, 2, геологическая карта – на рис. 3. Природные и геологические условия изложены в работах [11, 14, 19]; результаты нефтепоисковых геохимических исследований приведены в работах [8-10, 12-18, 24-26].

Исторические аспекты

На Сибирской платформе изучение планетарной трещиноватости и тектонических линеаментов АКМ в связи с изучением геологического строения и поисками полезных ископаемых проводится с начала 70 гг. XXв. Сотрудниками ПГО «Аэрогеология», ПГО «Енисейнефтегазгеология», «ВНИГНИ» «ВНИГРИ», «ЛАЭМ» и др. построены различные, в основном мелкомасштабные схемы линеаментов и кольцевых структур, как по отдельным регионам, так и обзорные – на всю Восточную Сибирь в масштабах 1:10 000 000 – 1:2 500 000.



Рис.1. Обзорная схема района исследований (ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery))

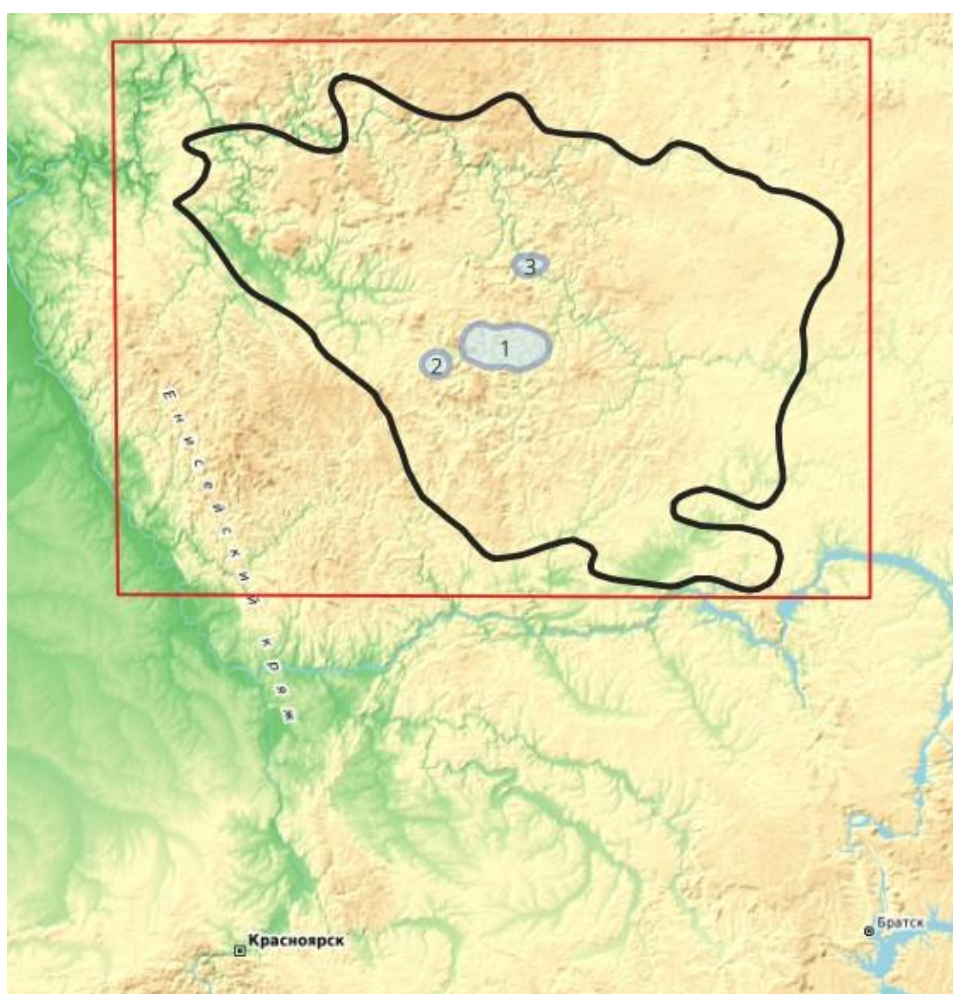


Рис.2. Район исследований (с контуром Байkitской антеклизы) на физико-географической карте (OpenTopoMap). Месторождения нефти и газа: 1 – Юрубчено-Тохомское, 2 – Оморинское, 3 – Куюмбинское

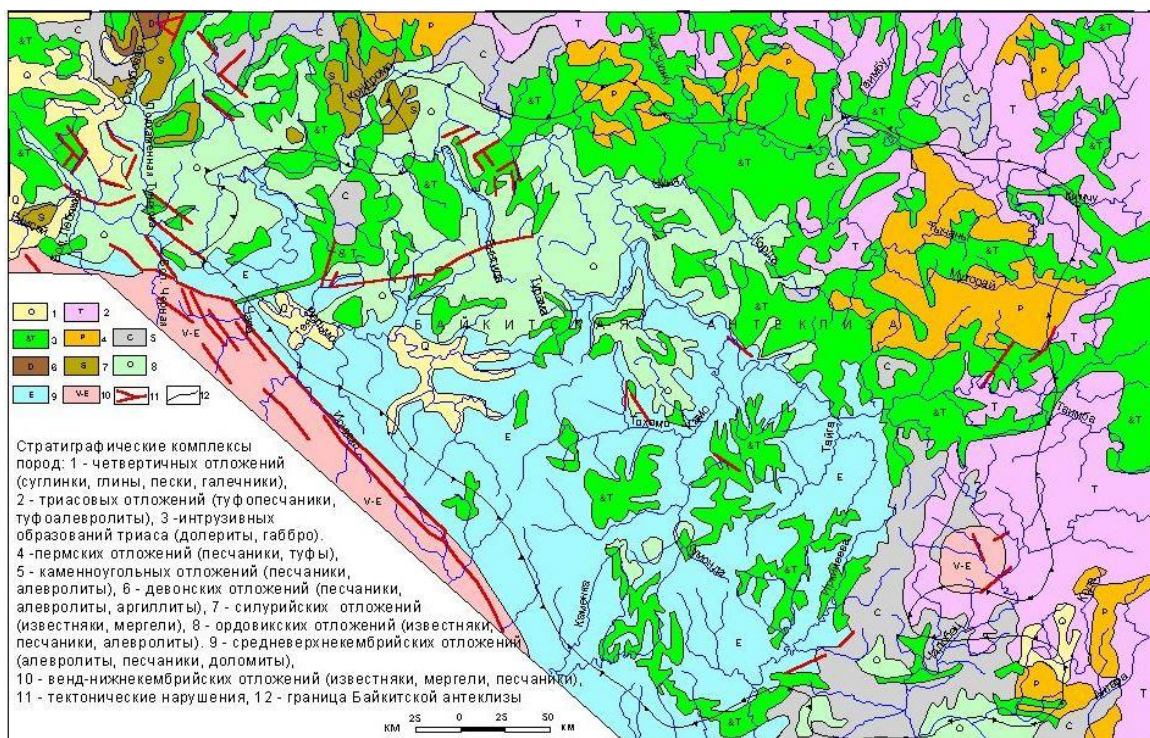


Рис. 3. Геологическая карта Байкитской антеклизы [14]

При дешифрировании и структурных построениях использовались, как правило, аэрофотоснимки (АФС) и космические снимки (КС) – «Эсса», «Метеор» и др. с разрешением 1-3 км [3, 4]; с конца 80-х гг. стали использоваться КС «Landsat» (с разрешением ок. 100 м). По западной части Сибирской платформы наиболее подробными являлись космогенетические схемы масштаба 1:1 500 000 (Качаев Г.И., Сивков Г.Ф. и др., 1981ф; Пятницкий В.К., Ероменко В.Я., 1985ф и др.).

Автором в 1982-1997 гг. в составе Северной ГПП ГПП «Енисейнефтегаз-геология» применялись АКМ в комплексе со структурно-геологической съемкой, морфоструктурными, геохимическими и гидрогеологическими нефтегазопромысловыми исследованиями. Работы проводились на различных площадях Восточной Сибири в Красноярском крае (Кочечумская, Иркинеевская, Светланнинская, Кузьмовская, Камовская, Юрубченская, Нижнеканская и др.) [7, 22, 30, 39]. В комплекты геологических и специализированных карт входили карты результатов дешифрирования и морфоструктурные (морфометрические) карты масштаба 1:100 000-1:200 000 и обобщенные карты масштаба 1:500 000. Дешифрирование тектонических нарушений и выделение морфоструктур – предполагаемых тектонических поднятий осуществлялось в основном по АФС и КС среднего и мелкого масштаба. Несмотря на не очень высокое качество материалов аэросъемки, отмечалась удовлетворительная сходимость построений по АКМ со структурами, выделенными структурно-геологической съемкой. Также нашли подтверждение около 50% предварительно отдешифрированных гидрогеологических объектов – родников, что способствовало повышению эффективности проведения поисковых геохимических работ и гидрогазобioхимической съемки по источникам подземных вод в труднодоступных горнотажных условиях.

Методы и результаты современных аэрокосмогеологических исследований

В последние годы (с конца первого десятилетия ХХІв.) геологические, а также – геоэкологические, инженерно-геологические и др. условия изучаются АКМ на основе современных цифровых КС и компьютерных технологий геологического дешифрирования, где основными объектами являются линеаменты, отображающие тектонические нарушения. Технология компьютерного дешифрирования и обработки данных реализуется на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей (Spatial Analyst Tools, Line Density и др.).

Один из основных комплексных видов аэрокосмогеологического анализа – линеаментно-геодинамический анализ (ЛГА), целью которого является выделение *геодинамических активных зон* (ГАЗ). Последние представляют собой ограниченные, протяжённые в плане участки земной коры, с концентрацией тектонического напряжения, обусловленного внутренними силами Земли и их активностью на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью, повышенной трещиноватостью, проницаемостью, и как следствие, проявлением разрывной тектоники, сейсмичности, подъёмом флюидов и других процессов [23, 27]. Установлена пространственная связь локальных ГАЗ с другими локальными изменениями и аномалиями в геологической среде – геохимическими, геофизическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и др. [31, 33, 35].

Линеаментно-геодинамический анализ заключается в получении исходной модели линеаментного поля путем дешифрирования КС, далее – в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности и построение ее картографических моделей разного уровня детальности. Методика исследований включает: подготовку материалов дистанционных съемок, визуальное выделение геоиндикаторов, интерактивное компьютерное структурно-геологическое дешифрирование КС, автоматизированную обработку линеаментов, разработку критериев, различные виды классификаций, создание локальных баз данных, создание цифровых моделей рельефа, линеаментный, морфонеотектонический, геодинамический анализы, сопоставление данных с геофизическими и другими полями и оценку достоверности результатов, создание итоговых карт районирования, оценки и прогноза [21].

Критериями оценки геодинамической (неотектонической) активности являются различные расчетные показатели. Одним их важнейших показателей является плотность разломов, линеаментов и мегатрещин.

В западной части Сибирской платформы, в пределах Байкитской антеклизы и ее обрамлений (на площади около 120 тыс. км²) выделены более 3 тыс. 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 [14, 21, 32, 34] (рис. 4).

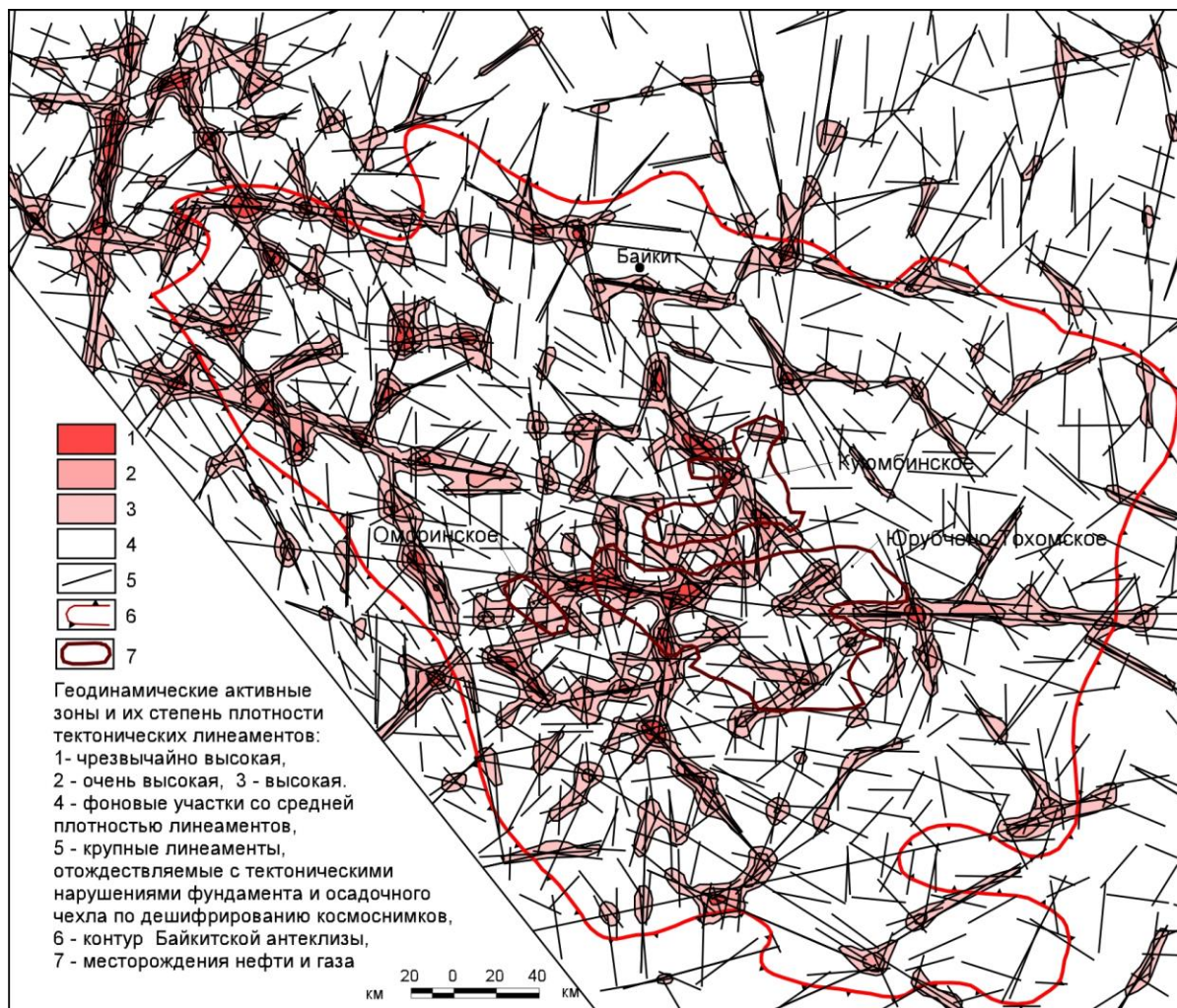


Рис. 4. Геодинамические активные зоны Байкитской антеклизы [14]

Картирование планетарной трещиноватости и линеаментных полей на западе Сибирской платформы и новый подход дешифрирования

В настоящее время в практике интерпретации материалов дистанционного зондирования (МДЗ) и космического компьютерного дешифрирования наметился новый подход к картированию планетарной трещиноватости, линеаментов, тектонических структур. Он проводится на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) по различным модулям Quantum GIS – QGIS. В отличие от прежнего подхода компьютерного дешифрирования, когда геологическая интерпретация проводилась на отдельных КС, при новом подходе интерпретация объектов производится непосредственно в определенной географической координатной системе, что позволяет проводить дешифрирование на любой территории вплоть до континентального уровня. Кроме того появилась возможность при необходимости оперативно менять среду дешифрирования – спутниковые или географические (а также и геологические, где они уже имеются или специально создаются) подкладки, что значительно повышает качество интерпретации. Особенно удобна такая технология при мелкомасштабном региональном геологическом дешифрировании.

Результаты структурного дешифрирования и линеamentного анализа по МДЗ по Байкитской антеклизе приведены в таблице 1 и отображены в схемах линеamentных полей (рис. 5).

Таблица 1

Результаты дешифрирования линеamentов по МДЗ

Ранги линеamentов	Протяженность прямолинейных линеamentов, км	Масштаб дешифрирования МДЗ	Количество линеamentов
глобальные	400-800 и более	1:10 000 000	7
региональные	200-400	1:5 000 000	112
региональные	100-200	1:2 500 000	274
зональные	50-100	1:1 000 000	726
зональные	15-50	1:500 000	412 (Камовский свод)
локальные	5-15	1:200 000	202 (Юрубченское месторождение)

Основной каркас планетарной трещиноватости в западной части Сибирской платформы в т.ч. – на Байкитской антеклизе, составляют линеamentы континентального (протяженностью более 1000 км) и глобального рангов (протяженностью 400-800 и более) км (рис. 5-А, 5-Б). Выделены на КС в масштабе 1:10 000 000 – 1:5 000 000. Главные линеamentы ортогональной системы имеют субмеридиональное (енисейское), их 4 – параллельно р. Енисею и Енисейскому краю и субширотное (тунгусское) направление, 2 из них окантуют с севера и юга Байкитскую антеклизу. Разбиваются они системой крупных – региональных линеamentов на блоки разных порядков. В центральной части – на Камовском своде, которому соответствует Камовский мегаблок установлены основные месторождения нефти и газа.

Региональное и зонально-региональное линеamentные поля, предположительно отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных структур и зоны тектонической трещиноватости в осадочном чехле и фундаменте (рис. 5-В, 5-Г). Характерны две системы – ортогональная (преимущественное направление 10° и 285°) и диагональная (преимущественное направление 330° и 60°). Региональные линеamentы протяженностью 100-200 км, выделены на КС в масштабе 1:2 500 000. Зональные линеamentы протяженностью 50-100 км, выделены на КС в масштабе 1:1 000 000.

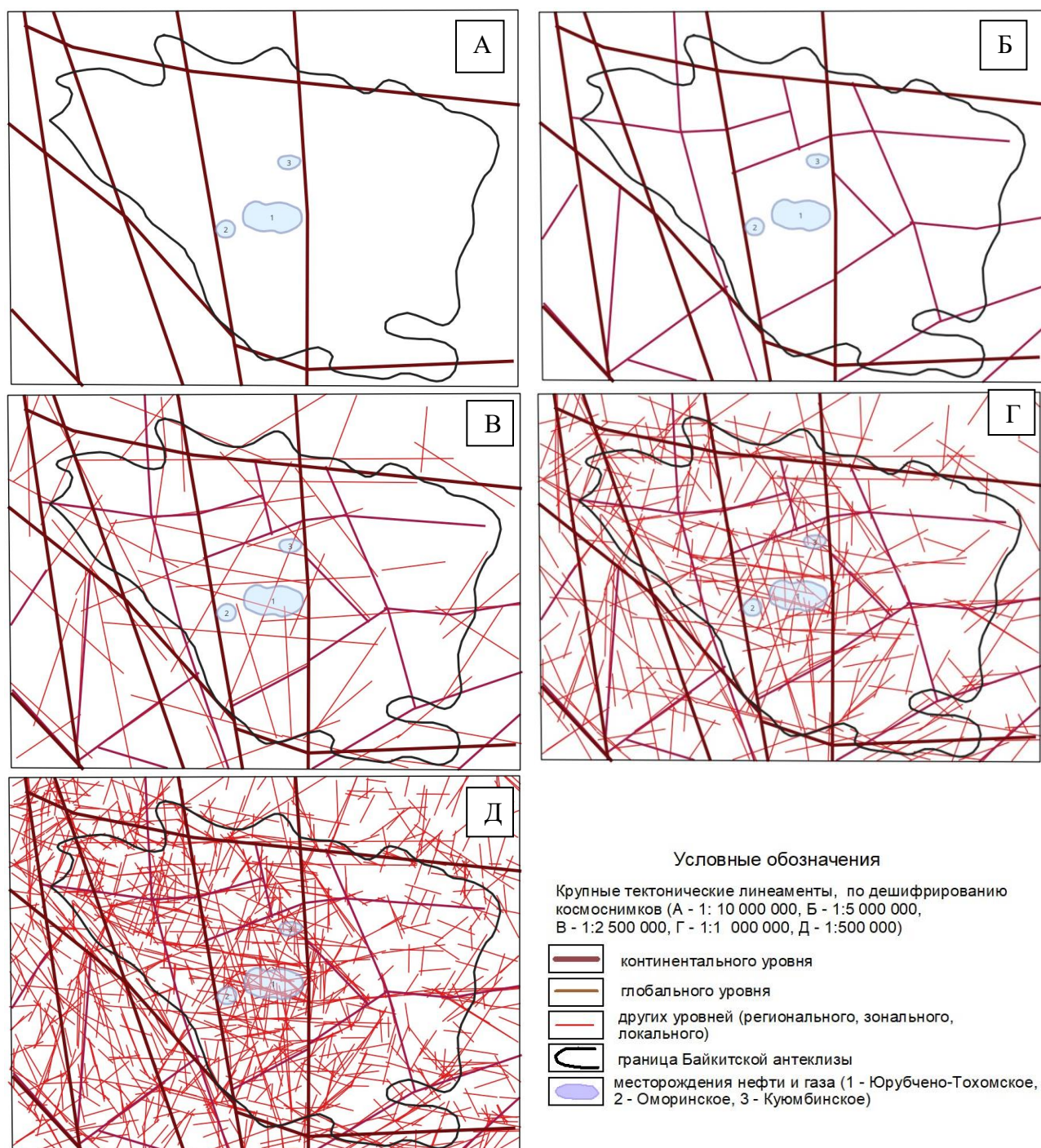


Рис. 5. Планетарная трещиноватость и линеаментная сеть Байkitской антеклизы

Зональное и локально-зональное линеаментное поле, предположительно отображает активизированные в новейшее время зоны тектонической трещиноватости в осадочном чехле и фундаменте (рис. 5-Д). Установлены линеаменты всех направлений, но преобладает диагональная система. Зональные линеаменты протяженностью 50-100 км, выделены на КС в масштабе 1:1 000 000, протяженностью 15-50 – в масштабе 1:500 000.

Зонально-локальное и локальное линеаментное поле предположительно отображает активизированные в новейшее время участки тектонической трещиноватости в зонах повышенной геодинамической активности и локальных

положительных структур, в числе которых и структуры с установленной продуктивностью углеводородов. В центральной части Байкитской антеклизы, на Камовском своде при дешифрировании в масштабе 1:500 000 (рис. 6) и в масштабе 1:200 000 (рис. 7) установлены линеаменты разных направлений (8 основных) без значительного преимущества какой-либо ориентировки в целом, но на отдельных участках определенные закономерности прослеживаются. Так, в центральной части Камовского свода наиболее характерны тектонические нарушения субмеридионального и северо-восточного направления. По морфологии они сложные, местами дугообразные, особенно в местах пересечения с тектоническими нарушениями других направлений. Также обращает внимание распространение зон тектонических нарушений северо-восточного и северо-западного направлений, пересекающихся в районе р. Тохомо между устьями рек Манкуры и Верхнего Зелингдукона, в устьях рек Юрубчена, Чавичины, Тохомо, Нирунгны и др., которые хорошо выделяются в виде параллельных прямолинейных локальных и коротких линеаментов.

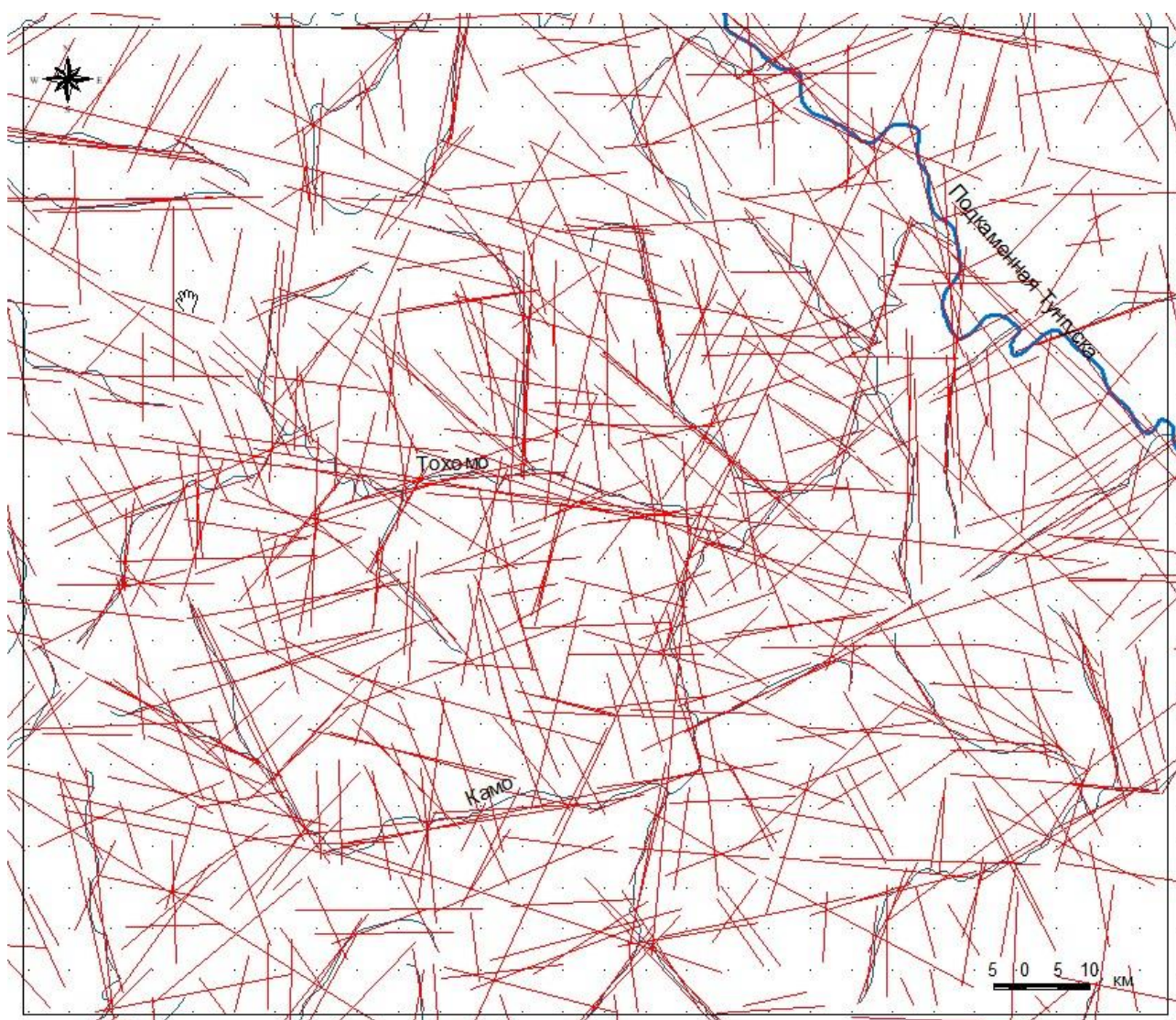


Рис. 6. Зонально-локальное линеаментное поле Камовского свода. Масштаб 1:500 000

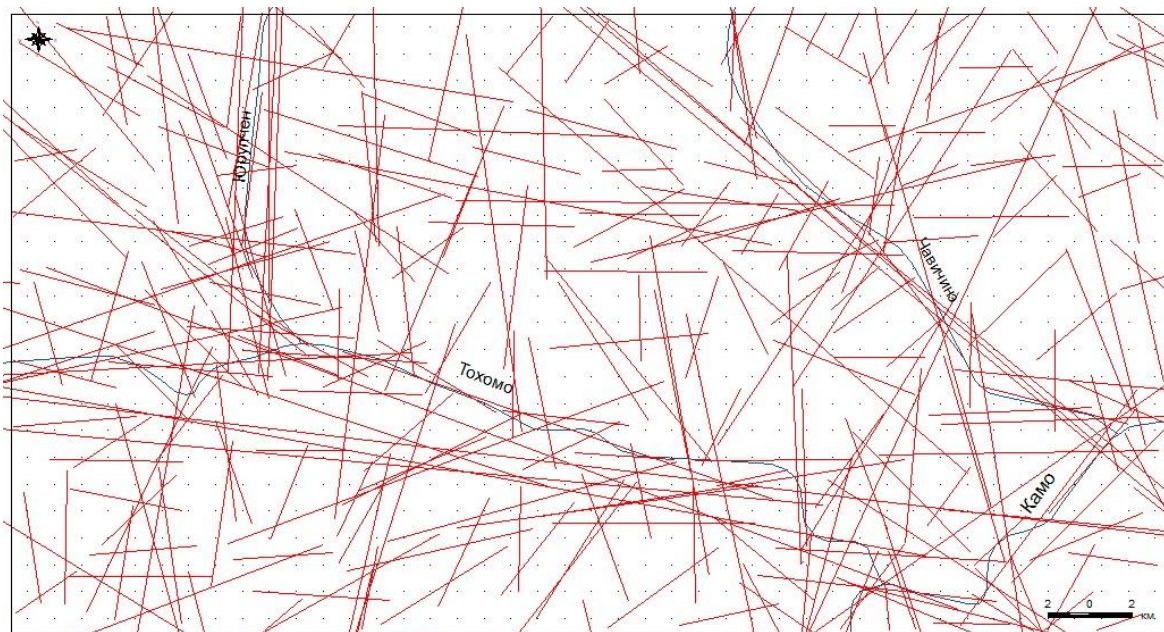


Рис. 7. Локальное линеamentное поле Юрубчено-Тохомского месторождения.
Масштаб 1:200 000

Заключение

В результате проведения аэрокосмогеологического анализа были изучены закономерности планетарной трещиноватости, линеamentной сети и современных геодинамических условий в западной части Сибирской платформы, в пределах Байкитской антеклизы и ее обрамлений.

Планетарная трещиноватость глобального уровня характеризуется основной ортогональной системой простирания; главные линеamentы имеют субмеридиональное (енисейское) и субширотное (тунгусское) направление. Для регионального и зонально-регионального линеamentных полей характерны две системы – ортогональная (преимущественное направление 10° и 285°) и диагональная (преимущественное направление 330° и 60°). По линеamentным сетям зонального и локального рангов установлены линеamentы разных направлений, при этом отмечаются некоторые закономерности их ориентировок в зависимости от особенностей геологического строения на отдельных участках.

Рассматриваемая территория характеризуется преобладающим мобильным (активным) и стабильным режимом тектонического развития в новейшее время. Закартированы многочисленные геодинамические активные зоны, обусловленные повышенной тектонической трещиноватостью и высокой плотностью линеamentов. Повышенная геодинамическая активность локальных положительных структур способствует формированию геохимических аномалий, перспективных на поиски нефти и газа, что подтверждено открытыми месторождениями.

Библиографический список

1. Варламов А.И., Ефимов А.С., Кринин В.А. Ресурсный потенциал и перспективы развития сырьевой базы Восточно-Сибирской нефтегазоносной мегапровинции // В сборнике: Геология и

- геофизика – 2022: наука, производство, инновации. Мат-лы II Межд. науч.-практ. конф. Тверь, 2022. С. 150-153.
2. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, И.П. Варламов и др. М.: Недра, 1981. 552 с.
3. Ероменко В.Я. Космические снимки при изучении морфотектоники и геодинамики Сибирской платформы. Л.: Недра, 1990. 159 с.
4. Ероменко В.Я. Геодинамика платформенных областей и дистанционные методы ее изучения. 2-е изд., доп. СПб: ВСЕГЕИ, 1999. 201 с.
5. Кац Я.Г., Рябухин А.Г., Трофимов Д.М. Космические методы в геологии. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1976. 246 с.
6. 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.
7. Испанов Н.А., Копылов И.С. Маркирующие горизонты эвенкийской свиты среднего-верхнего кембрия, их значение в надежности выделения положительных локальных структур // В книге: Геология и нефтегазоносность Красноярского края. Красноярск, 1983. С. 86-88.
8. Копылов И.С. Биогеохимические показатели, аномалии и их нефтегеологическое значение (Тунгусский бассейн) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2021. № 24. С. 106-112.
9. Копылов И.С. Битуминологические показатели перспектив нефтегазоносности на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2022. № 25. С. 133-140.
10. Копылов И.С. Газогеохимические показатели нефтегазоносности в надсолевом комплексе на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2023. № 26. С. 129-133.
11. Копылов И.С. Геокриологические условия юго-запада Восточной Сибири // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2020. С. 192-204.
12. Копылов И.С. Геохимические исследования приповерхностной литосферы и фитосферы на западе Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2024. № 27. С. 73-80.
13. Копылов И.С. Геохимические критерии нефтегазоносности на западе Сибирской платформы // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 91-96.
14. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.
15. Копылов И.С. Газогеохимические показатели нефтегазоносности Тунгусского бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2023. № 26. С. 122-128.
16. Копылов И.С. Гидрогеологические и геохимические критерии оценки перспектив нефтегазоносности Байkitской антеклизы // В книге: Геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения нефтяных и газовых месторождений Нижнего Приангарья. Красноярск, 1996. С. 67-68.
17. Копылов И.С. Гидрогеологические и геохимические нефтегазопроисследовательские исследования в юго-западной части Сибирской платформы // В книге: Поиски и разведка месторождений нефти и газа в Красноярском крае. Красноярск, 1988. С. 112-113.
18. Копылов И.С. Гидрогеохимические показатели зоны гипергенеза Тунгусского бассейна и их нефтегеологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2022. № 25. С. 141-147.
19. Копылов И.С. Закономерности формирования геоэкологических и инженерно-геологических условий Байkitского нефтегазоносного региона // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2014. № 14. С. 108-113.
20. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
21. Копылов И.С. Методологический подход к проведению линеаментно-геодинамического и морфонеотектонического анализов в центральной части Красноярского края для оценки геодинами-

- ческой активности и поисков нефтегазоперспективных структур // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2021. С. 56-67.
22. Копылов И.С. Морфоструктурный и морфонеотектонический анализ в юго-западной части Сибирской платформы // В книге: *Гидрология и геоморфология речных систем*. Иркутск: Институт географии СО РАН, 1997. С. 59-61.
23. 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.
24. Копылов И.С. Применение структурно-гидрогеологического анализа и модуля подземного углеводородного стока при поисках нефти и газа // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2018. № 18. С. 225-229.
25. Копылов И.С. Прогнозирование нефтегазоносных объектов комплексом геохимических и аэрокосмогеологических методов // *Академический журнал Западной Сибири*. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 16-17.
26. Копылов И.С. Структурно-гидрогеологический анализ Камовского свода Сибирской платформы // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2018. № 21. С. 395-401.
27. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
28. Копылов И.С., Агеев А.А., Гилько А.В. Геоэкологическое картирование масштаба 1:200000 на Тохомо-Камовской площади. Отчет о НИР. 1993. Красноярск. 120 с.
29. Копылов И.С., Баландин А.П., Гилько О.П., Шарова О.А., Васильева Н.М., Бурмина А.И. Результаты геокриологических, гидрогеологических и геохимических нефтегазопроисловых работ в юго-западной части Сибирской платформы. Отчет о НИР. Красноярск: Енисейнефтегазгеология, 1992. 193 с.
30. Копылов И.С., Испанов Н.А., Тишина М.А. Комплексирование геологических, геохимических и гидрогеологических методов при структурно-геологической съемке // В книге: *Геология и нефтегазоносность Красноярского края*. Красноярск, 1983. С. 75-77.
31. 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.
32. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Куляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 167-175.
33. 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.
34. Копылов И.С., Порошков К.С. Инженерно-аэрокосмический анализ территории трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 228-238.
35. Копылов И.С., Чусов М.В., Ликутев Е.Ю. Оценка неотектонической активности структурно-геоморфологическими, гидрогеологическими и геохимическими методами // В книге: *Геоморфология гор и равнин: взаимосвязи и взаимодействие*. 1998. С. 118-121.
36. Кринин В.А., Порозов И.И. Зональность распределения углеводородов и нефтегазоносность осадочного чехла западной части Сибирской платформы // *Геология нефти и газа*. 2020. № 4. С. 29-44.
37. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линейментов. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. 136 с.
38. Нефтегазоносность древних продуктивных толщ запада Сибирской платформы / А.К. Битнер, В.А. Кринин, Л.Л. Кузнецов и др. Красноярск, КФ СНИИГТиМС, 1990. 114 с.
39. Тишина М.А., Чусова Л.Д., Копылов И.С. Некоторые результаты морфометрических исследований центральной части Тунгусской синеклизы (на примере Кочечумской площади). // В книге: *Геология и нефтегазоносность Красноярского края*. Красноярск, 1983. С. 92-93.
40. Харахинов В.В., Шленкин С.И., Зеренинов и др. Нефтегазоносность докембрийских толщ Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2011. Т. 6. № 1. С. 1-31.

МЕТОДОЛОГИЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И РЕЗУЛЬТАТЫ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ВИШЕРСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЗОНА СОЧЛЕНЕНИЯ КАМСКОГО СВОДА С СОЛИКАМСКОЙ И ВИСИМСКОЙ ВПАДИНАМИ)

Изложен методологический подход к проведению аэрокосмогеологических нефтегазопроспективных исследований на примере Вишерской площади в зоне сочленения Камского наложенного свода с Соликамской и Висимской впадинами. Исследования проводились с целью уточнение геологического и тектонического строения территории для постановки нефтепоисковых работ. Выполнены ландшафтно-геодинамический, линеаментно-геодинамический, линеаментно-блоковый анализы для поисков нефтегазоперспективных структур. Построены карты линеаментов, неотектонических блоковых структур, геодинамических активных зон и ландшафтных аномалий. По дешифрированию космических снимков выделены 808 прямолинейных линеаментов, отражающих трещинно-разрывные структуры осадочного чехла и фундамента. Установлены 61 ландшафтных аномалий, отображающих предполагаемые тектоногенные поднятия брахиантиклинального типа. Рекомендовано 5 участков для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями.

Ключевые слова: нефть и газ, аэрокосмогеологические исследования, ландшафтно-геодинамический анализ, космические снимки, дешифрирование, тектонические структуры, ландшафтные аномалии, линеаменты, геодинамическая активность, Висимская впадина, Соликамская впадина, Приуралье, Россия.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

METHODOLOGY OF LANDSCAPE-GEODYNAMIC ANALYSIS AND THE RESULTS OF OIL AND GAS PROSPECT FOR AEROSPACE AND GEOLOGY INVESTIGATIONS ON THE VISHERSKAYA AREA (ZONE OF JOINT OF THE KAMSKIY VAULT WITH THE SOLIKAM- SKAYA AND VISIMSKAYA DEPRESSIONS)

A methodological approach to conducting aerospace geological oil and gas prospecting studies is presented on the example of the Visherskaya area in the junction zone of the Kamskiy superimposed vault with the Solikamskaya and Visimaya depressions. The researches were carried out in order to clarify the geological and tectonic structure of the territory for setting up oil prospecting. Landscape-geodynamic, lineament-geodynamic, lineament-block analyzes were performed to search for oil and gas prospective structures. Maps of lineaments, neotectonic block structures, geodynamic active zones and landscape anomalies have been constructed. Based on the interpretation of space images, 808 rectilinear lineaments were identified, reflecting the fracture-fracture structures of the sedimentary cover and basement. 61 landscape anomalies were identified, reflecting the supposed tectonic uplifts of the brachianticlinal type. 5 sites are recommended for conducting detailed seismic surveys in combination with gravimetric and geochemical surveys and detailed aerospace geological surveys.

Key words: oil and gas, aerospace geological research, landscape-geodynamic analysis, space images, interpretation, tectonic structures, landscape anomalies, lineaments, geodynamic activity, Visimaya depression, Solikamskaya depression, Ural, Russia.

Введение

Вишерская площадь расположена в Пермском Приуралье, в административном отношении – на территории в основном Чердынского и Соликамского и незначительно – Усольского районов Пермского края, в пределах тополиста О-40-III.

В тектоническом плане территория исследований находится на восточной окраине Восточно-Европейской платформы, в пределах Волго-Уральской антеклизы, в пределах Соликамской и Висимской впадин и Камского свода. По карте термальной мощности литосферы (которая составляет 200-240 км) территория относится высокоперспективным землям [7]. Характеризуется различной геодинамической активностью с выраженными региональными аномалиями геодинамического поля [8, 14]. Современными методами исследований район изучен недостаточно. Территория охвачена региональными сейсморазведочными и гравиметрическими работами [2, 46], южная и восточная части охвачены структурно-поисковым бурением (более 100 скважин), глубокого бурения не проводилось.

В верхней части геологического разреза в западной части преобладают терригенные отложения пешминского горизонта, в восточной и северной частях – сульфатно-карбонатные отложения соликамского горизонта уфимского яруса нижнего отдела пермской системы, перекрытые в основном маломощными четвертичными флювиогляциальными, аллювиальными и делювиальными образованиями [41, 45]. По геофизическим данным на территории прослеживаются глубинные разломы преимущественно субмеридионального направления [5]. По гидрогеологическим данным отмечаются локальные проявления перетока глубинных вод [48].

В физико-географическом отношении площадь расположена на восточной окраине Восточно-Европейской равнины. По геоморфолого-неотектоническому районированию [15, 41, 49, 50] она расположена в основном пределах области слабых и умеренных поднятий равнины Среднего Прикамья в районах умеренных сводовых поднятий Верхнекондаских Увалов и слабых дифференцированных поднятий Среднекамской низменной равнины (в западной половине площади) и в области слабых и умеренных поднятий равнины Предуралья райое слабых и умеренных дифференцированных поднятий Соликамской равнины (в восточной половине площади).

По ландшафтно-геохимическому районированию [42] площадь располагается на границе и в пределах мегагеохоры аккумулятивной равнины Северного Прикамья и мегагеохоры денудационной равнины Среднего Прикамья. Рельеф сильно расчлененный с абсолютными отметками от 108 м до 192 м. Речная сеть представлена рекой Камой, Вишерой (приустьевая часть) и их притоками. Преобладают лесные ландшафты (пихтово-еловые коренные леса с преимущественным распространением вторичных елово-осиново-березовых лесов) с дерново-подзолистыми, болотно-подзолисто-глеевыми и серыми лесными почвами [15, 32].

Цель исследований: уточнение геологического и тектонического строения территории в зоне сочленения Камского наложенного свода с Соликамской

и Висимской впадинами. Выявление перспективных участков и объектов на основе проведения аэрокосмогеологических исследований для постановки нефтепоисковых работ и лицензирования (в комплексе зонально-региональных сейсмических работ с гравиметрической и геохимической съемками). Разработка методологического подхода ландшафтно-геодинамического анализа для поисков нефтегазоперспективных структур.

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

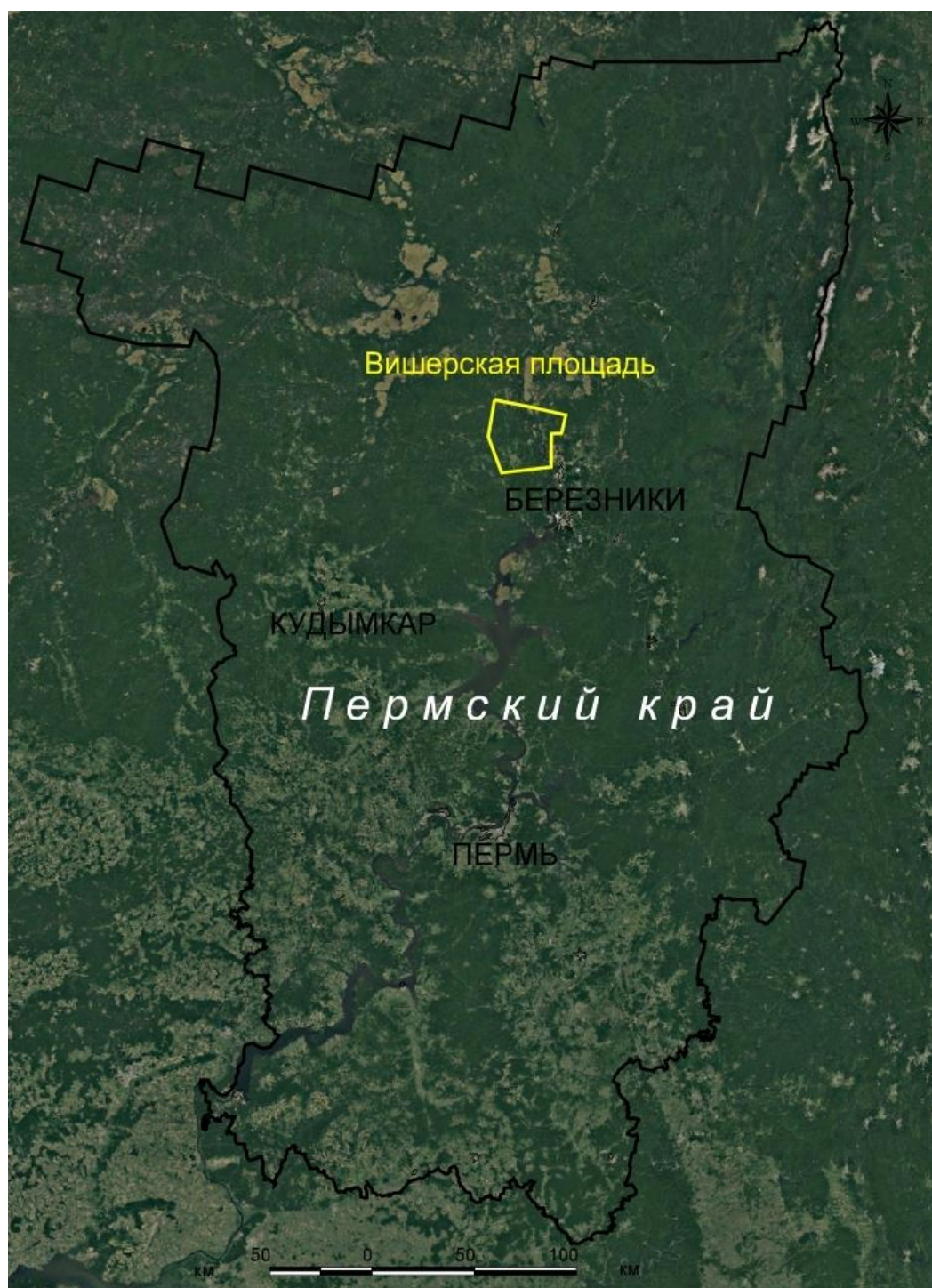


Рис. 1. Обзорная схема – Вишерская площадь на космоснимках

Аэрокосмогеологическая изученность

Вишерская площадь изучена аэрокосмогеологическими исследованиями (АКГИ) до проведения настоящих работ в целом – недостаточно. Вся площадь была охвачена региональными АКГИ масштаба 1:500 000. Более детальные работы проводились в западной части площади, однако, они носили в основном опытно-методический характер, и не являются кондиционными (материалы слабо сопоставляются друг с другом). Общая картограмма изученности нефтепоисковыми АКГИ Вишерской площади с обзором представлена на рис 2.

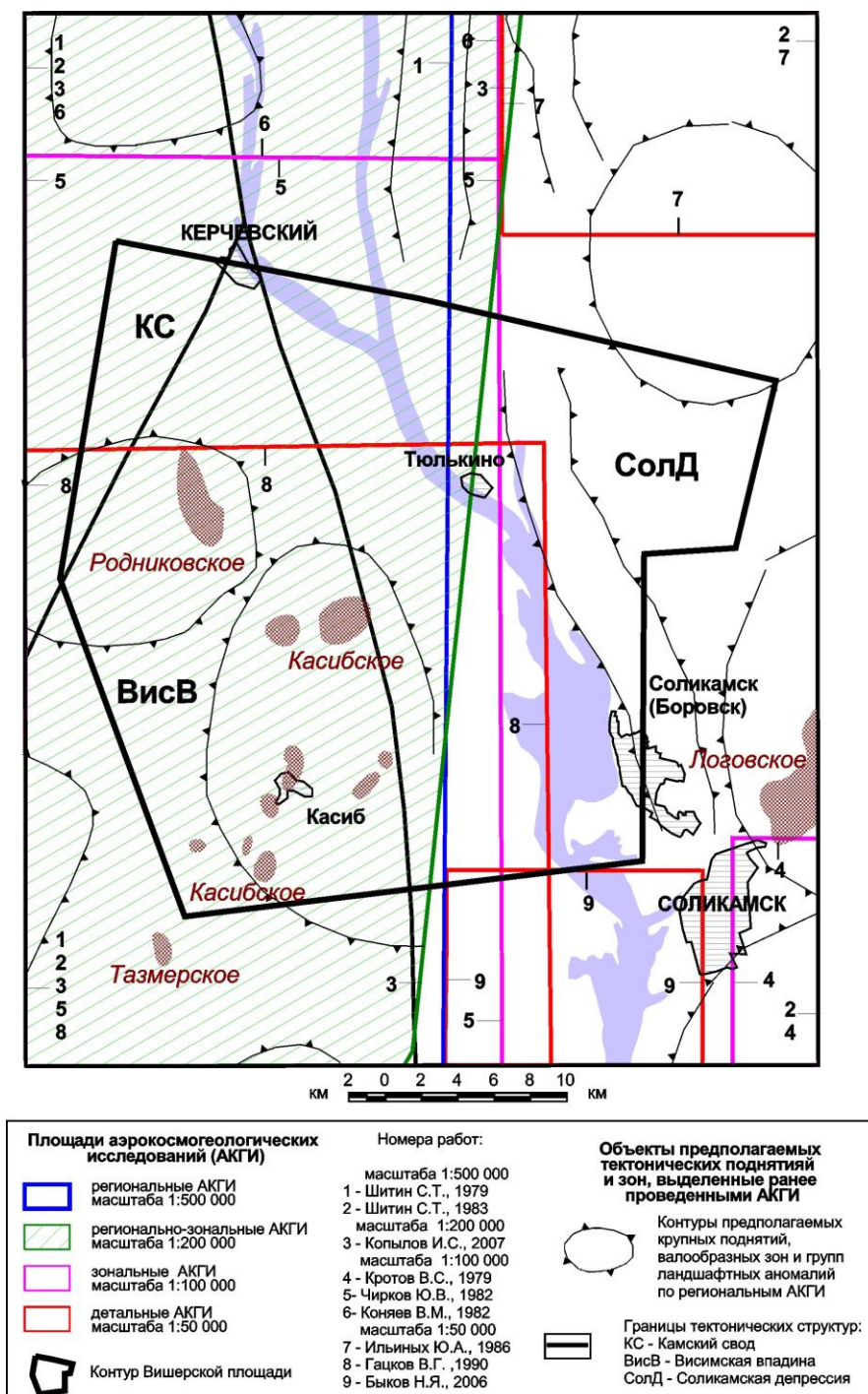


Рис. 2. Карта изученности Вишерской площади нефтепоисковыми аэрокосмогеологическими исследованиями

К первым дистанционным нефтепоисковым АКГИ на рассматриваемой территории (и практически – на всей территории Пермского края) относятся работы, проведенные Аэрокосмогеологической экспедицией (АГЭ), проводимые с 1976 г. (в последствии переименованной в партию, затем – в лабораторию и др.) ГПК ПО «Пермнефть» и ООО «ПермНИПИнефть» [11, 28, 29, 33, 34, 38].

Вся площадь изучалась региональными АКГИ масштаба 1:500 000: в (Шитин и др., 1979ф, 1983ф) [50, 51]. В последствии, результаты этих работ неоднократно пересматривались и были практически полностью переинтерпретированы по линеаментно-блоковому строению (Ильиных, 1992ф, Копылов, 2006ф и др.), а результаты по локальным ландшафтным аномалиям (ЛА), в материалах более поздних и более детальных АКГИ, как правило, не подтверждались. Однако общие тенденции структурно-тектонического строения и крупные кольцевые структуры, выделенные в западной части Вишерской площади, в современных материалах находят подтверждение.

В западной части площади В 1979-1982 гг. Ю.В. Чирковым, А.С. Кучиным и др. были проведены АКГИ масштаба 1:100 000, в пределах Вишерской площади были выделены 21 ЛА. Сделан вывод, что залежи нефти связаны со структурами облекания верхнедевонских рифогенных массивов, расположенных в блоках с умеренной неотектонической активностью и приурочены к зонам разломов активных в неотектонический этап.

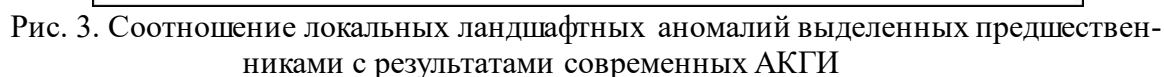
В 1985-1990 гг. В.Г. Гацковым, С.Е. Баканиным и др. проводились тематические работы по разработке методики проведения комплексных дистанционных исследований в различных ландшафтно-тектонических районах Пермской области в т.ч. – частично в пределах Вишерской площади. В результате предыдущие материалы были переинтерпретированы. Работы носили опытно-методический характер. В отличие от всех других работ по АКГИ, здесь практически не изучались кольцевые ландшафтные (или морфоструктурные) аномалии. На наш взгляд кондиции выполненных работ не соответствует заявленной детальности масштаба 1:50 000, скорее всего это уровень регионально-зональных работ (соответствующий масштабу 1:200 000).

В 2008 г. Копыловым И.С. в ООО «ПермНИПИнефть» проведены работы по анализу и обобщению результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа в т.ч. – в пределах Вишерской площади [10, 45].

В 2008-2010 гг. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком проведено обобщение и анализ всех данных АКГИ, выполнено региональное дешифрирование на основе современных космоснимков и составлена аэрокосмогеологическая карта территории Пермского края масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) с рекомендациями по перспективным направлениям поисков нефти и газа в Пермском Приуралье.

Таким образом, пределы Вишерской площади попадают полностью или частично 45 ЛА, выделенные С.Т. Шитиным и др. (1979ф; 1983ф), Ю.В. Чирковым, А.С. Кучиным (1982ф), В.Г. Гацковым, С.Е. Баканиным (1990ф) и др. Анализ сопоставления этих локальных ландшафтных аномалий с

Все материалы АКГИ были переинтерпретированы. С учетом новых данных проведена новая группировка аномалий.



Методология и методика исследований

Методология исследований основана на следующих методических комплексах и видах работ:

- проведение **комплекса аэрокосмогеологических исследований** путем системного анализа (дешифрирования) космических снимков разного масштаба от мелкого – к крупному [17, 19].
- проведение **ландшафтно-геодинамического анализа** территории, представляющего собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, ландшафтных, дистанционных и других методов) картирования ландшафтных аномалий (кольцевых структур, морфоструктур или морфоаномалий) – индикаторов погребенных локальных нефтегазоперспективных структур, для выявления закономерностей их пространственного и глубинного размещения и связей с нефтегазоносностью [17, 21-24];
- проведение **линеamentно-геодинамического анализа** территории, представляющего собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов) картирования тектонических линеamentов, полей тектонической трещиноватости, геодинамической активности с целью районирования территорий, оценки объектов по степени геодинамической активности, выделения геодинамических активных зон [13, 19, 25, 35, 39, 43-46].
- проведение **линеamentно-блокового анализа** территории, представляющего собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов) картирования неотектонических блоковых структур, их ранжирование и систематизация, геодинамическая (неотектоническая) оценка, сопоставление с геолого-геофизическими данными, выявление связей с нефтегазоносностью [18].

Основными целевыми задачами и видами исследований являлись:

- структурное дешифрирование космических снимков (КС) масштаба 1:50 000-1:100 000 с выделением прямолинейных линеamentов, отождествляемых с тектоническими нарушениями, и локальных ландшафтных аномалий, отождествляемых с локальными тектоническими структурами;
- структурно-геоморфологические исследования и неотектоническое районирование (линеamentно-блоковый, линеamentно-геодинамический, ландшафтно-геодинамический анализы);
- составление результирующих графических приложений масштаба 1:200 000: результатов аэрокосмогеологических исследований (кольцевых структур и линеamentов), неотектонических блоковых структур, геодинамических зон, перспективных участков и рекомендаций по данным АКГИ.

Методика дешифрирования КС, анализ геоиндикационных дешифровочных признаков, линеamentно-блоковой тектоники и кольцевых структур подробно изложена в работах [3, 4, 12, 17].

При проведении АКГИ проводилось компьютерное космогеологическое дешифрирование по авторской методике. Основные принципы ее заключаются

в выявлении по характеру фотоизображения различно ориентированных линейных элементов, 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) КС разного масштаба от мелкого – к крупному 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 линейных элементов большой протяженности (более 200-300 км);

- стадия регионального дешифрирования КС масштаба 1 000 000 для выявления региональных линейных элементов протяженностью от 100 до 200 км и масштаба 1:500 000 для выявления зональных линейных элементов протяженностью от 25 до 100 км;

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

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

Линейно-блоковый, линейно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы с составлением соответствующих карт проводились по методикам, изложенным в работах [10, 17-25].

Необходимо отметить, что для конкретного масштаба исследований обычно применяется дешифрирование на ранг детальнее т.е. для АКГИ Вишерской площади масштаба 1:200 000 основное дешифрирование проводилось в масштабе 1:100 000. Для сопоставления данных и их переинтерпретации выполнялось дешифрирование в масштабе 1:50 000. Для распознавания рангов линейных элементов выполнялось обзорное дешифрирование в мелких масштабах.

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

Для дешифрирования применялись КС среднего разрешения (14-30 м) со спутников Landsat 7, sensor ETM. Снимки высокого качества, позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000-1:50 000 и детальнее. Снимки характеризуются высокой геологической информативностью. Они достаточно контрастные с отчетливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов. Отчетливо дешифрируются прямолинейные линейные элементы, хорошо выделяются площадные цветотональные и разнотектурные участки ландшафтов, разграниченные линейными элементами. С их помощью

производился основной объем комплексного дешифрирования на региональном и зональном уровнях.

Результаты аэрокосмогеологических исследований

Прямолинейные линеаменты (предполагаемые трещинно-разрывные структуры)

В пределах Вишерской площади с небольшим захватом прилегающей территории (2521 км²) в результате дешифрирования КС выявлена сеть прямолинейных линеаментов различных направлений и протяженности. Всего выделено суммарно 808 прямолинейных линеаментов (рис. 3).

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

Таблица 1

Картирование линеаментов Вишерской площади по дешифрированию космоснимков

Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Масштаб дешифрирования КС	Количество линеаментов
региональные большой протяженностью	> 200	1:10 000 000 1:5 000 000	13
региональные значительной протяженностью	100-200	1:2 500 000	13
зональные	25-100	1:1 000 000 1:500 000	48
локальные	5-25	1:200 000	168
короткие	1-5	1:100 000	566

Установлены региональные прямолинейные линеаменты восьми систем, при этом, наиболее четко на КС выражена серия субмеридиональных (особенно в центральной части), северо-восточных линеаментов (особенно в восточной части), а также северо-западных (особенно в западной части площади) и широтные линеаменты. В целом, отмечается регматическая сеть, состоящая из двух систем региональных линеаментов, уходящих далеко за пределы рассматриваемой территории. Диагональная система имеет преимущественное направление 310-330° и 45-60°; ортогональная система – 270 и 350-10°.

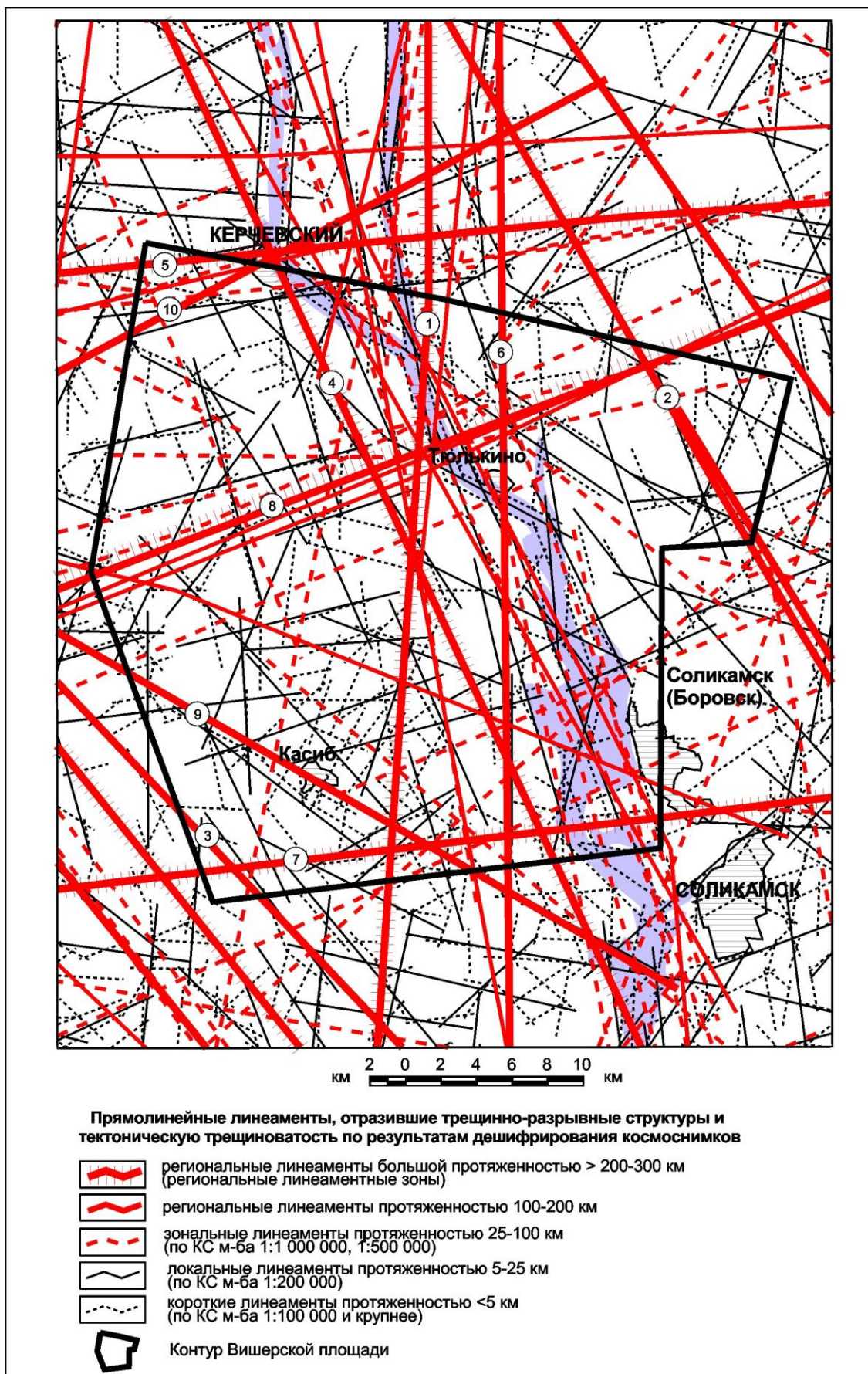


Рис. 3. Линеаментное поле Вишерской площади

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 и выступают границами неотектонических блоковых структур в осадочном чехле – макроблоков, мезоблоков и крупных локальных блоков. В пределах Вишерской площади прослеживается 10 региональных прямолинейных линеаментных зон – предполагаемых трещинно-разрывных структур, сформированные серией региональных линеаментов протяженностью свыше 200 км. Все они играют существенную роль в геологическом строении территории. Выделены следующие линеаментные зоны:

- линеаментная зона №1 субмеридионального простирания Аз. 5° (общая протяженность 1110 км), пересекает всю площадь в центральной части по линии д.Седалы – Толстик. Является региональной сопряженной границей между крупными блоками и крупными кольцевыми структурами;

- линеаментная зона №2 северо-западного простирания Аз. 330° (общая протяженность 1028 км) занимает небольшой фрагмент в северо-восточной части площади;

- линеаментная зона №3 северо-западного простирания Аз. 300° (общая протяженность 891 км) занимает небольшой фрагмент в юго-западной части площади;

- линеаментная зона №4 северо-западного простирания Аз. 330° (общая протяженность 592 км) пересекает всю площадь в центральной ее части по линии п. Керчевский – с. Вильва. Контролирует Керчевскую кольцевую структуру первого порядка с востока;

- линеаментная зона №5 субширотного простирания Аз. 85° (общая протяженность 522 км) занимает небольшой фрагмент в северо-западной части площади;

- линеаментная зона №6 субмеридионального простирания Аз. 5° (общая протяженность 381 км), пересекает всю площадь в центральной ее части, проходит через п. Тюлькино. Является региональной сопряженной границей между крупными блоками и крупными кольцевыми структурами;

- линеаментная зона №7 субширотного простирания Аз. 85° (общая протяженность 358 км) пересекает площадь в южной части. Контролирует Керчевскую кольцевую структуру первого порядка с юга;

- линеаментная зона №8 северо-восточного простирания Аз. 60° (общая протяженность 357 км) пересекает площадь в центральной ее части в 3 км севернее п. Тюлькино. Проходит через Родниковское месторождение нефти. Возможно контролирует линейную зону нефтегазонакопления;

- линеаментная зона №9 северо-западного простирания Аз. 315° (общая протяженность 334 км) пересекает площадь в юго-западной ее части через п. Касиб. Контролирует Керчевскую кольцевую структуру первого порядка с

юго-запада. Проходит через Керчевское месторождение нефти. Возможно контролирует линейную зону нефтегазоаккумуляции;

– линеаментная зона №10 субширотного простирания Az. 50° (общая протяженность 255 км) пересекает площадь в северо-западной ее части, проходит через п.Керчевский. Контролирует Керчевскую кольцевую структуру первого порядка с северо-запада.

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

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

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

Неотектонические блоковые структуры

По геоморфолого-неотектоническому районированию Вишерская площадь относится к Восточно-Европейской равнине, Восточно-Русской провинции: Камской подпровинции – области слабых и умеренных поднятий равнины Северного и Среднего Прикамья и Предуральской подпровинции – области слабых и умеренных поднятий равнины Предуралья. Западная часть относится к району слабых дифференцированных поднятий Среднекамской низменной равнины с суммарной амплитудой новейших поднятий в 150–200 м. Восточная часть площади относится к району слабых и умеренных дифференцированных поднятий Соликамской равнины с суммарной амплитудой новейших поднятий в 110–230 м [15, 32].

В геоструктурном отношении это устойчивые части плиты, последовательно вовлекаемые в дифференцированные поднятия на протяжении позднего мезозоя и кайнозоя.

На рассматриваемой территории проведен линеаментно-блоковый анализ с детальностью исследований соответствующий масштабу картирования 1:200 000. Выделение блоковых структур производилось в соответствии с принципами линеаментной тектоники [6]. Границами блоковых структур послужили отрезки протяжённых прямолинейных линеаментов, контролирующих геологические структуры, неотектонические блоки. Все неотектонические блоки характеризуются определенными орографическими уровнями поверхностей рельефа.

В качестве основы для неотектонического районирования на структурно-блоковой основе до уровня выделения геоблоков взята карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР масштаба 1:1 500 000, под редакцией В.И. Бабака и Н.И. Николаева (1983) [1].

Границы региональных неотектонических блоковых структур (мегаблоки, макроблоки, мезоблоки) проведены в соответствии с картой неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья масштаба 1:500 000 («Составление карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья». ООО «ПермНИПИнефть», ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», 2006ф) с небольшим уточнением их положения [16, 23, 34]. Как было отмечено выше, границами крупных (региональных) неотектонических блоковых структур в осадочном чехле являются линеаменты регионального и зонального рангов, а границами малых (локальных) неотектонических блоковых структур являются локальные линеаменты.

Согласно вышеприведенного неотектонического районирования территория Вишерской площади расположена в пределах Восточно-Европейской материковой платформы, Русской плиты, двух геоблоков: Вятско-Камского геоблока, включающего Камский мегаблок и Предуральского геоблока, включающего Предсреднеуральский мегаблок.

В пределах региональной геоструктуры Камского мегаблока на рассматриваемой территории выделяются фрагменты трех макроблоков – Уролкинский, Кондасский и Среднекамский. В пределах Предсреднеуральского мегаблока выделяются фрагменты двух макроблоков – Северосоликамского и Южносоликамского. Макроблоки разделены на несколько мезоблоков. Мезоблоки в свою очередь «разбиты» на локальные структуры – блоки разного порядка

На изученной территории выделено 44 локальных блоков I порядка, в т.ч. – 20 в пределах Камского мегаблока и 24 в пределах Предсреднеуральского мегаблока (рис. 4).

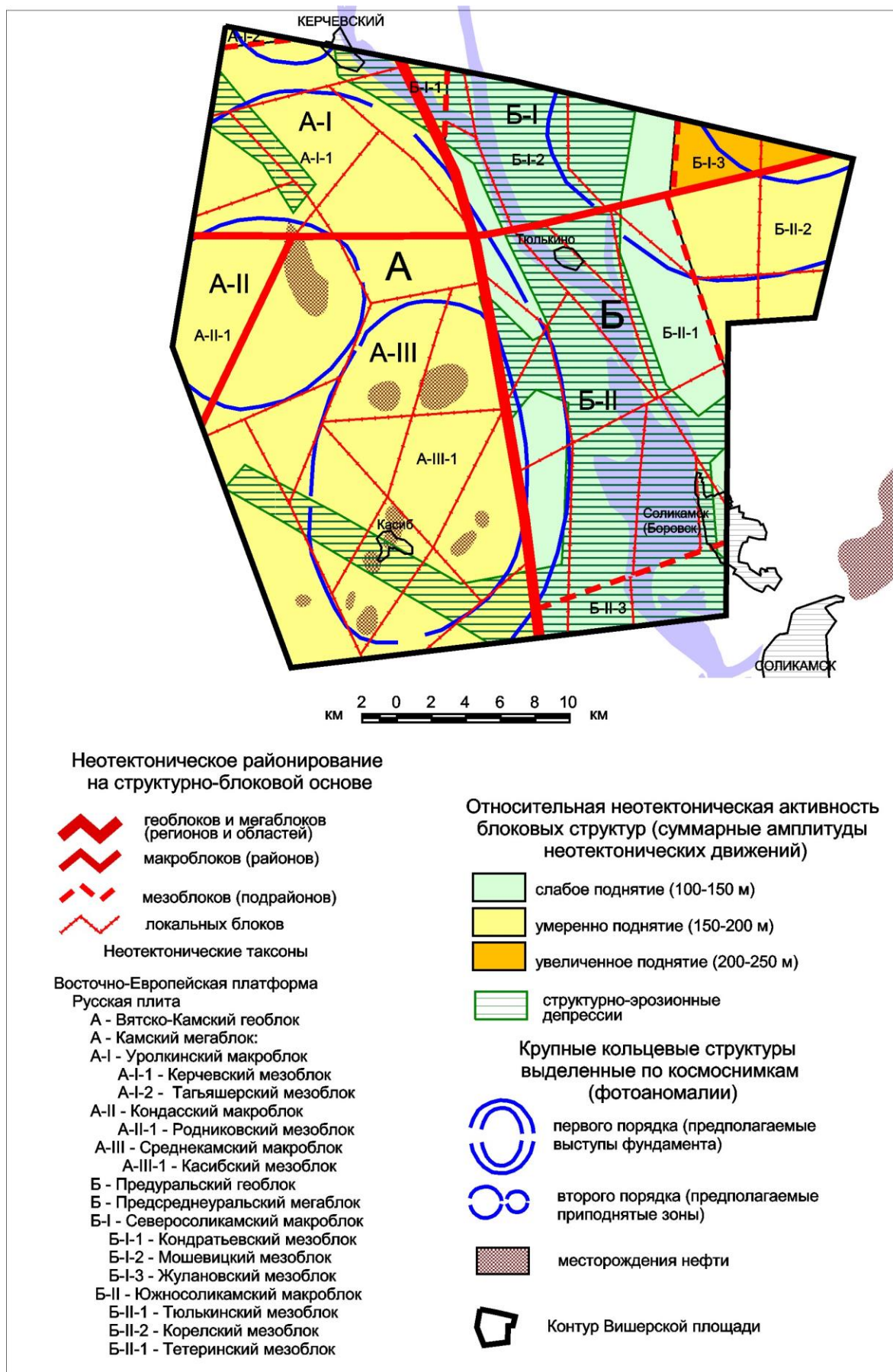


Рис. 4. Карта неотектонических блоковых структур Вишерской площади

Неотектонические блоки разного таксономического ранга характеризуются общими или близкими чертами геологического и геоморфологического строения в пределах каждого блока и относительно устойчивыми тенденциями направления и интенсивности новейших вертикальных неотектонических движений относительно соседних блоковых структур). Форма блоков самая различная, чаще всего многоугольники, преимущественно 3-4-5 угольники неправильной формы, площадью в среднем: блоки I порядка – 300-400 км², блоки II порядка – 70-100 км².

Проведен анализ степени неотектонической активности блоковых структур. Локальные блоки различаются дифференцированными неотектоническими относительными движениями и энергией рельефа, характером его горизонтальной и вертикальной расчленённости [9, 25], а также интенсивностью проявления эрозионно-денудационных и аккумулятивных процессов. По неотектоническим критериям (суммарные амплитуды неотектонических движений – А и энергии рельефа – Е) все локальные блоки подразделены на 3 группы:

- 1) испытывающие слабое поднятие (А = 120-150 м, Е = 30-50 м);
- 2) испытывающие умеренное поднятие (А = 150-200 м, Е = 50-80 м);
- 3) испытывающие увеличенное поднятие (А = 200-230 м, Е = 80-100 м).

Геодинамические активные зоны

На территории Пермского Приуралья по результатам АКГИ и регионального линеamentно-геодинамического анализа с детальностью масштаба 1:500 000 (Копылов, Хурсик, 2010ф) [16, 18, 30] было установлено 60 геодинамических активных зон регионального и зонального уровней с высокими значениями показателей, с площадями преимущественно 100-200 км² (до 1530 км²). Две из них находятся в пределах Вишерской площади, проходят по центральной ее части с севера на юг (по камской долине) полосой шириной 10-15 км.

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

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

Общий фон составляют значения с повышенной (3 балл) и высокой (4 балл) степенью плотности линеamentов. Они занимают около 50% рассматриваемой территории. Территории с очень низкой (1 балл) и низкой (2 балл) степенью плотности линеamentов занимают около 20 % рассматриваемой территории (из них участки с очень низкой плотностью занимают небольшую часть – 5%).

Территории с очень высокими (5 балл) и чрезвычайно высокими значениями плотности линеamentов занимают соответственно 20% и 10% рассматриваемой территории. Они формируют активные линейные геодинамические зоны,

сосредоточенные в основном в пределах и на периферии крупных неотектонических блоковых структур и кольцевых структур. Детализируют закономерности регионального геодинамического поля. Размещение их показано карте геодинамических активных зон (рис. 5).

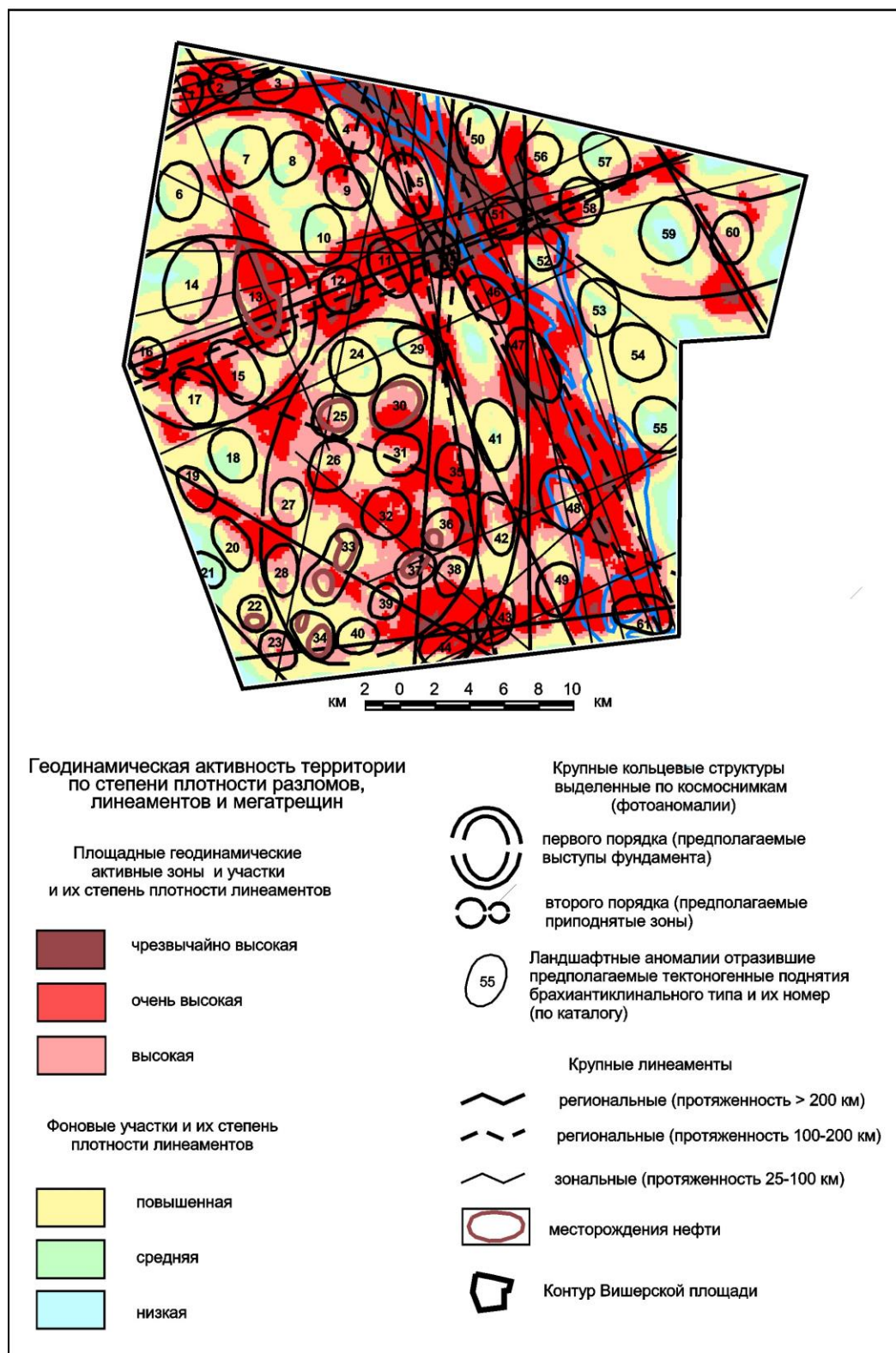


Рис. 5. Карта геодинамических активных зон Вишерской площади
Кольцевые структуры и локальные ландшафтные аномалии

Дешифрированием аэрокосмоснимков на Вишерской площади выделено более 0,5 тыс. кольцевых и дугообразных линеаментов (рис. 6).

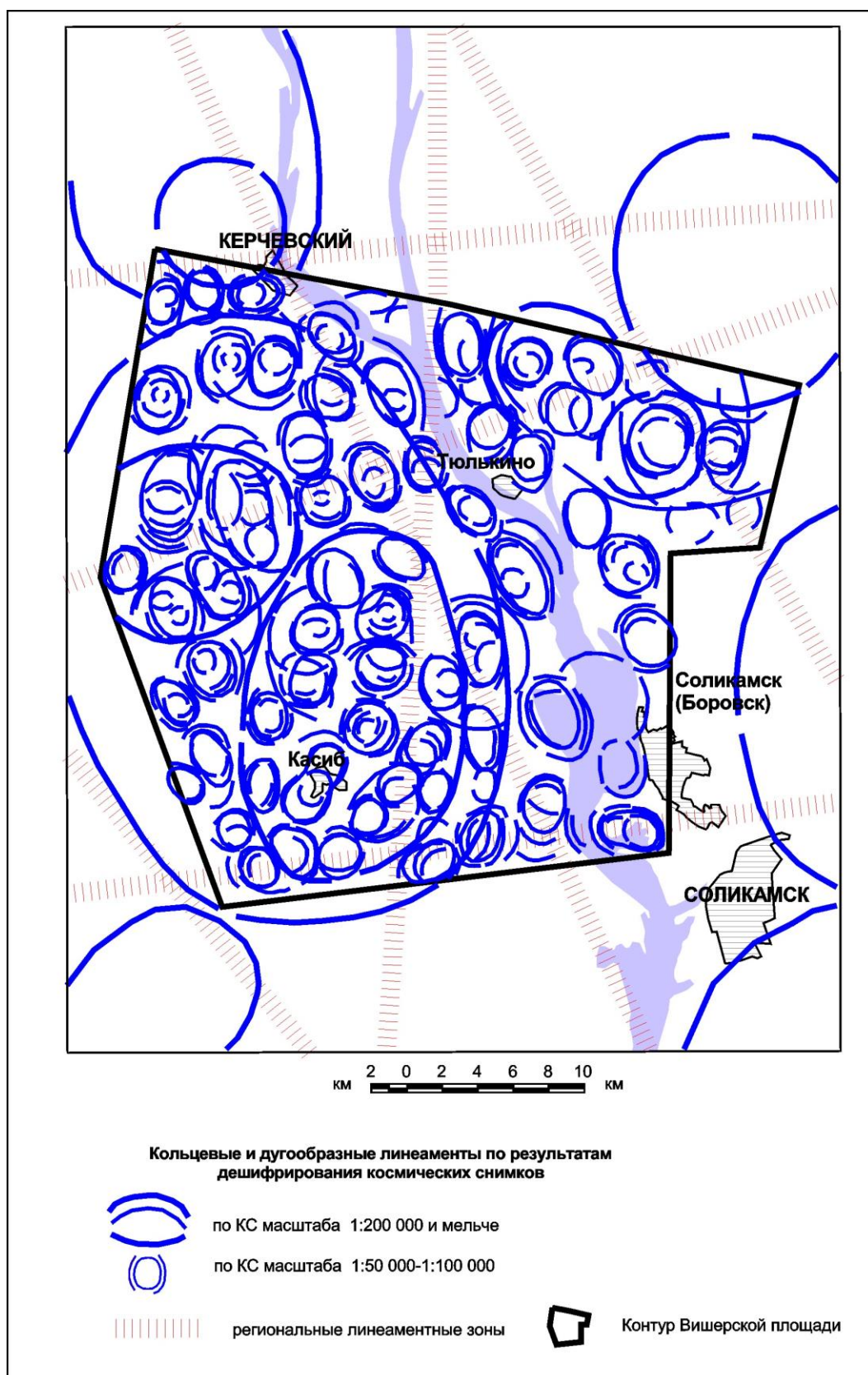


Рис. 6. Кольцевые структуры Вишерской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000)

В результате их обработки выделены кольцевые структуры трех порядков: 1 кольцевая структура первого порядка, 4 кольцевых структур второго порядка и 61 кольцевых структур третьего порядка – локальных ландшафтных аномалий (рис. 7).

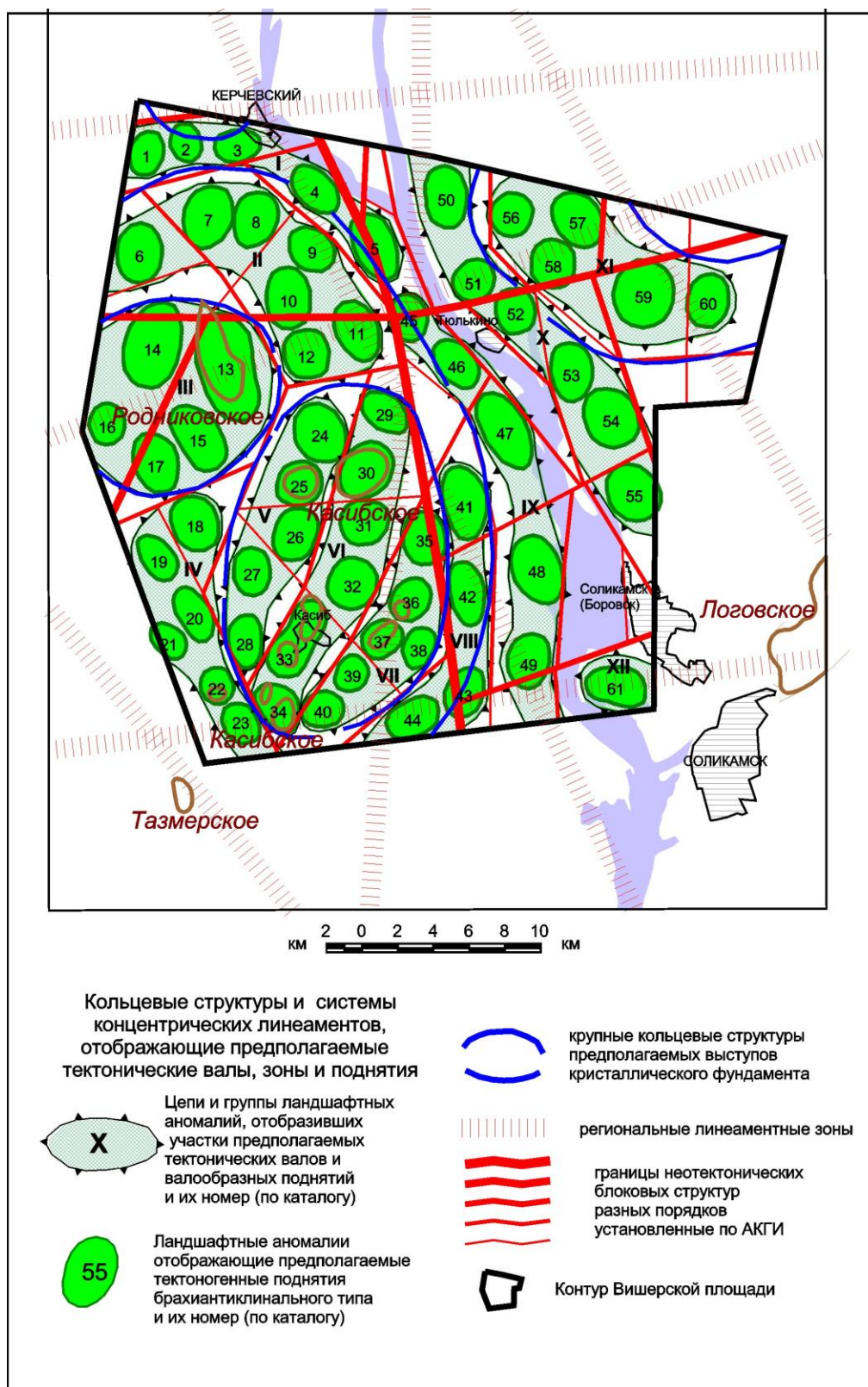


Рис. 7. Карта основных результатов аэрокосмогеологических исследований Вишерской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000)

Недостаточная геолого-геофизическая изученность территории усложняет интерпретацию результатов аэрокосмогеологических исследований.

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

В западной части Вишерской площади выделяется крупная кольцевая фотоаномалия оваловидной формы, субмеридионального простирания – Керчевская кольцевая структура первого порядка, размером по длинной и короткой осям 35 x 25 км. В ее пределах выделяются две кольцевых структур второго порядка – Родниковская (изометричной формы размером 12 x 10 км) и Касибская (оваловидной формы размером 20 x 13 км).

В северо-западной и северо-восточной частях территории прослеживаются фрагменты двух других крупных кольцевых структур второго, возможно – первого порядка, выходящих за пределы изучаемой площади.

Крупные кольцевые структуры играют контролирующую роль в ориентировке цепей и групп ландшафтных аномалий в пределах своих площадей.

В пределах Вишерской площади выделено 61 кольцевых структур третьего порядка – локальных ландшафтных аномалий (ЛА) – предполагаемых поднятий в осадочном чехле (рис. 7, табл. 2).

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

В целом, установлены ЛА с размерами от 2,0 x 1,7 до 6,2 x 3,0 км. Средний размер ЛА в диаметре составляет 2,5-3,5 км. Площади ЛА составляют от 3,0 до 16,0 км², в среднем 6-8 км².

Пространственная ориентировка локальных ЛА преимущественно субмеридиональная, в целом процент аномалий с северным, север-северо-восточным и север-северо-западным простиранием составляет более 80%. Наблюдается группировка ЛА в небольшие реже – протяженные цепи, линейные зоны или небольшие группы согласно регионального структурно-тектонического положения крупных структур.

Каталог ландшафтных аномалий Вишерской площади

№ ЛА	Группировка (цепь или группа ЛА)	Название ЛА	Размер (км), ориентировка	Балл плотности линейных элементов	Первоочередность изучения
1	Исаковская (I)	Исаковская – 1	2,4 x 1,8 (С)	5	I
2		Исаковская – 2	2,1 x 1,7 (ССЗ)	5-6	I
3		Исаковская – 3	2,6 x 1,8 (З)	3-5	I
4		Исаковская – 4	3,3 x 2,1 (СЗ)	3-5	I
5		Исаковская – 5	3,9 x 2,3 (ССЗ)	4-5	I
6	Хмельниковская (II)	Хмельниковская – 1	3,3 x 2,5 (ССЗ)	2-3	III
7		Хмельниковская – 2	3,5 x 2,9 (С)	2-5	II
8		Хмельниковская – 3	4,6 x 3,3 (С)	2-5	II
9		Хмельниковская – 4	2,9 x 2,3 (СЗ)	3-5	I
10		Хмельниковская – 5	3,5 x 2,5 (С)	2-5	II
11		Хмельниковская – 6	4,0 x 3,5 (С)	5-6	I
12		Хмельниковская – 7	2,7 x 2,5 (С)	4-6	I
13	Родниковская (III)	Родниковская – 1	6,2 x 3,0 (ССЗ)	4-5	Месторождение
14		Родниковская – 2	4,8 x 3,0 (ССВ)	2-4	II
15		Родниковская – 3	4,1 x 2,3 (СЗ)	3-5	I
16		Родниковская – 4	2,3 x 2,0 (СЗ)	3-5	I
17		Родниковская – 5	3,5 x 2,5 (ССЗ)	3-5	I
18	Мысинская (IV)	Мысинская – 1	3,2 x 2,5 (ССЗ)	2-3	III
19		Мысинская – 2	2,9 x 1,7 (СЗ)	3-5	I
20		Мысинская – 3	3,2 x 1,8 (СЗ)	2-5	I
21		Мысинская – 4	2,4 x 1,5 (СЗ)	1-2	III
22		Мысинская – 5	2,0 x 1,8 (С)	3-4	Месторождение
23		Мысинская – 6	2,4 x 1,8 (ССЗ)	3-5	I
24	Никинская (V)	Никинская – 1	3,5 x 2,8 (СЗ)	2-3	III
25		Никинская – 2	2,6 x 2,4 (С)	3-5	Месторождение
26		Никинская – 3	3,0 x 2,3 (ССВ)	3-6	I
27		Никинская	2,7 x 2,1 (С)	3-4	II
28		Никинская -5	3,0 x 1,9 (С)	3-5	I
29	Касибская (VI)	Касибская – 1	2,9 x 1,9 (СЗ)	2-5	I
30		Касибская – 2	3,5 x 2,7 (ССВ)	3-5	Месторождение
31		Касибская – 3	2,7 x 2,4 (ССВ)	3-5	I
32		Касибская – 4	2,9 x 2,7 (ССВ)	4-5	I
33		Касибская – 5	4,7 x 2,0 (ССВ)	3-5	Месторождение
34		Касибская – 6	3,0 x 2,2 (ССЗ)	3-4	Месторождение

№ ЛА	Группировка (цепь или группа ЛА)	Название ЛА	Размер (км), ориентировка	Балл плотности линейных элементов	Первоочередность изучения
35	Дубинская (VII)	Дубинская – 1	3,0 х 2,4 (С)	4-5	I
36		Дубинская – 2	2,6 х 2,1 (СВ)	3-5	Месторождение
37		Дубинская – 3	3,3 х 1,9 (СВ)	4-5	Месторождение
38		Дубинская – 4	3,4 х 1,7 (ССВ)	3-5	I
39		Дубинская – 5	2,0 х 1,7 (ССВ)	3-5	I
40		Дубинская – 6	2,3 х 1,9 (СВВ)	3-4	II
41	Дубровская (VIII)	Дубровская – 1	4,1 х 2,5 (С)	4	II
42		Дубровская – 2	3,6 х 1,9 (С)	3-5	I
43		Дубровская – 3	2,9 х 2,1 (ССВ)	4-6	I
44		Дубровская – 4	3,1 х 1,9 (СВ)	3-5	I
45	Тюлькинская (IX)	Тюлькинская – 1	2,6 х 2,0 (С)	5-6	I
46		Тюлькинская – 2	3,2 х 2,1 (СЗ)	4-5	I
47		Тюлькинская – 3	4,7 х 2,7 (ССЗ)	5-6	I
48		Тюлькинская – 4	3,9 х 2,8 (ССЗ)	3-5	I
49		Тюлькинская – 5	3,1 х 2,4 (С)	3-5	I
50	Мошевская (X)	Мошевская – 1	3,5 х 2,3 (ССЗ)	2-5	I
51		Мошевская – 2	2,5 х 2,3 (ССВ)	5-6	I
52		Мошевская – 3	2,5 х 2,2 (ССЗ)	3-6	I
53		Мошевская – 4	3,2 х 2,3 (С)	2-4	II
54		Мошевская – 5	3,4 х 3,0 (ССЗ)	3	III
55		Мошевская – 6	3,3 х 2,7 (ССЗ)	2-3	III
56	Жулановская (XI)	Жулановская – 1	2,4 х 2,2 (С)	3-4	II
57		Жулановская – 2	3,3 х 2,6 (ССЗ)	2-4	II
58		Жулановская – 3	2,8 х 2,4 (С)	3-5	I
59		Жулановская – 4	3,8 х 3,4 (С)	1-3	III
60		Жулановская – 5	3,0 х 3,3 (ССВ)	3-4	I
61	Боровская (XII)	Боровская – 1	3,4 х 2,1 (СЗЗ)	3-5	I

Ландшафтные аномалии, отражающие положительные пликативные структуры различного генезиса, в целом, характеризуются довольно близкими геоиндикационными признаками. Учитывая геологическое строение и особенности нефтезоности района сочленения Камского наложенного свода с Соликамской и Висимской впадинами, можно предполагать, что выявленные ЛА могут соответствовать тектоногенным поднятиям брахиантиклинального типа и структурным мысам. Однако не исключается возможность отображения некоторыми из аномалий (особенно – аномалий с изометричной формой) структур, ядра которых осложнены шельфовыми биогермами позднедевонского возраста.

В северо-западной части Вишерской площади на стыке **Камского свода, Висимской впадины и Соликамской депрессии**, в пределах Уролкинского макроблока – Керчевского мезоблока установлены Исаковская цепь и Хмельниковская группа ЛА, имеющих общую дугообразную ориентировку с северо-востока на юго-восток согласно северному окончанию Керчевской кольцевой структуры первого порядка.

Исаковская (I) цепь ЛА располагается в северной и северо-восточной частях – Керчевского мезоблока. Контролируется системой региональных линеаментов северо-восточного, северо-западного и субширотного направлений. Состоит из пяти ЛА (№№ 1-5) этих же направлений.

Хмельниковская (II) группа ЛА располагается в северной части Керчевской кольцевой структуры первого порядка, южнее Исаковской цепи. Контролируется также системой региональных линеаментов северо-восточного, северо-западного и субширотного направлений. Состоит из семи ЛА (№№ 6-12) северо-восточного, северо-западного и субмеридионального простирания.

В западной части Вишерской площади, преимущественно в северной части **Висимской впадины**, в пределах Кондасского и Среднекамского макроблоков, установлены ряд цепей и групп ЛА субмеридионального и дугообразного направлений согласно расположения в пределах Керчевской кольцевой структуры первого порядка.

Родниковская (III) группа ЛА располагается, пределах одноименной кольцевой структуры второго порядка на стыке Родниковского и Касибского мезоблоков. Контролируется также системой региональных линеаментов северо-восточного, северо-западного и субширотного направлений. Состоит из пяти ЛА (№№ 13-17) северо-восточного, северо-западного и субмеридионального простирания.

Мысинская (IV) цепь ЛА располагается южнее Родниковской группы ЛА, в пределах Касибского мезоблока. Контролируется системой региональных и зональных линеаментов северо-восточного и северо-западного направлений. Цепь имеет север-северо-западное простирание. Состоит из шести ЛА (№№ 18-23) субмеридионального и северо-западного простирания.

Никинская (V) цепь ЛА располагается восточнее Мысинской цепи ЛА, в центральной части Касибского мезоблока. Группа имеет север-северо-восточное простирание, контролируемое Касибской кольцевой структурой второго порядка, находится в западной ее части. Также контролируется системой региональных линеаментов северо-восточного и северо-западного направлений. Состоит из пяти ЛА (№№ 24-28) преимущественно субмеридионального простирания.

Касибская (VI) цепь ЛА располагается восточнее Никинской цепи ЛА. Цепь имеет север-северо-восточное простирание, контролируемое Касибской кольцевой структурой второго порядка, находится в центральной ее части. Также контролируется системой региональных линеаментов северо-восточного, северо-западного и субмеридионального направлений. Состоит из шести ЛА (№№ 29-34) субмеридионального, северо-западного и северо-восточного простирания.

Дубинская (VII) цепь ЛА располагается восточнее Касибской цепи ЛА, в восточной части Касибского мезоблока. Цепь имеет северо-восточное простирание, контролируемое Касибской кольцевой структурой второго порядка, находится в восточной ее части. Также контролируется системой региональных линеаментов северо-восточного и субмеридионального направлений. Состоит

из шести ЛА (№№ 35-40) субмеридионального и северо-восточного простирания.

В восточной части Вишерской площади, преимущественно в Соликамской депрессии установлен ряд цепей и групп ландшафтных аномалий преимущественно субмеридионального и северо-западного направлений.

Дубровская (VIII) цепь ЛА располагается восточнее Дубинской цепи ЛА, на юго-восточной периферии Керчевской кольцевой структуры первого порядка в пределах Южносоликамского макроблока – Тюлькинського мезоблока, частично – Касибского мезоблока. Цепь имеет северо-восточное простирание, контролируемое Керчевской кольцевой структурой и системой региональных линеаментов северо-западного и субмеридионального направлений. Состоит из четырех ЛА (№№ 41-44) субмеридионального и северо-восточного простирания.

Тюлькинская (IX) цепь ЛА располагается восточнее Дубровской цепи ЛА, в пределах Тюлькинського мезоблока. Цепь имеет север-северо-западное простирание, контролируемое Керчевской кольцевой структурой первого порядка (хотя находится за ее окружностью) и системой региональных и зональных линеаментов северо-западного и субмеридионального направлений. Состоит из пяти ЛА (№№ 45-49) субмеридионального и северо-западного простирания.

Мошевская (X) цепь ЛА располагается восточнее Тюлькинской цепи ЛА, в пределах Южносоликамского макроблока – Тюлькинського мезоблока и Северосоликамского макроблока – Мошевицкого мезоблока. Цепь имеет север-северо-западное простирание, контролируемое и системой региональных и зональных линеаментов северо-западного и субмеридионального направлений. Состоит из шести ЛА (№№ 50-55) субмеридионального и северо-западного простирания.

Жулановская (XI) группа ЛА располагается северо-восточнее Мошевской цепи ЛА, в пределах Южносоликамского макроблока – Тюлькинського и Корелского мезоблоков и Северосоликамского макроблока – Мошевицкого и Жулановского мезоблоков. Группа имеет север-северо-западное простирание, контролируемое и системой региональных и зональных линеаментов северо-западного, северо-восточного и субмеридионального направлений и предполагаемой крупной кольцевой структурой первого порядка (выделяется юго-западный сегмент этой кольцевой структуры). Состоит из пяти ЛА (№№ 56-60) субмеридионального и северо-западного простирания.

Боровская (X) группа ЛА располагается в юго-восточном углу Вишерской площади в виде небольшого фрагмента в пределах Южносоликамского макроблока – Тетеринского мезоблока. Контролируется системой региональных и зональных линеаментов субширотного и субмеридионального направлений. В пределах изучаемой площади выделена одна ЛА (№ 61) субширотного простирания.

Оценка перспективности участков и объектов по данным аэрокоsmo-геологических исследований

На основании комплексной интерпретации результатов аэрокосмогеологических исследований на Вишерской площади, имеющих геолого-геофизических данных и буровых работ, опыта многолетних АКГИ в различных районах Пермского Приуралья, в условиях отсутствия эталонных участков все 61 закартированных ландшафтных аномалий подразделены на три группы по степени перспективности и первоочередности изучения (рис. 8, табл. 2) [39].

В основу подобного подразделения аномалий взяты: повышенная трещиноватость и плотность линеаментов, неотектоническая активность, увеличенная энергия рельефа, расположение объектов на крупных кольцевых структурах, предполагаемых валлообразных поднятиях, близость расположения относительно известных месторождений нефти.

Основными критериями для отнесения ландшафтных аномалий являются:

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

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

- к объектам третьей очереди изучения отнесены все прочие ЛА.

8 ЛА уже подтверждены выявленными залежами нефти на Родниковском (Родниковская – 1) и Касибском месторождениях нефти (Мысинская – 5, Никинская – 2, Касибская – 2, Касибская – 5, Касибская – 6, Дубинская – 2, Дубинская – 3).

К объектам первой очереди изучения отнесены 36 аномалии: Исаковская – 1, Исаковская – 2, Исаковская – 3, Исаковская – 4, Исаковская – 5, Хмельниковская – 4, Хмельниковская – 6, Хмельниковская – 7, Родниковская – 3, Родниковская – 4, Родниковская – 5, Мысинская – 2, Мысинская – 3, Мысинская – 6, Никинская – 3, Никинская – 5, Касибская – 1, Касибская – 3, Касибская – 4, Дубинская – 1, Дубинская – 4, Дубинская – 5, Дубровская – 2, Дубровская – 3, Дубровская – 4, Тюлькинская – 1, Тюлькинская – 2, Тюлькинская – 3, Тюлькинская – 4, Тюлькинская – 5, Мошевская – 1, Мошевская – 2, Мошевская – 3, Жулановская – 3, Жулановская – 5, Боровская – 1.

К объектам второй очереди изучения отнесены 10 аномалии: Хмельниковская – 2, Хмельниковская – 3, Хмельниковская – 5, Родниковская – 2, Никинская – 4, Дубинская – 6, Дубровская – 1, Мошевская – 4, Жулановская – 1, Жулановская – 2.

К объектам третьей очереди изучения отнесены 7 аномалии: Хмельниковская – 1, Мысинская – 1, Мысинская – 4, Никинская – 1, Мошевская – 5, Мошевская – 6, Жулановская – 4.

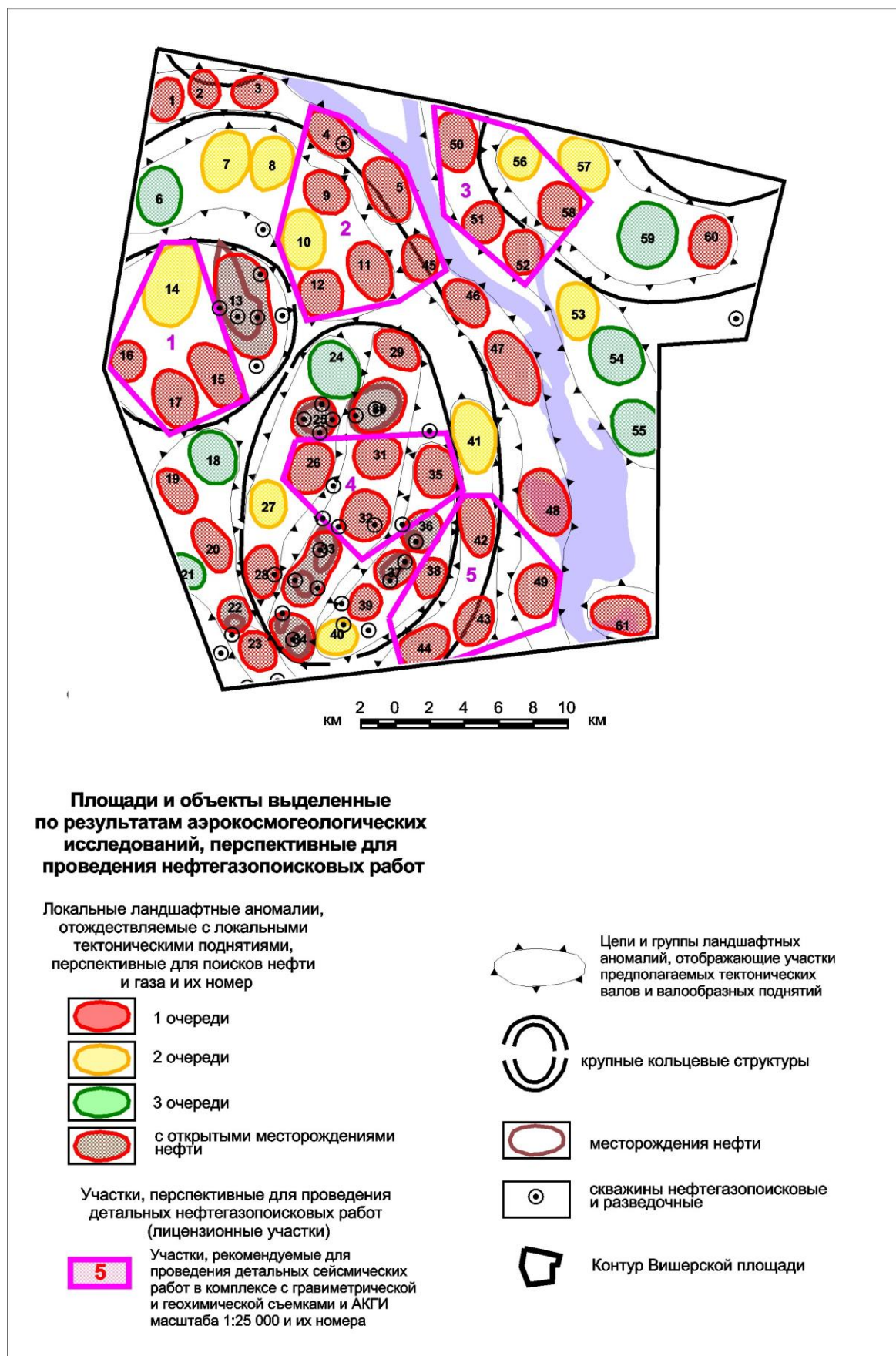


Рис. 8. Карта перспективных участков и рекомендаций по данным аэрокосмогеологических исследований Вишерской площади (уменьшение с масштаба 1:200 000)

Региональный геохимический и гидрогеохимический анализ Вишерской площади показывает, что в ее пределах расположены литогеохимические аномалии (с площадным распространением: Ga, Cr, Pb, Mn, Cu, Ti, Cd, с локальным: P, V, Ni и гидрогеохимические аномалии (с площадным распространением: B, Br, Ba, с локальным: Mn, F, Ni, Be [15, 16, 20, 27, 32, 36, 37].

В результате анализа материалов АКГИ на Вишерской площади рекомендуются **5 участков** для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными АКГИ масштаба 1:25 000 (рис. 7) [43].

Площади участков: 1 – 53 км², 2 – 78 км², 3 – 54 км², 4 – 50 км², 5 – 63 км².

Общие критерии для их выбора следующие:

- высокие геологические предпосылки для поисков;
- близкое расположение известных месторождений нефти;
- наличие перспективных ландшафтных аномалий, отобразивших предполагаемые тектонические поднятия (и возможно – структур облекания рифов);
- наличие кольцевых структур первого или второго порядка, предположительно отображающих приподнятые валообразные зоны или поднятия осадочного чехла;
- повышенная неотектоническая активность;
- высокая вероятность развития в пределах изученной территории зон высокой трещиноватости, (которые могут служить путями миграции углеводородов и повышать коллекторские свойства палеозойских отложений);
- приуроченность локальных ландшафтных аномалий к крупным линейным зонам, которые могут служить отражением нарушений осадочного чехла.

В свете изложенных критериев представляют особый интерес ландшафтные аномалии № 26 (Никинская – 3), № 31 (Касибская – 3), № 32 (Касибская – 4) и № 35 (Дубинская 1), расположенные в центральной части крупной Касибской кольцевой структуры на контакте с 6 залежами нефти.

Заключение

В результате проведения разномасштабных АКГИ на Вишерской площади, уточнено геологическое и тектоническое строение территории для постановки нефтепоисковых работ. Показан методологический подход и выполнены ландшафтно-геодинамический, линейно-геодинамический, линейно-блоковый анализы для поисков нефтегазоперспективных структур. Построены карты линейно-геодинамических блоков, неотектонических блоков структур, геодинамических активных зон и ландшафтных аномалий. По дешифрированию КС выделены 808 прямолинейных линейно-геодинамических зон, отражающих трещинно-разрывные структуры осадочного чехла и фундамента. Установлены 61 ЛА, отображающих предполагаемые тектоногенные поднятия брахиантиклинального типа. Рекомендовано 5 участков для проведения детализационных сейсмических работ в комплексе с гравиметрической и геохимической съемками и детальными аэрокосмогеологическими исследованиями. Прямые геохимические поиски нефти и газа (ГПНГ) необходимо включать в общий комплекс региональных, прогнозных

рекогносцировочных и прогнозно-оценочных работ, как обязательный вид работ при поисках нефти и газа [30, 31, 39].

Библиографический список

1. Бабак В.И., Николаев Н.Н. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечернозёмной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000. М.: ГУГК. 1984.
2. Бычков С.Г., Неганов В.М., Мичурин А.В. Нефтегазогеологическое районирование территории Пермского края // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2010. URL: <http://www.ogbus.ru>.
3. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использованию их результатов при нефтегазопроисловых исследованиях / Коллектив авторов. Отв. ред. В.В. Стасенков, А.А. Аксенов. Министерство нефтяной промышленности. АН СССР. М.: ИГиРГИ, 1987.
4. Гридин В.И. Структурное дешифрирование материалов дистанционного зондирования. ООО МИНГ им. И.М. Губкина, М., 1987, 99с.
5. Кассин Г.Г., Шеринев К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С.84-88.
6. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев 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. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в Калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
9. 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.
10. Копылов И.С. Анализ и обобщение результатов аэрокосмогеологических исследований в бортовых зонах ККСП и сопредельных районах палеошельфа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 13-42.
11. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70-81.
12. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
13. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
14. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
15. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
16. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145-149.
17. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
18. Копылов И.С. Линеаментно-блоковый анализ, блоковое строение и карта неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья и Урала // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 11-29.
19. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.

20. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. №. 2 (15). С. 16-34.
21. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
22. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и результаты нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований на Керчевской площади (камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 47-72.
23. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазонасыщенности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.
24. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95.
25. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
26. Копылов И.С. Неотектоническое строение Приуральского сегмента в границах главного Пермского поля // В сборнике: Пермская система земного шара – 180 лет. Пермь, 2022. С. 78-87.
27. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 1. С. 26-37.
28. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа – история и изученность Приуралья аэрокосмогеологическими исследованиями // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 13-24.
29. Копылов И.С. Пермская аэрокосмогеологическая школа - характеристика основных результатов региональных и нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. 2020. С. 13-40.
30. Копылов И.С. Поиски нефти и газа на основе методов АКГИИ ГПНГ // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ. Пермь, 2017. С. 178-186.
31. Копылов И.С. Прогнозирование нефтегазонасыщенных объектов комплексом геохимических и аэрокосмогеологических методов // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 16-17.
32. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
33. Копылов И.С. Результаты аэрокосмогеологического анализа Пермского Приуралья и обоснование перспективных объектов и участков с целью поисков залежей нефти // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 38-47.
34. Копылов И.С. Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 321-328.
35. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
36. 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
37. Копылов И.С. Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.
38. Копылов И.С., Быков Н.Я., Хурсик В.З. Основные результаты и перспективы аэрокосмогеологических нефтегазопроисковых и геодинамических исследований на территории Пермского края и прилегающих регионов // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов: материалы научно-практической конференции. Пермь: КамНИИКИГС, 2007. С.244-251.
39. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерогенетическая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.

40. Копылов И.С., Козлов С.В. О перспективах развития аэрокосмогеологических методов в геологии и неотектонический прогноз нефтегазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2013. № 13. С. 68-73.
41. 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.
42. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.
43. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
44. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
45. 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. 30 с. (с комплектом карт).
46. Лукутов Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. №4. С. 125-133.
47. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 135с.
48. Сигов А.П., Шуб В.С. Геоморфологическая карта Урала и объяснительная записка к картам масштаба 1:500 000 г. Свердловск, 1976-1980.
49. 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.
50. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.
51. Шитин С.Т. и др. Отчет о региональных комплексных аэрогеологических исследованиях в Пермской области в 1976-1979 гг. (бассейны верхнего течения р.Камы и ее притоков). ГПК, Пермь, 1979. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».
52. Шитин С.Т. и др. Региональные аэрогеологические исследования в северо-восточной части Пермской области в 1980-1983 гг. ГПК, Пермь, 1983. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».

И.С. Копылов, А.С. Чирков

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ПОИСКАХ РУДНОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРЕ БОДАЙБИНСКОГО РАЙОНА, ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Рассмотрен методологический подход при поисках рудного и россыпного золота с применением аэрокосмических исследований на примере Бодайбинского района, Иркутской области. Дана краткая характеристика геологические и аэрокосмогеологические особенности Бодайбинского района. Выделены факторы, контролирующие золотоносность района, и аэрокосмогеологические критерии для поисков рудных и россыпных месторождений золота. Дешифрированием космических снимков на изученной площади выделено 2415 тектонических линеаментов и 107 кольцевых структур. Выполнено построение поля плотности линеаментов, выделены максимумы плотности линеаментов – зоны перспективные на поиски месторождений золота. Выделены 15 новых перспективных зон на поиски золота. Составлены карта перспектив и каталог потенциально золотоносных зон.

Ключевые слова: золото, аэрокосмогеологические исследования, дешифрирование, космические снимки, линеаменты, кольцевые структуры, перспективные зоны на поиски золота, Бодайбинский район, Иркутская область, Россия.

I.S. Kopylov, A.S. Chirkov

Perm State University, Perm, Russia

METHODOLOGICAL APPROACH IN SEARCHING FOR ORE AND PLACER GOLD USING AEROSPACE METHODS (ON THE EXAMPLE OF THE BODAIBO DISTRICT, IRKUTSK REGION)

A methodological approach is considered in the search for ore and placer gold using aerospace research on the example of the Bodaibo district, Irkutsk region. A brief description of the geological and aerospace-geological features of the Bodaibo region is given. The factors that control the gold content of the area and aerocosmological criteria for the search for ore and placer gold deposits are identified. Interpretation of space images in the studied area identified 2415 tectonic lineaments and 107 ring structures. The construction of the lineament density field has been completed, the lineament density maxima have been identified – promising zones for the search for gold deposits. 15 new promising areas for gold prospecting have been identified. A map of prospects and a catalog of potentially gold-bearing zones have been compiled.

Key words: gold, aerospace geological research, interpretation, space images, lineaments, ring structures, promising areas for gold prospecting, Bodaibo district, Irkutsk region, Russia.

Введение

Одним из актуальных методов поисков как рудного, так и россыпного золота являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ).

В настоящее время остается большое количество площадей, которые требуют дополнительного геологического изучения. АКГИ успешно применяются для повторного изучения горнорудных районов, поскольку позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубоко залегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. Бодайбинский район Иркутской области, изучаемый в данной работе, является таким примером.

Целью работы является: разработка методологического подхода при поисках рудного и россыпного золота с применением аэрокосмических методов исследований на основе аэрокосмогеологического анализа Бодайбинского района, определение закономерностей и перспектив выявления зон, благоприятных на поиски рудного и россыпного золота.

Основные задачи: дешифрирование космоснимков с выделением тектонических (неотектонических) линеаментов; аэрокосмогеологический, линеаментно- и ландшафтно-геодинамический анализы; выделение перспективных поисковых зон в районе в соответствии с критериями золотоносности.

Природно-геологические условия и золотоносность

Физико-географические условия

Бодайбинский район расположен в северо-восточной части Иркутской области, на Витимо-Патомском нагорье. Граничит на севере и северо-востоке с республикой Саха (Якутия), на юге и юго-востоке – с Республикой Бурятия и Забайкальским краем, на западе – с Мамско-Чуйским районом Иркутской области. Площадь района составляет 91,986 тыс. км² (12% территории Иркутской области (рис. 1) [31, 32].

Рельеф. Район расположен в пределах крупной орфографической области Патомского нагорья – Больше-Патомском поднятии. В общих чертах облик поднятия характеризуется большой глубиной вертикального расчленения рельефа, мягкими перегибами поверхностей различного возраста и генезиса и преобладанием пологих склонов. Рельеф – эрозионно – денудационный с резко подчинённым значением аккумулятивных элементов, среднегорный, со сглаженными водоразделами, имеющими в плане субширотное простирание и пологими склонами, умеренно расчлененными речными долинами на глубину 400-600 м. Абсолютные отметки водоразделов колеблются в пределах 600-1300 м. Рисунок гидросети ортогональный, долины обычно заложены по площадям развития менее стойких пород и ослабленным зонам тектонических нарушений, которые либо совпадают с планом пликтивных дислокаций, либо направлены вкрест к нему [30] (рис. 2).

Климат района резко континентальный, с суровой продолжительной зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура воздуха колеблется от -5° до -6°С. Абсолютный максимум температур +38°С достигается в июле, среднемесячная температура +17,6°С, абсолютный минимум в январе -55°С, среднемесячная температура -34,6°С.

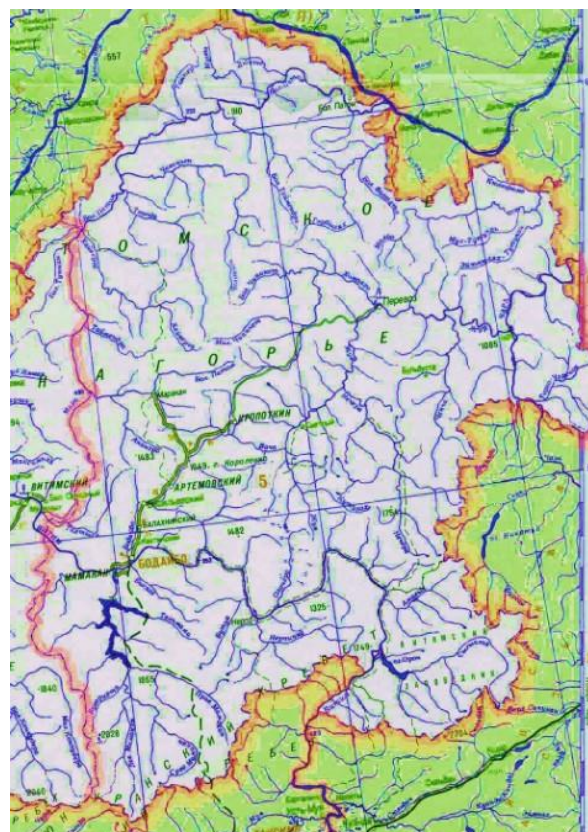


Рис. 1. Бодайбинский район на картах Иркутской области [31, 32]



Рис. 2. Ландшафт Бодайбинского района – долина р. Таймендры
(фото А.С. Чиркова)

Среднегодовое количество осадков составляет 420 мм, из которых 40 % приходится на 7 холодных месяцев года. Низкие температуры зимой, значительная протяженность морозного периода и большая мощность снежного покрова способствуют широкому распространению и сохранению многолетней мерзлоты, мощность которой в бортах долин достигает 35-70 м.

Гидросеть. Основными водными артериями района являются р. Бол. Патом с его левым притоком р. Маракан в свою очередь со своими притоками – руч. Дембо, Ровный, Догалдын (Артемовский), Веселяевский, Средний Маракан и др.

Экономика и золотодобыча. Основной отраслью экономики в муниципальном образовании г. Бодайбо и района является золотодобыча, которая ведется в районе почти 200 лет. Исторически золотодобыча является экономической основой Бодайбинского района, сохраняя промышленную и историческую ценность, богатые трудовые традиции и бесценный производственный потенциал. Долгосрочные перспективы развития золотопромышленности в районе связаны с извлечением рудного золота. В настоящее время ежегодный вклад района в совокупную золотодобычу РФ составляет порядка 9,3%, из них доля в добыче из россыпных месторождений достигает 18,3%.

Объем добычи золота предприятиями Бодайбинского района составляет около 25 т. В 2020 г. добыча золота составила 25,125 т, в 2021 – 24,369 т. Россыпного золота становится все меньше (в 2019 г. – 10,9 т, в 2021 г. 9,7 т), зато добыча рудного год от года неуклонно растет (в 2019 – 13,9 т, в 2021 г. – 15,9 т). Добычей россыпного золота занимаются 35 крупных и малых предприятий района. Наибольший объем добычи россыпного золота достигнут АО ЗДК «Лензолото» (с дочерними предприятиями АО «Светлый», АО «Маракан»,

ЗАО «Ленсиб», АО «Севзото», АО «Дальняя Тайга»). Рудную добычу золота осуществляют четыре ГОКа – АО «Полюс Вернинское», ПАО «Высочайший», ООО «Друза», ООО "ГРК "Угахан" [31].

Геологическая изученность

Первые геологические маршрутные исследования в районе в начале 20в. в район проводились В.А. Обручевым, А.П. Герасимовым, П.И. Преображенским, В.К. Котульским и др. [2]. В 1947-1949 гг. на территории проводилась геологическая съемка масштаба 1:200 000 Иркутским геологическим управлением. С 1952 г. ЦНИГРИ проводит геологическую съемку территории в масштабе 1:100 000 с целью оценки ее перспектив на золото.

После составления первого издания Госгеолкарты-200 в течение 1966-1988 годов на территории проведены геологосъемочные работы масштаба 1:50 000 в виде групповой геологической съемки – Шibaев М.А., 1977-1980 гг.; Перевалов О.В., 1973-75 гг., полистной съемки – Спиридонов А.В., 1982-84 гг., геологического доизучения ранее заснятых площадей – Фалилеев А.Н., 1984-88 гг.; Спиридонов А.В., 1982-84 гг., аэрофотогеологического картирования – Аносов В.С., 1978-80 гг. и составительских работ – Коткин В.В., 1966-70 гг. В результате этих работ на большую часть площади была получена детальная качественная геолого-картографическая основа. В то же время обширные полу-

ченные материалы продемонстрировали более сложное строение площади и неоднозначное понимание геологами ряда вопросов, касающихся структурной увязки крупных тектонических единиц.

Начиная с 1965 г. в районе проводятся многочисленные тематические работы по металлогении. Металлогенический анализ и обобщение работ по золотоносности, оценка перспектив золотого оруденения в Бодайбинском районе, подсчет прогнозных ресурсов золота, составление карты золотоносности Ленского района масштаба 1:500 000 с врезками масштаба 1:200 000 – 1:100 000 проведены Коткиным В.В. в период с 1975 по 1977 гг, окончательные карты оформлены к 2007 г. Также территория охвачена различными видами геофизических и геохимических работ.

В результате проведенных работ на территории выявлены минерализованные зоны, перспективные на золотое оруденение, отдельные ореолы, потоки и точки минерализации золота и других полезных ископаемых (серебра, свинца, цинка, никеля и др.) [2].

Геологическое строение

Стратифицированные образования территории представлены осадочно-метаморфическим комплексом пород протерозоя и рыхлыми четвертичными отложениями [2, 29]. По литолого-фациальным особенностям разреза отложения рифея и венда образуют закономерно построенные седиментагенные трансгрессивно-регрессивные циклы (отчасти соответствующие сериям) с преобладанием терригенной составляющей в нижней части разреза, терригенно-карбонатной – в средней и вновь терригенной – в верхней.

Бодайбинский район относится к Саяно-Байкальской складчатой системе, которая сформировалась на Байкальском геоблоке фундамента. Байкальский геоблок, в свою очередь, включает Бодайбинский и Байкало-Витимский мегаблоки, имеющие сложное внутреннее блоковое строение фундамента и взаимосвязанную историю развития. По границам геоблоков, мегаблоков и блоков развиты переходные межблоковые зоны соответствующих рангов. Они представлены складчато-разрывными долгоживущими зонами, не всегда имеющими четкие ограничения. Эти зоны фиксируются обычно сменами региональных геофизических полей и зонами градиентов. Северная часть Бодайбинского мегаблока выделяется как Прибайкало-Патомская межгеоблоковая система, которая совместно с ним образует миогеосинклинальную зону байкалид. Байкало-Витимский блок соответствует эвгеосинклинальной зоне байкалид или Байкало-Витимскому вулcano-плутоническому поясу (рис. 3) [28].

На севере Патомского нагорья, по данным интерпретации профиля ГСЗ, выделяется мощная глубинная зона скупивания, обусловленная коллизией Байкальского и Алданского мегаблоков Сибирской платформы [5].

В структурах, обнажающихся на поверхности, эта коллизионная зона выделяется как Патомо-Жуинская межгеоблоковая зона. Патом-Жуинская зона имеет преимущественно сиалический состав земной коры с умеренной степенью гранитизации. В структурах Бодайбинского мегаблока четко проявлены два структурных этажа, нижний – архей-протерозойский и верхний – поздне-

протерозойский. Последующие деформации лишь осложняют сформированную к позднему палеозою коллизионную структуру.

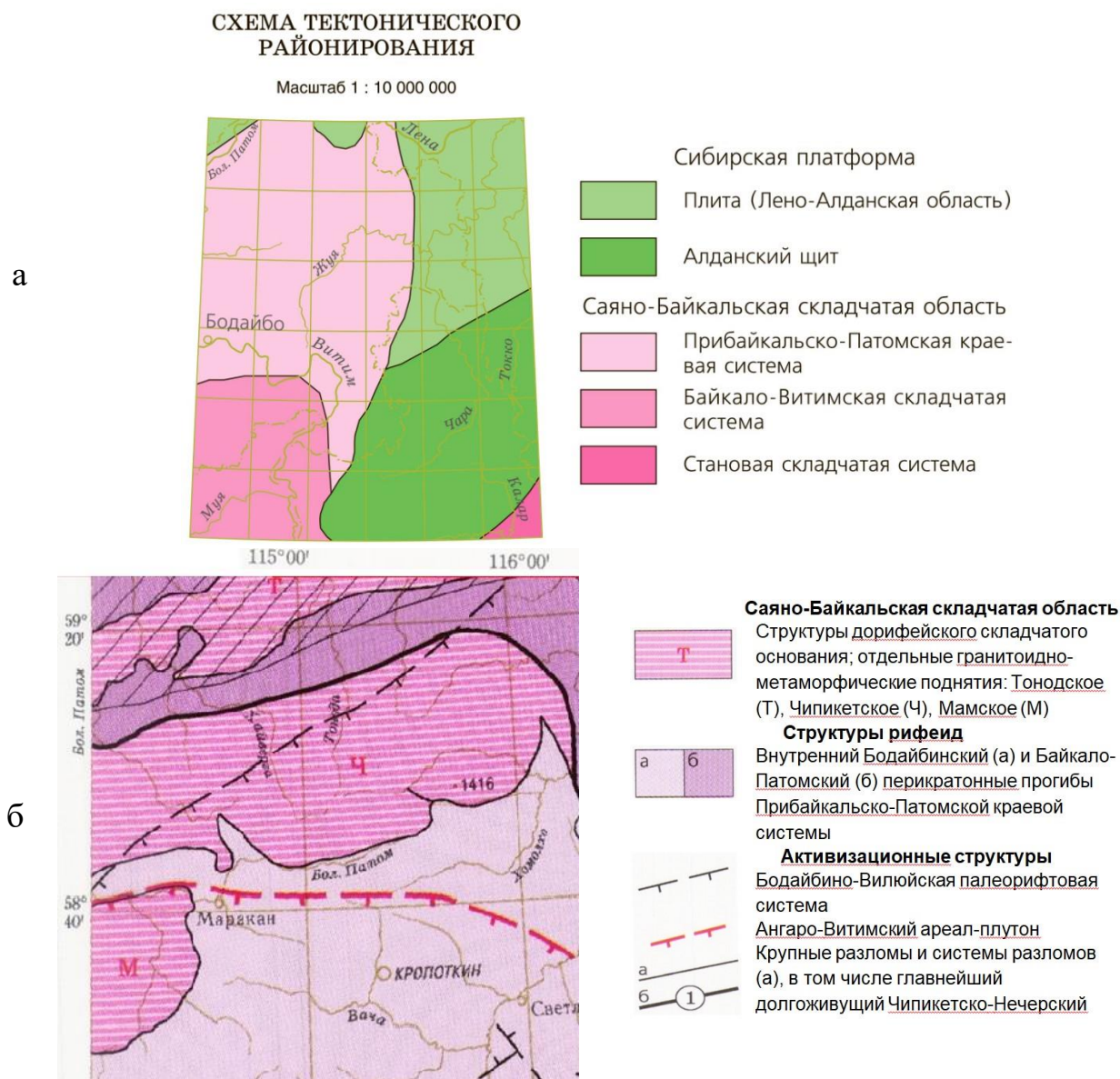


Рис. 3. Тектоническое районирование: а – [31], б – [28]

Нижний, архей-протерозойский этаж на дневной поверхности представлен серией поднятий фундамента: Тонодским, Чипикетским и Мамским. Эти структуры не вполне ясного генезиса вытягиваются широкой, выпуклой к северо-востоку, дугой от оз. Илаунское на юго-западе до р. Хайверга на северо-западе.

Позднепротерозойский структурный этаж представлен в основном образованиями венда и рифея, слагающими две смежные структурные единицы первого порядка: внешнюю – Патомско-Жуинскую надвиговую зону, и внутреннюю – Мамско-Бодайбинскую. Их разрезы представлены в основном терригенными и карбонатно-терригенными формациями венд-рифейского возраста.

Исключение составляют образования вулcano-терригенной рифтовой формации (медвежеская свита), фиксирующие среднерифейские рифтовые зоны [4].

Бодайбинский синклиний имеет весьма сложное внутреннее строение. На юго-востоке он представляет собой узко сжатую линейную структуру, веерообразно раскрывающуюся в северо-западном направлении. На юге синклиний ограничен интрузивными массивами конкудеро-мамаканского комплекса, на севере его границей является Тонодский купол, на востоке он по сложной системе чешуйчатых надвигов отделяется от смежной Патомской (Патомско-Жуинской) структуры. Внутри синклинория выделены структуры II порядка, представленные с севера на юг: 1) Маракано-Тунгусской сложной синклиналью; 2) Кропоткинской сложной антиклиналью; 3) Бодайбинской сложной синклиналью; 4) Тамаракской сложной антиклиналью.

Определение факторов золотоносности для рудных и россыпных месторождений района.

Формирование рудных месторождений золота происходило в пределах складчатых структур при наложении на них низкотемпературных процессов сингранитного этапа, наиболее интенсивно проявленных в секущих тектонических зонах на периферии надинтрузивных зон. Частично золото поступало в породы вместе с сингранитными флюидами, однако его основная масса – заимствовалась из вмещающих обогащенных золотом пород в пределах рудоконтролирующих структур при их гидротермально-метасоматической переработке и тектонической активизации.

Россыпи района относятся к различным генетическим и морфологическим типам. Промышленные концентрации металла известны в аллювиальных, элювиальных и делювиальных (ложковых) россыпях. Аллювиальные россыпи приурочены к современным руслам, погребенным террасам и глубоким тальвегам [2, 29, 30].

Методика и результаты исследований

Основу методологии и методики АКГИ составляют [6-25]:

- компьютерное космогеологическое (структурно-геологическое) дешифрирование цифровых космических снимков (КС) и их геологическая интерпретация [7, 25];
- линеаментно-геодинамический анализ [8-11, 14-19, 21, 27];
- ландшафтно-геодинамический анализ с выделением геодинамических активных зон и структур [6, 13, 17];
- комплексный аэрокосмогеологический анализ с выделением перспективных на золото участков, обработка материалов АКГИ и составление карт с применением ГИС-технологий [1, 12, 20, 22-24, 25].

Дешифрирование космических снимков

Методика дешифрирования базируется на принципе поэтапного анализа аэрокосмических материалов разных уровней генерализации. Технологически это выполняется путем системного анализа (дешифрирования) КС разного

масштаба от мелкого – к крупному (с захватом прилегающих территорий – чем мельче масштаб, тем большая площадь изучалась) и чем меньше площадь, тем детальнее изучение [7].

С целью выделения тектонических линеаментов и кольцевых структур на участке Бодайбинского района использовались КС сервиса Here.com и цифровые модели рельефа (ЦМР), загруженные при помощи сервиса SAS.Planet. Дешифрирование по разным материалам позволяет более точно выделять линеаменты, так как на КС удобно выделять линеаменты по зонам лучшего развития или угнетения растительности, а некоторые линеаменты, наоборот, из-за растительности, облачности и других факторов легче дешифрируются по ЦМР.

Обработка, дешифрирование и анализ КС были выполнены при помощи программного обеспечения ESRI ArcGIS (рис. 4).

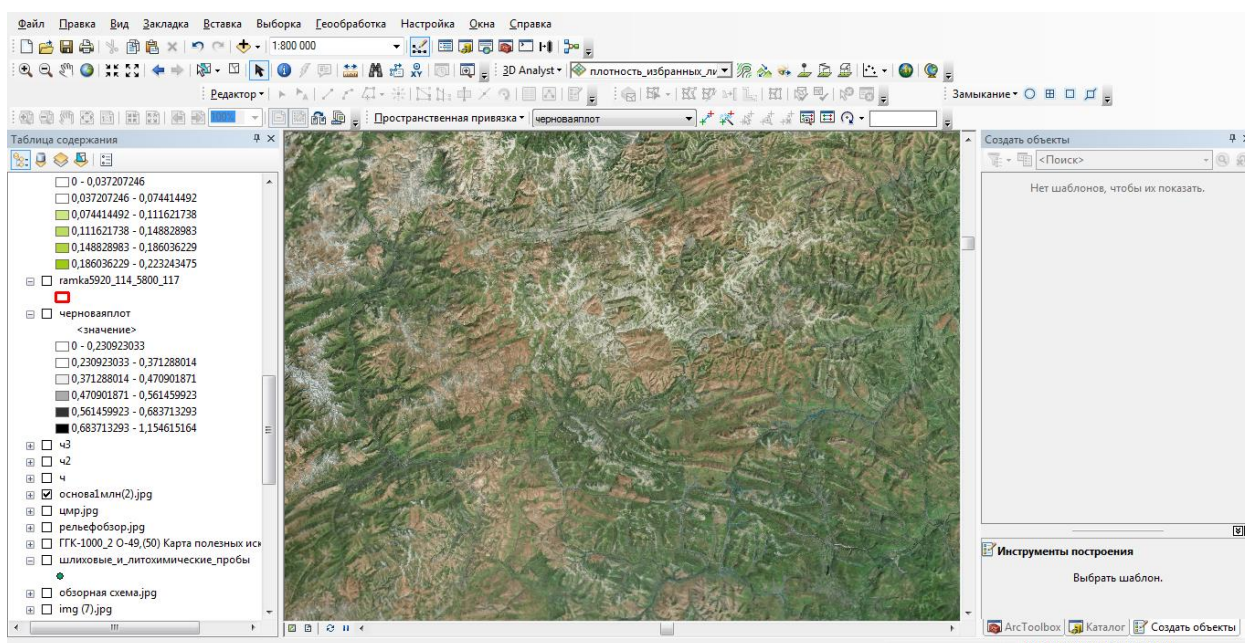


Рис. 4. Рабочая среда ArcMap

Последовательность работ включала:

- формирование массива исходных данных;
- обработку и дешифрирование исходных растровых изображений;
- корреляционный анализ изображений.

Интерпретация полученных данных проводилась при помощи программного обеспечения ESRI ArcGIS и Adobe Photoshop CS3 с использованием материалов по геологическому строению района.

Дешифрирование проводилось в разных масштабах в соответствии со сложившимися стадиями АКГИ (обзорная, региональная, регионально-зональная, зональная) [18]. Всего выделено 2415 линеаментов (табл. 1).

В ходе обзорной стадии дешифрирования была выявлена корреляция с главными активизационными структурами Патомского нагорья – Чипикетским, Мамским, Нечерским и Тонодским гранитоидно-метаморфическими поднятия-

ми, Бодайбино-Виллойской палеорифтовой системой и крупным Чипикето-Нечерским разломом (рис. 5).

Таблица 1

Результаты дешифрирования космоснимков

Стадия	Масштаб дешифрирования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов
Обзорная	1: 2 500 000	>100	51
Региональная	1: 1 000 000	50-100	125
Регионально-зональная	1 : 500 000	20-50	523
Зональная	1: 200 000	5-20	1716
Итого			2415

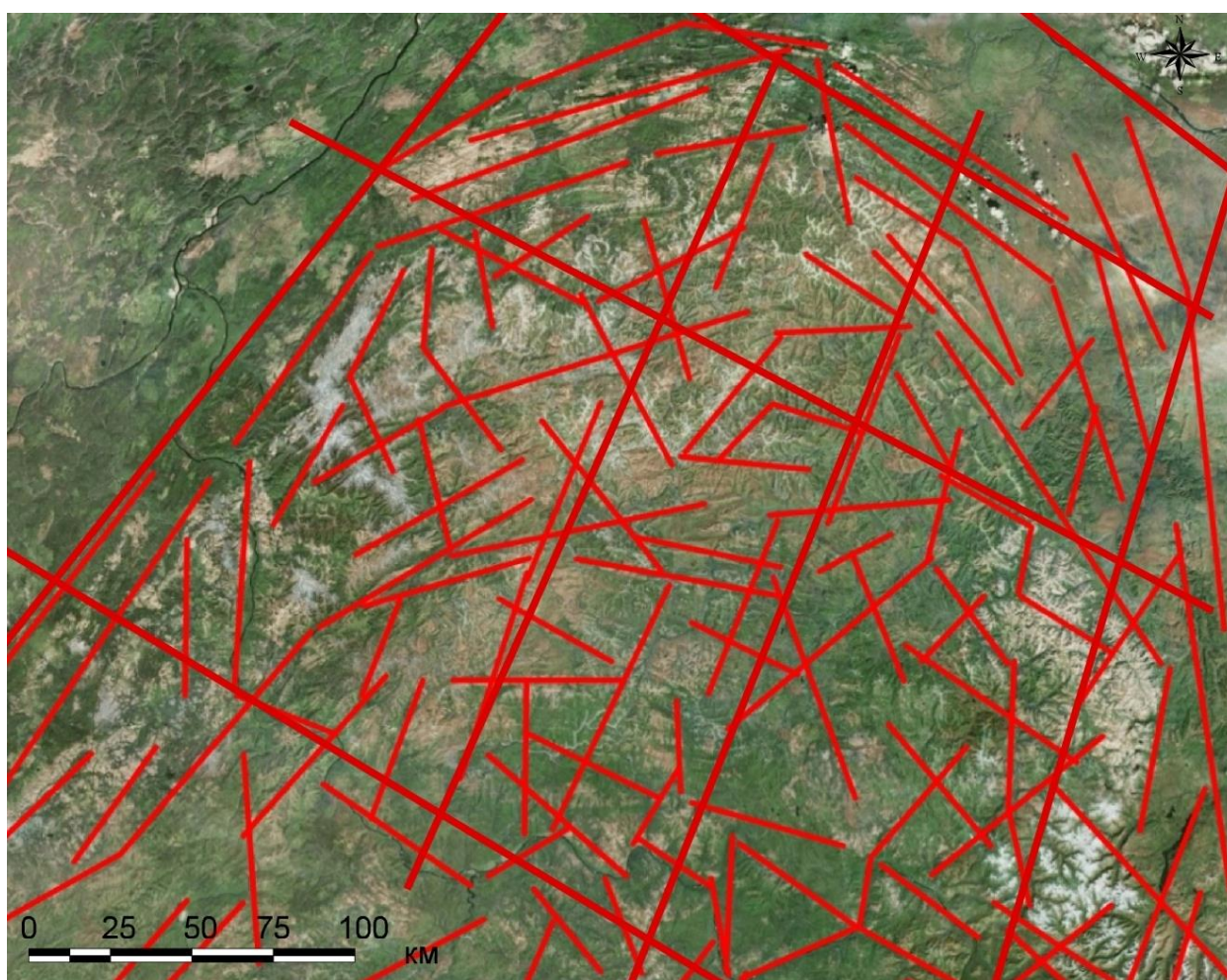


Рис. 5. Дешифрирование Патомского нагорья на обзорной стадии АКГИ

Региональное, регионально-зональное, зональное дешифрирование покрывало площадь Байкало-Патомской золотоносной зоны. По результатам дешифрирования были выполнены количественный и качественный анализы.

Линеаментно-геодинамический анализ

Для количественного анализа был проведен линеаментно-геодинамический анализ линеаментов всех рангов. Одним из важнейших показателей гео-

динамической активности территории является плотность разломов, линеаментов, мегатрещин, которая рассчитывалась при помощи модуля Spatial Analyst программы ArcMap (рис. 6).

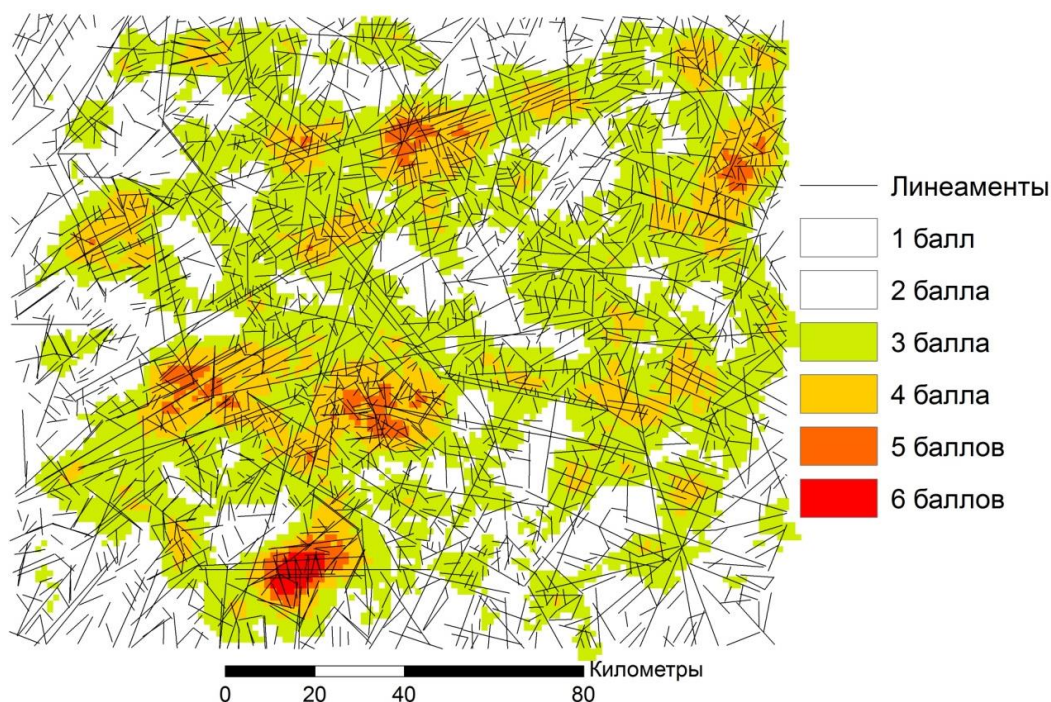


Рис. 6. Поле плотности линеаментов

Ранжирование геодинамической активности по этому показателю проводится по грациям с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности (обычно выделяется 6 градаций с учетом среднего арифметического – « \bar{x} » и стандартного отклонения – « s »): 1 балл (стабильна) $< (\bar{x}-s)$; 2 балл (средняя активность) – $(\bar{x}-s) \div \bar{x}$; 3 балл (повышенная активность) – $\bar{x} \div (\bar{x}+s)$; 4 балл (высокая активность) – $(\bar{x}+s) \div (\bar{x}+2s)$; 5 балл (очень высокая активность) – $(\bar{x}+2s) \div (\bar{x}+3s)$; 6 балл (чрезвычайно высокая активность) $> (\bar{x}+3s)$ (табл. 2).

Вполне уверенно предполагается, что они отражают соответственно различную степень геодинамической активности (от условно стабильной до условно чрезвычайно высокоактивной).

Таблица 2

Статистика линеаментного поля

Ранг, балл	Диапазон значений	Плотность, линеаментов/км ²	Процент площади, %
1	$< (\bar{x}-s)$	$< 0,31$	14,7
2	$(\bar{x}-s) \div \bar{x}$	0,31-0,46	33,3
3	$\bar{x} \div (\bar{x}+s)$	0,46-0,60	38,8
4	$(\bar{x}+s) \div (\bar{x}+2s)$	0,60-0,75	11,4
5	$(\bar{x}+2s) \div (\bar{x}+3s)$	0,75-0,90	1,6
6	$> (\bar{x}+3s)$	$> 0,90$	0,4

При этом к геоактивным зонам относятся участки с очень высокой и чрезвычайно высокой трещиноватостью и в отдельных случаях – участки с высокой трещиноватостью, отличающиеся высокой контрастностью относительно

фона. Как правило, крупные геоактивные зоны имеют сложное мозаичное строение и по материалам более детального изучения, они «разбиваются» на зоны более низкого уровня с разной степенью активности [18, 19].

При анализе азимутов линеаментов были выделены линеаменты доминирующих простираний с визуализацией в виде гистограммы (рис. 7, 8). На гистограмме видно, что на территории Байкало-Патомской золотоносной зоны преобладают линеаменты северо-северо-восточных и юго-юго-западных румбов по направлениям 350-40° и 170-220°. Ранее, такая же общая направленность линеаментов для этого региона была отмечена Бушем В.А. на схеме трансконтинентальных линеаментов на территории СССР [3].

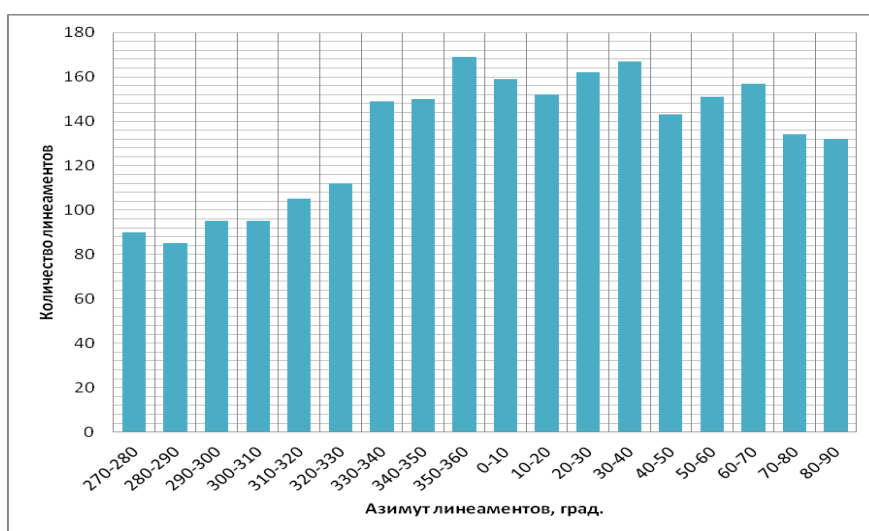


Рис. 7. Гистограмма распределения линеаментов по азимутальным направлениям

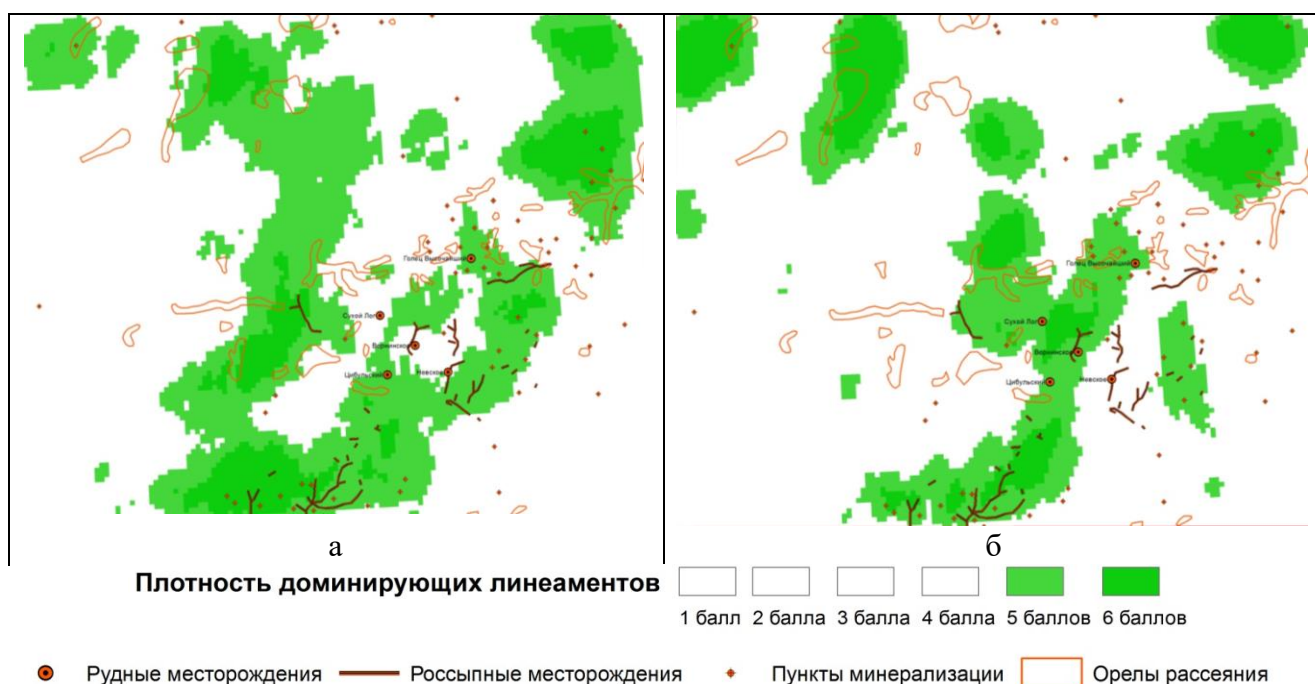


Рис. 8. Выделение зон повышенной плотности линеаментов для:
а – секторов 170-220° и 350-40°, б – секторов 30-40°, 170-180°, 210-220° и 350-360°

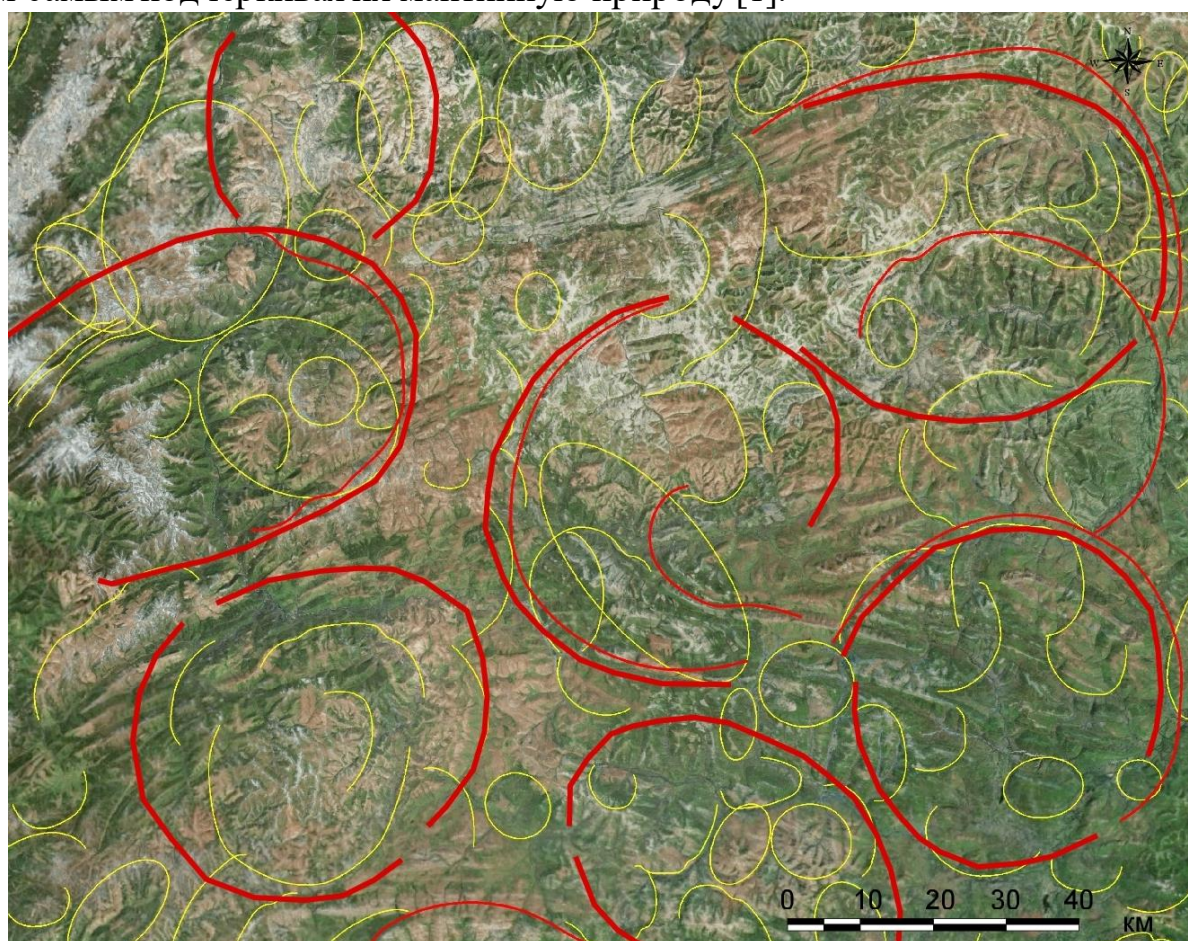
Проанализировав все полученные поля плотности линеаментов, отмечается, что максимумы полей сопоставляются с уже известными месторождениями

золота, поэтому можно сделать вывод, что аэрокосмические методы позволяют достаточно достоверно определить участки, перспективные на поиски золота, а фильтрация по принципу доминирующих направлений линеаментов дают возможность сократить площади поисков.

Ландшафтно-геодинамический анализ (дешифрирование кольцевых структур)

Дешифрирование кольцевых структур произведено на региональном и регионально-зональном уровнях (табл. 3). Всего выделено 107 ландшафтных аномалий (кольцевых структур – предполагаемых локальных тектоногенных поднятий. Из них в масштабе 1: 1 000 000 выделено 7 структур диаметром 15х20-30х50 км; в масштабе 1 : 500 000 выделено 100 структур диаметром 5-10 х-15х30 км (рис. 9).

Ранее отмечалось, что на глобальном уровне генерализации структурным фактором локализации оруденения являются кольцевые мегаструктуры (например, Сухой Лог). Крупнейшие рудные объекты расположены на участках пересечения их внешних колец с транзитными зонами глубинных разломов, главным образом рифтогенного генезиса. Кроме того, ряд исследователей связывают перспективные зоны на поиски золоторудного месторождения с повышенной плотностью линеаментов на периферии систем кольцевых структур, тем самым подчеркивая их мантийную природу [1].



Масштаб дешифрирования

— 1: 1 000 000
— 1:500 000

Рис. 9. Дешифрирование кольцевых структур Байкало-Патомской золотоносной зоны

Также большое значение имеют кольцевые структуры при поисках россыпей. Россыпи нередко приурочены к зонам сочленения длительно развивающихся крупных поднятий и прогибаний, особенно разломного или флексурно-разрывного типа, что служит региональной тектонической предпосылкой поисков как погребенных, так и современных россыпей. Особого внимания заслуживают разломы и зоны трещиноватости, которые разрабатываются реками, долины-впадины, локальные структуры, где могут возникнуть ловушки на пути транспортировки аллювия — подпруживания (перед поднятием) и разгрузки, в которых, прежде всего, происходит накопление полезного компонента, и пр.

Смещение и преломление русел водотоков, изменение морфологии речных долин, направления, характера меандрирования являются косвенными признаками наличия тектонических деформаций. Блоковые дифференцированные движения земной коры могут привести к обезглавлению реки, появлению подпрудных озер, ущелистых участков прорыва рекой поднятий [26].

Аэрокосмогеологический анализ

Анализируя геологические факторы образования месторождений Байкало-Патомской золотоносной зоны, результаты АКГИ и опыт предшественников были выбраны обобщенные прогнозно-поисковые критерии рудных и россыпных месторождений золота и составлена карта перспективных зон для поисков россыпей и коренных месторождений золота (рис. 10, табл. 3).



Рис. 10. Карта перспективных зон для поисков россыпей и коренных месторождений золота

Таблица 3

**Каталог зон перспективных на поиски месторождений золота
по данным аэрокосмогеологического анализа**

№ п/ п	Географическое по- ложение	Геолого-структурное положение	Золотоносность в пределах зоны	Количество критериев перспектив ности
1	Междуречье рр. Хайверги и Тамендры	Тонодское поднятие	Ореолы рассеяния	3
2	Устье р. Малый Чипикет	Стык Чипикетского антиклинория и Кудули-Илигирской блоковой кольцевой структуры	Ореолы рассеяния, пункты минерализации	3
3	Долина р. Большой Патом	Чипикетский антиклинорий	Ореолы рассеяния, пункты минерализации	3
4	Долина р. Большой Патом	Чипикетский антиклинорий	-	3
5	Долина р. Жуя	Чипикетский антиклинорий, Муйско-Уринская система разломов	Пункты минерализации	4
6	Долина р. Большой Туюкан	Туюканская антиклиналь	Ореолы рассеяния, пункты минерализации	3
7	Долина р. Хайверга	Стык Тонодского поднятия и Чипикетского антиклинория	-	4
8	Долина р. Кевакта	Тонодское поднятие	Ореолы рассеяния, пункты минерализации	3
9	Верховья р. Малый Чипикет	Стык Чипикетского антиклинория и Кудули- Илигирской блоковой кольцевой структуры	Ореолы рассеяния	5
10	Слияние рр. Малый Чипикет и Хомолхо	Чипикетский антиклинорий	Ореолы рассеяния, пункты минерализации	4
11	Среднее течение р. Жуя	Чипикетский антиклинорий	Пункты минерализации	5
12	Верховья р. Жуя	Стык Бодайбинского синклинория и Джегдакарской блоковой кольцевой структуры	-	3
13	Верховья р. Энгажимо	Стык Бодайбинского синклинория и Джегдакарской блоковой кольцевой структуры	Пункты минерализации	3
14	Среднее течение р. Вача	Бодайбинский синклинорий	Ореолы рассеяния	3
15	Слияние рр. Большой Патом и Анангра	Мамский синклинорий, Патомско-Мамаканская система разломов	Ореолы рассеяния	4

Для поисков коренных месторождений золота выделены следующие критерии:

- высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочена золотая минерализация;
- узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости;
- системы кольцевых структур, указывающие на мантийную природу участка земной коры;
- распространенность пунктов минерализации и ореолов рассеяния по данным шлихового и металлометрического опробования.

Для поисков россыпей золота выделены следующие критерии:

- зоны структурно-тектонических депрессий, являющиеся благоприятными участками для россыпеобразования;
- кольцевые структуры (в основном крупных);
- выходы на поверхность пород угаханской, хомолхинской, аунакитской и догалдынсокой свит;
- различные тектонические нарушения (сдвиги, взбросы, надвиги и т.д.)
- ореолы рассеяния по данным шлихового и металлометрического опробования.

В результате, зоны пересечения данных признаков были выделены на карте и занесены в каталог как наиболее перспективные поисковые площади россыпных и рудных месторождений золота (рис. 10, табл. 3).

Заключение

В результате исследований проведено дешифрирование КС Бодайбинского района в нескольких масштабах. Всего выделено 2415 линеаментов и 107 кольцевых структур. Установлено, что выделенные объекты по мелкомасштабным КС коррелируются с крупными тектоническими структурами, блоками и разрывными нарушениями. В сочетании с крупномасштабным дешифрированием были построены поля плотности линеаментов в зависимости от доминирующих направлений линеаментов при помощи статистических показателей, что позволяет сузить площадь района поисков золота. Повышенная трещиноватость (плотность) линеаментов характерна как для рудных, так и для россыпных месторождений. Для многих кольцевых структур, особенно небольшого и среднего диаметра, заметна отчетливая связь с линеаментами.

По результатам анализа КС с учетом геологических факторов были выделены критерии на поиски рудных и россыпных месторождений золота, а также составлены карта перспектив и каталог потенциально золотоносных зон.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что использование АКГИ совместно с другими геологическими методами поисков золота позволяет достаточно достоверно выявить потенциально золотоносные зоны, сузить район поисков. Кроме того, опережающее использование аэрокосмических методов АКГИ в общем комплексе прогнозных и поисковых работ даёт возможность сократить финансовые затраты

Библиографический список

1. Ананьев Ю.С. и др. Космоструктурные позиции золоторудных объектов Заангарской части Енисейского кряжа // *Известия Томского политехнического университета*. 2012. Т. 320. № 1. С 38-47.
2. Бокарев А.Н. Проект на производство оценочных и разведочных работ, в пределах горных отводов, на россыпи руч. Веселяевский левого притока р. Маракан лицензия ИРК 01262 БЭ, и на россыпи р. Маракан левого притока р. Большой Патом лицензия ИРК 01264 БЭ, на 2016-2025 гг..
3. Буш В.А. Проблема кольцевых структур Земли. Итоги науки и техники, серия «Общая геология». Т. 22, 1986.
4. Иванов А.И., Лифшиц В.И., Перевалов О.В. и др. Докембрий Патомского нагорья. М.: Недра, 1995. 352 с.
5. Митрофанов Г.Л., Мордовская Т.В., Никольский Ф.В. и др. Линзы скупивания под Енисейским кряжем и Патомским нагорьем // *ДАН СССР*, 1989, Т. 305, № 3. С. 673–677.
6. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // *Вестник Пермского университета №4 (29)*. 2015. С. 70-81.
7. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
8. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края*. Пермь, 2021. 501 с.
9. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Пермского Приуралья на основе аэрокосмогеологических исследований // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2010. № 10. С. 14-18.
10. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 4. С. 69-74
11. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
12. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
13. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. *Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing*, 2018. 210 с.
14. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ для оценки экологической емкости геологической среды Байкальской природной территории // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2022. С. 193-203.
15. Копылов И.С. Линементно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №7*. 2016. С. 6.
16. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья. // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
17. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
18. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
19. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
20. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2022. С.129-143
21. 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.

22. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
23. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
24. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
25. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
26. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования. М.: КДУ, 2009. 288 с.
27. Ликутев Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. №4. С. 125-133.
28. Салон Л. И. Геология Байкальской горной области. Т. 1: Стратиграфия. М.: Недра, 1964. 511 с.
29. Самбур Л.Ю. и др. Проект на проведение работ по геологическому изучению недр, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых (рудное золото) на участке «Ботоло» в 2017-2019 гг.
30. Сердюк С.С., Бабушкин В.Е., Хабаров А.И. Проект: Поисковые работы на рудное золото в пределах участков недр «Сиган», «Сахтачи», «Луктах» (Иркутская область). 2018. 237 с.
31. <http://bodaybo38.ru/> Официальный сайт администрации муниципального образования г.Бодайбо.
32. http://kartoman.ru/wp-content/uploads/2012/02/karta_rayonov_irkutskoj_oblasty.jpg
33. <https://vsegei.ru/rw/gisatlas/atlaspacket/>

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ ИЗ ДЕРЕВЬЕВ НА КОСМОИЗОБРАЖЕНИЯХ, ИХ БИОЛОКАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО ТИПАМ

В заповеднике Вишерский на космоснимках выделяли кольцевые структуры из деревьев и скал и далее в полевых условиях сравнивали их размер с размером геоактивных зон по нескольким типам, центры которых находили уже в полевых условиях с помощью биолокации. Обследовано восемь структур размером от 32 до 660 м. Выяснено, что координаты их центров на космоснимках точно совпали с координатами центров геоактивных зон, найденных биолокацией. Тем самым биолокационный метод оценки размеров геоактивных зон получил объективную фитоценотическую идентификацию. Впервые описаны три геоактивных зоны размером 660 м. В одном случае зона проявила себя на склоне горы как видимое на космоизображении полукольцо из цепочки скал с продолжением в цепочках деревьев. Ее центр во всех трех случаях действовал на деревья как «точка смерти» диаметром около 6,0 м; далее к периферии зона благоприятно влияла на их развитие, в особенности начиная с диаметра 13 м. На других типах зон подобные точки имели диаметры, снижающиеся пропорционально их размерам. Подобная фитоиндикация центров геоактивных зон будет востребована при изучении их физических и химических особенностей, которые в центре зон совершенно иные, чем на периферии.

Ключевые слова: неотектоника, геодинамические активные зоны, горные леса, биолокация, рост деревьев.

M.V. Rogozin

Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia

rog-mikhail@yandex.ru

RING STRUCTURES OF TREES IN SPACE IMAGES, THEIR BIOLOCATION AND IDENTIFICATION BY TYPE

In the Vishersky Nature Reserve, ring structures made of trees and rocks were isolated on satellite images and then their sizes were compared in the field with the size of geoactive zones by several types, the centers of which were found already in the field using biolocation. Eight structures with sizes from 32 to 660 m were examined. It was found out that the coordinates of their centers on satellite images exactly coincided with the coordinates of the centers of geoactive zones found by biolocation. Thus, the biolocation method of searching and estimating the size of geoactive zones of these sizes has received objective confirmation. Three geoactive zones measuring 660 m are described for the first time. In one case, the zone manifested itself on the mountainside as a semicircle of a chain of rocks visible in the cosmic image with a continuation in the chains of trees. Its center in all three cases acted on trees and undergrowth as a "point of death" with a diameter of about 6.0 m; further to the periphery, the zone favourably influenced their development, especially from a diameter of 13 m. On other types of zones, similar points had diameters decreasing in proportion to their size. Such phyto-indication of the centers of geoactive zones will be in demand when studying their physical and chemical features, which are completely different in the center of the zones than on periphery.

Keywords: neotectonics, geodynamic active zones, mountain forests, biolocation, tree growth.

Введение

Энергии Земли формируют ее ландшафты и их частные проявления, дешифрируемые на космоснимках как линейные протяженностью от сотен метров до десятков километров и, в частности, на территории Пермского края их выделено уже более 40 тыс. [2-4, 7]. Энергии Земли многообразны и кроме известных электрических, магнитных и гравитационных излучений существуют пока малоизученные и очень слабые так называемые «тонкие энергии», с частотой излучений предположительно в сотни тысяч и миллионы герц [1]. Они действуют постоянно и существенным образом влияют на развитие деревьев. В частности, на определяемых с помощью биолокации благоприятных геоактивных зонах размером 1,0 и 3,0 м сосна обыкновенная формирует самые крупные деревья, и сохраняются в 39 раз лучше. Подобные результаты показывают также ель, береза, липа и кедр сибирский [6, 7, 9-13].

Мы исследуем с помощью биолокации главным образом благоприятные геоактивные зоны (далее зоны) размером от 1 до 660 м, связывая действие этих зон с ростом деревьев, тем самым верифицируя этот метод фитоиндикацией. В последние годы на космоснимках в горах Среднего Урала в некоторых местах удалось опознать кольцевые образования из деревьев и скал, которые довольно точно совпадали по размерам с зонами, диаметр которых с помощью биолокации был классифицирован нами ранее по нескольким типам и определен равным 32, 55, 87 и 110 м [6]. Если полагать, что мощность их излучения пропорциональна их диаметрам, то зоны эти будут востребованы для изучения их физических, химических и иных характеристик, пока совершенно неизвестных.

Последние исследования [6] нескольких сотен минимальных по размерам благоприятных зон диаметром 1,0 м в насаждении сосны среднего возраста позволили выяснить, что пространство внутри них неоднородно и включает в себя три пояса: внешнее комфортное для роста деревьев кольцо (радиус 20–45 см), кольцо депрессии (радиус 3–19 см) и центр зоны с полным ингибированием роста деревьев (радиус 0–3 см). В кольце комфорта деревья в 2,2 раза крупнее, в то время как центр зоны действовал как «точка смерти» для деревьев, где мы не нашли даже малейших следов отпавших деревьев. Подобные точки есть у всех изучаемых нами геоактивных зон восьми типов с размерами от 1 до 110 м, где они занимают менее 2% площади [8]. Однако их радиусы, а также размеры поясов комфорта нуждаются в уточнении, так как рассчитаны на небольших выборках, в пределах нескольких десятков зон по каждому типу.

Цель данной работы – выделить на космоснимках кольцевые структуры из деревьев и далее в полевых условиях сравнить их размеры с размером геоактивных зон по нескольким известным типам с помощью биолокации и фитоиндикации.

Объекты и методика камеральных работ

Объекты работ расположены в заповеднике Вишерский в трех местах: на склоне г. Мунин-Тумп на границе леса в 2,4 км на юго-запад от кордона Хальсория, на хребте Вишерский в 1,7 км от того же кордона и в 24 км ниже по течению р. Вишера вблизи устья ручья Муравей.

Первоначально на космоснимках мы выделили более 40 мест, где деревья и скальные обнажения выстраивались в кольца и серповидные образования, после чего выбрали 7 самых правильных по форме. При взгляде «с земли» опознать их невозможно. Поэтому в камеральных условиях в программе «SASPlanet» к ним наметили маршрут от узнаваемой на местности ситуации – слияния двух ручьев, и от р. Вишера напротив кордона до него было 1470 м, азимут 219°. Далее был выход на первую кольцевую структуру в северной части рисунка (рис. 1).

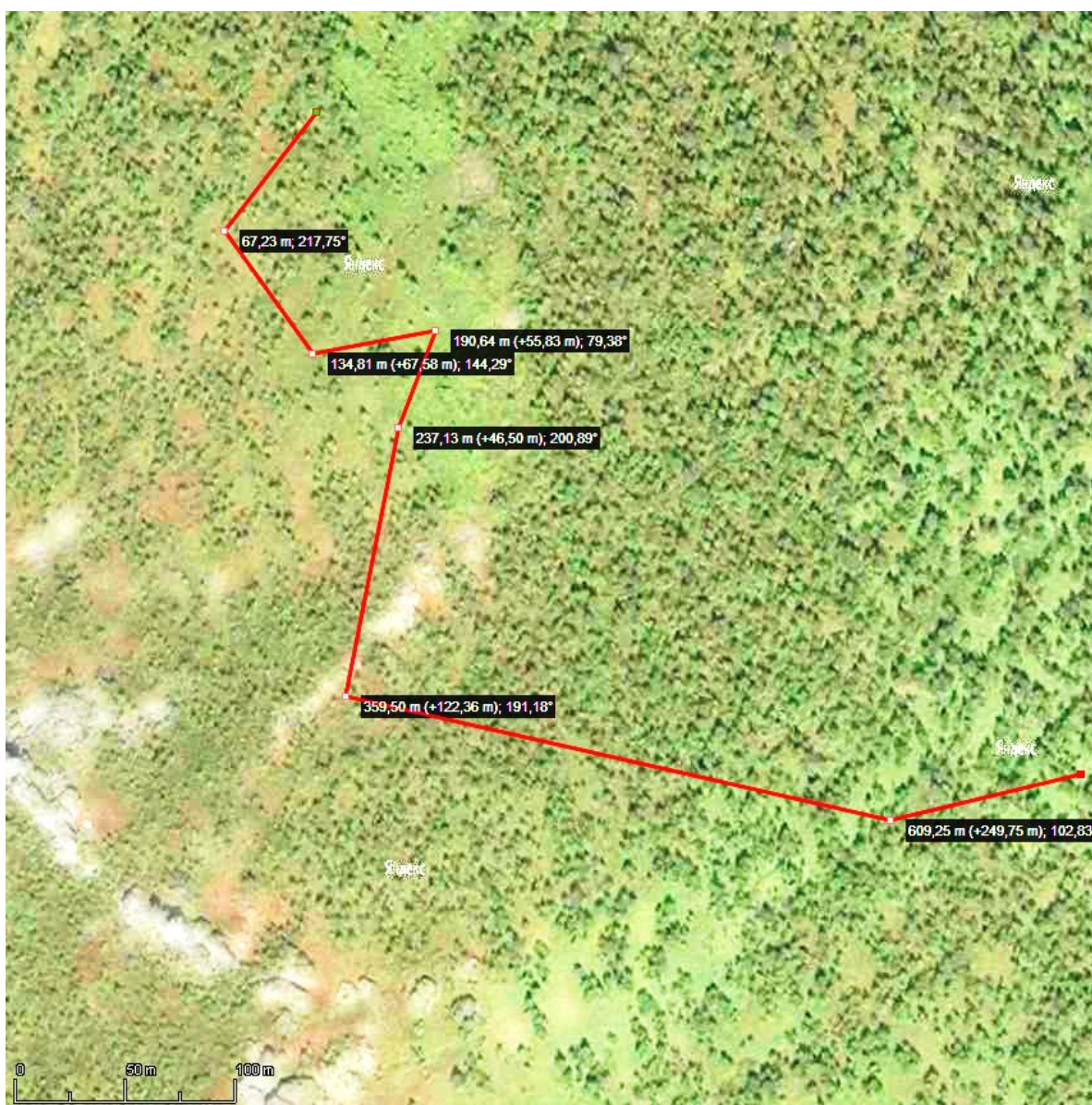


Рис. 1. Маршрут по кольцевым структурам из деревьев на северном склоне г. Мунин-Тумп в заповеднике Вишерский.

Полевые работы

Методику поиска и биолокации геоактивных зон мы описали ранее [4], но здесь она отличалась тем, что в полевых условиях по GPS-навигатору вначале находили координаты центра кольцевой структуры, записанные в камеральной ведомости заранее, после чего находили центр геоактивной зоны уже с помощью биолокации и устанавливали на нем вешку. Затем измеряли расстояние от

вешки до точки на земле, где лежал GPS-навигатор и получали рассогласование координат. Далее составляли схему расположения деревьев по азимутам от центра зоны. Часть кольцевых структур показана ниже (рис. 2).



Рис. 2. Выделенные в подгольцовом поясе кольцевые структуры и их центры.

На рисунке 2 точки с деревьями, которые выстраиваются в кольцевые образования, мы обвели более широкими кругами, чем предполагаемые размеры геоактивной зоны с тем, чтобы не заслонять образующие эти кольца деревья, а синими овалами обозначили центры структур с неясными размерами. Напомним, что структуры эти мы наметили еще в камеральных условиях, а в поле решали задачу по их нахождению по координатам.

Полевые работы проводилась с 3 по 9 июля. Первый день был потрачен на прокладку тропы от р. Вишера с подъемом в гору к высотам порядка 600 м.

На следующий день мы нашли старую геологическую тропу, подновили ее за-
тесками, и половина маршрута проходила уже по ней. Для выхода на первую
кольцевую структуру проложили отдельный визир длиной 1,2 км со слабыми
отметками на деревьях и постановкой вешек. Далее в поясе криволеся марш-
рут проходил уже через кольцевые структуры. Основные трудности были в
преодолении зарослей папоротника и высокой дневной температуры (+28°) при
полном безветрии, а также активности мошки. Поэтому работы начинались в 6
утра с возвратом на кордон Хальсория к 16 часам.

Анализ результатов и обсуждение

На территории, показанной на рис. 1 и 2, один и тот же оператор осу-
ществлял биолокацию малых геоактивных зон, а также проводил картирование
деревьев и крупных кустарников (табл. 1).

На первых трех структурах сразу же выяснилось, что от центра найден-
ной с помощью биолокации зоны до точки на земле с GPS-навигатором, на ко-
тором читались нужные координаты, расстояния не превышали 1,3 м, что соот-
ветствовало точности позиционирования этого прибора; таким образом, рассо-
гласование камеральных на космоснимке и полевых координат для центров зон
практически отсутствовало. На остальных структурах отклонения были еще
меньше. В результате первые три структуры были идентифицированы как зоны
размером 55 м, точки 4 и 5 – как зоны 32 и 110 м, и структура 6 – как двойная, с
близко расположенными центрами зон размером 55 и 87 м. Структуру 7 не об-
следовали из-за дефицита времени.

Важно сразу отметить, что младшие зоны размером 1 и 3 м, на которых
растут крупные деревья, обычно находятся внутри более крупных зон и помо-
гают выявлять в них кольца комфорта [6, 8], что полностью подтвердилось.

В приводимой таблице обозначены три типа благоприятных зон (1 м, 3 м,
8 м) и два патогенных типа (Ха – зоны Хартмана и Ку – зоны Курри). Размеры
последних зон не указаны, но радиус их негативного воздействия обычно не
превышает 30 см [6, 7].

Таблица 1

Кольцевые структуры из деревьев и геоактивные зоны на г. Мунин-Тумп

Номер точки	Раз- мер зоны	Широта; дол- гота	Ближайшие деревья				Находятся на зонах, расстояние до них, см				
			Ази- мут	Расстояние, см		Порода и диаметр, см	1 м	3 м	8 м	Ха	Ку
				до всех	до круп- ных						
1	55	61 29 15,2 059 12 17,0	12	850	850	Б 24		42			
			57	450	450	Б 20	32				
				450	450	Б 22	34				
			100	190		Б 12	33				
			155	380		Б 15	27				
			205	205		Б 8, крив.			98		
				260		Б 6, крив.			153		
				660	660	Б 24		38			
			223	870	870	Е 36	40				

Номер точки	Раз- мер зоны	Широта; дол- гота	Ближайшие деревья				Находятся на зонах, расстояние до них, см				
			Ази- мут	Расстояние, см		Порода и диаметр, см	1 м	3 м	8 м	Ха	Ку
				до всех	до круп- ных						
				250	500						
2	55	29 13,5 12 14,3	72	840	840	Б 28	33	45			
						Б 15					
						Б 14					
						Б 12					
			117	450	450	Е 21		28			
						Е 18, сух				19	
			205	950		Б 14	27				
			<u>230</u>	<u>150</u>		<u>Б 3</u>					
			235	870	870	Б 26		36			
			281	770	770	Б 22	32				
			307	680	680	Б 25	34	36			
			327	810		Б 20 слм		32			
			353	880	880	Б 22	38				
3	55	29 11,7 12 16,9		560		можж					
				430		Б 7		26			
				305		Б 3			144		
4	32	29 12,1 12 21,0		650	650	Б 18	35				
				720		Б 16					
				750		Б 15					
5	110	29 10,6 12 19,7		210		можж			120		
				430	430	можж	40				
				445		Б 4	40				
6	87	29 05,0 12 34,2		390		Б 21		36			
				420	420	Б 34	41	46			
					Б 19	40					
7	55	2,9 м на 335 от 6-й		350	350	Б 28	42				
				350		Б 20		42			
Число				36	19		17	14	4	1	
Среднее				535	617		36	37	129	19	
минимум				150	350		27	26	98	19	
максимум				950	880		43	46	153	19	

После нахождения биолокацией центра зоны от него по азимутам определяли расстояние до ближних деревьев и кустарников (Б – береза; Е – ель; можж – можжевельник, био – деревья растут в биогруппе) и указывали их диаметр на высоте 1,3 м. Дальние деревья, которые образовывали опознаваемое на космоснимке кольцо, на абрис уже не наносили. Дело в том, что в это кольцо обычно встраиваются зоны других типов, и правильные круглые структуры из деревьев с «чистым» влиянием только одной зоны, например, размером 32 или 55 м встречаются редко (именно их мы и выбрали из более чем 40 таких структур на северном склоне горы). Они покрывают буквально всю площадь, где почти не остается свободных мест [7, С. 146] и накладываются друг друга.

В нашем случае крупные, а также средние по размерам деревья на радиусах 350–950 см от центра кольцевых структур вырастали почти всегда в поясе комфорта зон размером 1 и 3 м. Это не было для нас чем-то новым; но показательно то, что вне этих зон здесь выросли всего лишь два, причем уже высохших дерева: береза и ель на точках 1 и 2 (Б 22 сух и Е 18 сух).

Наличие отпавших деревьев говорит о том, что здесь образуются неровные и не сплошные кольцевые образования из деревьев с их расположением в поясе комфорта малых зон, а затем в кольце комфорта более крупных зон. Ранее в условиях равнины мы установили, что внутри зоны размером 32 м комфортное кольцо у нее начинается с радиуса 3,0 м, где уже встречаются крупные деревья [7, С. 147]. Можно полагать, что в горах эта полоса будет выражена более четко, и здесь как раз такой случай. Внизу таблицы для графы с крупными деревьями указан минимум расстояния 350 см (т.е. на нем начинается пояс комфорта). Однако по разным типам зон выборки недостаточны для выявления различий между ними; нужны более обширные исследования для установления точных параметров колец комфорта отдельно по их типам.

Отметим, что в данной экспедиции была задача, во-первых, зафиксировать отклонения в локации зон, и выше мы отмечали, что рассогласование «полевых» и «камеральных» координат практически отсутствовало. Во-вторых, два года назад появилась перспектива изучать уже более крупные геоактивные зоны с размерами от 220 м; их выявили в лесах г. Перми не только биолокацией, но и по резким изменениям ориентации сети из зон размером 3 м, которая плавно изгибалась на 90° и обозначила тем самым примерный центр крупной зоны размером 660 м. Близкая по размерам зона видна и на наших космоснимках. Здесь скальные обнажения, видимые как светлые пятна, образовали внизу рисунка 2 серповидное образование, и оно продолжалось по цепочкам деревьев с плавным изгибом на север. Причем его концентры заметны по дугообразным цепочкам групп деревьев и внутри этого полукольца.

Убедившись в совпадении координат геоактивных зон на первых шести кольцевых структурах и зная эталоны ментальных ощущений у оператора биолокации, возникавшие на упомянутых зонах размером от 220 до 660 м вблизи г. Перми, мы предприняли поиск центра подобной зоны на г. Муни-Тумп на северо-запад от кольцевой структуры № 6 непосредственно в поле. В результате биолокации по азимуту центр зоны размером 660 м обнаружился в 16,3 м на восток от зоны 4 на склоне, покрытом на 90% черникой и редкими кустами можжевельника; здесь растут лишь три березки диаметром 10 см в биогруппе на радиусе 6,4 м от ее центра, на двух зонах размером 1 и 3 м. На космоснимке этот центр находится на почти безлесной крупной поляне (рис. 3).



Рис. 3. Геоактивная зона размером 660 м с границей по скальным обнажениям и цепочкам деревьев. Координаты центра N61°29'12,3''E059°12'22,0''.

Ранее в лесах г. Перми, на подобной зоне размером 660 м (которая послужила здесь оператору биолокации как ментальный образец для поиска центра зоны на рисунке 3), ближние крупные деревья были от ее центра на радиусах 6,7 и 9,1 м, а подрост и подлесок – на расстоянии 3,0 м, также растущие на малых благоприятных зонах размером 1 и 3 м.

Отсутствие деревьев и кустарников в центрах геоактивных зон является их фитоиндикацией, и этот центр, по сути, является для них «точкой смерти», где они просто не выживают; ранее [8] мы предполагали, что чем больше зона, тем больше эта «точка», и здесь это подтвердилось. Вероятно, энергия зоны в ее центре слишком сильная, либо патогенная. Этот аспект, как нам представляется, будет наиболее важен при изучении физических характеристик этих крупных зон, тогда как кольца комфорта не четкие и смазываются влиянием других зон.

Вторую зону размером 660 м мы нашли по азимуту 20° по компасу в 3,8 км на хребте Вишерский на высотах порядка 400 м, в 1,7 км от кордона Хальсория, с координатами центра N61°30'48,04''E059°15'07,27''. Внутри нее не было ничего примечательного: везде 150-летний елово-пихтово-березовый лес полнотой 0,4 с умеренным валежом. В ее центре также есть «точка смерти» радиусом 320 см, считая до первого пня диаметром 28 см; пояс комфорта в ней

начинался от крупной березы диаметром 46 см по азимуту 77° и равен по радиусу 660 см.

Подобные кольцевые структуры можно выделить на космоснимках и в долине р. Вишера, однако в насаждениях с более высокой полнотой (0,6 и выше) они опознаются с трудом. Мы их нашли вблизи устья ручья Муравей (рис. 4).

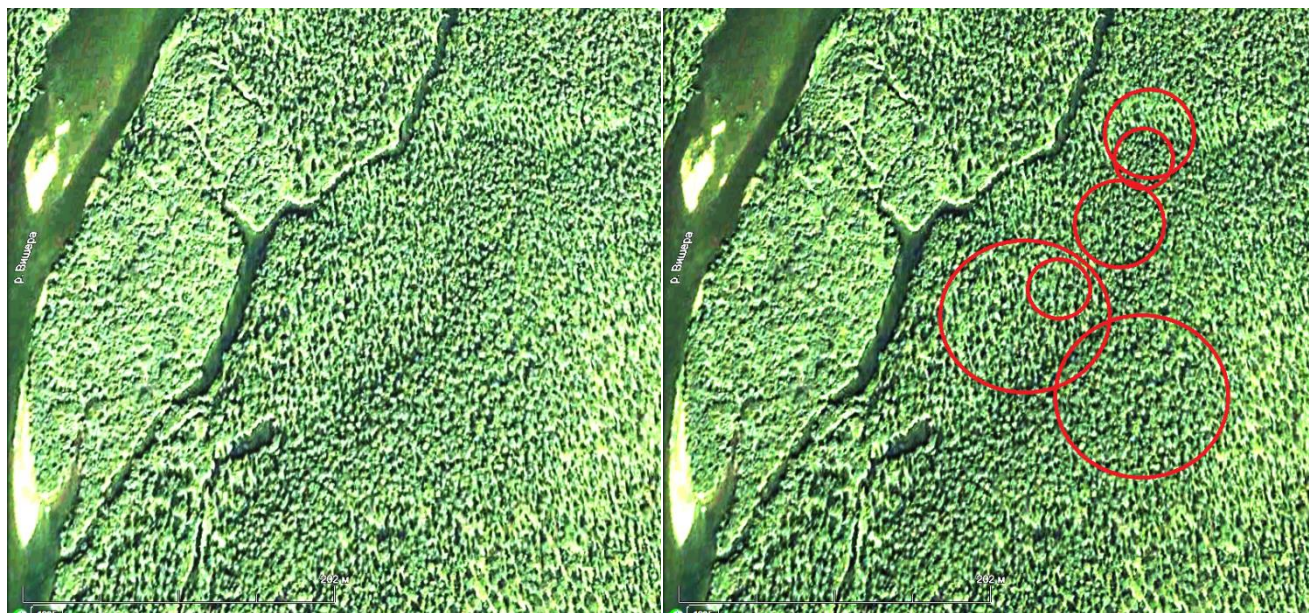


Рис. 4. Кольцевые структуры размером 110, 55 и 32 м в 130-летнем насаждении ели полнотой 0,7 вблизи устья ручья Муравей. Координаты центра левой структуры диаметром 110 м: $N61^\circ 20'57,4'' E058^\circ 55'44,7''$

Здесь мы провели биолокацию только на левой структуре размером 110 м, которую уверенно дешифровали на разных космоснимках. Как и ожидалось, это была зона размером 110 м и вокруг ее центра на радиусах 300–520 см располагались четыре дерева ели с диаметрами от 15 до 30 см, растущие на зонах размером 1, 3 и 8 м. В центре зоны не росло ни одного дерева и не было даже подроста, т.е. и здесь была обнаружена такая же «точка смерти» (рис. 5).



Рис. 5. Центр геоактивной зоны размером 110 м и «точка смерти» для деревьев диаметром 6,0 м вокруг ее центра вблизи устья ручья Муравей.

Остальные пять структур на рисунке 4 были выделены уже после полевых работ камерально, поэтому остались не обследованы. История о том, как в заповеднике Вишерский в экспедициях 2016–2023 гг. были открыты первые кольцевые структуры из папоротника, чемерицы Лобеля, а затем кольца из скал и деревьев на геоактивных зонах, рассказана в фильме [14].

В будущих исследованиях важно определить, как выстраиваются сети из подобных крупных зон. Пока примерный размер ячеек в сети из зон размером 660 м ожидается 4–7 км; для более точной локации нужен ресурс времени. В заповеднике он ограничен, поэтому исследования здесь почти всегда поисковые; после них мы работали уже в лесах вблизи г. Перми более детально по тем вопросам, которые возникали после экспедиций.

Также возникает вопрос о перемещении зон с возвратом на прежние места; если зона крупная, то это 1–2 м, хотя отмечались и более дальние смещения, например, для зон размером 8 м. Такое движение зон мы назвали «миграцией» [7]. Между тем зоны всегда возвращаются на прежние места, поэтому подходит и термин «релокация». Пока неизвестно, когда случаются наибольшие смещения, однако наблюдения показали, что они происходят в новолуние.

Заключение

Таким образом, в горных лесах заповедника Вишерский при обследовании восьми кольцевых структур с размерами от 32 до 660 м, выявленных на космоснимках, было установлено, что координаты их центров точно совпадали с координатами центров геоактивных зон, найденных биолокацией. Тем самым биолокационный метод поиска и оценки размеров геоактивных зон получил объективное фитоценотическое подтверждение. Впервые описаны три геоак-

тивных зоны размером 660 м. В одном случае зона проявила себя на склоне горы как полукольцевая структура из цепочки скал с продолжением в группах и цепочках деревьев. Ее центр представляет собой для деревьев и кустарников «точку смерти» диаметром 6,0 м; далее к периферии зона действует на них благоприятно, в особенности от диаметра 13 м. Подобная фитоиндикация центров геоактивных зон будет востребована при изучении их физических и химических особенностей, которые в центрах зон в «точках смерти» деревьев совершенно иные, чем на их периферии в кольце комфорта.

Библиографический список

1. Горелов А. М., Миколайко В. П., Красноштан И. В. Введение в эниодендрологию. Киев: ФЛП Ямчинский А. В., 2020. 138 с.
2. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
3. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь: ПГНИУ, 2021. 501 с.
4. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
5. Михалев В. В., Рыбальченко А. Я. Флюидизатно-эксплозивные структуры заповедника «Вишерский» и растительные сообщества // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4(41). С. 11-23.
5. Rogozin M. V. Гипотеза «тонких» энергий геоактивных зон: штрихи к портрету нового направления исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. №. 3. С. 116-133.
7. Rogozin M. V., Михалев В. В., Рыбальченко А. Я. Лесные экосистемы и факторы неотектоники. Пермь: ПГНИУ, 2020. 249 с.
7. Rogozin M.V. Точка смерти и пояс комфорта для деревьев внутри малых геоактивных зон // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2023. №. 7. С. 172-183.
9. Rogozin M.V., Копылов И.С., Красильников П.А. Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 223-227.
10. Rogozin M.V., Копылов И.С., Красильников П.А. Биолокация и био-геоактивные зоны // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С.53-57.
11. Rogozin M.V., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я., Копылов И.С. Изучение влияния факторов неотектоники и малых геоактивных зон на элементы лесных экосистем аэрокосмическими и биолокационными методами // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 119-133.
12. Rogozin M.V., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я., Копылов И.С. 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) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 91-107.
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. 2019. № 2 (39). С. 23-31.
14. Тайны заповедника Вишерский, гора Муни-Тумп. Часть 1. https://youtu.be/Gb_2cGt9rXY; часть 2. <https://youtu.be/H7plEAKmWb8>; часть 3 <https://youtu.be/cfZRLGtdMg>

ОСОБЕННОСТИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

В статье описаны современные решения, направленные на улучшение качества экологических исследований для нефтяной промышленности. Приведены данные о зондировании земной поверхности космическими методами и технологиями. Показана необходимость использования космических методов при мониторинге экологического состояния территории нефтепромыслов. Приведены данные об обнаружении и мониторинге нефтяных разливов в Арктических регионах с помощью космических средств дистанционного зондирования Земли. Указаны проблемы и перспективы использования спутникового мониторинга арктических морей.

Ключевые слова: арктические регионы, дистанционное зондирование, космический мониторинг, радиолокатор с синтезированной апертурой, Баренцево море, разливы нефти.

Е.М. Shemyakina¹, К.А. Vorobyev^{1,2,3}

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

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

³Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum, Germany

S FEATURES OF SPACE MONITORING OF ARCTIC TERRITORIES

This paper describes modern solutions aimed to improve quality of environmental researches for petroleum industry. The data sensing of the Earth's surface Space methods and technologies. The necessity of the use of space methods for monitoring ecological status of the territory of oil fields. The data on the detection and monitoring of oil spills in the Arctic regions using space remote sensing of the Earth. These problems and prospects of the satellite monitoring of Arctic seas.

Key words: Arctic regions, remote sensing, space monitoring, synthetic aperture radar, the Barents Sea, oil spills.

Баренцево море – окраинное море Северного Ледовитого океана площадью 1424 тыс. км². Оно омывает берега России и Норвегии и ограничено северным побережьем Европы и архипелагами Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, расположено на континентальном шельфе и относительно мелководно. Из-за влияния Северо-Атлантического течения юго-западная часть моря зимой не замерзает. В отличие от нее юго-восточная часть моря – Печорское море практически каждый год покрывается льдами [7]. Баренцево море имеет большое значение для транспорта и рыболовства, здесь расположены крупные порты – Мурманск (РФ) и Вардё (Норвегия).

Экологические проблемы освоения шельфа Арктики, в первую очередь связаны с аварийными разливами нефти. Для того чтобы считать шельфовые проекты в Арктике безопасными, необходимо иметь эффективные технологии мониторинга и ликвидации разливов нефти в арктических ледовых условиях.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – один из важнейших и бурно развивающихся видов космической деятельности, который наиболее восприимчив к инновациям. Этот вид деятельности является чрезвычайно перспективной сферой, которая уже сейчас вносит большой вклад в экономику развитых стран. Ее характерной чертой являются высокие темпы развития и быстрое получение практически значимых результатов. Этот сектор космической деятельности основан на использовании высоких наукоемких технологий и последних достижений фундаментальной и прикладной науки. Авиационные средства мониторинга занимают свою нишу при решении задач мониторинга объектов нефтегазовой отрасли, связанную с получением более детальной информации и в более локальном масштабе. Эффективность их применения существенно повышается в случае комплексирования с космическими средствами [1].

Для аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса уже в настоящее время используются различные методы ДЗ, в том числе: методы, основанные на регистрации характеристик электромагнитного поля, прежде всего: оптико-электронные сканерные методы; тепловизионные методы; методы ИКи СВЧ-радиометрии; гиперспектральные методы; лидарные методы; РЛ-методы – радары с синтезированной апертурой (РСА) и радары бокового обзора (РЛСБО); магнитометрические методы; гравиметрические методы; пассивные методы, основанные на регистрации потоков частиц (гамма-спектрометрия) [2].

Перспективы повышения эффективности аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса связаны с широким использованием новых методов ДЗ, таких, например, как: дистанционная пространственно-частотная спектрометрия; многочастотные радиотомография и СВЧ-радиометрия; многочастотная радиоволнография; радиоинтерферометрия; бистатическая радиолокация, Фурье спектрометрия; лазерное флуоресцирование; методы спутниковой навигации, спутниковая альтиметрия, активные методы, основанные на регистрации потоков элементарных частиц и др., а также с комплексным использованием разнородной аэрокосмической и подспутниковой (в том числе геофизической) информации.

Для проведения мониторинга объектов нефтегазового комплекса могут использоваться [3]:

- спутники, оборудованные оптической аппаратурой УФ, видимого и ИКдиапазонов спектра сверхвысокого и высокого разрешения – 0.4–4.0 м; многоспектральной аппаратурой среднего – 5.0– 90 м и низкого разрешения (обзорные) – 100 м– 1 км; гиперспектральной аппаратурой.

- РЛ-спутники, оборудованные РСА высокого (1.0–8.0 м), среднего (12.5–25 м) и низкого (100– 600 м) разрешения;

- спутники для магнитной и гравитационной съемок;

- метеорологические спутники;

- средства спутниковых навигационных систем;

- пилотируемые долговременные орбитальные станции;
- воздушные средства (самолеты, вертолеты, дельтапланы, беспилотные летательные аппараты и дирижабли), оборудованные цифровыми оптическими камерами; сканирующими оптико-электронными комплексами; гиперспектрометрами; тепловизорами, ИК-радиометрами; лидарами; РСА; микроволновыми радиометрами, аппаратурой гаммасъемки и другими приборами;
- средства связи и передачи данных;
- наземные ситуационные и информационноаналитические центры;
- программные и технические средства для обработки информации, формирования баз данных, представления пространственно-организованных данных в виде ГИС в интересах решения широкого спектра задач нефтегазовой отрасли.

В процессе проведения аэрокосмического мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса формируется исходная информация (аэрокосмические изображения, другие данные ДЗ, а также геофизическая информация). При использовании воздушных средств мониторинга оперативная обработка информации в отдельных случаях может производиться на борту авиационных средств, и ее результаты могут передаваться потребителям в режиме “online” или поступать на наземные средства обработки.

На рис. 1 приведена принципиальная схема передачи информации от системы мониторинга к конечному месту обработки и хранения информации. Как иллюстрирует этот рисунок, существует несколько способов получения данных от измерительного устройства (космический спутник, самолет, наземные и морские станции мониторинга, суда, беспилотные летательные аппараты). Ключевая часть мониторинга, помимо самого устройства, – спутниковая система [4].

Обнаружение и мониторинг разливов нефти являются ключевыми факторами при рассмотрении вопросов эффективного выделения ресурсов на ликвидацию аварийного разлива нефти. Информация по результатам обнаружения и мониторинга местоположения нефти определяет цели и задачи для применения технологий ликвидации разливов нефти.

В настоящее время общепризнано, что космическая радиолокация является эффективным средством дистанционного зондирования Земли для обнаружения разливов нефти, причем использование радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) формирующих радиолокационные (РЛ) изображения (РЛИ) поверхности моря, является одним из наилучших решений [5, 14]. Широкое применение данных космической радиолокации началось с 1991 г. с запуском европейского спутника ERS-1 (1991-2000 гг.) с РСА на борту. Его эстафету подхватили спутники ERS-2 (1995-2010 гг.), Radarsat-1 (1995-2013 гг.), Envisat (2002-2012 гг.), ALOS (2006-2011 гг.), Radarsat-2 (2007 г. – по настоящее время), ALOS-2 и Sentinel-1A (оба запущены в 2014 г.) и др. [8].

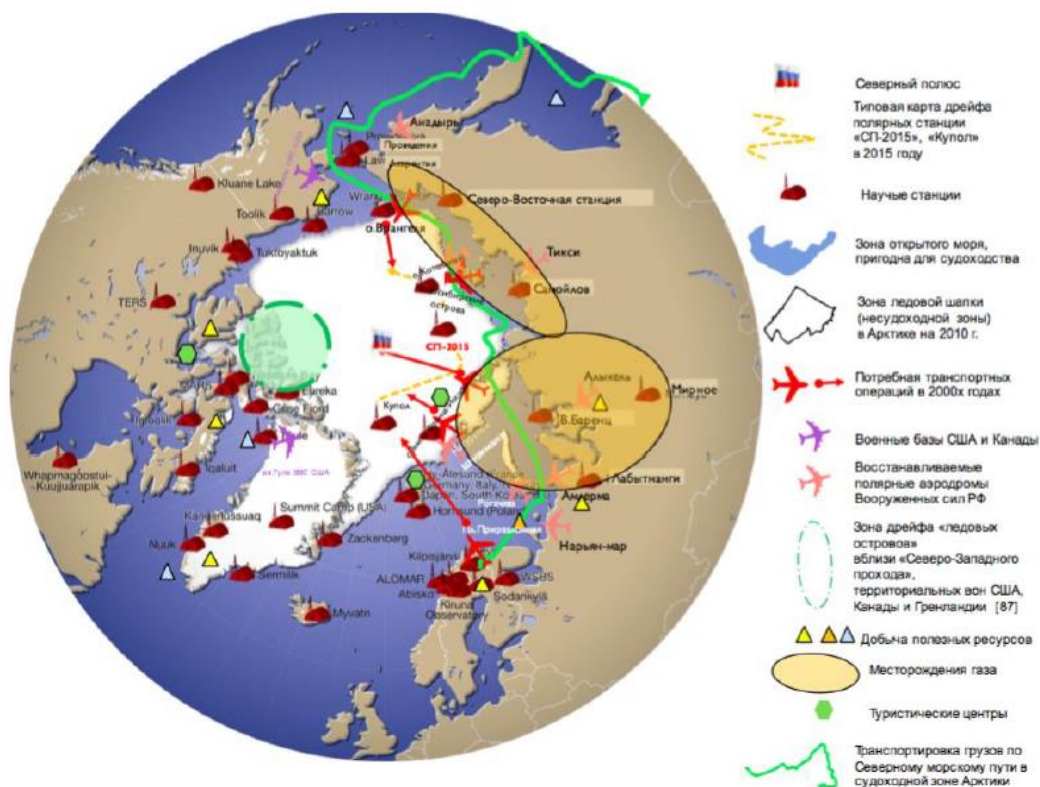


Рис. 1. Схема передачи информации с применением системы мониторинга

Нефтяные разливы в море – наиболее сложные и динамические явления [9]. Каждый разлив по-своему уникален и неповторим из-за практически бесконечного набора конкретных природных и антропогенных факторов, обуславливающих его поведение в данном месте и в данное время.

Распространение и выветривание нефти в зимнее время затруднены, главным образом, из-за присутствия льда и низких температур. Низкая температура окружающей среды приводит к тому, что нефть теряет текучесть и ее дальнейшее распространение прекращается. Разливы нефти на льду и под ним обычно не могут перемещаться независимо от него, они остаются недалеко от зоны первоначального разлива, а в случае дрейфа льдов нефть будет перемещаться вместе с ними.

Пятна нефти, нефтепродуктов и прочих пленочных загрязнений уменьшают обратное рассеяние на морской поверхности, подавляя мелкомасштабные гравитационные капиллярные волны (ГКВ), и регистрируются на РЛИ в виде темных областей различной формы и размеров. Различия в интенсивности РЛ-сигнала, рассеянного в области нефтяного пятна, и на поверхности чистой воды позволяют выявлять пленочные загрязнения [15]. С одной стороны, благодаря этому обнаружение разливов на поверхности моря с использованием радиолокации и различных приемов обработки изображений не составляют труда. С другой стороны, области выглаживания ГКВ, создаваемые маслянистыми пленками (нефть, жир, масло), а также аэрогидродинамическим воздействием на морскую поверхность (слабый ветер или сильные течения), создают на РЛИ практически похожие сигнатуры и могут быть легко перепутаны при анализе.

Среди нефтяных загрязнений моря можно выделить 3 основных класса, которые в настоящее время необходимо обнаруживать и идентифицировать дистанционно:

- пятна сырой нефти и тяжелых нефтепродуктов, возникающие в результате аварийных ситуаций с платформами, танкерами, нефтепроводами и другими объектами ТЭКа;
- судовые разливы – образующиеся в результате сброса широкого класса жидких отходов, содержащих разнообразные нефтепродукты;
- пленки грифонной нефти естественного происхождения (в местах грифонной активности).

Пятна выглаживания и слики на РЛИ одноканальных РСА, образованные различными явлениями в океане и атмосфере, могут быть различены в результате использования различных методов обработки и анализа [5, 14] и дополнительного набора данных/измерений, однако пятна могут значительно варьироваться в зависимости от конкретных условий среды (скорости ветра и поверхностных течений). В случае использования РСА с одним поляризационным каналом автоматическое распознавание практически невозможно, однако многоканальные (поляризметрические) РСА помогают найти решение этой проблемы.

Основной ценностью космических РСА в арктических приложениях до сих пор считается их способность контролировать изменяющуюся ледовую обстановку в районе и непосредственной близости от места разлива, что дает ценную информацию для планирования операций по ликвидации аварийных разливов [10].

Были исследованы возможности космической радиолокации на примере мониторинга места установки платформы ПА-Б на северо-востоке шельфа острова Сахалин в Охотском море. В них впервые в отечественной практике был реализован комплексный подход к этой проблеме и предпринята попытка восстановления параметров морской среды (с использованием только данных ДЗЗ), необходимых нужд потребителей. Было показано, что космическую РЛ-съемку высокого разрешения и широкого обзора, как оперативную и всепогодную, целесообразно применять для наблюдения и исследования различных процессов и явлений, происходящих в северных и арктических морях, а также применять для слежения за положением и перемещением судов. РСА-съемка может стать основным и даже единственным и самодостаточным источником информации при обеспечении работ нефтегазового комплекса на обширных акваториях арктических морей [6, 14].

Главная проблема спутникового мониторинга арктических морей состоит в невозможности однозначного обнаружения и/или адекватной идентификации пятен нефти и нефтепродуктов в тех случаях, когда имеется ледяной покров. Спутниковые методы могут эффективно применяться только в тех случаях, когда нефть находится на поверхности воды, или льда.

Так, эксперименты с искусственными разливами, проведенные в водах Шпицбергена, показали, что существующие самолетные датчики ДЗЗ легко позволяют обнаруживать даже небольшие нефтяные пятна в условиях открытой воды, однако вероятность обнаружения существенно падает с повышением

концентрации льда. В условиях сплоченного льда дистанционное обнаружение пятен нефти с самолетов затруднено или невозможно [12].

Космическую РЛ-съемку высокого разрешения и широкого обзора, как наиболее оперативную и всепогодную, целесообразно применять в полярных регионах для наблюдения и исследования различных явлений и процессов в океане, нефтяных загрязнений и морских льдов, осуществляемая со спутников TerraSAR_X, RADARSAT_1, 2, Envisat, ERS_1, 2, ALOS (PALSAR). На радиолокационных снимках за счет снятия или снижения маскирующего воздействия растительного покрова, являющегося помехой, структурный рисунок изучаемых объектов выделяется более четко (рис. 2). Она может стать основным источником информации при обеспечении работ нефтегазового комплекса на шельфах северных и арктических морей, позволяя получить информацию о гидрометеорологических условиях, ледовой и навигационной обстановке, нефтяных загрязнений и естественных нефтепроявлениях.



Рис. 2. Структурная информативность космических снимков, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра на район Чаяндинского месторождения:

- а) космический снимок в видимом диапазоне спектра (Landsat_7);
- б) космический снимок в радиодиапазоне (ERS)

Преимущество этого вида съемки заключается в возможности получения величин современных подвижек земной поверхности над ловушками и осложняющими их разломами с точностью до нескольких сантиметров, по которым можно оценить степень подвижности:

- разрывных нарушений, которые могут являться открытыми каналами и привести к разрушению залежей, особенно газа, или падению пластового давления;
- структурной ловушки, т.к. при ее интенсивном подъеме снижается геостатическое давление и происходит изменение уровня эмигрировавшего газа или ее перестроение.

При поисках нефти и газа может и частично используется дистанционное зондирование в видимом и инфракрасном диапазонах, включая лазерную съемку.

Съемка в ультрафиолетовом диапазоне регистрирует только ареал распространения нефтепроявлений и их продуктов на дневной поверхности.

Съемки в видимом диапазоне спектра применяются для решения задач прогнозирования структурных ловушек и оценки их нефтегазоносности. При прогнозировании структурных ловушек нефти и газа дистанционное зондирование является в некоторой степени конкурентом сейсморазведки в отношении установления их границ на земной поверхности, но не глубин залегания [11].

Информация в видимом диапазоне спектра также может быть использована при оценке нефтегазоносности ловушек, подготовленных к глубокому бурению. На основании многочисленных экспериментов установлено, что при наличии небольшого количества углеводорода, мигрирующего из месторождений к поверхности Земли и скапливающегося в почве, в них происходит ряд химических преобразований, негативным образом влияющих на корневую систему растений и приводящих к изменению количества каротиноидов, определяющих изменение окраски листьев. Этот довольно тонкий эффект регистрируется в относительно узком спектральном диапазоне (порядка 10–20 нм) и называется голубой сдвиг (рис. 3). Таким образом, в ареале месторождения регистрируется изменение фоновых характеристик растительного покрова, имеющее повсеместное развитие во всех нефтегазоносных бассейнах России.

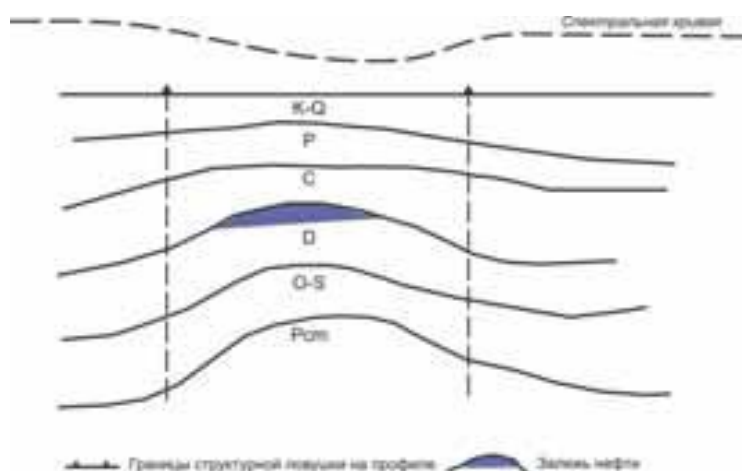


Рис. 3. Схематический геологический разрез через структурную ловушку, отраженную на спектральной кривой в красной зоне снижением отражательной характеристики на уровне фона

Следующий вид дистанционного зондирования, также решающий задачу прогноза нефтегазоносности – это лидарная съемка. На нефтегазовых месторождениях прошел проверку наземный вариант лидарного зондирования, показавший превосходный результат (рис.4). При относительно низких фоновых значениях метана его величина в контуре месторождения повышается в несколько раз. Минимальное содержание регистрируемого метана может составлять одну миллионную долю от объема воздуха.

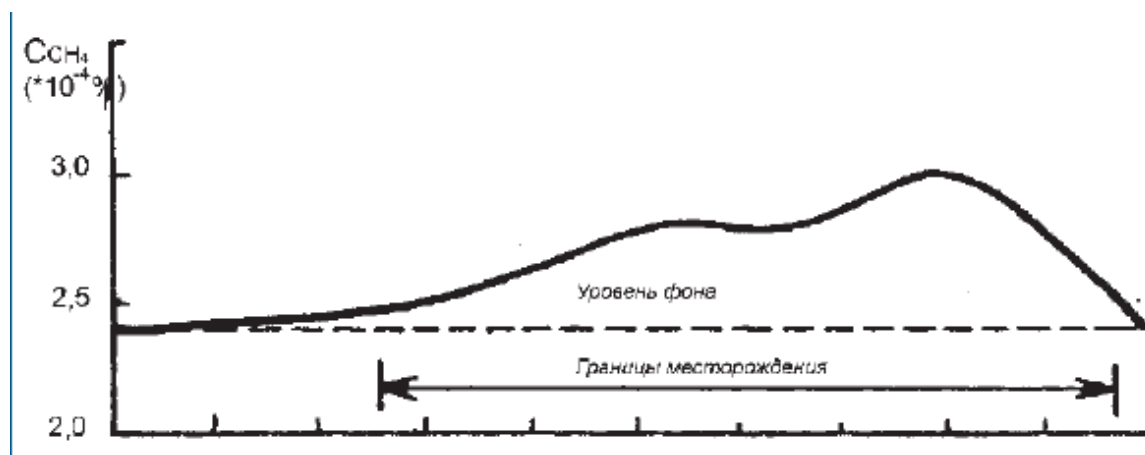


Рис. 4. Изменение концентрации метана по профилю, пересекающему Анастасиевско-Троицкое газовое месторождение

Наибольший интерес представляет использование инфракрасной (ИК) съемки при решении задачи прогноза нефтегазоносности для обоснования бурения поисковых скважин. Это связано с тем, что представляется возможным:

- проверить качество ловушки нефти и газа;
- определить наличие разрывных нарушений через трассирование зон разгрузки глубинных вод, их влияние на сохранность залежи и установить непосредственный канал связи между скоплениями углеводородов и земной поверхностью для проведения геохимических исследований;
- проанализировать значимость геотермического критерия нефтегазоносности.

Необходимо подчеркнуть, что обычно работы проводятся в условиях структурно-тектонической зоны, которой свойственны близость литолого-фациальных характеристик осадочного чехла и условий формирования. Однако, в пределах структурных зон геотемпературные показатели различаются, сохраняя возможность распознавания разных классов объектов. Т.е., в пределах однотипных структурных зон отмечаются относительная дифференцированность и различия типов структур содержащих и не содержащих скопления углеводородов в распределении температурных показателей, полученных в ближнем, среднем и дальнем диапазонах инфракрасной области спектра.

Применение современных технологий обработки аэрокосмической информации позволяет повысить эффективность мониторинга и минимизировать негативное воздействие объектов нефтегазовой отрасли на окружающую среду. Таким образом, использование космических средств дистанционного зондирования Земли перспективно для организации экологического мониторинга нефтегазоносных районов Арктики, характеризующихся труднодоступностью и тяжелыми погодными условиями.

Библиографический список

1. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.

2. Воробьева А.А. Дистанционное зондирование Земли. Учебно-методическое пособие. С.Пб., 2012. 168 с.
3. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования земли, 1997. 297.
4. Долгов О.С., Куприков Н.М., Рабинский Л.Н., Доронин Д.О., Иванов Б.В. Повышение конкурентоспособности российских стратегических инфраструктурных проектов в Арктике за счет взаимодействия авиационно-космических комплексов и автономных станций наземного и морского мониторинга // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2016. №3. С. 82-91.
5. Иванов А.Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. №3. С. 73-96.
6. Иванов А.Ю. О восстановлении параметров морской среды по данным космических РСА // Исследования Земли из космоса. 2010. №3. С. 77-92.
7. Зонн И., Костяной А. Баренцево море. Энциклопедия. 2011. 272 с.
8. Копылов В.Н. Космический мониторинг окружающей среды: монография. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. 215 с.
9. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. Изд-во: ВНИРО, 2001. 247 с.
10. Поттер С.И др. Ликвидация разливов нефти на арктического шельфе. 2013. 140 с.
11. Трофимов Д.М. Дистанционное зондирование: новые технологии – новые возможности поисков нефти и газа // Геоматика, 2009. №1. С. 17-26.
12. Dickins D.F., Andersen J.H.S. Remote sensing technology. Review and Screening. 2009.
13. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing. 2014, Vol-8, №1.
14. Ivanov A.Yu. Application of SAR for monitoring of activity and environmental parameters during oil platform installation. Int. J. Rem. Sensing 2010, Vol. 31, №17-18. P. 4835-4851.
15. Solberg A.H.S., Brekke C. Oil detection in Northern European waters: Approaches and algorithms. In: Remote Sensing of the European Seas, 2008.

Е.М. Шемякина¹, К.А. Воробьев^{1,2,3}

¹-Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²-Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

³-Высшая техническая школа Георга Агрикола, Бохум, Германия

vorobyev_ka@pfur.ru

РАСКРЫТИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В данной статье описаны основные сведения о методах и способах проведения дистанционного зондирования. Описаны механизмы различия космических методов и технологий, обеспечение геологоразведочных работ на месторождениях нефти и газа. Рассмотрены спектры минералов и горных пород, водных поверхностей в видимом, ближнем и тепловом ИК диапазонах. Указаны перспективы применения космических методов и технологий для поиска нефтегазоносных структур.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, поиск и разведка месторождений, съемка.

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

¹-Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

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

³-Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum, Germany

SUMMARY OF THE MAIN METHODS OF SPACE MONITORING MECHANISMS OF MINERAL DEPOSITS

This article describes the basic information about the methods and techniques of remote sensing. The mechanisms of the differences of space methods and technologies to ensure exploration works on oil and gas fields. Consider the spectrum of minerals and rocks, water surfaces in the visible, near infrared and thermal bands. Shown the prospects for the use of space techniques and technologies to find oil and gas structures.

Key words: remote sensing, space monitoring, search and exploration, shooting.

Для выявления и рационального использования углеводородных природных ресурсов, а также изучения геологического строения нефтегазоносных территорий необходимо использовать последние достижения науки и соответствующее информационное обеспечение [2]. Одним из наиболее эффективных способов решения данной проблемы является широкое применение современных аэрокосмических методов, технологий и средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Основными геологическими задачами, решаемыми до недавнего времени с использованием аэрокосмических методов в производственном режиме, явля-

лись изучение разрывных нарушений, блоковых полей и оценка их неотектонической активности, выявление локальных неотектонических аномалий, с которыми связаны нефтегазопоисковые объекты различных морфогенетических типов, а также некоторые другие задачи [1].

В связи с опытом, накопленным при решении нефтегазопоисковых задач в различных геологических и ландшафтных условиях на основе использования материалов аэрокосмических съемок, в настоящее время актуальным и важным является переход к решению более сложных задач, связанных с разработкой методов, и создание на их основе технологии поиска «аномалий типа залежь» (АТЗ), которые генетически обусловлены наличием залежей УВ.

Дистанционное зондирование Земли – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние [5]. Физической основой дистанционного зондирования Земли является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками, и пространственным положением. Суть такого метода представляется в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, отражающееся либо излучающееся объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства [3].

Методы ДЗЗ основаны на применении сенсоров, которые располагаются на космических аппаратах и регистрируют электромагнитное излучение в форматах, значительно приспособленных для цифровой обработки, и в более широком диапазоне электромагнитного спектра. По большей части методы ДЗЗ применяют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра.

Современные способы ДЗЗ основываются на измерениях спутниками в 3-х спектральных диапазонах: инфракрасном (ИК), видимом и микроволновом. При этом применяются два способа зондирования: пассивное (регистрация собственного излучения Земли или рассеянного солнечного излучения) и активное (регистрация отклика от посланного сигнала). Излучение, которое регистрируется спутником, несет информацию о свойствах среды, через которую оно проходит.

Аэрокосмическую съемку обычно проводят в так называемых «окнах прозрачности атмосферы», используя излучение в различных спектральных диапазонах – световом (видимом, ближнем и среднем инфракрасном), тепловом инфракрасном и радиодиапазоне.

В каждом из диапазонов используют разные технологии получения изображения и исходя из этого выделяются несколько типов снимков (рис. 1).

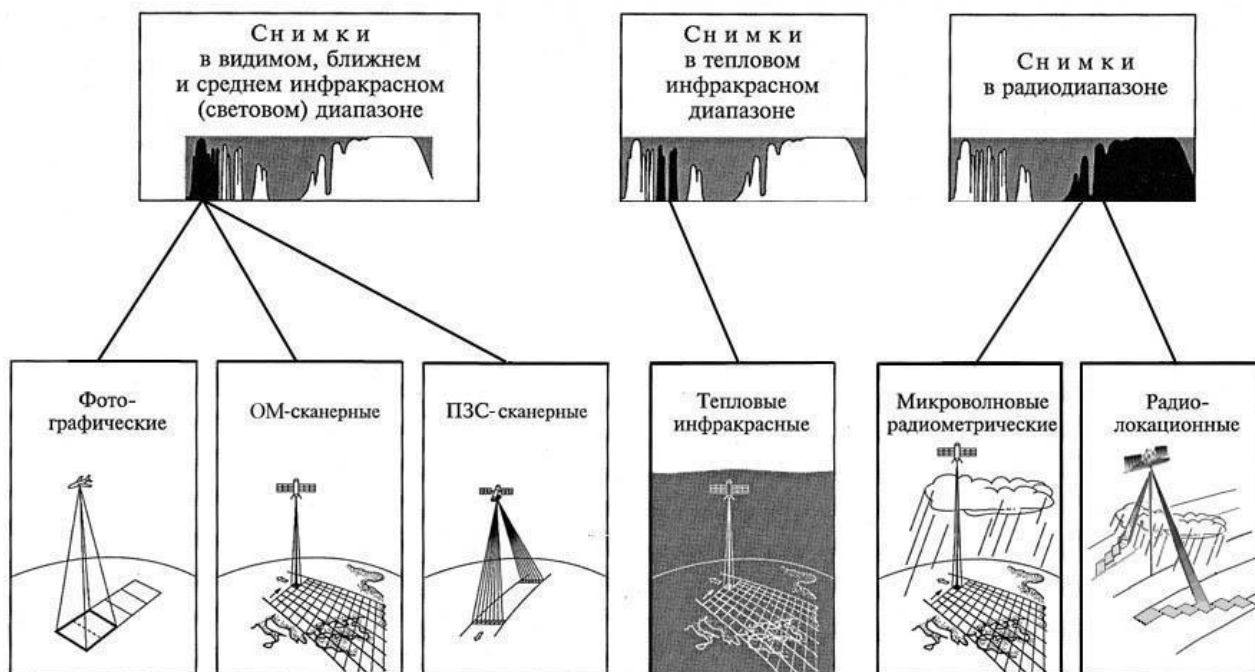


Рис. 1. Классификация космических снимков по спектральным диапазонам и технологиям получения изображения

Изучение спектральных свойств минералов и горных пород методами ДЗ основано на результатах предварительных минералогических и петрографических исследований. В настоящее время минеральный и литологический состав земной коры известен достаточно хорошо. Более 92 % земной коры по массе составляют силикаты – соли кремниевых кислот, поэтому исследованию линий их спектральных волн и уделяется такое большое и особое внимание.

Спектры горных пород отличаются большим разнообразием и определяются минеральным составом, типом кристаллической решетки минералов, размером зерен минералов. В видимом диапазоне спектра минералы различаются слабо. Значительно больше различий наблюдается в ближнем инфракрасном диапазоне (БИК). Здесь многие группы минералов, такие как глины, карбонаты, сульфаты имеют отчетливые линии поглощения, регистрируемые современными средствами ДЗ.

Спектры горных пород отличаются меньшей контрастностью по сравнению со спектрами отдельных минералов. Для всех горных пород характерно увеличение коэффициента спектральной яркости (КСЯ) от видимого диапазона к БИК. Большинство горных пород имеют пологий максимум в районе 2.0–2.7 мкм.

Спектр нефти в видимом и БИК диапазоне не имеет каких-либо особенностей и его КСЯ не превышает 10 %. Тем не менее, эти значения выше воды, что позволяет выделять нефть на водной поверхности при условии чистой воды без волнения. В реальных условиях, когда существует мутность воды и волнение, КСЯ нефти ниже, чем у воды в видимом диапазоне.

Лед, как и вода, обладает очень низким КСЯ во всем диапазоне. Снег, напротив, имеет КСЯ, достигающий до 100 % в видимой части спектра. В БИК диапазоне КСЯ снега сильно зависит от гранулометрического состава: чем

меньше частицы, тем выше КСЯ. В реальных условиях, при смешении льда и снега наблюдаются высокие вариации КСЯ.

ИК-спектрометрия позволяет идентифицировать некоторые минералы индикаторы – геологических обстановок, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых [7]. Спектры ряда минералов обладают характерными особенностями, позволяющими разделить их при ИК-спектрометрии. Минералы, составляющие глины не имеют спектральных особенностей в тепловом инфракрасном диапазоне (ТИК) спектра. Коэффициенты излучения их имеют высокие значения – более 95 %.

Спектры горных пород определяются спектрами минералов, составляющих породы. Содержащие кальцит горные породы имеют выраженный минимум в диапазоне 11.0–11.5 мкм. Кварцосодержащие осадочные и метаморфические горные породы имеют спектральные особенности в диапазоне 8.1–9.4 мкм. Магматические горные породы имеют высокие коэффициенты излучения. Основные различия спектров основных и кислых пород определяются наличием или отсутствием кварца и слюд в горных породах. Чем более кислая порода, тем более контрастно выражен силикатный минимум в первых трех тепловых каналах спектрорадиометра.

Снимки в световом диапазоне подразделяются на фотографические и сканерные, которые в свою очередь делятся на полученные оптико-механическим сканированием (ОМ-сканерные) и оптико-электронным при помощи линейных приемников излучения на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС-сканерные). На таких снимках демонстрируются оптические характеристики объектов – их яркость, спектральная яркость. За счет применения многозонального принципа съемки получают в этом диапазоне многозональные снимки, а при большом количестве съемочных зон – гиперспектральные, применение которых основано на спектральной отражательной способности объектов съемки, их спектральной яркости.

Выполняя съемку с приемниками теплового излучения (тепловую съемку), получают тепловые инфракрасные снимки. Съемку в радиодиапазоне ведут, используя пассивные и активные методы, и исходя из этого, снимки подразделяются на микроволновые радиометрические, которые получают при регистрации собственного излучения исследуемых объектов, и радиолокационные снимки, получаемые, соответственно, при регистрации отраженного радиоизлучения, посылаемого с носителя – радиолокационной съемке.

Съемка в ультрафиолетовом диапазоне регистрирует только ареал распространения нефтепроявлений и их продуктов на земной поверхности. Опыт применения этого вида съемки показывает, что она наиболее эффективна при зондировании с небольших высот, т.е. с самолетных носителей. Особенно актуально использование съемки в ультрафиолетовом диапазоне на шельфе, где стоимость геологоразведочных работ огромна. Эту же задачу на акватории может решать и радиолокационная съемка.

Съемки в видимом диапазоне спектра применяются для решения задач прогнозирования структурных ловушек и оценки их нефтегазоносности. При прогнозировании структурных ловушек нефти и газа дистанционное зондиро-

вание является в некоторой степени конкурентом сейсморазведки в отношении установления их границ на земной поверхности, но не глубин залегания [8].

Более эффективной по сравнению с многоспектральной является радиолокационная съемка, осуществляемая со спутников TerraSAR-X, RADARSAT-1, 2, Envisat, ERS-1, 2, ALOS (PALSAR) [4].

Второе преимущество этого вида съемки заключается в возможности получения величин современных подвижек земной поверхности над ловушками и осложняющими их разломами с точностью до нескольких сантиметров [6], по которым можно оценить степень подвижности:

- разрывных нарушений, которые могут являться открытыми каналами и привести к разрушению залежей, особенно газа, или падению пластового давления;

- структурной ловушки, так как при ее интенсивном подъеме снижается геостатическое давление и происходит изменение уровня эмигрировавшего газа или ее переформирование.

Информация в видимом диапазоне спектра также может быть использована при оценке нефтегазоносности ловушек, подготовленных к глубокому бурению. При наличии небольшого количества углеводорода, мигрирующего из месторождений к поверхности Земли и скапливающегося в почве, в них происходит ряд химических преобразований, негативным образом влияющих на корневую систему растений и приводящих к изменению количества каротиноидов, определяющих изменение окраски листьев. Этот довольно тонкий эффект регистрируется в относительно узком спектральном диапазоне (порядка 10–20 нм) и называется голубой сдвиг.

Наиболее эффективно он фиксируется на гиперспектральных изображениях, получаемых со спутника EO-1 (Hyperion) и др. Таким образом, в ареале месторождения регистрируется изменение фоновых характеристик растительного покрова, имеющее повсеместное развитие во всех нефтегазоносных бассейнах России.

Наибольший интерес представляет использование инфракрасной (ИК) съемки при решении задачи прогноза нефтегазоносности для обоснования бурения поисковых скважин. Это связано с тем, что представляется возможным:

- проверить качество ловушки нефти и газа;
- определить наличие разрывных нарушений через трассирование зон разгрузки глубинных вод, их влияние на сохранность залежи и установить непосредственный канал связи между скоплениями углеводородов и земной поверхностью для проведения геохимических исследований;
- проанализировать значимость геотермического критерия нефтегазоносности.

Основное место дистанционных методов в комплексе геологоразведочных работ на нефть и газ определяется оперативностью получения и обработки снимков, их низкой стоимостью и высокими разрешающими характеристиками. Последнее позволяет выделять совокупность региональных и локальных структур чехла, используемых в качестве предварительной информации, которая необходима для оптимального проектирования и высокой результативности как

региональных, так и детальных сейсморазведочных работ, особенно в слабо-изученных регионах.

Современные дистанционные материалы (космические и аэровысотные снимки), получаемые с высокой точностью и оперативностью, существенно расширили возможности геологоразведочных работ на нефть и газ, в том числе на разведочном и эксплуатационном этапах.

В современных условиях успешность поисковых геологоразведочных работ во многом зависит от применения новых технологий, среди которых важную роль играют методы дистанционного зондирования Земли.

Новые технологии ДЗЗ обеспечивают высокое пространственное и радиометрическое разрешение регистрируемых данных, а новые технологии обработки и дешифрирования позволяют извлекать информацию, отражающую геологические особенности исследуемых территорий.

Библиографический список

1. Архипов. А.И., Лялько В.И., Товстюк З.М., Ключко В.П. Прогрессивная технология для решения нефтегазопроисловых задач на суше аэрокосмическими методами // *Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса*. М., 2012. С. 165–175.
2. Воробьев А.Е., Мбел С. Картография и экологический мониторинг для охраны окружающей природной среды в Камеруне // *Актуальные проблемы современной науки*. 2008. №3(42). С. 261–265.
3. Воробьева А.А. Дистанционное зондирование Земли. Учебно-методическое пособие. С.Пб., 2012. 168 с.
4. Горячкин О.В. Пути развития радиолокационных космических систем дистанционного зондирования земли // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. 2010. №2. С. 92–104.
5. Калабин Г.В., Воробьев А.Е. Методология обеспечения исследований космического мониторинга территорий, загрязняемых объектами железорудной промышленности // *Материалы I Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр»*. М.: Изд-во РУДН, 2002. С. 220–221.
6. Колесникова О.Н. Новые возможности программного обеспечения SARscape для обработки радиолокационных данных // *Геоматика*. 2008. № 1. С. 18–21.
7. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. М.: Изд. МГУ, 1967. 187 с.
8. Трофимов Д.М. Дистанционное зондирование: новые технологии – новые возможности поисков нефти и газа // *Геоматика*. 2009. №1. С. 17–26.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ, ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, РЕГИОНАЛЬНОЙ И НЕФТЕГАЗОПОИСКОВОЙ ГЕОЛОГИИ

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF GEOLOGICAL MAPPING, SEARCHING FOR SOLID MINERALS, REGIONAL AND OIL AND GAS PROSPECTING GEOLOGY

УДК 550.08

А.Л. Артёмов

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАНЧАЛАНО-АМГУЭМСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЧУКОТКА) ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Проведены аэрокосмогеологические исследования двух листов Q-60-XV, XVI Госгеол-карты-200, на которых находится Канчалано-Амгуэмская площадь. Выполнен комплексный анализ структурного дешифрирования. Выделены перспективные участки для поисков месторождений золота.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, золото, Чукотка.

A.L. Artemov

Perm State University, Perm, Russia

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS IN THE TERRITORY KANCHALANO-AMGUEMSKAYA SQUARE (CHUKOTKA) FOR THE ALLOCATION OF PROMISING AREAS OF GOLD MINERALIZATION

Aerospace geological studies of two sheets Q-60-XV, XVI of the State Geological Map-200, on which Kanchalano-Amguemskaya Square is located, were carried out. A comprehensive analysis of structural decryption has been performed. Promising areas have been identified for the search for gold deposits.

Keywords: aerospace methods, decryption, lineaments, gold, Chukotka.

Введение

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) – вид дистанционных исследований в общем комплексе геолого-геофизических работ, использующий материалы аэрокосмических съемок (МАКС) или данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) для решения различных геологических задач (минералогических, геолого-поисковых для поиска различных видов полезных ископаемых, структурно-тектонических, геодинамических, геоэкологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геоморфологических и др.) [7].

Эти методы актуальны при повторном изучении горнорудных районов, они позволяют выявить скрытые рудные объекты, которые перекрыты рыхлыми отложениями.

Целью работы является аэрокосмогеологический анализ территории Канчалано-Амгуэмская площади (листы Q-60-XV, XVI), с выделением перспективных на золото участков.

Объект исследования: Канчалано-Амгуэмская площадь, тектонические нарушения и ландшафтные аномалии на данной территории.

Предмет исследования: закономерности размещения линеаментов и ландшафтных аномалий, и их связь с золоторудоносностью.

Физико-географические условия

Канчалано-Амгуэмская площадь расположена в Арктической зоне России на территории Анадырского района Чукотского автономного округа, в 200 км севернее г. Анадырь (рис 1).

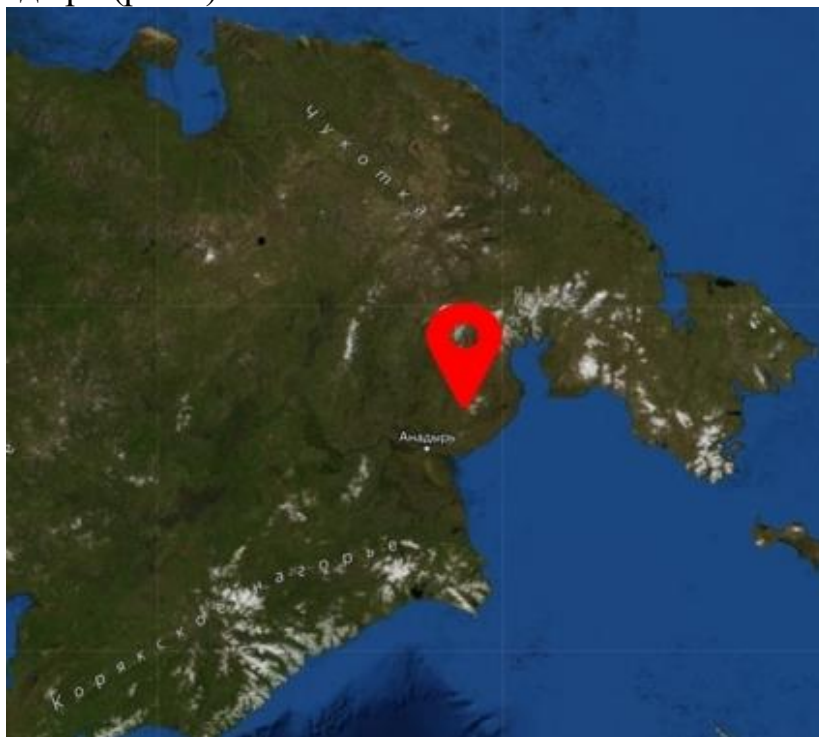


Рис. 1. Район исследования на космоснимке

Территория охватывает северо-восточную часть Анадырского плоскогорья и Чукотское горно-тундровое нагорье, разделяющие бассейны Северного

Ледовитого и Тихого океанов. Северная часть Чукотского нагорья представляет собой систему разноориентированных относительно высоких хребтов (Чантальский, Экитыкинский, Осиновский и юговосточные отроги Паляваамского хребта). В их осевых частях преобладает среднегорный и низкогорный альпинотипный рельеф с отметками от 1000 до 1800 м (максимальная отметка Чантальского хребта 1887 м), который сменяется на флангах сильно расчлененным низкогорьем с отметками высот от 800 до 1300 м. Хребты Пекульней, Рарыткин. Центральная и южная часть территории занимает Анадырская низменность (более 35 % территории) в обрамлении изометричных горных кряжей, Пекульнейского, Рарыткинского и Золотогорского хребтов [2].

Климат района континентальный с суровой зимой и коротким сравнительно теплым летом. В летний период в северной части площади возможны кратковременные заморозки и непродолжительные пурги. Вся территория находится в зоне отрицательных среднегодовых температур – от $-11,9^{\circ}\text{C}$ до $-9,7^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температура января от -28 до 32°C , июля $+10$ – $+13^{\circ}\text{C}$. На территории распространены геокриологические процессы [2, 20].

Разветвленная речная сеть района принадлежит бассейнам Чукотского и Берингова морей. Региональным водоразделом являются северная часть Пекульнейского хребта и горные кряжи в верховьях р. Танюрер, Большая Осиновая и Вульвыедем. Наиболее крупной рекой, принадлежащей бассейну Чукотского моря, является р. Амгуэма с притоками (р. Экитыки, р. Чанталвеергин и р. Вульвыедем).

Геологические условия

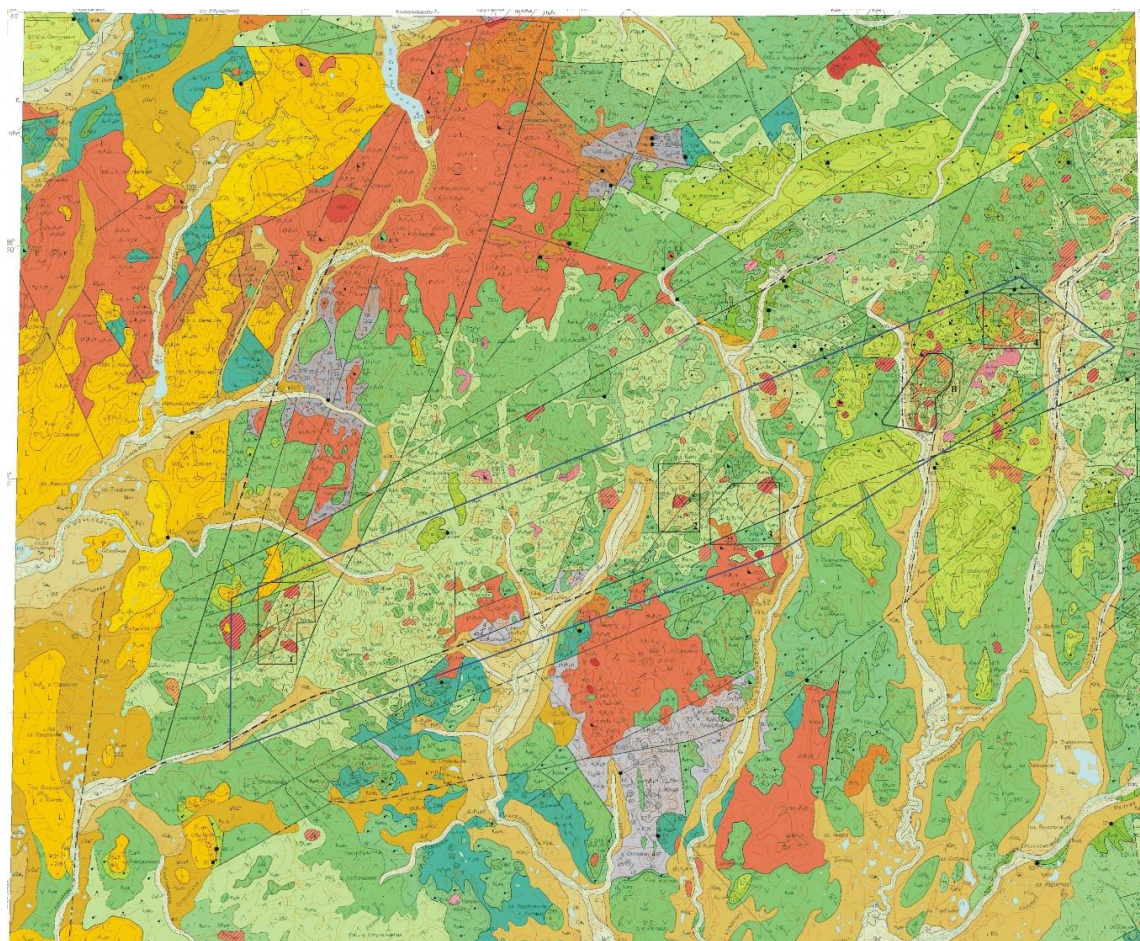
Территория исследования расположена в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), наложенного на вещественные комплексы Кони-Танюрерской складчатой системы Корякско-Камчатской складчатой области.

В тектоническом строении территории выделяются четыре структурных яруса, сложенных разнообразными по вещественному составу и возрасту структурно-формационными комплексами.

Наиболее древними образованиями рассматриваемой территории являются породы карбона, выше их в сводном геологическом разрезе площади залегают породы верхней юры, нижнего – верхнего мела и палеогена (рис. 2).

Четвертичные отложения представлены аллювиальными, водноледниковыми, элювиальными и делювиальными отложениями.

Золото-серебряное оруденение Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) связано с палеогеновым базальтовым вулканизмом. Это заключение обосновывается, на данных определения абсолютного возраста кварцадуляровых жил (70-32 млн. лет) и платобазальтов (73-52 млн. лет); андезиты из вмещающей оруденение толщи имеют абсолютный возраст 32 млн. лет [2, 17].



Условные обозначения

Нижнеанадырская неотектоническая впадина

aQn^2	Верхняя часть. Аллювиальные галечники с валунами, гравийники, песок, супесь русла и поймы (3 - 10 м)
aQn^1	Нижняя часть. Аллювиальные (а) галечники с валунами, гравийники, песок, супесь порой надпойменной террасы (3 - 10 м); пролювиальные (р) галечники, валуники, щебень, дресва, супесь, суглинок (3 - 5 м)
$aQш3$	Третья ступень. Аллювиальные (а) галечники, гравийники, песок, супесь второй надпойменной террасы (10 - 15 м); пролювиальные (р) галечники, песок с дресвой, супесь, суглинок (3 - 10 м); стерно-аллювиальные (ба) песок, галечники с супесью и торфом (3 - 10 м)
$gQш2$	Вторая ступень. Ледниковые (г) галечники, валуники с дресвой, суглинок и супесь (20 - 30 м); флювиогляциальные (ф) галечники с валунами, гравийники, суглинок, супесь третьей надпойменной террасы (30 - 35 м)
P_{1-2n}	Танпорская свита. Базальты, трахобазальты, редко ниробазальты, андезиты, латиты, кварцевые латиты (500 м)
K_{2n}	Нуцунирская свита. Базальты, трахобазальты, реже андезиты, трахандезиты, андезиты, латиты, кварцевые латиты, редко ниробазальты, зойнитовые тофиты, туфы базальтовые, андезитовые, латитовые, дацитовые, сланцевые латиты базальтовых туфогингосмертов (400 м)
K_{2f3}	Луринская свита. Верхняя подсвита. Риолиты, трахариолиты, риоданиты, трахариоданиты, дациты, трахиданиты, иттиибриты, редко туфы риолитовые, трахариолитовые, риоданитовые, трахариоданитовые, дацитовые, трахиданитовые (100-350 м)
K_{2ek}	Экитинская свита. Андезиты двунироксовые, кварцевые латиты, латиты, трахандезиты, андезиты, трахандезиты, базальты, трахобазальты, редко дациты, трахиданиты, туфы андезитовые, андезитовые, латитовые, сланцевые латиты туфогингосмертов, туфогингосмертов, туфогингосмертов и потоки риоданитовых иттиибритов (500 м)
K_{2n1}	Верхняя подтолща. Иттиибриты, и туфы дацитовые, трахиданитовые, риоданитовые, трахариоданитовые, также риолиты, трахариолиты, дациты (500 м)
K_{2n2}	Средняя подтолща. Туфы дацитовые, риоданитовые, редко риолитовые, трахиданитовые, трахариоданитовые (250 м)
K_{2n3}	Нижняя подтолща. Иттиибриты, редко туфы риолитовые, риоданитовые, редко трахариолитовые, трахариоданитовые, дацитовые и трахиданитовые, сланцевые потоки риолитов, риоданитов и дацитов (450 м)
Мургалский комплекс габбро-шалагранит-тоналитовый	
$g\delta-K_{1n}$	Вторая фаза. Роговообманково-биотитовые тоналиты, плагиограниты, и гранодиориты (70 м)
$v-K_{1n}$	Первая фаза. Габбро-роговообманковые, реже киншироксовые, сланцевые, андезитовые, габбро-пориты (v)
J_2-K_{1pk}	Пекульинская свита. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, углесто-глинистые сланцы, реже конгломераты, гравелиты, известняки, туфогингосмерты, туфогингосмерты, андезиты, базальты, риолиты, дациты, туфы базальтовые, риолитовые, риоданитовые (1000 м)
C_{1-2n}	Шуминская толща. Кварцевитовые песчаники, алевролиты, углесто-глинистые и известковые сланцы, реже известняки, фидилиты, серпент-слоритовые, андалузит-кордиеритовые и биотитовые сланцы, кварциты, мистебазальты, мистеандзиты, мистеолиты, мистедациты, амфиболитовые сланцы, амфиболиты (900 м)

Рис. 2. Геологическая карта с границами Канчалано-Амгуэмской площади и условными обозначениями [18]

Методика и результаты исследования

В основе методологии АКГИ были методы: структурное дешифрирование по материалам аэрокосмической съемки земной поверхности, линеаментно-геодинамический метод, в результате, которого строится карта плотности линеаментов и геодинамических активных зон; и пространственный геологический анализ [3, 5-8, 10, 13-15]. Примеры подобной методологии при поисках золота приведены в работах [1, 4, 9, 11, 12, 16, 19].

Критерии для прогнозирования перспективных золотоностных участков на изучаемой территории для данной территории:

1) линеаментные зоны, которые указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;

2) узлы пересечения тектонических нарушений являются возможными ловушками или повышенную концентрацию золота в рудах;

3) кольцевые структуры, которые являются рудоконцентрирующими или рудоконтролирующими зонами [1; 4; 6]; 4) интрузивно- и вулкано-купольные структуры, которые при пересечении с крупными разломами и зонами разломами могут быть приурочены к проявлениям золота и серебра.

Наложение участков с подобными критериями указывают на перспективность территории на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. золота.

АКГИ проводились с использованием дешифрирования современных цифровых космических снимков (рис.3) и цифровой модели рельефа (рис. 4).

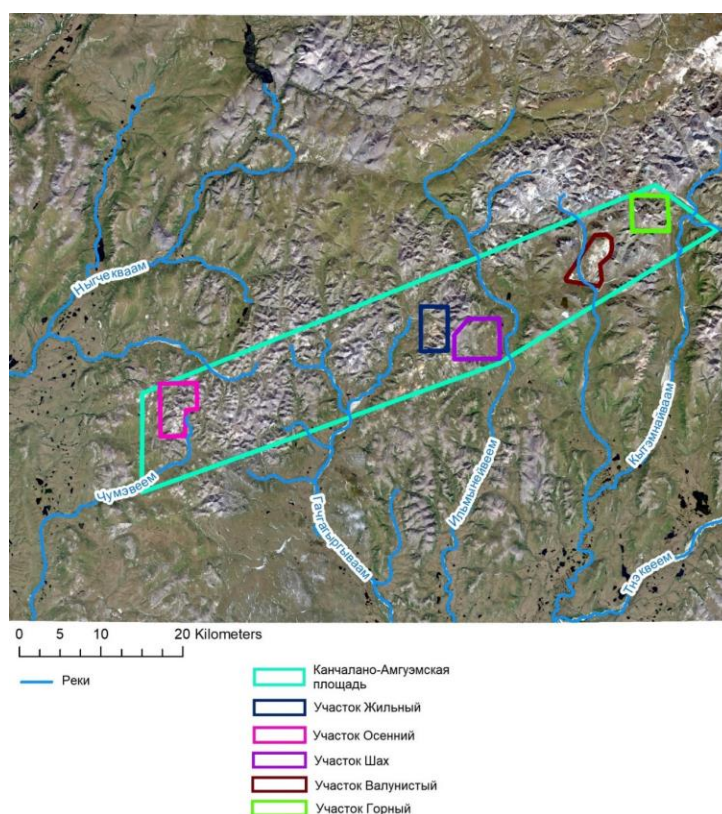


Рис. 3. Спутниковый снимок с границами района исследований.
Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

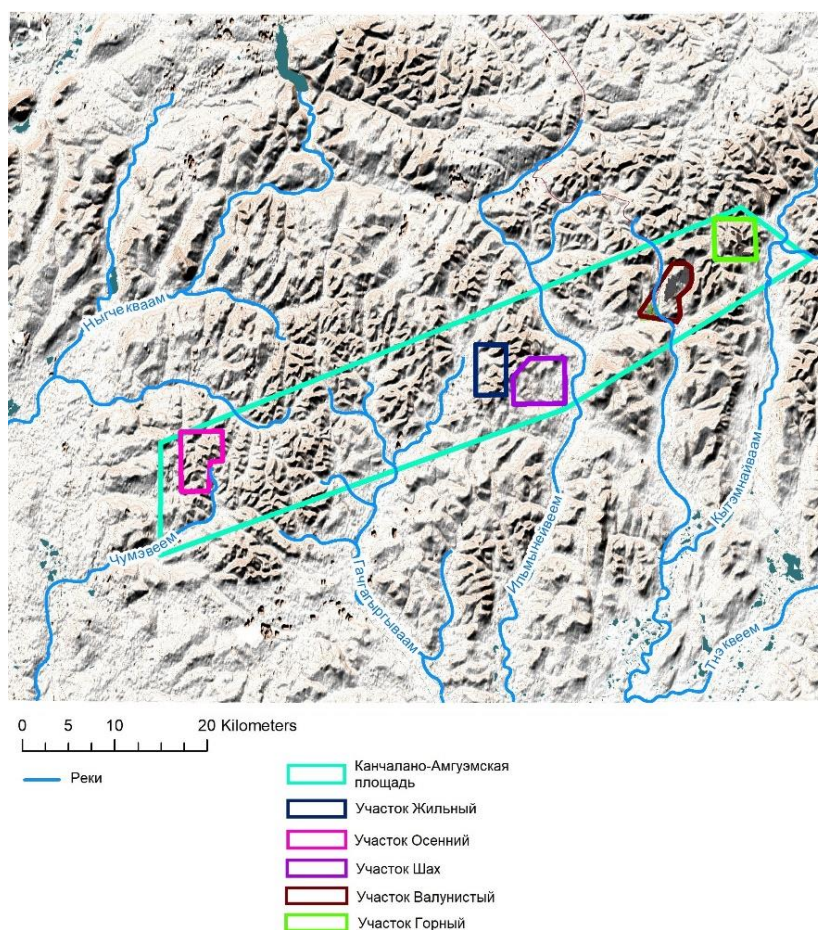


Рис. 4. Модель рельефа исследуемой территории.
Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

Снимки были получены при помощи программы SAS.Planet, а обработка и пространственная привязка велась в программном обеспечении ArcMap.

Дешифрирование проводилось в различных масштабах, выделялись линеаменты и кольцевые структуры различных рангов (рис. 5, табл. 1). Основными дешифровочными признаками были геоморфологические элементы по водоразделам, руслам рек, понижениям и повышениям рельефа.

Обработка данных, построение карт осуществлялись с использованием программы ArcMap и инструмента ArcToolbox модуль Spatial Analyst (расчёт плотности линеаментов) (рис. 6). Геодинамическая активность, определялась по плотности линеаментов, на карте выражена градиентом от зелёного (низкая плотность) к красному цвету (высокая плотность).

Проведено сопоставление результатов дешифрирования с тектоническим строением, установленным по материалам по геологической съемки. При наложении линеаментов на тектоническую карту, отмечается, что основные тектонические структуры достаточно уверенно совпадают с линеаментными зонами (рис. 7).

На карте плотности линеаментов можно увидеть, что изучаемая территория характеризуется повышенной и высокой геодинамической активностью с высокой плотностью линеаментов.

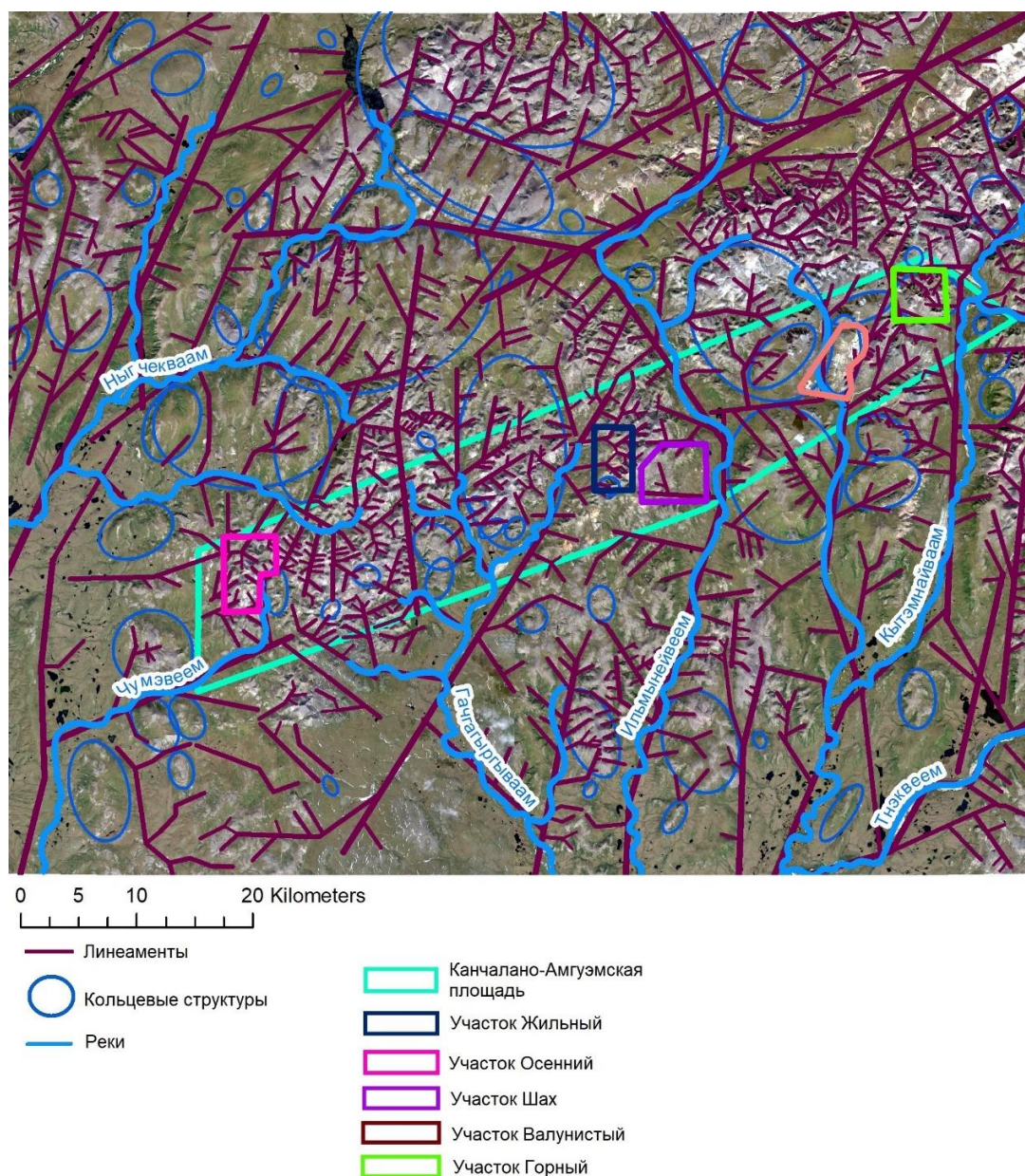


Рис. 5. Космоснимок с выделенными линеаментами и кольцевыми структурами.
Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

Ранее было установлено, что повышенная плотность линеаментов, может являться признаком перспективного участка для поисков месторождений полезных ископаемых. Как правило, с повышенной и высокой геодинамической активностью обусловленных высокой плотностью линеаментов связана и повышенная золотоносность отложений в подобных геологических условиях. Поэтому на предварительном этапе поисков золота можно считать участки с высокой плотностью линеаментов перспективными для поисков коренных источников золота. Повышенная плотность линеаментов, может являться признаком перспективного участка для поисков месторождений полезных ископаемых.

Таблица 1

Стадия работ	Масштаб де-шифрования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов	Кольцевые структуры, км	Количество кольцевых структур
Обзорная	1:1000000	50-100	2	-	-
Региональная	1:500000	15-50	20	15*20-30*50	1
Зонально-региональная	1:200000	5-15	136	5*8-15*20	10
Зональная	1:100000	1,5-5	479	1,5*2,0-5*8	38
Детальная	1:50000	0,15-1,5	469	0,3*0,5-1,5*2,0	17
Итого			1106		66

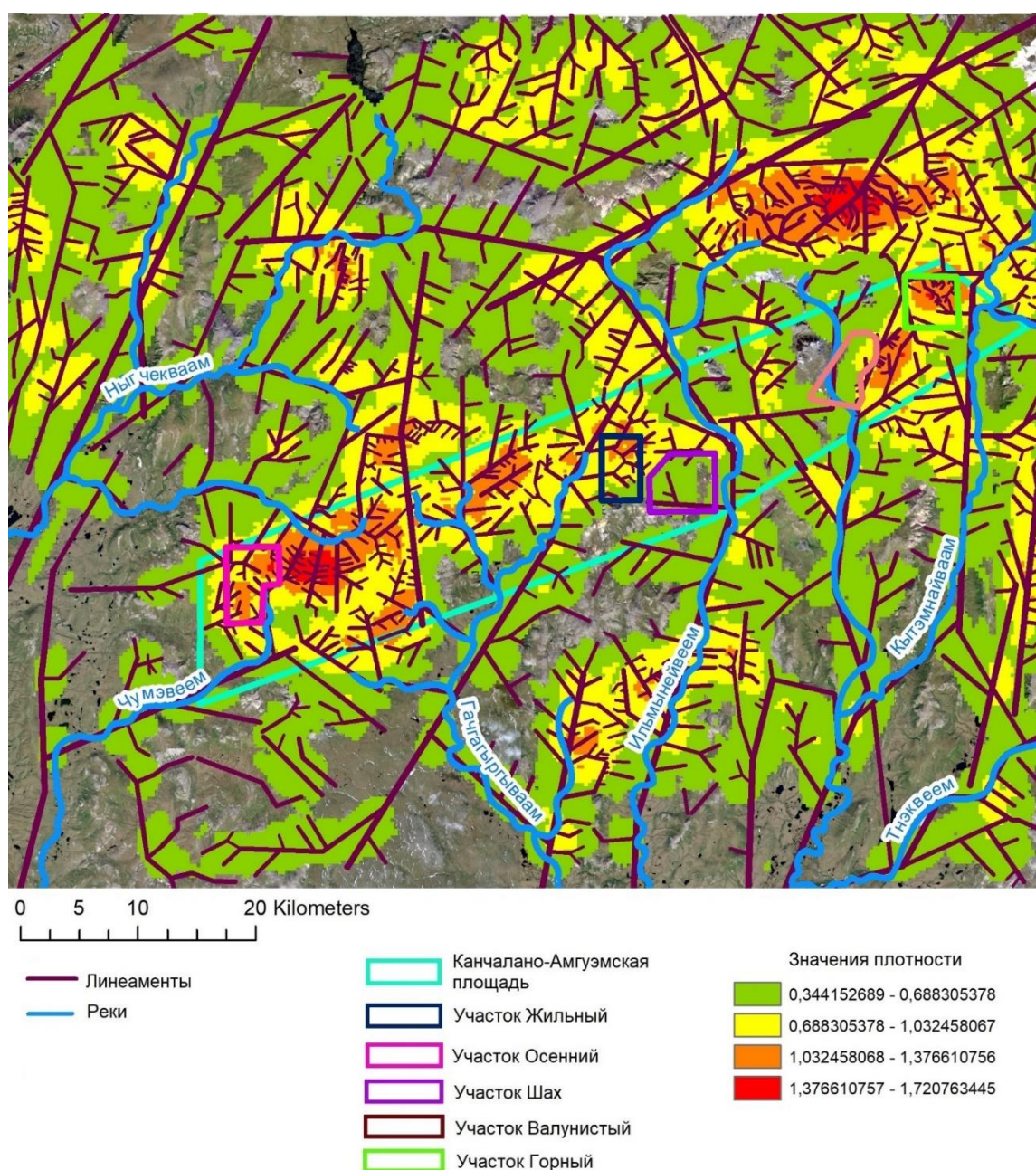


Рис. 6. Карта плотности линеаментов.
Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

Анализ карты плотности линеаментов показал, возможные перспективные участки для поиска месторождений золота и других полезных ископаемых (рис. 8).

Всего выделено 12 перспективных участков в местах повышенной плотности линеаментов.

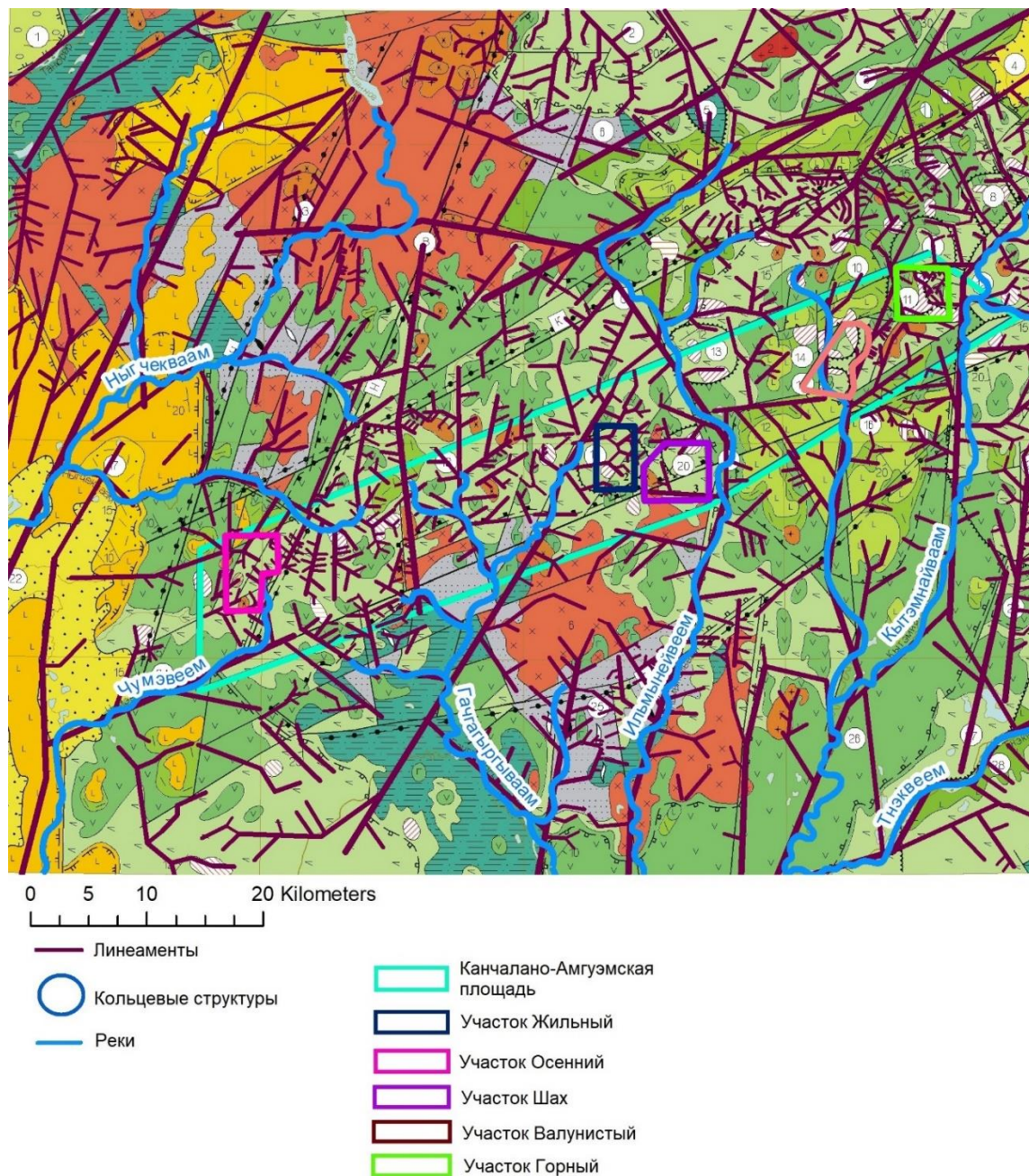


Рис. 7. Тектоническая карта с выделенными линеаментами.
Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

Заключение

По результатам аэрокосмогеологических исследований на Канчалано-Амгуэмская площадь. В пределах листов Q-60-XV, XVI дешифрованы космические снимки и проведен линеаментно-геодинамический анализ.

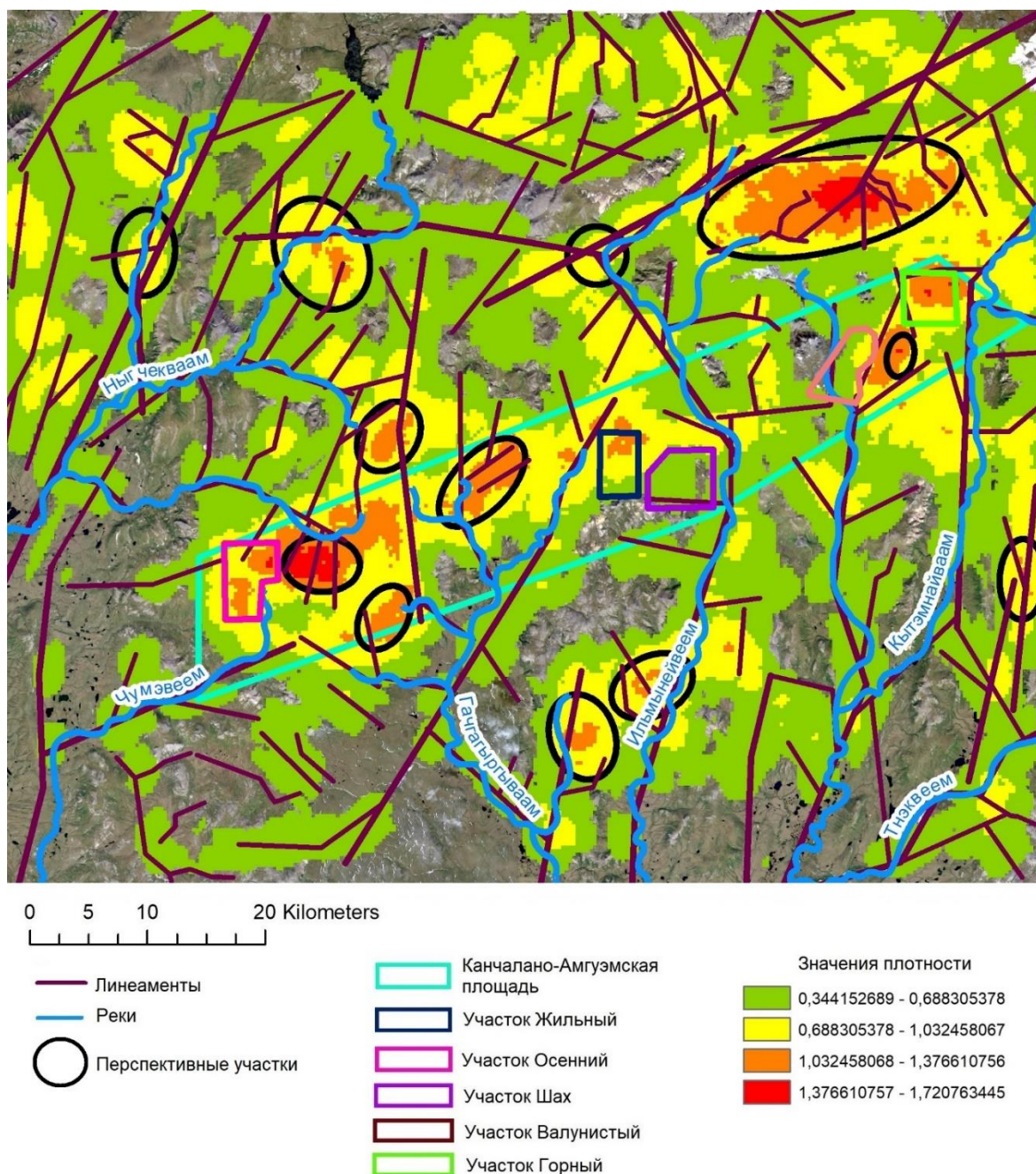


Рис. 8. Карта плотности линеаментов с возможными перспективными участками для поисков полезных ископаемых. Масштаб 1:500000 (уменьшение с масштаба 1:200000)

Составлена карта плотности линеаментов. Была определена высокая гео-динамическая активность в местах с повышенной плотностью. Определены главные тектонические элементы, контролирующие золотопроявления исследуемой территории. Выделены предварительные перспективные участки для проведения поисковых работ на золото.

Библиографический список

1. Заводов А.В., Калина К.А., Нафиков Н.Ю. Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поиска золоторудных месторождений на территории в Южной Якутии (Кура-нахское месторождение) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 112-119.

2. Исаева Е.П., Звезда Т.В., Ушакова Д.Д. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист Q-60 – Анадырь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016.
3. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие.* Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
4. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2020. С.148-158.
5. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа.* Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
6. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография.* Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
7. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
8. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования.* 2011. № 4.
9. Копылов И.С., Бабенюшев В.М. *Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2020. С. 159-166.
10. Копылов И.С., Коврижных С.Б., Наумова О.Б., Попов А.Г. *Аэрокосмические методы в геологии – учебнометодический курс в Пермском университете* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2020. С. 101-111.
11. Копылов И.С., Коноплев А.В. *Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Кукляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2020. С. 167-175.
12. Копылов И.С., Кузнецов В.А. *Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2022. С.129-143 с.
13. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. *Золото-алмазная колыбель России.* Пермь, 2015. 131 с.
14. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2020. С. 95-100.
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. *Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2019. С. 77-84.
16. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. *Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI)* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2019. С. 145-158.
17. Кузин Д.А., Шестакова В.А., Арион А.Д. *Изучение Воронцовского месторождения золота с применением аэрокосмических методов* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2022. С. 146-152.
18. Раманов Н.И. и др. *Геологическая карта. Масштаб 1:200000. Лист Q-60-XV, XVI.* ФГУГП «ГЕОРЕГИОН», 2003.
19. Шаньширов М.В., Чащин О.А., Паршаков Д.В. *Применение аэрокосмических исследований при поисках золота в Забайкальском крае (Тасеевское месторождение золота, лист М-50-III)* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии.* Пермь, 2022. С.161-169 с.
20. Шарафан Д.Н., Копылов И.С. *Интенсивность развития геокриологических процессов при освоении месторождений золота в районах Крайнего Севера (Чукотка, Баимский ГОК, месторождение золота Песчанка)* // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения.* Пермь, 2022. С. 253-265.

М.В. Галекбаров, Г.С. Фахретдинова, Д.О. Белканов

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЛИСТА Q-44-VI (СЕВЕРО-ВАНКОРСКИЙ УЧАСТОК, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Проведено изучение территории листа карты Q-44-VI с применением аэрокосмических методов. На основе структурного дешифрирования космических снимков выделены линеаменты, линеаментные зоны и кольцевые структуры, которые отражают погребенные антиклинальные ловушки, перспективные на поиски нефти и газа.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, нефть и газ, Северо-Ванкорский участок, Красноярский край.

M.V. Galekbarov, G.S. Fakhretdinova, D.O. Belkanov

Perm State University, Perm, Russia

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO ASSESS THE PRO- SPECTS OF OIL AND GAS CAPABILITY OF THE TERRITORY OF SHEET Q-44-VI (NORTH-VANKORSKY SITE, KRASNOYARSK REGION)

The study of the territory of the Q-44-VI map sheet was carried out using aerospace methods. Based on the structural interpretation of space images, lineaments, lineament zones and ring structures were identified, which reflect buried anticlinal traps that are promising for oil and gas exploration.

Key words: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, oil and gas, North-Vankor site, Krasnoyarsk region.

Введение

Аэрокосмические методы приобрели в настоящее время большое значение в решении многих геологических задач, в т.ч. геологическом картировании, при поисках месторождений нефти и газа. При геологическом картировании широко применяются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) в комплексе с другими методами, которые дают положительные результаты.

При изучении районов перспективных на нефть и газ аэрокосмическими методами основными объектами дешифрирования являются линеаменты, линеаментные зоны и кольцевые структуры, которые отражают в ландшафтах погребенные антиклинальные ловушки, перспективные на поиски углеводородов [1-9, 11, 18]

Цель работы: изучение структурных элементов земной коры при дешифрировании космических снимков, выделение перспективных участков на поиски нефти и газа листа Q-44-VI в районе Северо-Ванкорского участка.

Природно-геологические условия

Ванкорское нефтегазоконденсатное месторождение расположено на севере Красноярского края России. Находится в пределах Пур-Тазовской нефтегазоносной области в составе Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Включает в себя участки недр: Ванкорский (Туруханский район Красноярского края) и Северо-Ванкорский (Таймырский автономный округ) (рис. 1, 2). Вместе с расположенными неподалеку месторождениями: Сузунским, Тагульским и Лодочным – образует Ванкорский кластер. За 12 лет, (на 2021 г.) на Ванкорском месторождении добыто 255 млн т нефти [30].



Рис.1. Обзорная карта территории [29]



Рис. 2. Северо-Ванкорский участок [29]

В *физико-географическом* отношении территория находится в восточной части Западно-Сибирской равнины в пределах Тазовско-Пурской низменности, большая часть которой представляет собой низменную заболоченную территорию с абс. отм. обычно 70–90 м, редко – более 100 м. Гидрографическая сеть территории принадлежит к бассейну р.Бол.Хеты (левый приток р.Енисей).

Климат резко континентальный с суровой длительной зимой и коротким летом. Средняя продолжительность безморозного периода составляет 105 дней. В летний период преобладают северные и северо-восточные ветры, а в зимний – южные. Таяние снега и вскрытие рек обычно происходит в мае. Реки свободны ото льда до конца октября.

Геологическая изученность

Первые сведения о многолетнемерзлых четвертичных отложениях и рельефе территории были приведены в работах Р. Поле (1913 г.). Систематическое геологическое изучение региона началось в 1950-е годы в процессе геологических съемок различных масштабов коллективом Западно-Сибирского и Красноярского управлений и продолжается в настоящее время. Территория охвачена геолого-геофизическими исследованиями, в основном регионального уровня, в т.ч. аэрофотогеологическими (В.А.Калинин и др., 1980). Для детального изучения геологического строения и нефтегазоносности нижних горизонтов осадочного чехла севера Западно-Сибирской плиты вблизи западной рамки листа Q-44 в долине р. Пур пробурена Тюменская сверхглубокая скважина СГ-6 глубиной 7502 м. В районах нефтегазовых месторождений пробурено более 100 глубоких скважин. Высокая насыщенность углеводородными газами вскрытых триасово-юрских отложений свидетельствует о перспективности обнаружения промышленных залежей углеводородов в глубоких комплексах осадочного чехла плиты. В 2020 г. ВСЕГЕИ подготовлено третье издание Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 листа Q-44 – Тазовский [29]. В масштабе 1:200 000 геологических съемок не проводилось, территория не изучена.

Геологические условия

В тектоническом отношении Северо-Ванкорский участок приурочен к Ванкорскому поднятию в северной части Лодочного вала, осложняющего южную часть Большехетской структурной террасы Надым-Тазовской синеклизы Западно-Сибирской плиты [29].

Протерозойские филлиты и хлорит-серицитовые сланцы, палеозойские аргиллиты-карбонатная и известняково-терригенная толщ, мезозойские полифациальные терригенные, интрузивные образования развиты в фундаменте плиты. Протерозойские и палеозойские образования составляют нижний структурный этаж; мезозойские в объеме триаса – промежуточный рифтогенный структурный этаж. Мезозойские и кайнозойские образования составляют чехол Западно-Сибирской плиты – верхний структурный этаж. Мезозойские образования (юра и мел) распространены на всей территории, кайнозойские (палеоген) – в западной и центральной частях. Четвертичные отложения развиты на территории повсеместно [30] (рис. 3).

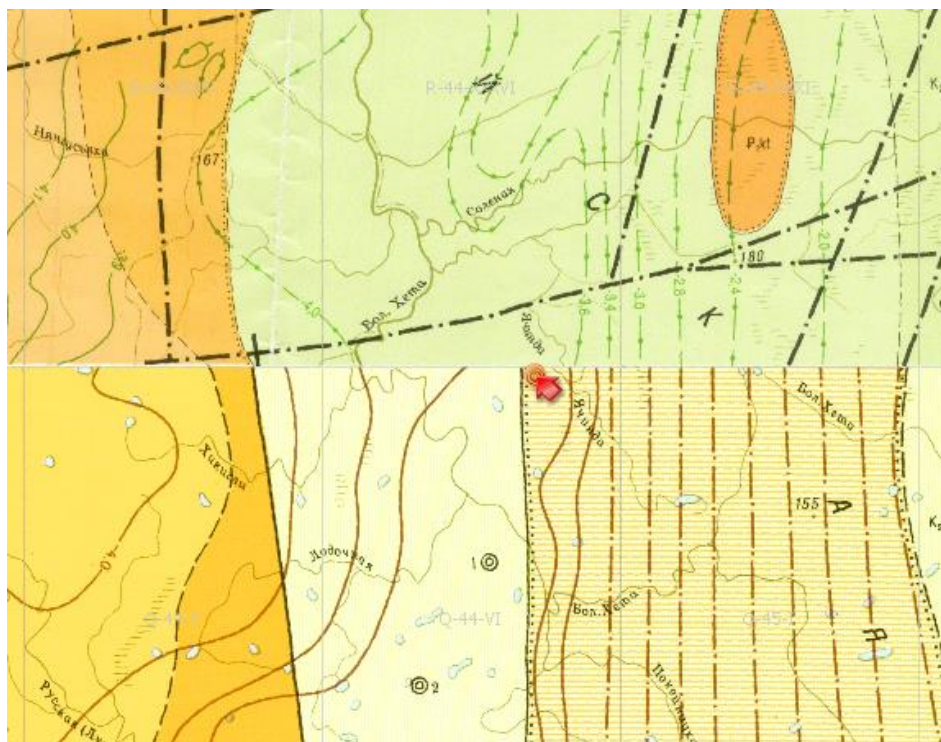


Рис.3. Геологическая карта территории

Методика, изученность и результаты аэрокосмогеологических исследований

Методология. Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) проводились в соответствии с методиками, изложенными в работах [11-25].

Основным методом было структурное дешифрование космических снимков (КС) с выделением линеаментов (линейных структур) и кольцевых структур (ландшафтных аномалий). Был изучен рельеф участка, и структуры выделялись на элементах, расчленяющих рельеф, долинах и руслах рек, различных подъёмах и опусканиях рельефа и на участках временных водотоков. Эти элементы имеют прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре. [3, 7, 20].

Проводился линеаментно-ландшафтно-геодинамический анализ по методам [7-18, 20, 28] на основе схемы дешифрирования КС с выделенными структурами линейными и кольцевыми. Построена карта плотности линеаментов, на которой выделяются геодинамические активные зоны. Участки повышенной геодинамической активности с наложением на них кольцевых структур позволяет выделить перспективные участки для поисков углеводородов и других месторождений полезных ископаемых [7, 18, 23].

Для прогнозирования перспективных на нефть и газ участков на изучаемой территории можно выделить следующие закономерности:

- 1) линеаментные структуры указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры, благоприятные для миграции углеводородов;
- 2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы; чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски углеводородов;

3) кольцевые структуры указывают на возможность существования погребенных антиклинальных ловушек нефти и газа;

4) особенно высока вероятность перспектив нефтегазоносности, если кольцевая структура осложнена множеством линеаментов.

Аэрокосмогеологическая изученность

К первым дистанционным исследованиям можно отнести работы ПГО «Енисейнефтегазгеология» в начале 80-х гг. XX в. (В.И.Витязь и др.) – на территории запада Сибирской платформы были выделены крупные региональные линейные структуры протяженностью более 1000 км и отдельные прямые и дуговые линии (линеаменты) в виде цепочек аномального фотоизображения протяженностью 100-300 км. Проводились структурно-морфометрические исследования, при которых выделялись отдельные площадные перспективные на нефть и газ объекты [27].

Обзорное дешифрирование КС (Landsat) масштаба 1:2 500 000 территории Красноярского края проведено И.С.Копыловым (2002, 2013) [10, 14]. Была выделена сеть региональных линеаментов большой протяженности (200-1000 и более км), региональные и зональные линеаменты протяженности (25-100 и более км) (рис. 4).

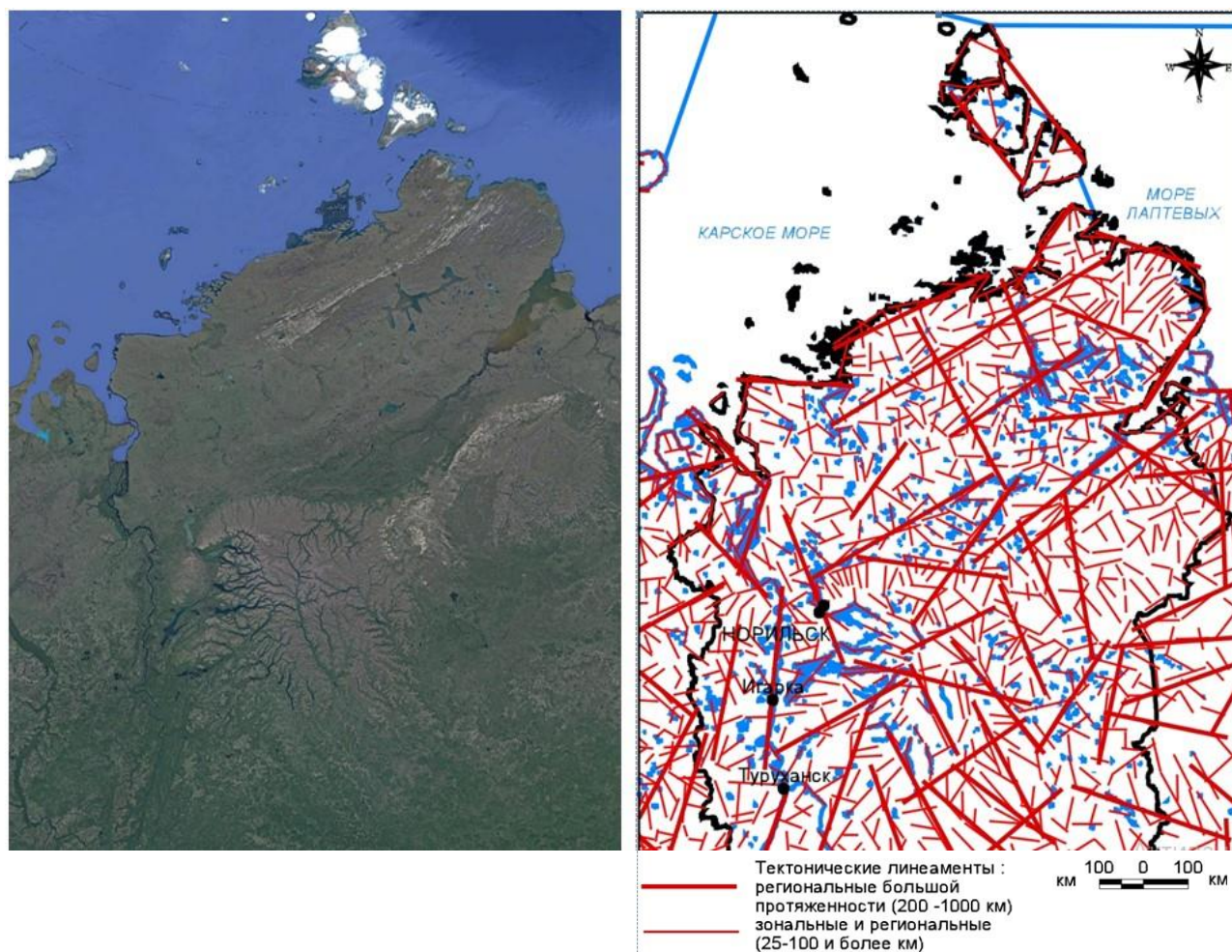


Рис. 4. Дистанционная основа и региональное линеamentное поле территории Красноярского края (фрагмент северной части) [14]

По материалам дешифрирования мультиспектральных КС Aster и Landsat В.Г.Житковым, А.А.Поцелуевым, В.А.Крининым и др. (2017) построена космоструктурная схема района Большехетской структурной террасы, включая участок Ванкорского месторождения, который контролируется крупной кольцевой структурой радиусом более 80 км [4].

Результаты исследований. В настоящей работе АКГИ проводилось по двум уровням дешифрирования КС: в масштабах 1:1 000 000 и 1:200 000. Используются материалы открытых источников (сайт nakarte.me (ESRI Satellite E)). Структурный и линеаментно-геодинамический анализы проводились при помощи программного обеспечения ArcMap с модулем геообработки Spatial Analyst.

На 1 уровне обзорного дешифрирования КС масштаба 1:1 000 000 было выделено 48 региональных линеаментов, 13 дуговых и 5 кольцевых структур, представленных на карте масштабом 1:1 000 000 (рис.5). На карте выделен детализационный участок, который изучался в масштабе 1:200 000.



Рис. 5. Региональное дешифрирование района (масштаб 1:1 000 000)

На 2 уровне зонально-регионального дешифрирования КС масштаба 1:200 000 (лист Q-44-VI с Северо-Ванкорским участком) выделено 42 региональных и 924 зональных линеаментов, 14 дуговых и 25 кольцевые структуры (рис. 6).

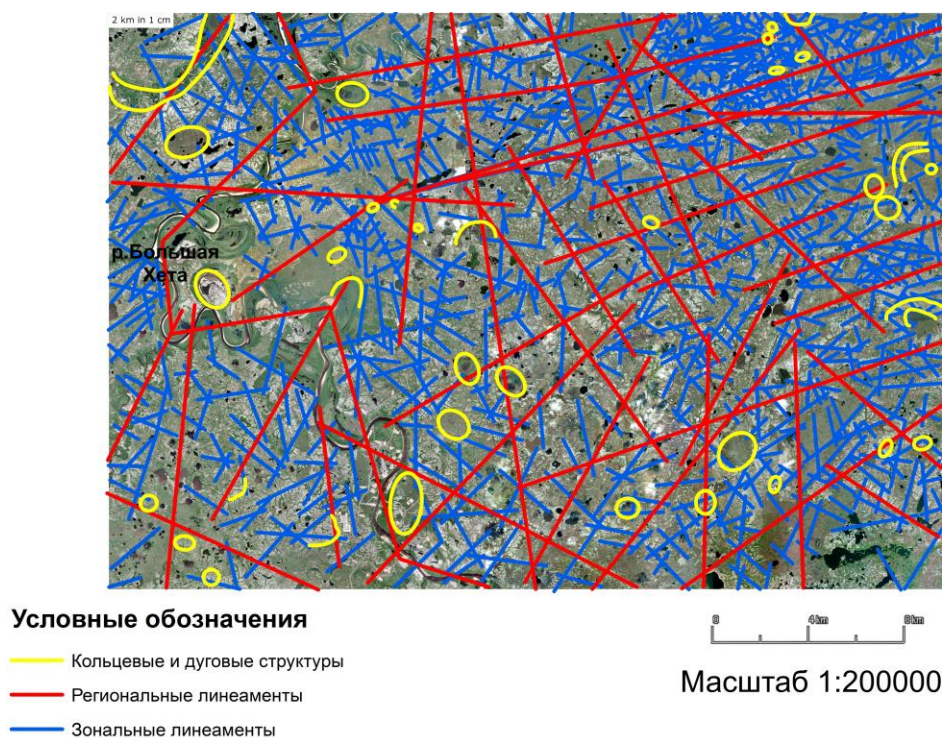


Рис. 6. Зональное дешифрирование (масштаб 1:200 000)

Результаты выделения структур сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Сводная таблица выделенных структур

Стадия работ	Масштаб дешифрирования	Количество линеаментов		Количество кольцевых структур	Количество дуговых структур
		Региональные	Зональные		
Обзорная	1:1 000 000	48	-	5	13
Зонально-региональная	1:200 000	42	924	25	14
Суммарное количество структур		90	924	30	27

При выполнении линеаментно-геодинамического анализа была составлена карта плотности линеаментов. Геодинамическая активность выражена градиентом от зеленого (низкая активность) – желтому (средняя активность) к красному (высокая активность) цвету, строилась по плотности линеаментов на карте спомощью модуля геообработки Spatial Analyst (рис. 7).

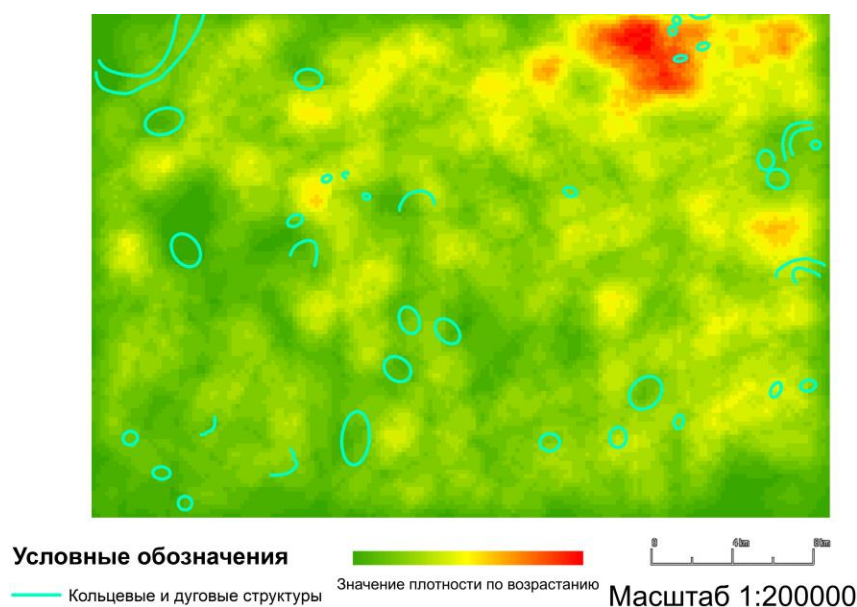


Рис. 7. Карты плотностей пересечения линеаментов и выделенных кольцевых и дуговых структур (масштаб 1:200 000)

Анализируя карту плотности линеаментов можно определить, что изучаемая территория подвержена в основном низкой и средней геодинамической активности. Большинство локальных кольцевых структур, выражены средней геодинамической активностью, и лишь на Северо-Ванкорском участке выделяется зона с очень высокой геодинамической активностью. Выделено 3 новых перспективных участков на местах пересечения крупных линеаментов (рис.8). Полученные данные требуют подтверждения более детальными АКГИ (масштаб 1:50 000-1:100 000) с привлечением геофизических и методов (сейсмика, гравика).



Рис. 8. Карта перспективных зон поиска (масштаб 1:200 000)

Заключение

При аэрокосмогеологических исследованиях территории листа Q-44-VI (Северо-Ванкорский участок) были проведены структурное дешифрование космических снимков на зонально-региональной стадии и линеаментно-геодинамический анализ. Составлена карта плотности линеаментов. По установленным критериям намечено 3 перспективных участка для поисков углеводородов, на которых рекомендуется постановка крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований и геофизических исследований.

Библиографический список

1. Ануфриев А.М. *Аэрокосмометоды в геологии*. Казань, 2007. 82 с.
2. Брюханов В.Н., Буш В.А. *Кольцевые структуры континентов Земли*. М.: Недра, 1987. 184 с.
3. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. *Основы линеаментной тектоники*. М.: Недра. 1986. 140 с.
4. Житков В.Г., Поцелуев А.А., Кринин В.А., Устинова В.Н., Ананьев Ю.С. Исследование геологического строения нефтегазоносных областей по материалам космических съемок // В сборнике: ТВОРЧЕСТВО ЮНЫХ – ШАГ В УСПЕШНОЕ БУДУЩЕЕ. Труды X Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина по теме: «Арктика и её освоение». Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2017. С. 311-317.
5. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64-72.
6. Козлов С.В., Копылов И.С. Нефтегазоносность нижнего структурного осадочного чехла в Калтасинском авлакогене с позиций глубинного абиогенного генезиса углеводородов // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 369-383.
7. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
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. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края*. Пермь, 2021. 501 с.
10. Копылов И.С. *Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
11. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические нефтегазопроисковые исследования на Ново-Губахинском лицензионном участке // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 224-252.
12. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа*. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
13. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
14. Копылов И.С. Методологический подход к проведению линеаментно-геодинамического и морфонеотектонического анализов в центральной части Красноярского края для оценки геодинамической активности и поисков нефтегазоперспективных структур // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 56-67.
15. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и оценки перспектив нефтегазоносности по аэрокосмогеологическим исследованиям (на примере Григорьевской площади) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 66-94.
16. Методология ландшафтно-геодинамического анализа и результаты нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований на Керчевской площади (Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 46-71

17. Копылов И.С. Методология ландшафтно-геодинамического анализа по аэрокосмогеологическим исследованиям для поисков нефтегазоперспективных структур (на примере Пономаревской площади, Камский свод) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 68-95
18. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
19. Копылов И.С. Морфоструктурный и морфонеотектонический анализ в юго-западной части сибирской платформы // В книге: Гидрология и геоморфология речных систем. 1997. С. 59-61.
20. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
21. Копылов И.С. Прогнозирование нефтегазоносных объектов комплексом геохимических и аэрокосмогеологических методов // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 16-17.
22. Копылов И.С. Результаты и перспективы применения аэрокосмических методов при поисках нефти и газа в Приуралье и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 321-328.
23. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
24. 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.
25. Копылов И.С., Козлов С.В. О перспективах развития аэрокосмогеологических методов в геологии и неотектонический прогноз нефтегазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2013. № 13. С. 68-73.
26. Лебедева Е.А., Файбусович Я.Э., Назаров Д.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист Q-44 – Тазовский. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. 191 с.
27. Тишина М.А., Чусова Л.Д., Копылов И.С. Некоторые результаты морфометрических исследований центральной части тунгусской синеклизы // В книге: Геология и нефтегазоносность Красноярского края. V региональная научно-практическая конференция. Красноярск, 1983. С. 92-93.
28. 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.
29. <https://www.nedraexpert.ru/subsurface/1346141173/1>. IT-платформа для недропользователей и геологоразведочных компаний. Северо-Ванкорский участок. [Электронный ресурс].
30. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ванкорское_нефтегазовое_месторождение.

А.В. Заводов

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

**ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИСТА N-57-VI ГОСГЕОЛКАРТЫ-200
(РУДНОЕ ПОЛЕ КУМРОЧ, КАМЧАТКА)**

Проведено изучение листа карты N-57-VI Госгеолкарты-200 с помощью аэрокосмических методов с дешифрованием космических снимков. На основе структурного дешифрования выделены активные геодинамические зоны и перспективные участки для поисков месторождений золота.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, золото, Кумроч, Камчатка.

A.V. Zavodov

Perm State University, Perm, Russia

**AEROSPACE RESEARCHES' APPLICATION IN ANALYSIS
OF THE N-57-VI SHEET OF THE GOSGEOLKARTA-200
(ORE FIELD KUMROCH, KAMCHATKA)**

The research of the N-57-VI Gosgeolkarta-200 map sheet was carried out using aerospace methods with the decryption of satellite images. On the basis of structural decoding, active geodynamic zones and promising areas for prospecting for gold deposits are identified.

Keywords: aerospace methods, interpretation, lineamental analysis, gold, Kumroch, Kamchatka.

Введение

Аэрокосмические методы приобрели в настоящее время большое значение в решении многих геологических задач, т.ч. при поисках месторождений полезных ископаемых. На данный момент при геологическом картировании широко применяются дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) в комплексе с другими методами и дают положительные результаты.

Актуальны эти методы и при повторном изучении известных горнорудных районов, так как они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубокозалегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. При поисках золота ископаемых одним из основных объектов дешифрирования являются линеаменты, линеаментные зоны и кольцевые структуры. Так же аэрокосмогеологические методы применяются для выделения опасных геодинамических зон [1 -5, 11, 18].

Цель работы: выделение активных геодинамических зон, структурных элементов земной коры и перспективных участков на поиски золото-серебряных месторождений в районе Рудного поля Кумроч

Физико-географические условия

Рудное поле Кумроч находится в Усть-Камчатском районе Камчатского края Российской Федерации, в верховьях р. Быстрая, у подножья горы Шиш, в пределах листа N-57-VI. (рис. 1).

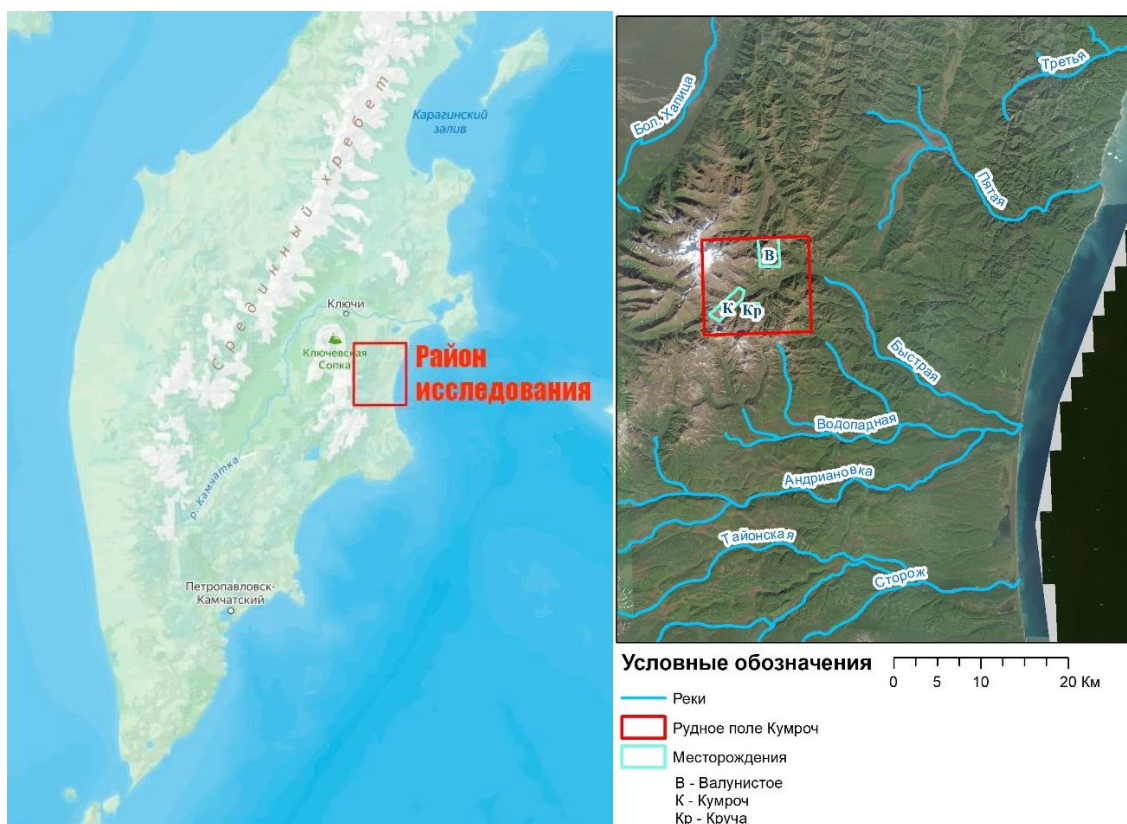


Рис. 1. Местоположение исследуемой территории

Рельеф района исследования среднегорный резко расчлененный. Преобладают вершины с абсолютными отметками 1000-1500 м. Абсолютные отметки рельефа суши: 0 м над уровнем моря (побережье Камчатского залива) и 2346 м (г. Шиш). Главные реки района – Большая Хапица, Третья, Пятая, Быстрая, Водпадная, Андриановка, Тайонская и Сторож.

Климат района характеризуется продолжительной зимой (7-8 месяцев), преимущественно с умеренными морозами и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура отрицательная и составляет $-0,9^{\circ}\text{C}$, минимальная в январе месяце – -40°C , максимальная в июле месяце – $+25^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет 650-750 мм.

Геологические условия

Рудное поле Кумроч приурочено к центральной части быстринской палеовулканической постройки миоцен-плиоценового возраста, сформированной на верхнемеловом-палеогеновом фундаменте, расположенной в пределах Восточно-Камчатского антиклинория и наложенного на него Восточно-Камчатского вулканического пояса (рис. 2, 3).

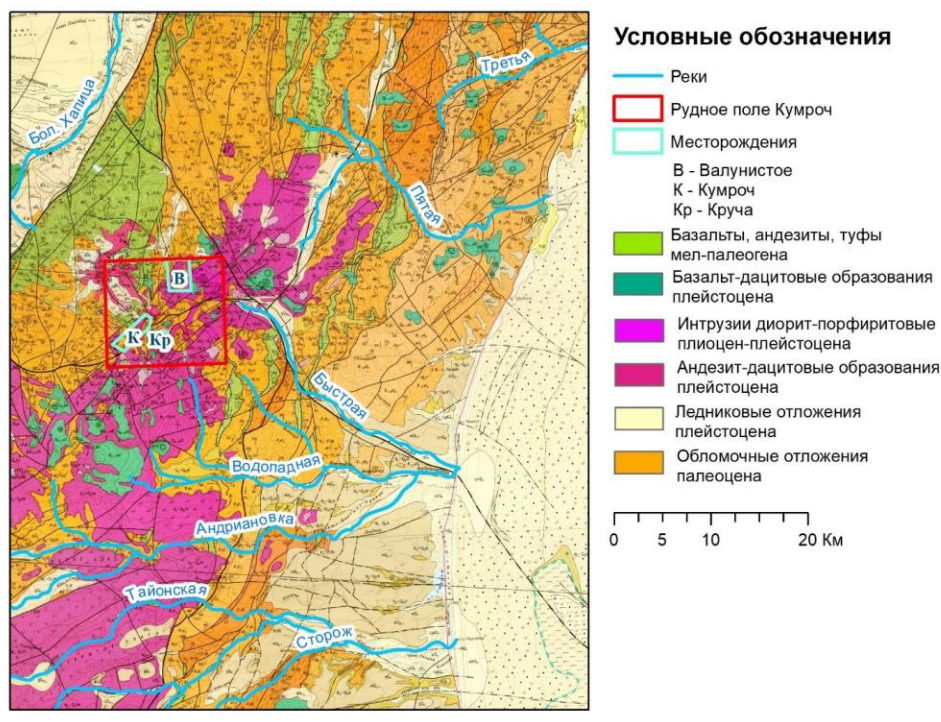


Рис. 2. Геологическая карта исследуемой территории [22]

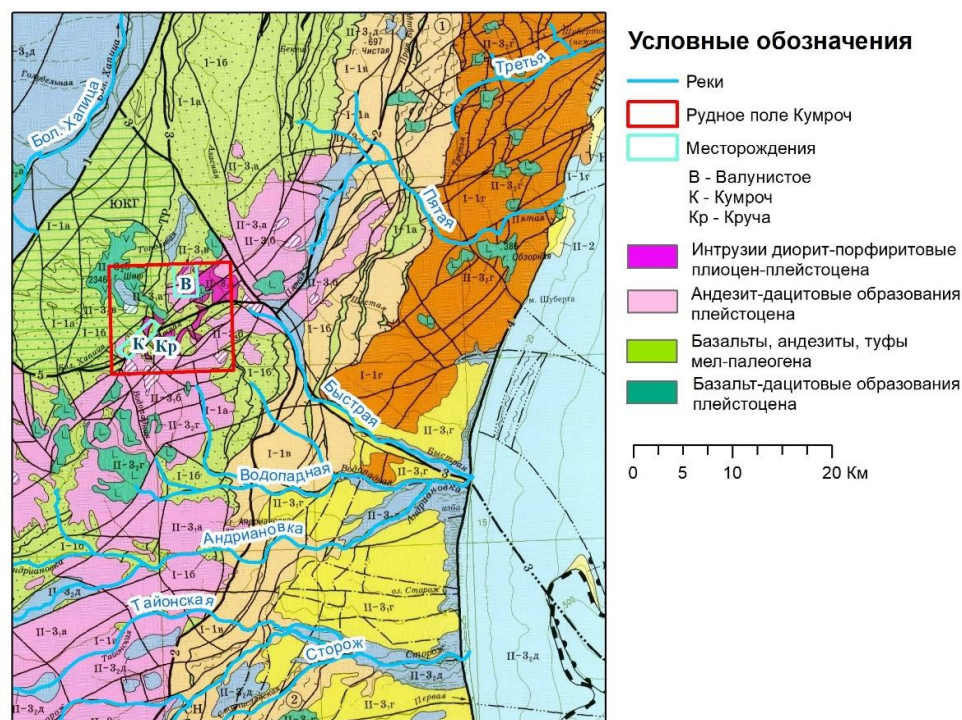


Рис. 3. Тектоническая карта исследуемой территории [22]

В строении территории Кумроцкого рудного поля принимают участие такие структуры первого порядка, как зона выступов Восточных хребтов, представленной Кумроцким поднятием, и Восточно-Камчатский вулканический пояс.

Методика и результаты исследований

В методологическом плане проводилось структурное дешифрование аэрокосмических снимков Земной поверхности. При проведении дешифрования выделялись линеаменты – линейные элементы рельефа, имеющие прямую или

косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре [1, 5, 14].

При анализе дешифрируемых снимков применялся комплексный линейно-геодинамический анализ, в ходе которого выделяются активные геодинамические зоны [7-12].

Важными критериями геодинамической активности участков являются повышенная плотность линейментов и эрозионная (горизонтальная и вертикальная) расчлененность рельефа.

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

1) линейментные зоны указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры [1, 5, 8, 9];

2) при пересечении друг с другом линейменты образуют узлы, чем больше линейментов сходится в узле, тем активнее зона и возможно – перспективнее участок на предмет выявления рудных объектов [6, 13, 16, 17, 19-21];

3) золото-серебряное оруденение на рудном поле Кумроч в основном приурочено к диоритовым интрузиям [22].

Для исследования территории применялись цифровые космоснимки и цифровые модели рельефа. Изображения обрабатывались в программном обеспечении ArcGIS. При различных масштабах, используя инструменты программы выделялись прямолинейные объекты по водоразделам, руслам рек, понижениям и повышениям рельефа на различных стадиях (масштабах), карты линейментов для масштабов 1:500000, 1:200000 и 1:100000 представлены на рис. 4. Затем было построено поле плотности линейментов для масштабов 1:200000-100000 (рис. 5) и 1:50000-1:25000 (рис. 6).

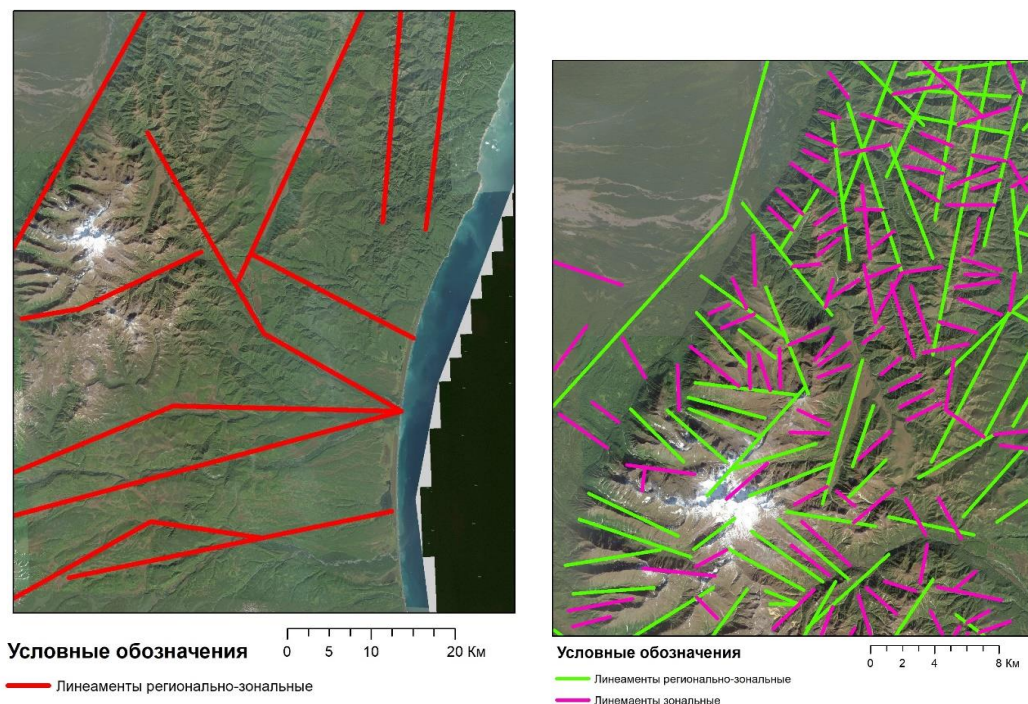


Рис.4. Карты линейментов региональной, регионально-зональной и зональной стадий дешифрования

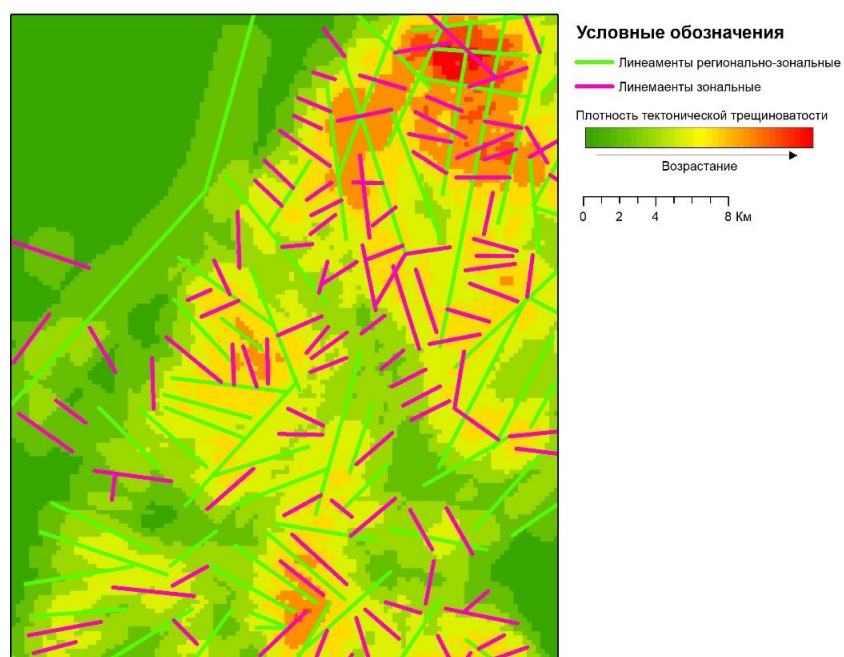


Рис. 5. Карта плотности линеаментов для регионально-зональной и зональной стадий дешифрования

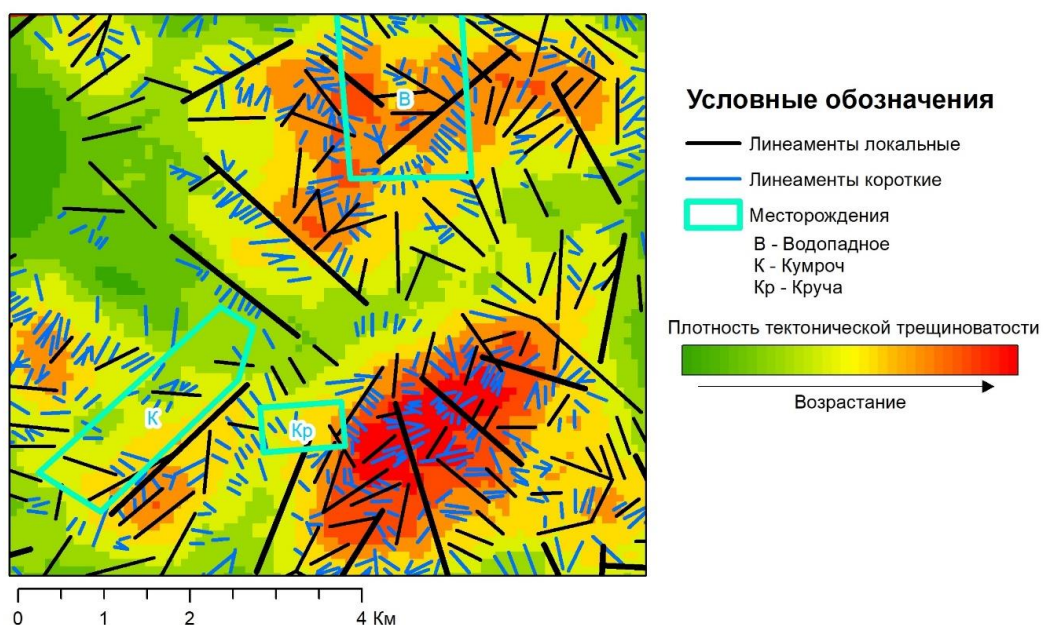


Рис. 6. Карта плотности линеаментов для детальной и локальной стадий дешифрования

Количество выделенных линеаментов разных рангов при дешифровании указано в табл. 1.

Таблица 1

Стадия работ	Масштаб дешифрования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов
Региональная	1:500000	20-50	10
Зонально-региональная	1:200000	1,5-27	137
Зональная	1:100000	1-5,5	116
Детальная	1:50000	0,3-4,0	204
	1:25000	0,05-1,0	491
Итого			1365

Аэрокосмогеологический анализ

Визуально, при наложении линеаментов на тектоническую схему карты, можно заметить, что крупные прямолинейные структуры частично совпадают с тектоническими структурами, что подтверждает указанное на схеме тектоническое строение территории и показывает возможные не выделенные ранее тектонические нарушения (рис. 7).

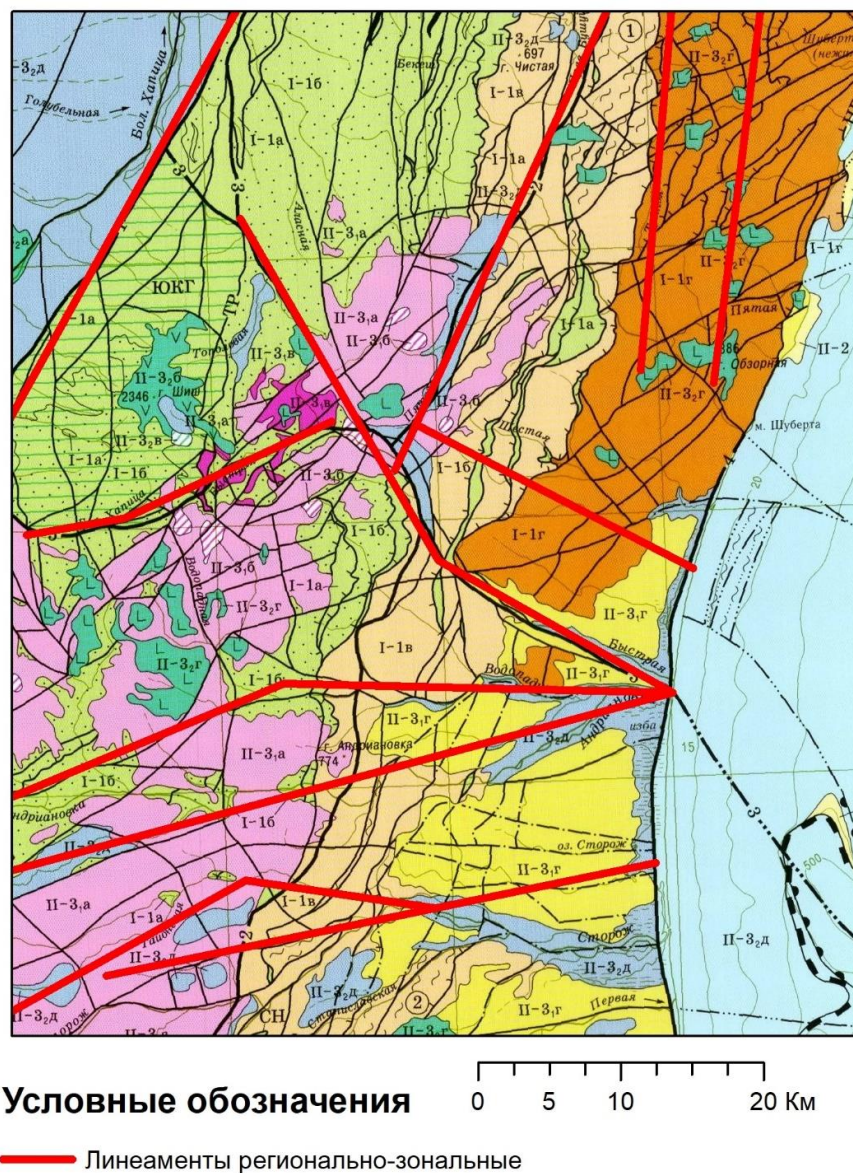


Рис. 7. Региональные линеаменты на тектонической основе района

С другой стороны, наличие крупных линеаментов, не совпадающих с тектоническим строением территории и наличие областей высокой плотности линеаментов может говорить об опасной неотектонической активности в геодинамических зонах. Они находятся на пересечении линеаментов, не совпадающих с тектонической схемой и областями высокой плотности (отмеченных красным цветом на карте плотности).

При совмещении результатов линеamentного анализа, построения карты плотностей тектонической трещиноватости и геологических поисковых признаков, можно выделить косвенный поисковый признак для поиска перспективных участков золото-серебряных оруденений. А именно наличие высоких плотностей линеаментов и диоритовых интрузий могут говорить о точном местоположении оруденения (рис. 8, 9, 10).

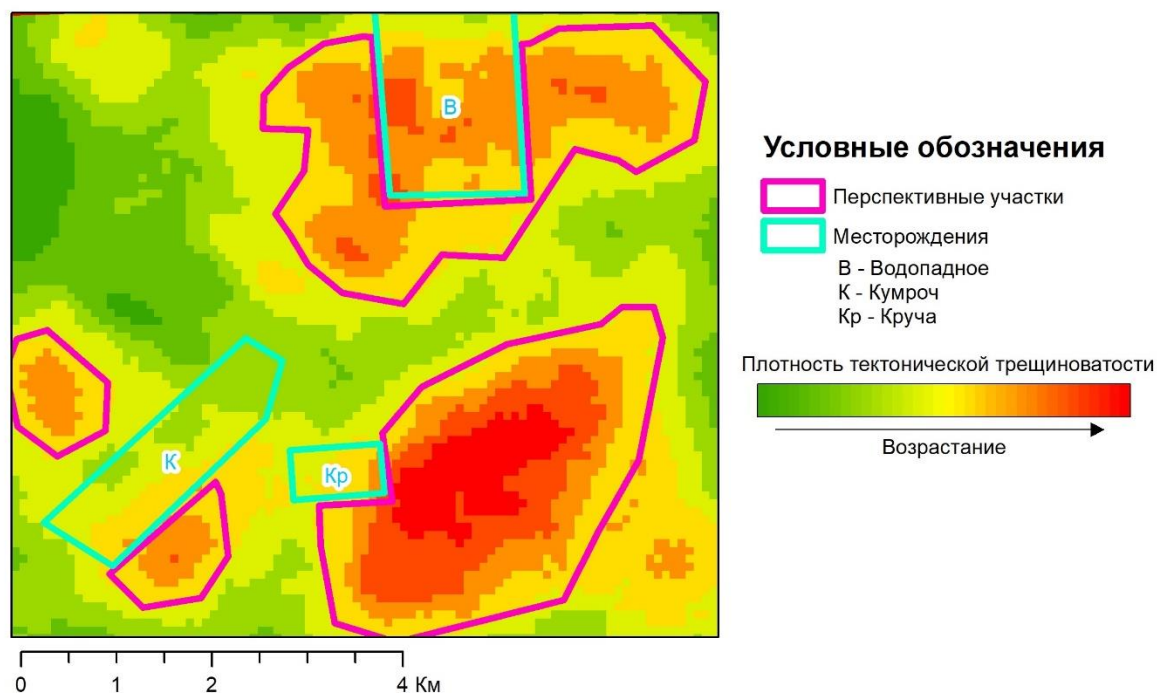


Рис. 8. Перспективные участки на карте плотности тектонической трещиноватости

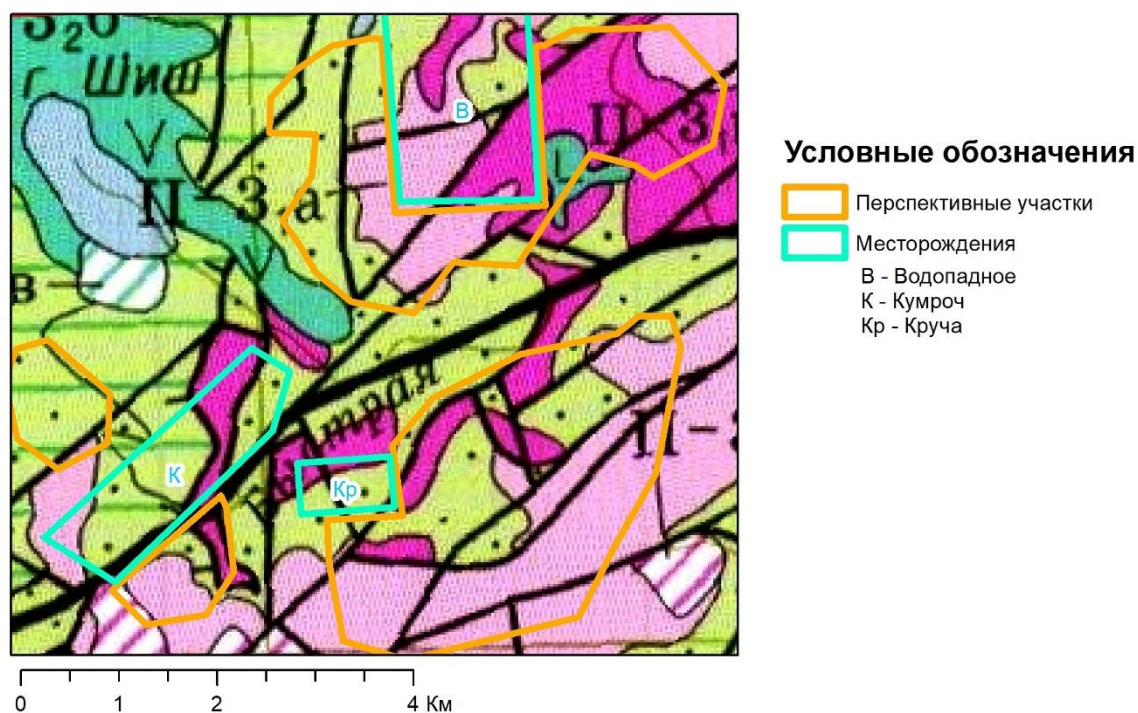


Рис. 9. Перспективные участки на тектонической основе

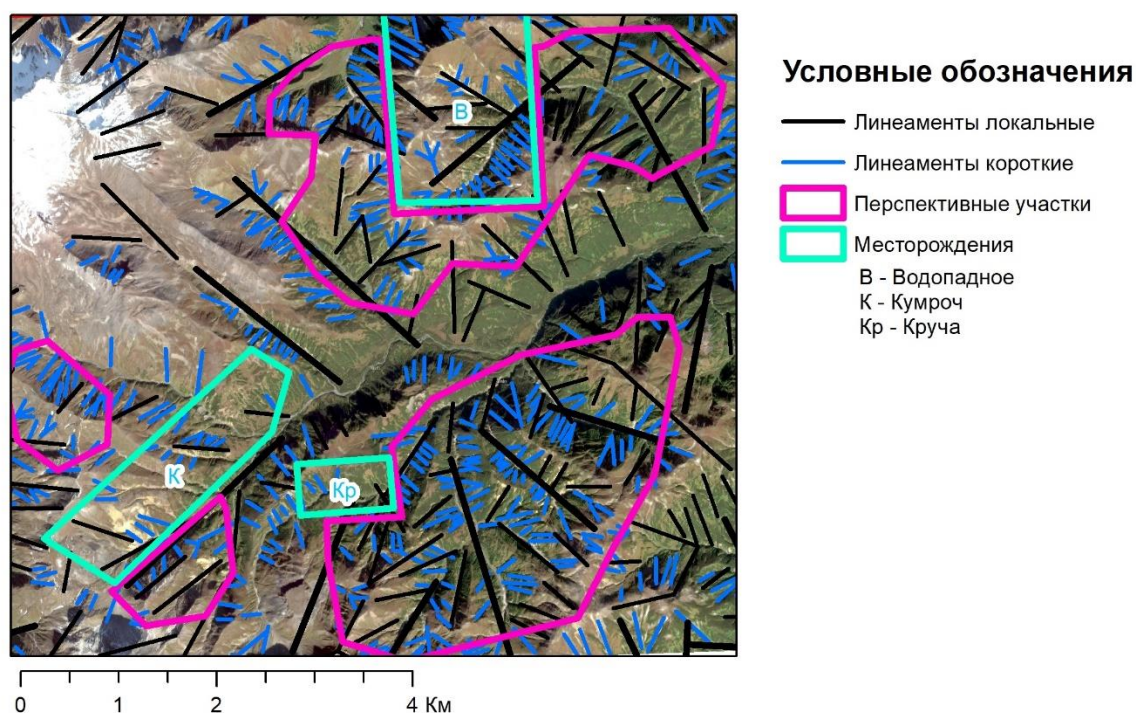


Рис. 10. Карта перспективных участков на поиски золота на космоснимке

Заключение

По результатам проведённого аэрокосмогеологического исследования было определено наличие высокой неотектонической активности территории. Подтверждено тектоническое строение основных разломных зон. Были определены перспективные участки для проведения поисковых работ на золото, они приурочены к локальным структурам.

Библиографический список

1. Ануфриев А.М. *Аэрокосмометоды в геологии*. Казань, 2007. 82 с.
2. Брюханов В.Н., Буш В.А. *Кольцевые структуры континентов Земли*. М.: Недра, 1987. 184 с.
3. Заводов А.В., Калина К.А., Нафиков Н.Ю. Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поиска золоторудных месторождений на территории в Южной Якутии (Кура-нахское месторождение) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2022. С. 112-119.
4. *Золоторудные месторождения России* / Под ред. М. М. Константинова. М., 2010. 365 с.
5. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
6. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
7. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
8. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья* // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
9. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области* // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 7-2. С. 241-246.
10. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности*: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.

11. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
13. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь. 2020. С. 159-166.
14. Копылов И.С., Коврижных С.Б., Наумова О.Б., Попов А.Г. Аэрокосмические методы в геологии – учебнометодический курс в Пермском университете // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 101-111.
16. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Кукляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 167-175.
17. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 129-143 с.
18. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
19. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
20. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
21. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
22. Рутштейн И. Г., Богач Г. И., Винниченко Е. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Приаргунская. Лист М-50-III Бaley. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015.

**КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ
И АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
БАЗОВОГО РУДНОГО ПОЛЯ МОРЕННОГО
МОЛИБДЕН-МЕДНОРУДНОГО УЗЛА (ЧУКОТСКИЙ АО)**

Проведено изучение Базового рудного поля Моренного молибден-меднорудного узла (Чукотский АО) с помощью аэрокосмических методов с дешифрованием космических снимков. Выделенные перспективные зоны сопоставлены с данными проведенных геохимических и геофизических исследований.

Ключевые слова: геология, аэрокосмические методы, линеаментный анализ, дешифрование, Базовый, Чукотка.

A.V. Zubov

Perm State University, Perm, Russia

**COMPLEX GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL
AND AEROSPACE GEOLOGICAL ANALYSIS
OF THE BASIC ORE FIELD OF THE MORAIN
MOLYBDENUM-COPPER ORE NODE (CHUKOTKA AO)**

The basic ore field of the Moraine Molybdenum-Copper Ore Node (Chukotka AO) was studied using aerospace methods with the decryption of satellite images. The selected promising areas are compared with the data of the conducted geochemical and geophysical studies.

Keywords: geology, aerospace methods, lineament analysis, decryption, Basic, Chukotka

Введение

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 (геохимическими, геофизическими, геодинамическими и др.) [5, 9, 20]. Одна из проблем, которую помогает решить аэрокосмогеологический анализ в комплексе с данными других исследований – совершенствование геологической съемки и поисковых работ. При поисках полезных ископаемых, в частности – золота, одним из основных объектов структурно-геоморфологического дешифрирования являются неотектонические линеаменты и линеаментные зоны с повышенной геодинамической активностью [2, 14-16, 20].

Объектом исследований является Базовое рудное поле Моренного молибден-меднорудного узла (Анадырский район, Чукотский АО).

Цель работы: выделение структурных элементов земной коры, геоморфологических индикаторов и сравнение их с ранее проведёнными поисковыми работами. Задачи: изучить геологическое строение территории комплексом геологических и аэрокосмических методов, выделить линеаменты и кольцевые структуры, провести дешифрирование и комплексный анализ территории, проследить взаимосвязь результатов дешифрирования и поисковых работ.

Физико-географические условия

Площадь работ по объекту «Поисковые работы на молибден-медно-порфировые руды в пределах Базового рудного поля Моренного молибден-меднорудного узла (Чукотский АО)» (22,5 кв. км) находится на территории Анадырского административного района Чукотского автономного округа (рис. 1), в пределах номенклатурного листа Q-60- XIV.

Базовое рудное поле расположено в северо-восточных предгорьях хребта Пекульней, на левобережье приустьевой части р. Верх. Тыльпэгыргын правого притока р. Танюрер. Абсолютные отметки здесь составляют 200-400 м, относительные превышения – 100-300 м.

Климат района арктический, резко континентальный. Снежный покров появляется в конце сентября и повсеместно устанавливается к середине октября. Наиболее холодный месяц январь, когда температура падает ниже -50°C . Зима длится около семи месяцев. Интенсивное таяние снегов происходит в начале июня. Лето короткое и дождливое. Самый теплый месяц – июль со средней температурой $+15^{\circ}\text{C}$ и максимальной $+30^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура -10°C . Годовая сумма осадков от 300 до 400 мм. Район расположен в зоне криолитогенеза. Мощность мерзлых пород составляет более 300 м, средняя сезонная глубина оттаивания – 0,3-0,5 м.

Большую часть территории занимает арктическая лишайниковая и моховая тундра, а по берегам крупных рек – кустарниковая тундра с карликовой березкой, ольховником, низкорослой ивой. В долине р. Танюрер встречаются лесные рощи, состоящие из тополя, ивы-чозении, ольхи.

Геологические условия

Моренный молибден-меднорудный узел (площадь 300 км²) (рис. 2) охватывает бассейн р. Верх. Тыльпэгыргын (листы Q-60-VIII, XIV), находится в краевой части Верхнетыльпэгыргынайского поднятия, образованного раннемеловыми коллизионными гранитоидами; с юга по Верхне-Тыльпэгыргынайскому структурообразующему разлому граничит с Пекульнейским поднятием, сложенным позднеюрско-раннемеловыми островодужными геологическими комплексами [18, 24].

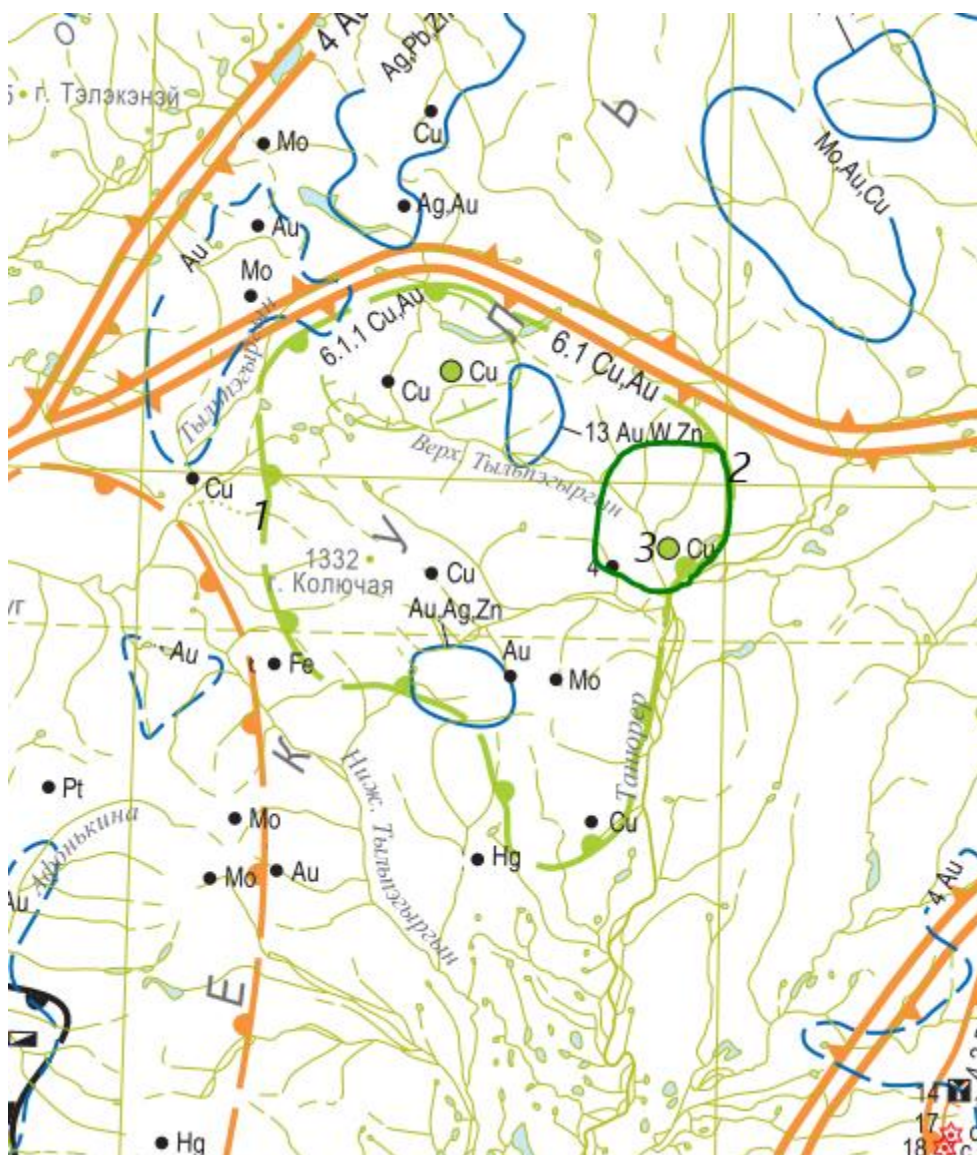


0 20 40 60 80 100 километры

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Площадь работ по объекту: "Поисковые работы на молибден-медно-порфировые руды в пределах Базового рудного поля Моренного молибден-меднорудного узла (Чукотский АО)" | Объекты инфраструктуры
⚡ ТЭС, ДЭС |
| Лицензионные площади:
АНД 01201 БР,
АНД 01219 БР,
АНД 01204 БЭ | Линии электропередач:
—•—•— действующие
—×—×— проектные |
| Граница территории опережающего развития - участок Беринговский | — Стоящаяся автодорога "Омолон-Анадырь с подъездами до Билибино, Комсомольского, Эгвекино" |
| ✈ 222 км Линии воздушных сообщений | — Существующие грунтовые дороги |
| | — Автозимники |
| | — Пути гусеничного транспорта |
| | 200 км Расстояния между пунктами назначений |

Рис. 0. Обзорная карта [18]



1 – Танюерский потенциальный золото-меднорудный район, 2 – Моренный молибден-меднорудный узел, 3 – участок Базовый.

Рис. 2. Вырезка из карты полезных ископаемых (АО «Георегион», Звезда Т.В.)

В геологическом строении узла принимают участие многофазные интрузии танюер-золотогорского габбро-плагиогранит-тоналитового комплекса альбского возраста, прорывающие терригенно-вулканогенные породы грунтовой толщи титона-валанжина; в северной части узла картируются вулканические и интрузивные образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) [19, 24]. В потоках рассеяния рудному узлу соответствует комплексная аномалия с содержанием меди до 0,03 % в ассоциации с молибденом (до 0,003 %), свинцом, серебром. В Моренном узле выделены молибден-меднорудные поля – Базовое (площадь 15 км², лист Q-60-XIV) и Моренное-Ржавое (площадь 38 км², лист Q-60-VIII) с оруденением молибден-медно-порфировой формации. Наиболее перспективным является Базовое рудное поле.

Базовое молибден-меднорудное поле (площадь 15 км²) расположено в юго-восточной части Моренного потенциального рудного узла, на левобережье

приустьевой части р. Верх. Тыльпэгыргын правого притока р. Танюрер. Базовое потенциальное рудное поле сложено интрузивными породами танюрер-золотогорского комплекса, прорывающими терригенно-вулканогенные отложения грунтовой толщи. Рудное поле располагается в центральной части кольцевой тектономагматической структуры, в ядре которой находится рудопроявление меди Базовое, приуроченное к рудоносному порфировому интрузиву кварцевых диорит-порфиритов и тоналит-порфириров в обрамлении зонально-построенного комплексного рудно-метасоматического ореола.

Участок Базовый (площадь 10 км²) (рис. 2) занимает центральную часть одноименного потенциального меднорудного поля. В геологическом строении участка принимают участие вулканогенные породы андезитовидного состава грунтовой толщи и полифазный массив гранитоидов танюрер-золотогорского интрузивного комплекса, сложенный диоритами – габбродиоритами первой фазы и кварцевыми диоритами – гранодиоритами второй фазы. К поздним порфировым фазам этого комплекса – кварцевым диорит-порфиритам и тоналит-порфирам приурочено проявление меднопорфировой минерализации участка. Выходящие на поверхность порфировые тела являются серией сближенных дайкообразных апофиз предполагаемого на глубине более 300 м крупного штокообразного тела кварцевых диоритовых порфириров. В пределах участка выделяются также немногочисленные более поздние дайки. Обнаженность участка плохая. В пределах участка локализован метасоматический ореол размером более 2000×600 м. Ореол фиксируется в геохимических полях крупной аномалией меди и молибдена, к его флангам приурочены геохимические аномалии свинца и цинка [18].

Центральная зона комплексного рудно-метасоматического ореола представлена филлизитами (карбонат-кварц-серицит) с реликтами кварц-полевошпатовых метасоматитов, к этой зоне приурочена главная продуктивная прожилково-вкрапленная (молибденит)-пирит-халькопиритовая минерализация с промышленными или близкими к ним содержаниями меди и попутного молибдена; по данным кернового и бороздового опробования содержание меди здесь колеблется от 0,1 до 1 %, молибдена – от 0,001 до 0,05 %. Центральная филлизитовая зона сменяется промежуточной внутренней пропилитовой зоной (карбонат-кварц-хлорит-серицит), а затем пропилитовой (эпидот-хлорит). Пропилиты характеризуются убогой вкрапленной медьсодержащей халькопирит-пиритовой и магнетитовой минерализацией. В целом, данная метасоматическая зональность отвечает верхнему эрозионному срезу медно-порфировой системы; в приконтактных частях порфирового интрузива установлены минерализованные взрывчатые брекчии, также свидетельствующие о верхнем уровне эрозионного среза. Рудное тело представляет собой штокверк шириной 200-600 м и длиной не менее 1400 м.

В пределах площади исследований были проведены геофизические и геохимические исследования (рис. 3, 4) [18].

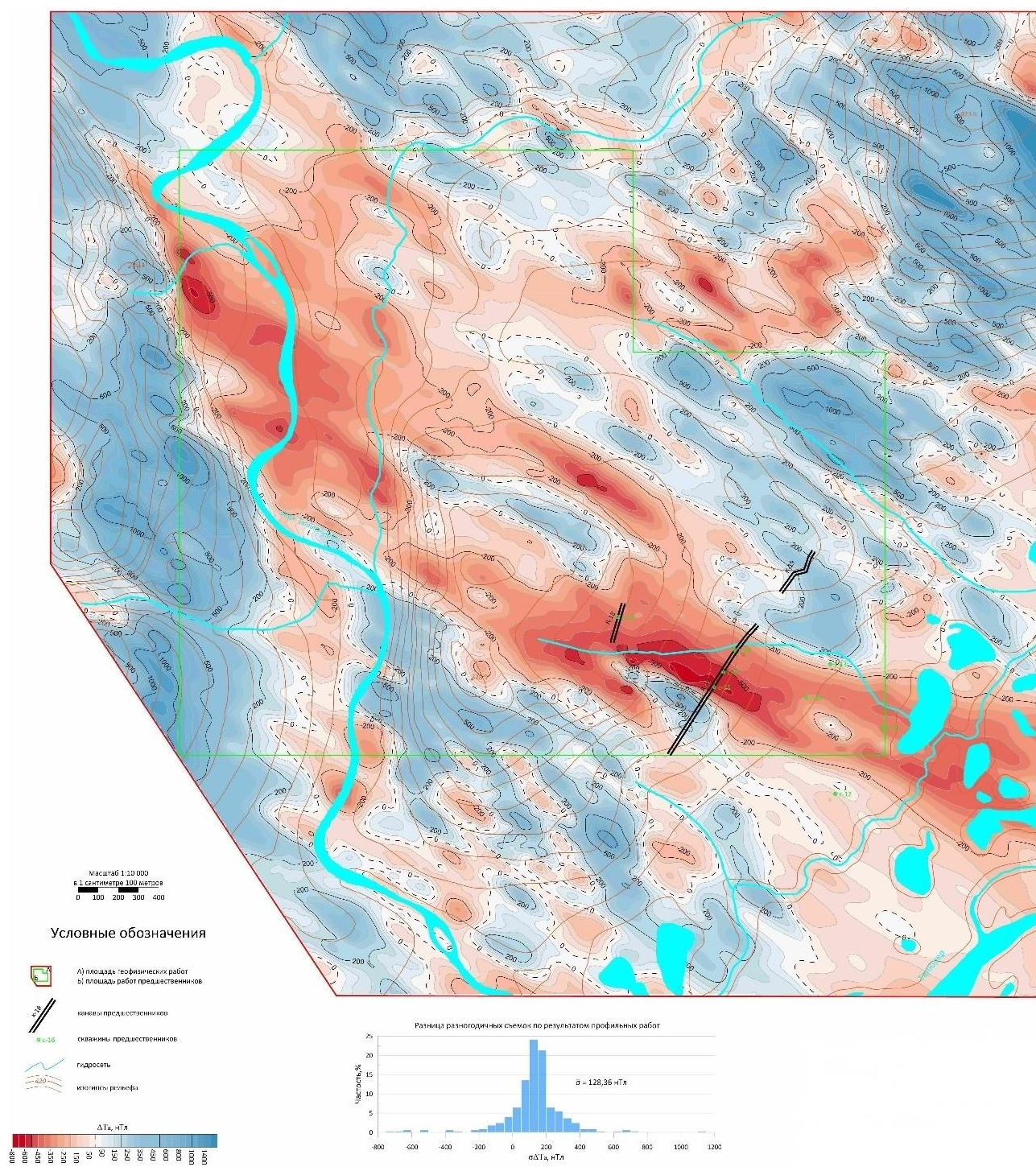


Рис. 3. Карта магнитных аномалий [18]

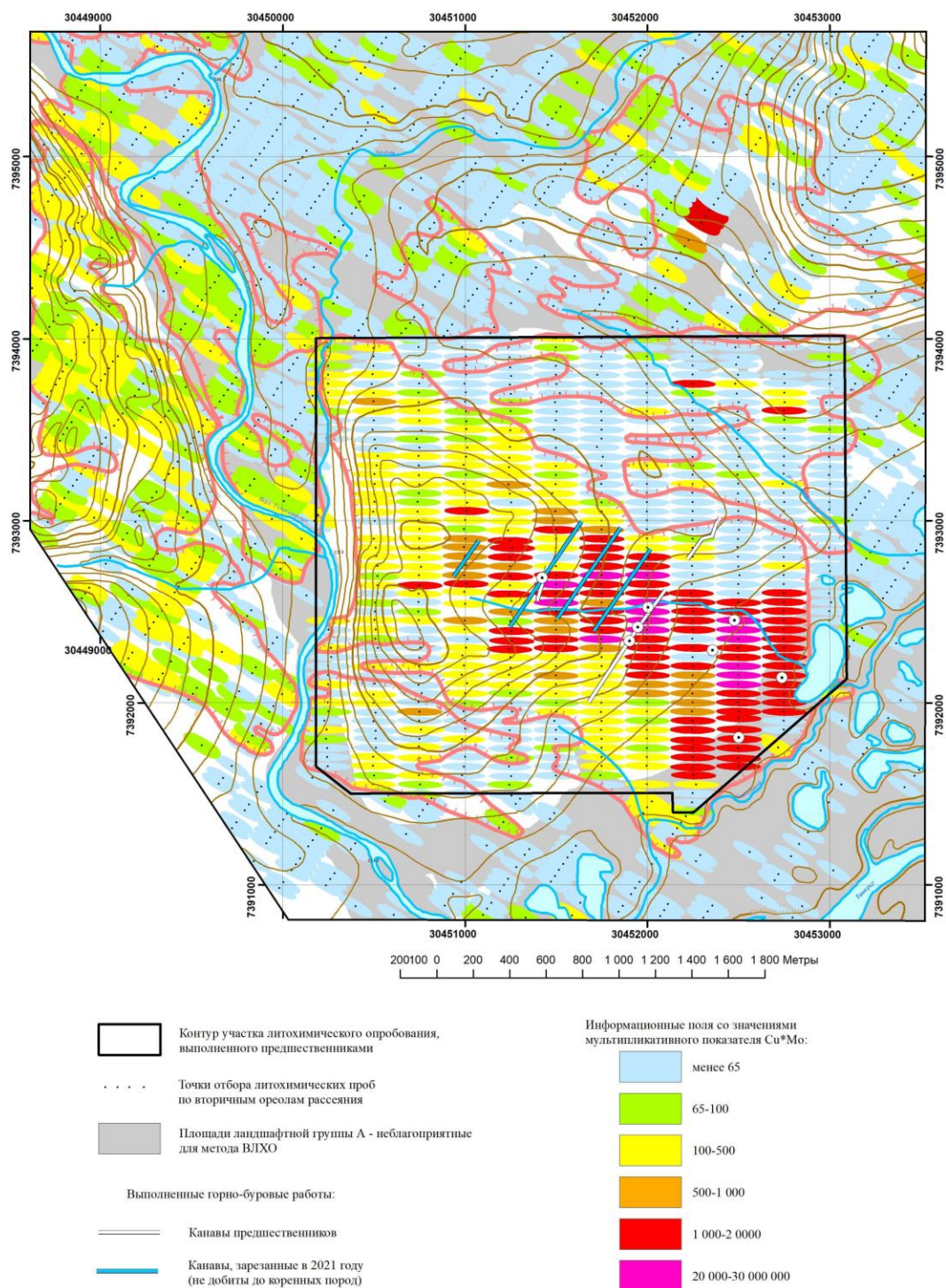


Рис. 4. Литохимические аномалии Cu-Mo во вторичных ореолах рассеяния [18]

Методика исследования

В основе методологии аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) при поисках золота и оценке геодинамической активности: геологическое дешифрирование космических снимков (КС), линеаментно- и ландшафтно-геодинамический анализы [2-17, 20-23].

Основными методами общего геологического дешифрирования было структурно-геоморфологическое дешифрирование КС, которое выполнялось в масштабах 1:500 000, 1:100 000. При проведении дешифрирования выделялись линеаменты – линейные элементы рельефа, имеющие прямую или косвенную

связь с разрывными нарушениями и изменениями геоморфологии, и кольцевые структуры – кольцевые или дугообразные элементы рельефа, имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и глубинными тектоническими структурами.

Основной объект дешифрирования – линеаменты и кольцевые структуры. Методика заключается в выявлении различно ориентированных линеаментов и кольцевых структур с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами.

Визуально были выделены зоны, в которых происходит наибольшее скопление структур или пересечение этих структур друг с другом.

Крупные линеаменты и линеаментные зоны обуславливают пространственное размещение металлогенических зон и рудных районов в их пределах, тогда как рудолокализирующее значение имеют линеаменты высоких порядков.

Результаты исследования

Для исследования территории были использованы современные космоснимки с ресурса Google Earth Pro. При различных масштабах выделялись прямолинейные объекты по водоразделам, руслам рек, временным водотокам, понижениям и повышениям рельефа для масштабов 1:500 000 (рис. 5) и 1:100 000 (рис. 6). Также выделялись кольцевые структуры на регионально-зональной (рис. 7) и детальной (рис. 8) стадиях работ.

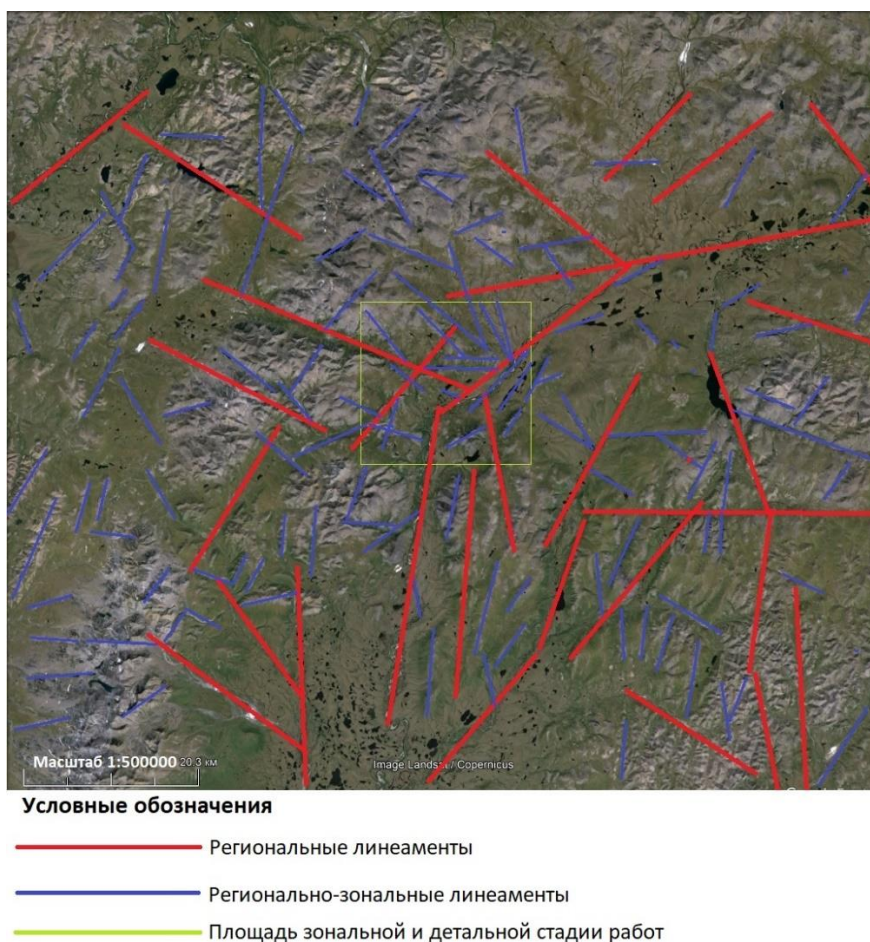


Рис. 5. Линеаменты региональной и регионально-зональной стадии работ

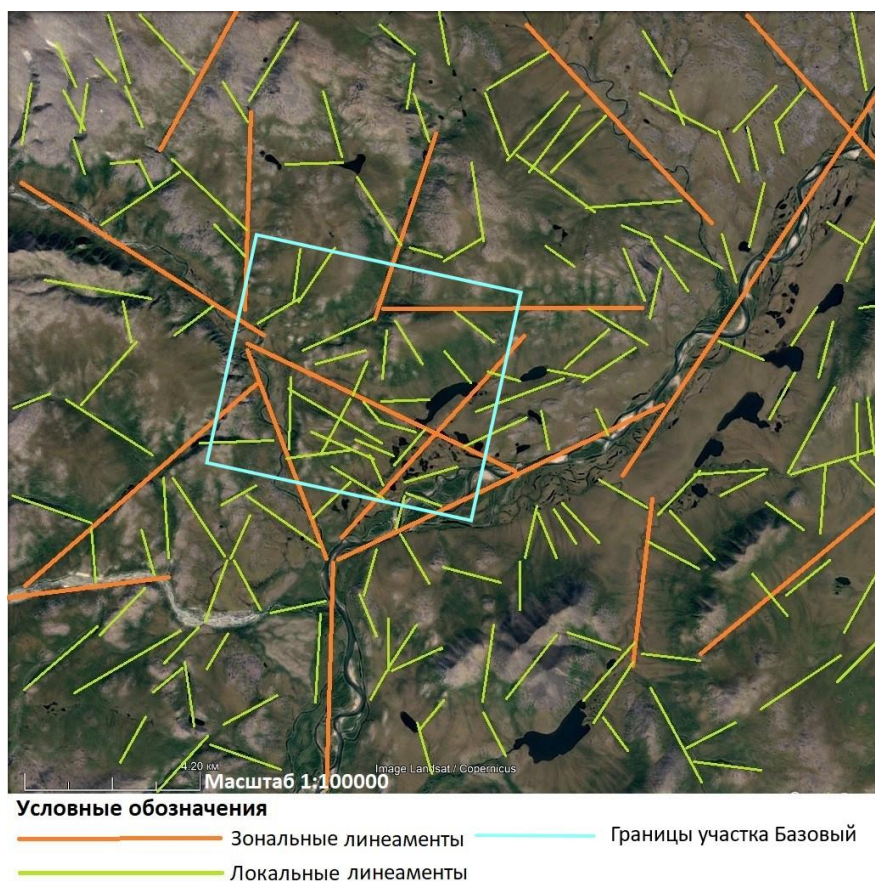


Рис. 6. Линеаменты зональной и детальной стадий работ

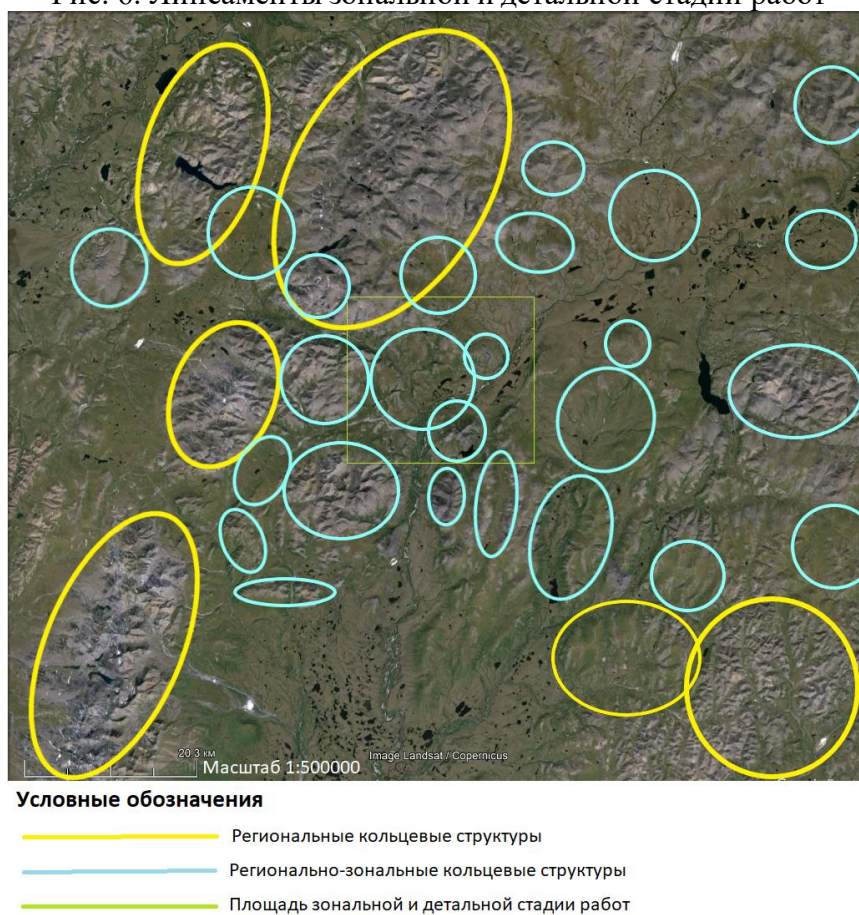


Рис. 7. Кольцевые структуры региональной и регионально-зональной стадии работ

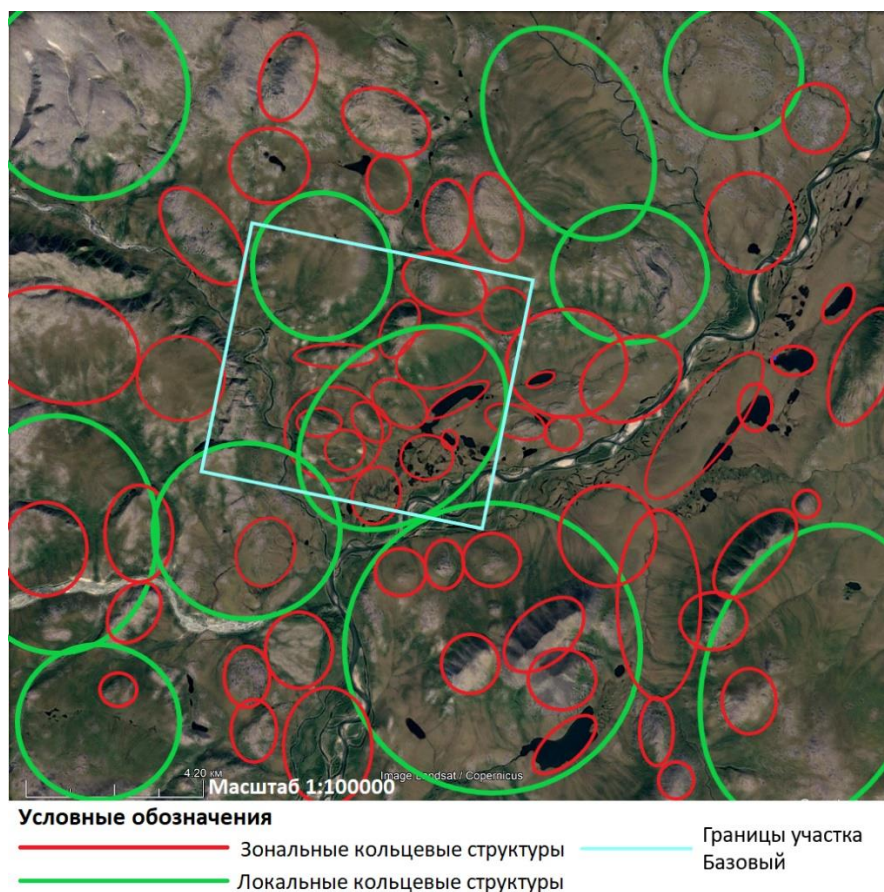
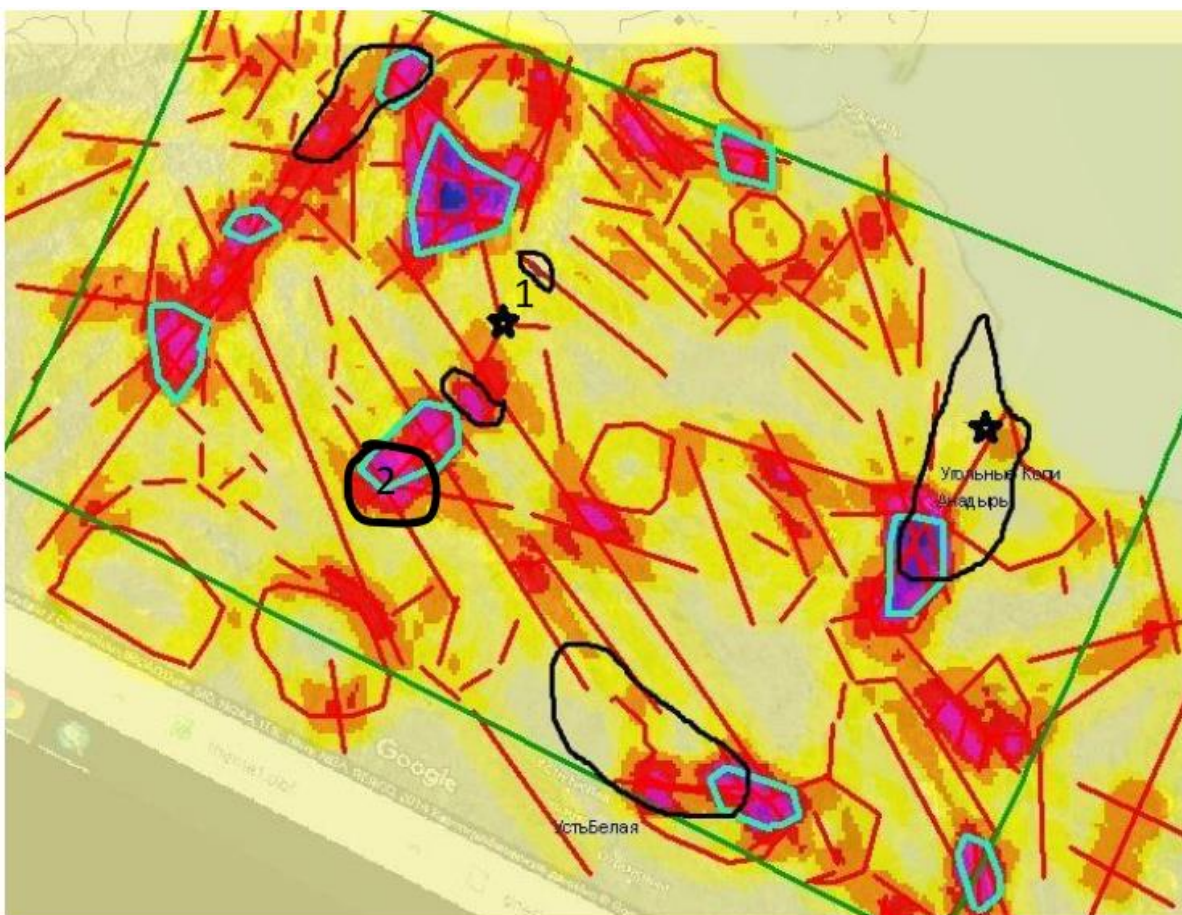


Рис. 8. Кольцевые структуры зональной и детальной стадий работ

При проведении линеаментно-ландшафтно-геодинамического анализа были выделены зоны с концентрацией линеаментов и ландшафтных аномалий (кольцевых структур). При анализе карты плотности линеаментов (рис. 9) четко выделяется Моренный молибден-меднорудный узел, который контролируется линейными и кольцевыми структурами. Особенно четко в пределах этого узла наблюдаются тектонические линеаменты регионально-зонального уровня северо-западного направления и кольцевые структуры разных рангов. Формирование этих структур связано с глубинными магматическими очагами и расположением рудных узлов.

Указанная закономерность (контроль оруденения разломами, ограничивающим вулканотектонические структуры) повторяется, в более крупном масштабе. При более детальном анализе расположения линеаментов и кольцевых структур можно увидеть четкую взаимосвязь с данными магниторазведки (рис. 3) и геохимического опробования по вторичным ореолам (рис. 4).



Золотоносные россыпные узлы (черный контур): 1 – Рудник Валунистый, 2 – Моренный молибден-меднорудный узел. Предполагаемые перспективные рудные узлы (голубой контур).

Рис. 9. Карта плотности линеаментов района и перспективных участков [1]

Заключение

По результатам АКГИ установлены: контроль оруденения линеаментами (разломами) и кольцевыми структурами по дешифрированию КС и пространственные закономерности линеаментных, геофизических и геохимических полей, поэтому 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. Голдырев В.Н., Горковец А.Г. Аэрокосмический анализ золото-серебряного оруденения Валунистого рудного поля (лист Q-60 – Анадырь) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С.148-157.
2. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
3. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С.148-158.
4. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
5. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 2 (15). С. 16-34.

6. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
7. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
8. 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.
9. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 152 с.
10. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
11. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь. 2020. С. 159-166.
12. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Куляндинской площади (Енисейский край) для поисков россытного золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 167-175.
13. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2022. С. 129-143 с.
14. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 95-100.
16. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 77-84.
17. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 145-158.
18. Результаты работ по объекту: «Поисковые работы на молибден-медно-порфировые руды в пределах Базового рудного поля Моренного молибден-меднорудного узла (Чукотский АО) / отв. исп. Углаков Р.Д. АО «Росгеология», АО «СВПГО», ОСП «УГП». 2021.
19. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.
20. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.
21. Шарафан Д.Н., Копылов И.С. Интенсивность развития геокриологических процессов при освоении месторождений золота в районах Крайнего Севера (Чукотка, Баимский ГОК, месторождение золота Песчанка) // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения*. Пермь, 2022. С. 253-265.
22. Kopylov I.S. Estimation of geodynamic activity and its effect on mining-geological conditions and flooding of potassium mines // В сборнике: *Mine Water: Technological and Environmental Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference*. Perm State University, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of RAS. 2019. С. 16-22.
23. 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, Book 1 Vol. 3, 305-312 pp DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.
24. <http://geo.mfvsegei.ru/200k/q-60/q-60-17,18/index.html>.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ ЗОЛОТА НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТКИ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ АМЕТИСТОВОЕ)

Проведено аэрокосмогеологическое изучение месторождения золота Аметистовое на Камчатке в пределах листов Р-58-XXVII и Р-58-XXVIII. Рассмотрены геологические условия для дешифрирования космических снимков. На основе структурного дешифрирования линейно-тектонического анализа выделены перспективные участки для поисков месторождений золота.

Ключевые слова: золото, геологические условия, аэрокосмические методы, дешифрирование, линейно-тектонический анализ, месторождение Аметистовое, Камчатка

G.M. Zhuravlev

Perm State University, Perm, Russia

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS TO SEARCH FOR GOLD ON THE TERRITORY OF KAMCHATKA (AMETISTOVOE DEPOSIT)

An aerospace geological study of the Ametistovoe gold deposit in Kamchatka was carried out within sheets P-58-XXVII and P-58-XXVIII. The geological conditions for interpretation of space images are considered. Based on the structural deciphering of the lineament-geodynamic analysis, promising areas for prospecting for gold deposits have been identified.

Keywords: gold, geological conditions, aerospace methods, deciphering, lineament analysis, Ametistovoe deposit, Kamchatka

Введение

Камчатка – один из ведущих золотодобывающих районов России. В течение последних 30 лет в пределах разновозрастных вулканических поясов Камчатки было выявлено 10 месторождений и более 400 проявлений золото-серебряной формации, объединенных в 6 золоторудных районов: Пенжинский, Ичигин-Уннейваямский, Северо-Камчатский (Оссорский), Оганчинско-Козыревский (Центрально-Камчатский), Восточно-Камчатский, Южно-Камчатский, что позволяет говорить о выделении здесь новой золоторудной провинции. Золото-серебряные месторождения Камчатки слабо освещены в литературе, хотя обобщение результатов проведенных на них поисковых и разведочных работ неоднократно проводилось как камчатскими геологами, так и представителями различных научно-исследовательских институтов, в первую очередь ЦНИГРИ.

Схематические описания отдельных месторождений имеются в сводных работах по вулканогенному рудообразованию, большинство же публикаций ка-

салось лишь отдельных аспектов формирования месторождений (минерального состава, структурного контроля и т.п.). Проблема заключается в установлении условий образования месторождения и его геологическое строение в исследуемом районе [3].

Аэрокосмические методы в настоящее время широко применяются при решении многих геологических задач, т.ч. при поисках золота, где одним из основных объектов дешифрирования являются линеаменты, линеаментные зоны и кольцевые структуры [5, 6, 17-21].

Цель работы: выделение опасных геодинамических зон, структурных элементов земной коры и перспективных участков на поиски золото-серебряных месторождений в районе месторождения «Аметистовое» (Камчатка).

Статья составлена по материалам АО «Аметистовое», где автор работал в 2022 г. в качестве участкового геолога и аэрокосмогеологическим исследованиям автора.

Географическое положение

Месторождение золота «Аметистовое» расположено в пределах тополистов листов Р-58-XXVII и Р-58-XXVIII в северной части полуострова Камчатка в 30 км от Пенжинской губы Охотского моря (рис. 1).



Рис. 1. Карта полуострова Камчатка с месторождением «Аметистовое»

Ближайшими населенными пунктами являются села Тилички (административный центр Олюторского района) и Корф, расположенные (по прямой) в

140 км к юго-востоку от территории месторождения на тихоокеанском побережье в заливе Говена. Административный центр Пенжинского района село Каменское расположено в 180 км к северу от месторождения. Село Тиличики с месторождением связывает зимняя дорога протяженностью 184 км, функционирующая с декабря по апрель. В селе Корф имеется аэропорт, принимающий самолеты типа АН-28, АН-74, АН-24 и все типы вертолетов. Все необходимые грузы завозятся в район до порта Корф морским путем из портов: Петропавловск-Камчатский – 1040 км, Владивосток – 3522 км, Находка – 3378 км.

Территория Пенжинского района имеет разнообразный рельеф, с преобладанием низкогорий с абсолютными высотами 1000-1500 м. Орографически территория района делится на заболоченную равнинную часть Парапольский дол и долину реки Таловка, вытянутые с северо-востока на юго-запад к Пенжинской губе Охотского моря и разделенную Пенжинским хребтом; низкогорья Колямского нагорья (западная часть района) и сильнорасчлененный Корякский хребет и Корякское нагорье в южной и восточной части района, где находится высшая точка района (1766 м.). Район в значительной степени покрыт лесом, особенно западной и северо-западной части. К основным рекам района исследования относятся реки: Куюл, Уйнейваям, Ветвей, Ветроваям, Уйвинываям, Куйвиваям.

Геологические условия месторождения «Аметистовое»

Месторождение «Аметистовое» является вулканогенным эпитермальным золото-серебряным месторождением. Его глобальная тектоническая позиция определяется принадлежностью к Тихоокеанскому вулканическому поясу. Месторождение сложено позднепалеогеновыми (олигоценные – 34-23 млн. лет) диоритовыми порфиритами, спессартитами и андезитами Ичигинского субвулкана, который представлен покровной, экструзивно-жерловой и субвулканической фациями.

Экструзивно-жерловая (рис. 2) и субвулканическая фации являются вмещающими для рудных тел месторождения «Аметистовое», при этом большая и наиболее богатая часть рудных жил тяготеет к интрузивно-жерловым образованиям – спессартитам, андезитовым порфиритам и кварцевым андезитовым порфиритам.

Поздние покровные андезиты Ичигинского субвулкана представлены лавами, кластолавами и туфами андезитов мощностью до 400 м. Они являются экранирующей толщей для промышленного золотого оруденения.

Гидротермально-метасоматические образования в пределах Ичигинского субвулкана представлены обширным полем пропилитов, в пределах которого выделяются участки и линейные зоны сопряженных с оруденением пропилит-адуляровых метасоматитов, кварцитов и золоторудные кварцевые жилы.

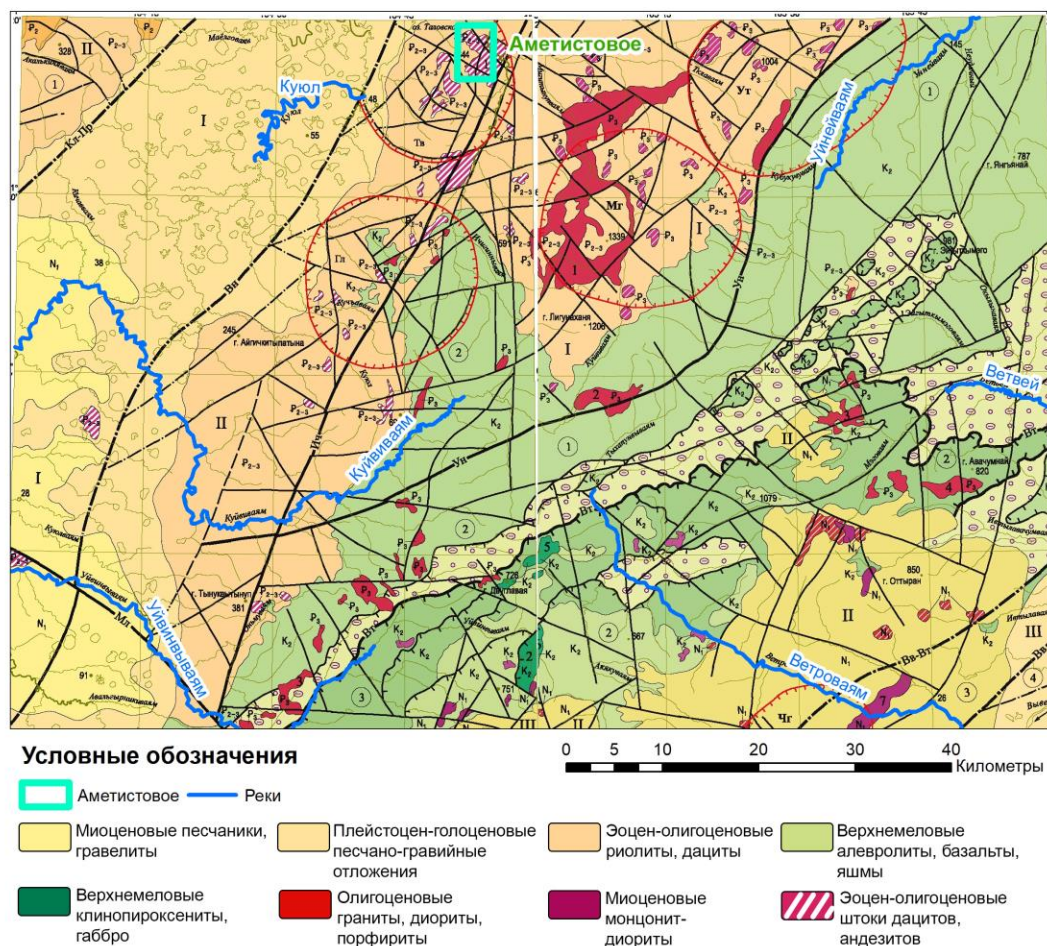


Рис. 2. Тектоническая карта района исследования (уменьшено с 1:500 000) [24, 25]

В целом, золото-серебряное оруденение месторождения «Аметистовое» относится к малосульфидной золото-кварцевой формации [1, 4, 26].

На площади месторождения насчитывается более 80 жил. Отдельные жилы часто образуют пространственно сближенные пучки, группы жил (жильные зоны), контролируемые тектоническими нарушениями. Жильные зоны состоят из 4-6 жил, где 1-2 жилы являются стержневыми с выдержанной мощностью и морфологией. Протяженность стержневых жил колеблется в пределах 300 – 800 м (жилы Чемпион, Ягодка 1, 2, Фантазия 1, 2, 4), достигая в ряде случаев 1000 м (жилы Ичигинская, Изюминка). Наряду со стержневыми жилами, жилные зоны содержат, как правило, 3-4 жилы, локализованные в коротких сколовых и отрывных трещинах. Такие жилы являются оперяющими, иногда субпараллельными, по отношению к стержневым жилам (рис. 3) [2, 22, 23].

Методика исследований

В методологическом плане проводился комплекс аэрокосмогеологических исследований (АКГИ), включающий: анализ геологических условий и отображение их на космических снимках (КС) с дальнейшей обработкой данных и проведением линеаментно-геодинамического анализа [5-21].



Рис. 3. Карьер «Юг-1», разработка жилы «Чемпион»

Основным методом было структурное дешифрование КС в разных масштабах: 1:500 000, 1:200 000 – 1:100 000, 1:50 000 – 1:25 000 (рис. 4).

При проведении дешифрования выделялись линеаменты – линейные элементы рельефа, имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре.

При анализе дешифрируемых КС применялся комплексный линеаментно-геодинамический метод [7-12], в ходе которого строилась карта плотности линеаментов, по которой выделяются геодинамические активные зоны. По выделенным критериям золотоносности выделялись перспективные зоны. Основными показателями геодинамической активности участков россыпей золота являются повышенная плотность линеаментов и эрозионная (горизонтальная и вертикальная) расчлененность рельефа.

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

1) линеаментные зоны указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;

2) узлы пересечения линеаментов: при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы; считается, чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений золота;

3) золото-серебряное оруденение на месторождении Аметистовое в основном приурочено к интрузивным образованиям дацит, андезит-порфири-тового состава.

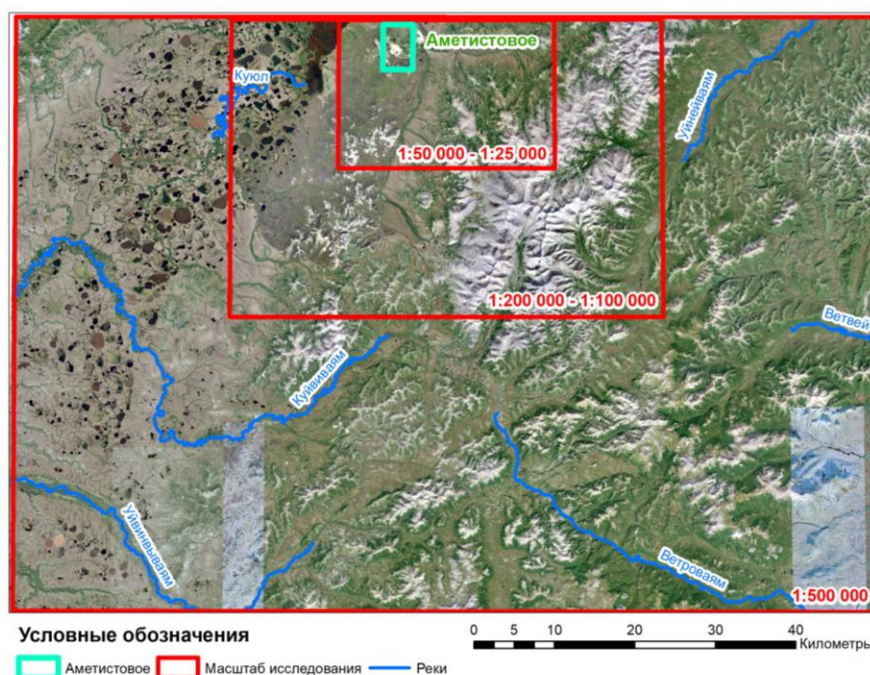


Рис. 4. Космоснимок района исследования с участками изучения в различных масштабах (уменьшено с 1:500 000)

Результаты исследований

Для исследования территории были взяты космоснимки и цифровые модели рельефа. Изображения обрабатывались в программном обеспечении ArcGIS. При различных масштабах, используя инструменты программы выделялись прямолинейные объекты по водоразделам, руслам рек, понижениям и повышениям рельефа на различных стадиях (масштабах), карты линеаментов для масштабов 1:500 000, 1:200 000 – 1:100 000 и 1:50 000-1:25 000 представлены на рисунках 5, 6, 7 соответственно. Затем было построено поле плотности линеаментов для масштабов 1:200 000 – 1:100 000 (рис.6) и 1:50 000-1:25 000 (рис. 7).

Количество линеаментов, выделенных при дешифрировании указано в таблице 1:

Таблица 1

Результаты дешифрирования

Стадия работ	Масштаб дешифрирования	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов
Региональная	1:500000	16,0-94,7	23
Зонально-региональная	1:200000	2,6-16,0	189
Зональная	1:100000	1,3-2,6	50
Детальная	1:50000	1,0-2,7	85
	1:25000	0,2-1,0	271
Итого			618

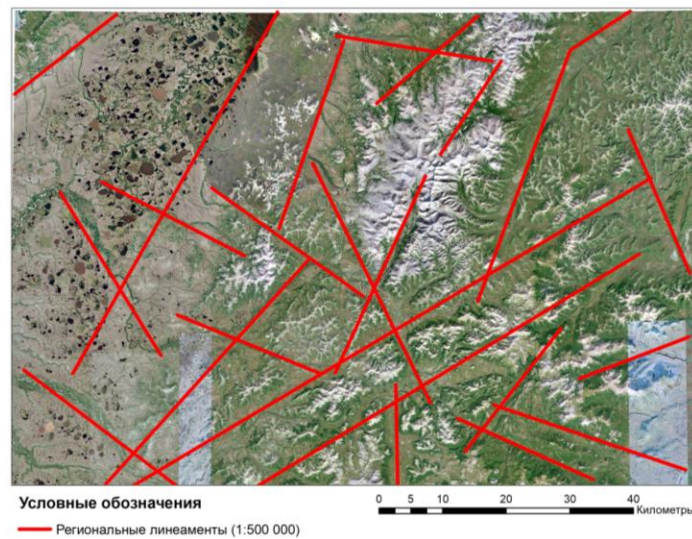


Рис. 5. Линеаменты региональной стадии работ (уменьшено с 1:500 000)

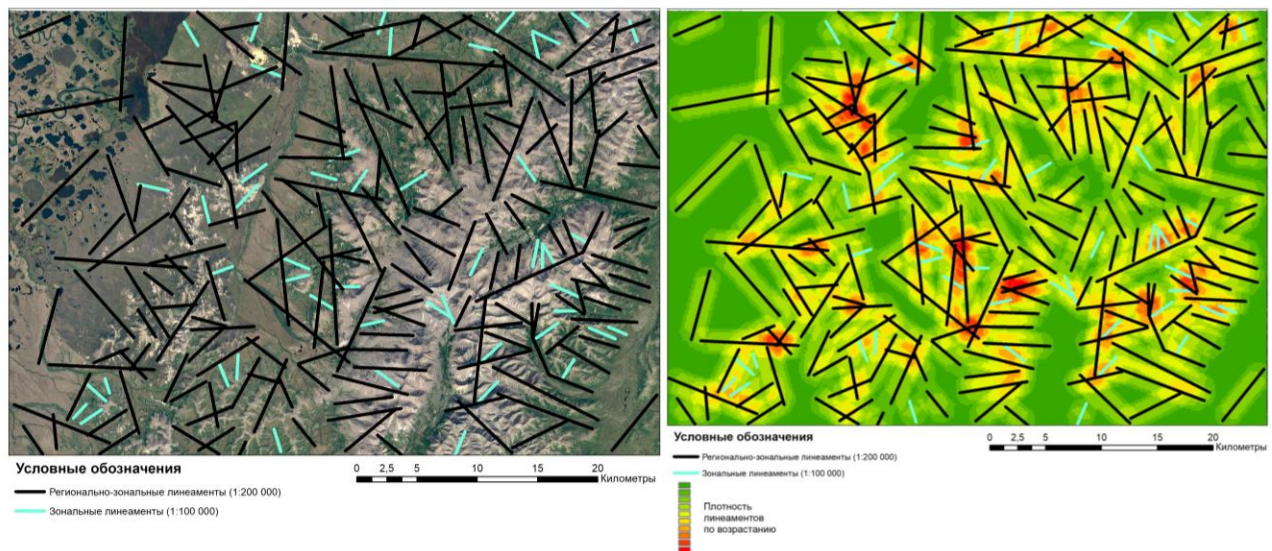


Рис. 6. Линеаменты и поле плотности линеаментов регионально-зональной и зональной стадии работ (уменьшено с 1:250 000)

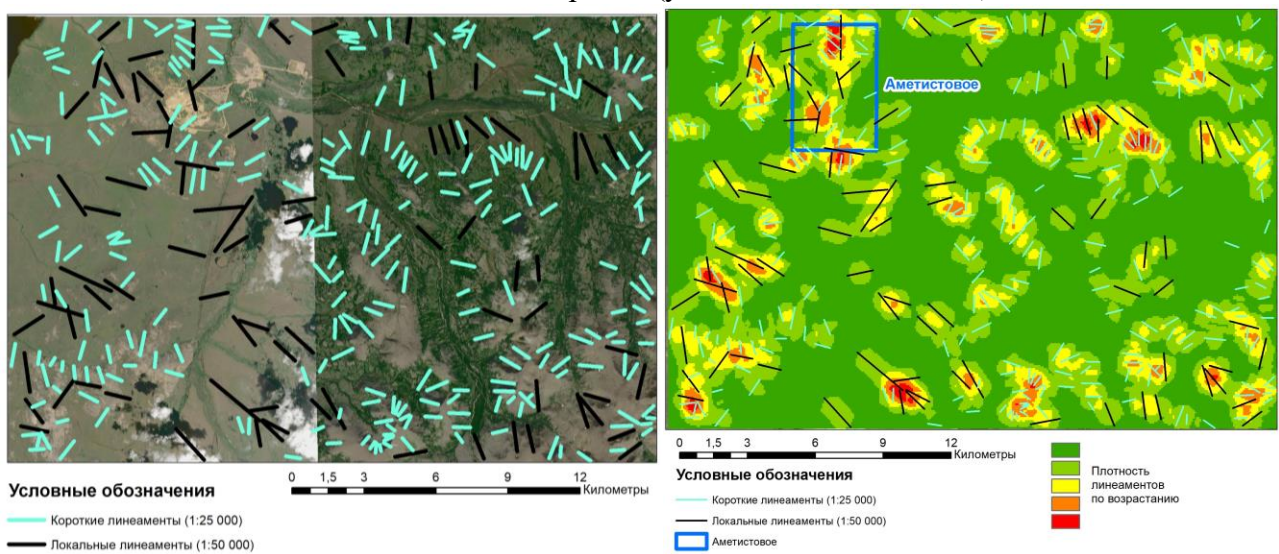


Рис. 7. Линеаменты и поле плотности линеаментов детальной стадии работ (уменьшено с 1:150 000)

Аэрокосмогеологический анализ

Пространственный анализ при наложении линеаментов на тектоническую схему карты, показывает, что крупные прямолинейные структуры частично совпадают с тектоническими структурами, что подтверждает указанное на схеме тектоническое строение территории и показывает возможные не выделенные ранее тектонические нарушения (рис. 8).

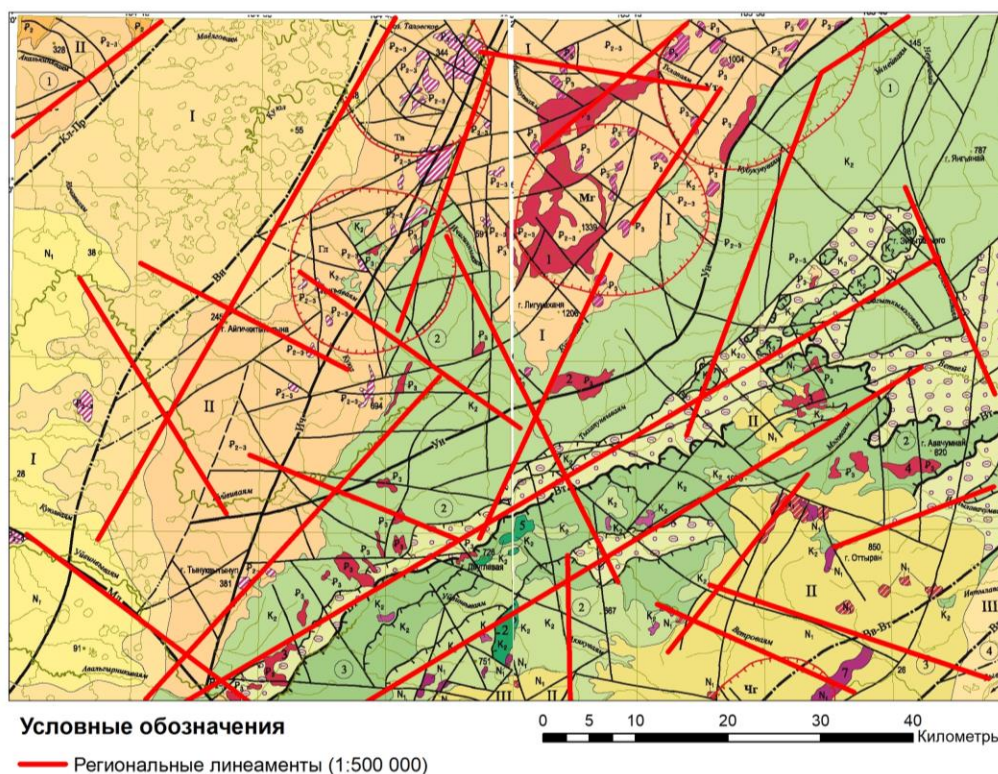


Рис. 8. Основные линеаментные зоны совмещенные с тектонической картой (уменьшено с 1:500 000)

Однако некоторые линеаменты не совпадают с тектоническими нарушениями, отмеченные на тектонической карте, вероятно свидетельствуют о неотектонической активности на этих участках.

Характерно наличие участков с повышенной и высокой плотности линеаментов в районе месторождения Аметистовое, отмеченных красным цветом на карте плотности.

При совмещении результатов линеаментного анализа, построения карты плотностей тектонической трещиноватости и геологических поисковых признаков, можно выделить основной комплексный поисковый признак для поиска перспективных участков золото-серебряных оруденений. А именно наличие высоких плотностей линеаментов и дацит-андезит-порфирировых интрузий могут говорить о точном местоположении оруденения (рис. 9, 10).

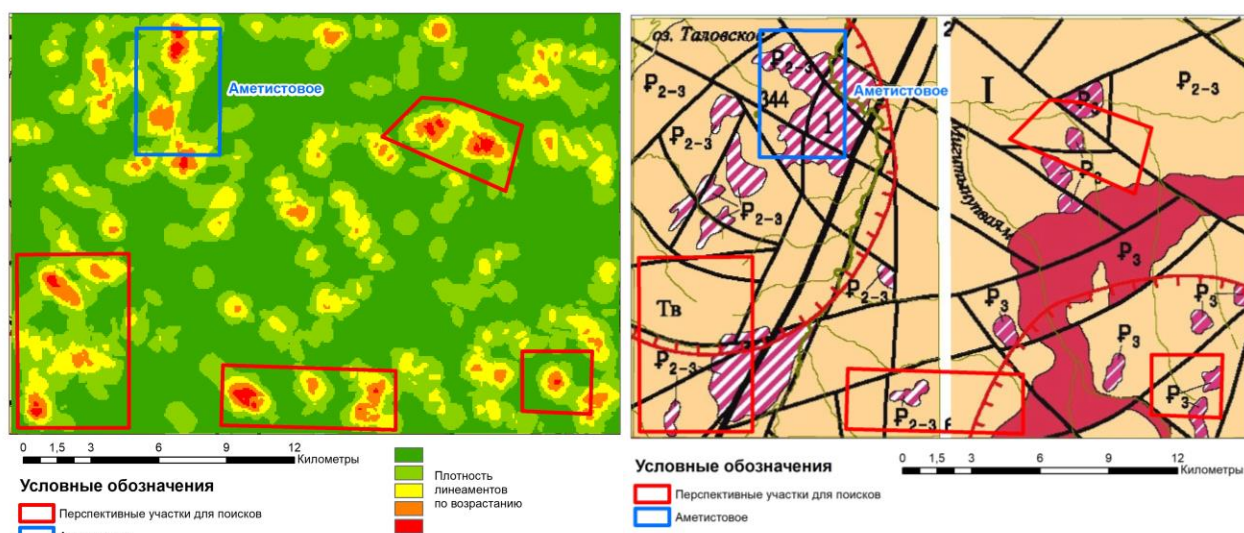


Рис. 9. Перспективные участки на карте плотностей тектонической трещиноватости и тектонической карте (уменьшено с 1:150 000)

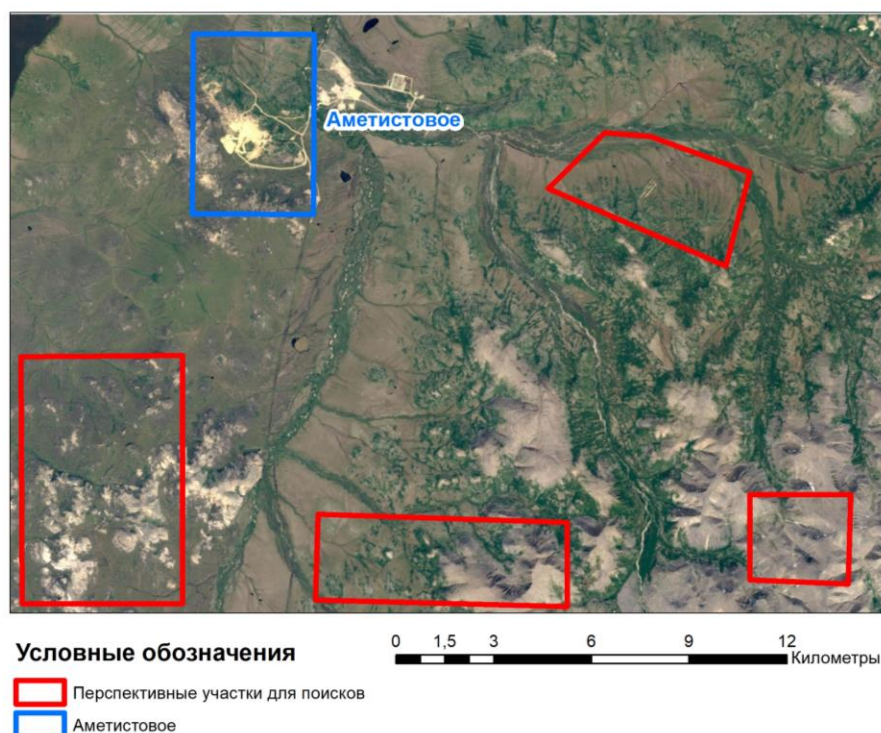


Рис. 10. Карта новых перспективных участков на космоснимке (уменьшено с 1:150 000)

Заключение

Проведены аэрокосмогеологические исследования в границах листов гос-геолкарты-200 Р-58-XXVII и Р-58-XXVIII на территории Пенжинского района Камчатского края. Выделено 618 прямолинейных тектонических нарушений разного ранга. Они формируют геоактивные зоны, которые м.б. некоторые м.б. опасными участками с геодинамической (неотектонической) активности при разработке месторождений золота.

По аналогии с эталонными геологическими условиями месторождения Амелистовое были определены 4 новые перспективные участки для проведения поисковых работ, которые в основном приурочены к участкам совмещения вы-

сокой плотности коротких и локальных трещин земной коры с дацит-андезит-порфиритовыми интрузиями.

Библиографический список

1. Василевский М.М., Тарасенко Т.В., Харченко Ю.И., Кутыев Ф.Ш. Вулканы как индикаторы долгоживущих магматических и металлогенических центров. Геодинамика, магмообразование и вулканизм. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 168-174.
2. Зайцев В. П. Эволюция рудно-магматической системы золото-серебряного месторождения // Тезисы докладов к совещ. «Научные принципы прогнозирования эндогенного оруденения в Восточно-Азиатских вулканических поясах СССР». 1988. С. 125-126.
3. Золоторудные месторождения России / Под ред. М. М. Константинова. М., 2010. 365 с.
4. Константинов М. М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. М., Недра, 1984. 164 с.
5. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
6. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С.148-158.
7. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
8. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
9. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.
10. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
11. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазовых регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
13. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь. 2020. С. 159-166.
14. Копылов И.С., Коврижных С.Б., Наумова О.Б., Попов А.Г. Аэрокосмические методы в геологии – учебнометодический курс в Пермском университете // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 101-111.
16. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Кукляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 167-175.
17. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С.129-143 с.
18. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
19. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
20. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.

21. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
22. Прогнозно-поисковый комплекс на золото-серебряное оруденение Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Ред. М. М. Константинов. СВКНИИ ДВО СССР, Магадан, 1989. 116 с.
23. Русинова О.В., Лисицин ВК, Бочек ЛИ. Слоистые силикаты окорудных пород одного из золототеллуридных рудопроявлений. Зап. ВМО, вып 1. Л., Наука, 1984. С. 61-68.
24. Селиванов М.Т., Дмитришин А.Я., Еремина Т.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Корякская. Лист Р-58-XXVII (р. Куйвиваям). М.:МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2020.
25. Селиванов М.Т., Дмитришин А.Я., Еремина Т.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Корякская. Лист Р-58-XXVIII (р. Ветроваям). М.:МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2020.
26. Щепотьев ЮМ. Вартамян СС, Орешин В.В., Гузман Б.В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана ЦИИГРИ. 1989 244 с.

И.С. Копылов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ПОЛИМЕТАЛЛОВ И ЗОЛОТА НА ПРИПОЛЯРНОМ УРАЛЕ (ХМАО-ЮГРА)

Проведены аэрокосмогеологические исследования на Приполярном Урале в пределах Тыкотловской площади прогнозно-поисковых работ на медно-полиметаллические золотосодержащие руды (медь, свинец, цинк, золото). Выполнено разномасштабное дешифрирование космических снимков (от 1:1 000 000 до 1:25 000). Проведен линеаментно-геодинамический анализ, установлено 3373 неотектонических линеаментов разных рангов. Дана характеристика и оценка геодинамической активности территории. Выделены перспективные участки на медно-полиметаллические золотосодержащие руды в пределах Тыкотловской площади по геодинамическим (неотектоническим) критериям.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые работы, золото-полиметаллическая руда, аэрокосмические методы, дешифрирование космических снимков, линеаменты, перспективные участки, Тыкотловское рудопроявление, Приполярный Урал, Россия.

I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

APPLICATION OF AEROSPACE METHODS IN SEARCHING FOR POLYMETALS AND GOLD IN THE POLAR URALS (KHMAO-YUGRA)

Aerospace geological studies were carried out in the Subpolar Urals within the Tykotlovskaya area of forecasting and prospecting for copper-polymetallic gold-bearing ores (copper, lead, zinc, gold). Multi-scale interpretation of space images (from 1:1,000,000 to 1:25,000) was performed. A lineament-geodynamic analysis was carried out, 3373 neotectonic lineaments of different ranks were identified. The characteristic and assessment of geodynamic activity of the territory is given. Prospective areas for copper-polymetallic gold-bearing ores have been identified within the Tykotlovskaya area according to geodynamic (neotectonic) criteria.

Key words: predictive and prospecting works, gold-polymetallic ore, aerospace methods, interpretation of satellite images, lineaments, prospective areas, Tykotlovskoe ore occurrence, Subpolar Urals, Russia.

Введение

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) выполняют важную геологическую задачу в комплексе поисков и оценки ресурсов медно-полиметаллических золотосодержащих руд на Урале, что в свою очередь является важной стратегической геологической и экономической задачей в России. Приполярный Урал до сих пор остается относительно слабо изученной территорией в виду сложного геологического строения и труднодоступности для изучения [2, 12].

Целью исследований являлось обеспечение в общем комплексе прогноз-но-поисковых работ на Тыкотловской площади на медно-полиметаллические золотосодержащие руды (медь, свинец, цинк, золото) космогеологическими данными.

Одним из видов АКГИ является линеаментно-геодинамический анализ, при котором выявляются геодинамические активные зоны [7, 10, 11]. Известно, что золотосодержащие руды, залегающие на относительно небольших глубинах, контролируются системами геоактивных тектонических нарушений, которые достаточно надежно выделяются при дешифрировании космоснимков [4, 5, 13-18].

Территория исследований расположена на восточном склоне северной части приполярного Урала, в бассейнах верховий рек Большая и Малая Тыкотлова (рис. 1). Площадь детальных исследований 96,5 км² в пределах листов Q-41-87-Г, Q-41-88-В, Q-41-99-Б); Березовский район Ханты-Мансийского автономного округа-Югры Тюменской области.

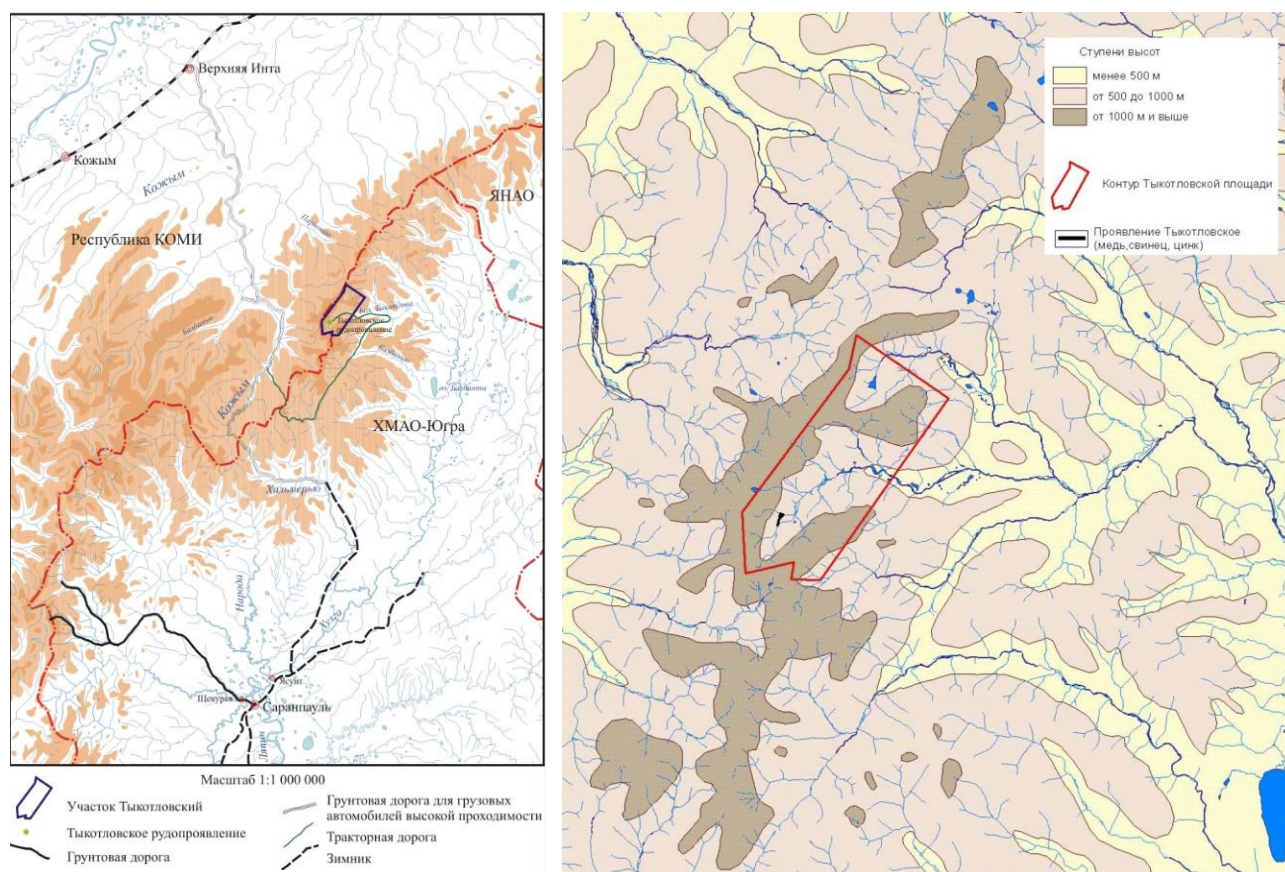


Рис. 1. Обзорная [1] и физико-географическая схема Тыкотловской площади

Геологическая изученность, история открытий месторождений полезных ископаемых на Урале в т.ч. – золота, алмазов, полиметаллов и др. описана в многочисленных публикациях и геологических отчетах. Непосредственно на Тыкотловской площади геолого-геофизические, геохимические исследования, геологосъемочные и поисковые работы в разные годы проводили многие организации и подразделения «Главтюменьгеология», «Полярноуралгеология»,

ОАО «НПЦ Мониторинг», Пермского университета (ПГНИУ), ООО «Геолойн», ОАО «Геокарта-Пермь», ПГНИУ и др. [1, 19, 20].

В данной статье изложены результаты аэрокосмогеологических исследований на Тыкотловской площади, проведенные автором по договору с ОАО «НПЦ Мониторинг» (Ханты-Мансийск) [12].

Геологические условия

Тыкотловская площадь располагается на Приполярном Урале в пределах Лемвинского аллохтона. Установлены [1] четыре тектонические пластины, сложенные осадочно-вулканогенными образованиями ордовика (рис. 2). Снизу вверх залегают: кокпельская свита (O_{1kk}), грубеинская свита (O_{1-2gr}), тыкотловская свита (O_{2-3tk}), вмещающая Тыкотловское золото-полиметаллическое рудопроявление. Силлы метадолеритов и пикритов относятся к Орангьюганско-лемвинскому комплексу ($\omega-v\beta O_{1-3ol}$) [12] (рис. 2).

Все геологические образования изменены в зеленосланцевой фации, а породы аллохтонов в зонах сместителей – в эпидот-амфиболитовой фации. В тыкотловской свите установлена золото-полиметаллическая рудоносная зона длиной 16 км, средней шириной – 0,7 км.

В пределах зоны выявлены два рудных поля (Тыкотловское и Петравожское), соответствующие одноименным палеовулканическим постройкам. На Тыкотловском рудном поле выделен Тыкотловский, а на Петравожском рудном поле – Петравожский участки, перспективные на золото-полиметаллические руды, с прогнозными ресурсами основных и попутных компонентов категории P_2 .

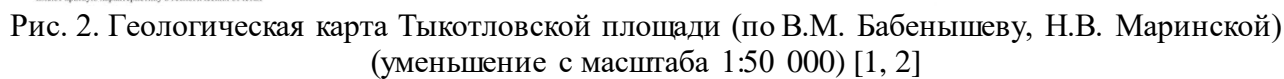
Наиболее перспективным участком на золото-полиметаллические руды является Тыкотловский, вмещающий одноименное рудопроявление. Золото-полиметаллическое оруденение приурочено большей частью к покрову (160-200 м) эффузивных метасоматически-измененных риолитов, в верхней части с линзами измененных органогенных известняков (биогермов) с фауной кораллов *Sogdianophyllum sp.* и мшанок. Риолиты перекрыты сланцами по алевропелитам. Выявлено 7 стратиформных зон оруденения с рудными залежами [1].

Методика и результаты исследований

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на Тыкотловской площади проводились в общем комплексе прогнозно-поисковых работ с целью обоснования перспективных участков на медно-полиметаллические золотосодержащие руды (медь, свинец, цинк, золото).

Методология исследований включала:

- проведение разномасштабного дешифрирования космических снимков (КС) с выделением зон тектонической трещиноватости по линеаментам и кольцевых структур по ландшафтным аномалиям [6-9];



- оценка геодинамической активности территории и отдельных объектов [10, 11];

- обоснование перспективных участков на медно-полиметаллические золотосодержащие руды в пределах Тыкотловской площади по геодинамическим (неотектоническим) критериям.

Основные задачи дешифрирования КС – выявление сети прямолинейных и дугообразных линеаментов трещинно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента, необходимых для установления их вероятной контролирующей и распределяющей роли в формировании рудных формаций, тел и месторождений, а также выявления геоактивных участков (зон повышенной трещиноватости и неотектонической активности) – вероятных мест переотложенных и смещенных рудных тел.

Космогеологическое дешифрирование проводилось в компьютерном варианте с применением ГИС-технологий по авторской методике [3, 7]. Применялись цифровые спектрзональные КС (Landsat 7, 8 с разрешением 30 и 14 м), (рис. 3).

На первом этапе, на территориях, охватывающей Тыкотловскую площадь проведено обзорное, региональное, регионально-зональное и зональное дешифрирование КС с целью выявления и ранжирования протяженных линеаментов и изучения параметров регионального поля мегатрещиноватости.

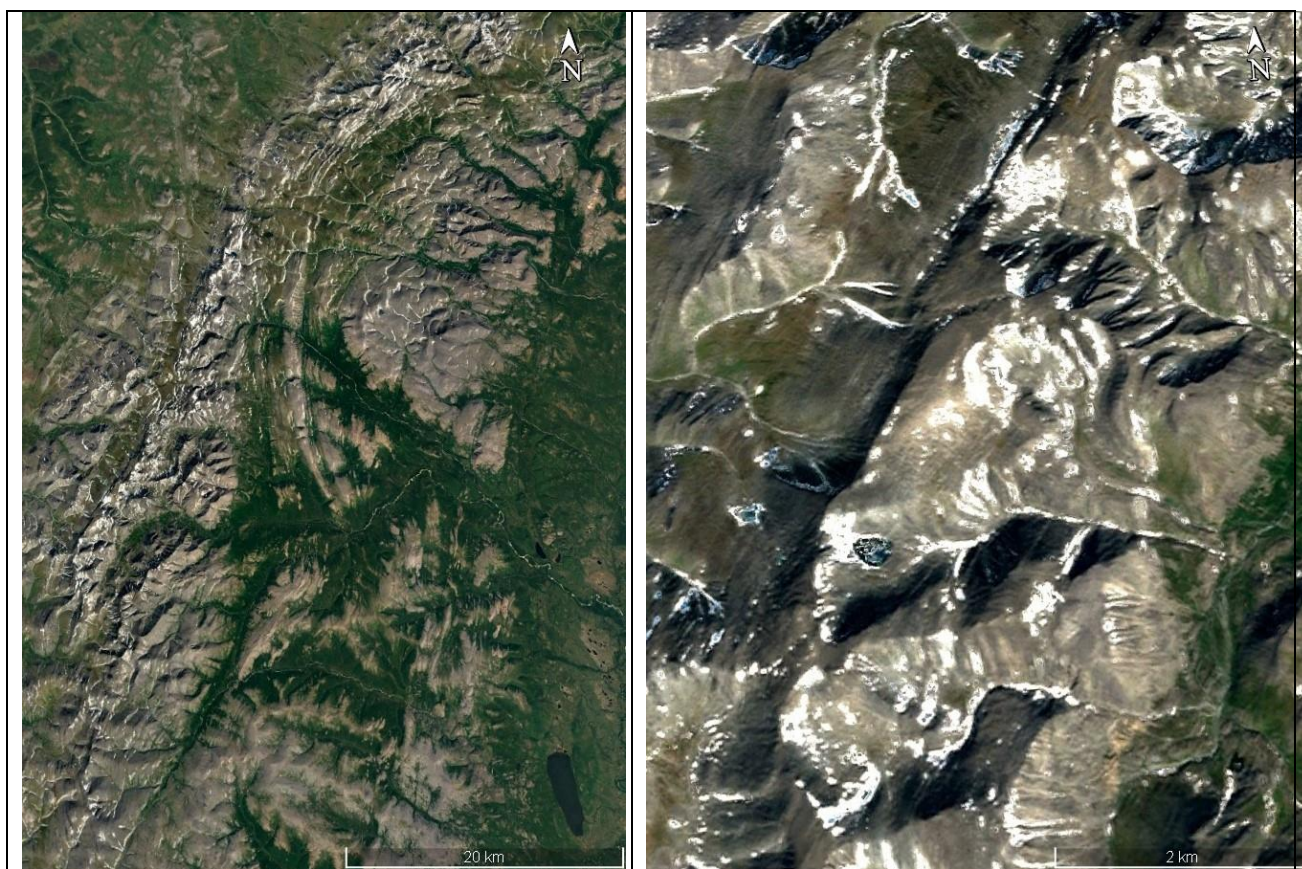


Рис. 3. Космоснимки Тыкотловской площади

Масштаб дешифрирования КС от 1:1 000 000 до 1:25 000. Основной рабочий масштаб дешифрирования 1:100 000 (рис. 4). Результаты дешифрирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты дешифрирования космических снимков на Тыкотловской площади

Стадия и масштаб работ	Ранги линеamentов	Протяженность линеamentов, км	Количество линеamentов
Обзорная 1:1 000 000	Региональные	100-200	3
Региональная 1:500 000	Зональные	30-50 (до 100)	6
Регионально-зональная 1:200 000	Локальные	5-15 (до 30)	26
Зональная 1:100 000	Короткие (1-го порядка)	2-3 (до 10)	200
Детальная 1:50 000	Короткие (2-го порядка)	0,5-1 (до 2)	624
Детальная 1:25 000	Короткие (3-го порядка)	0,2-0,5	2514
Итого			3373

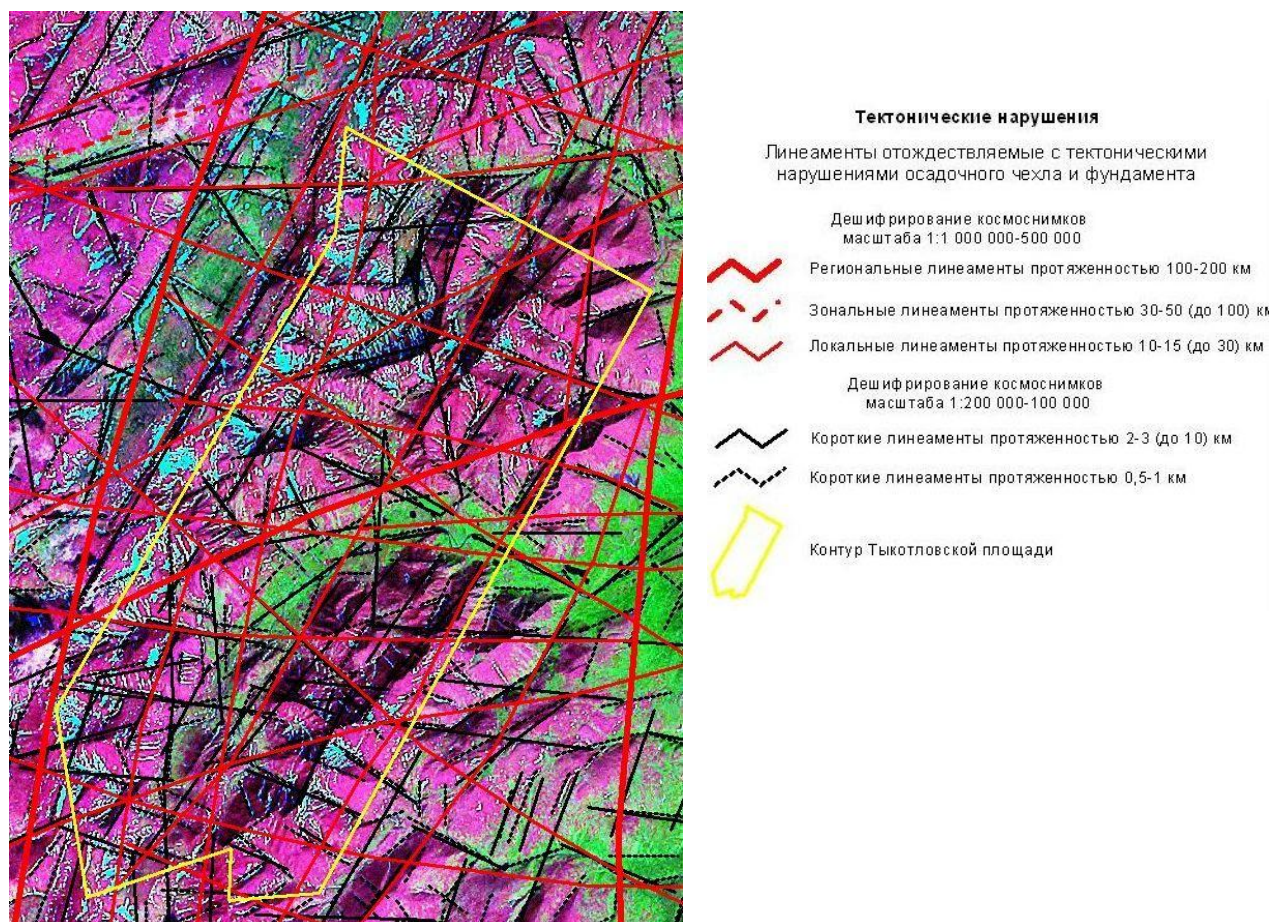


Рис. 4. Фрагмент карты дешифрирования космических снимков Тыкотловской площади масштаба 1:100 000

По результатам обзорного, регионального, регионально-зонального и зонального дешифрирования (М.1:1 100 000-100 000) на площадь 25 x 25 км (с обзором) построена карта линеamentного поля (рис. 5), на которой отражены: 3 региональных линеамента (100-200 км), 6 зональных линеамента (30-50, до 100 км), 26 локальных линеаментов (5-15, до 30 км), 200 коротких линеаментов (2-3 до 10 км), 624 коротких линеаментов (0,5-1, до 2 км).

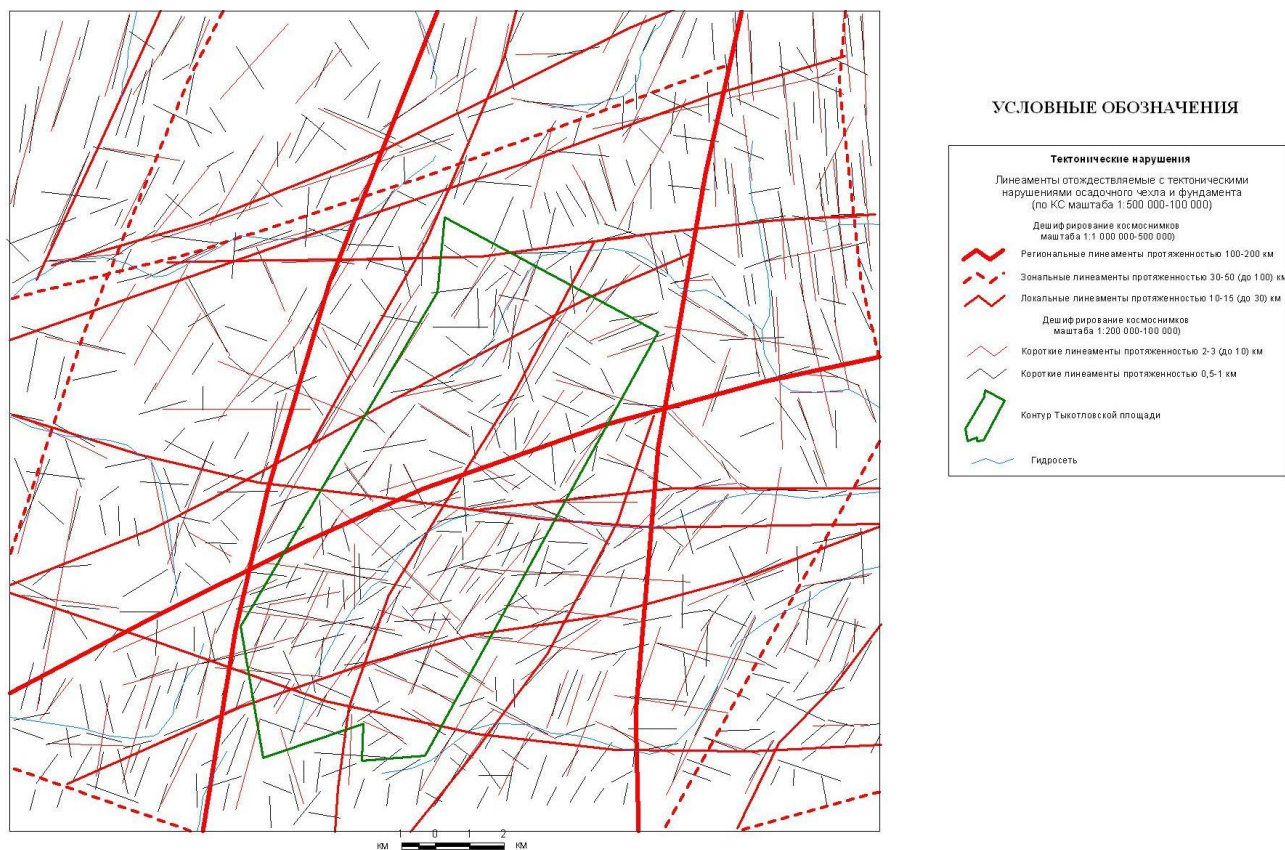


Рис. 5. Линеamentное поле Тыкотловской площади. Масштаб 1:100 000

Проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости (по их протяженности на единицу площади) с оценкой геодинамической (неотектонической) активности территории (рис. 6). Обработка проводилась с применением модуля Spatial Analyst. Геоинформационное картографирование проводилось программными средствами Arc View GIS и Arc GIS.

Ранжирование геодинамической активности по плотности линеаментов проводилось по градациям с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности (выделялось 6 градаций с учетом среднего арифметического – « x » и стандартного отклонения – « s »): 1 балл (очень низкая) $< (x-s)$; 2 балл (низкая активность) $-(x-s) \div x$; 3 балл (средняя активность) $- x \div (x+s)$; 4 балл (повышенная активность) $-(x+s) \div (x+2s)$; 5 балл (высокая активность) $-(x+2s) \div (x+3s)$; 6 балл (очень высокая активность) $> (x+3s)$.

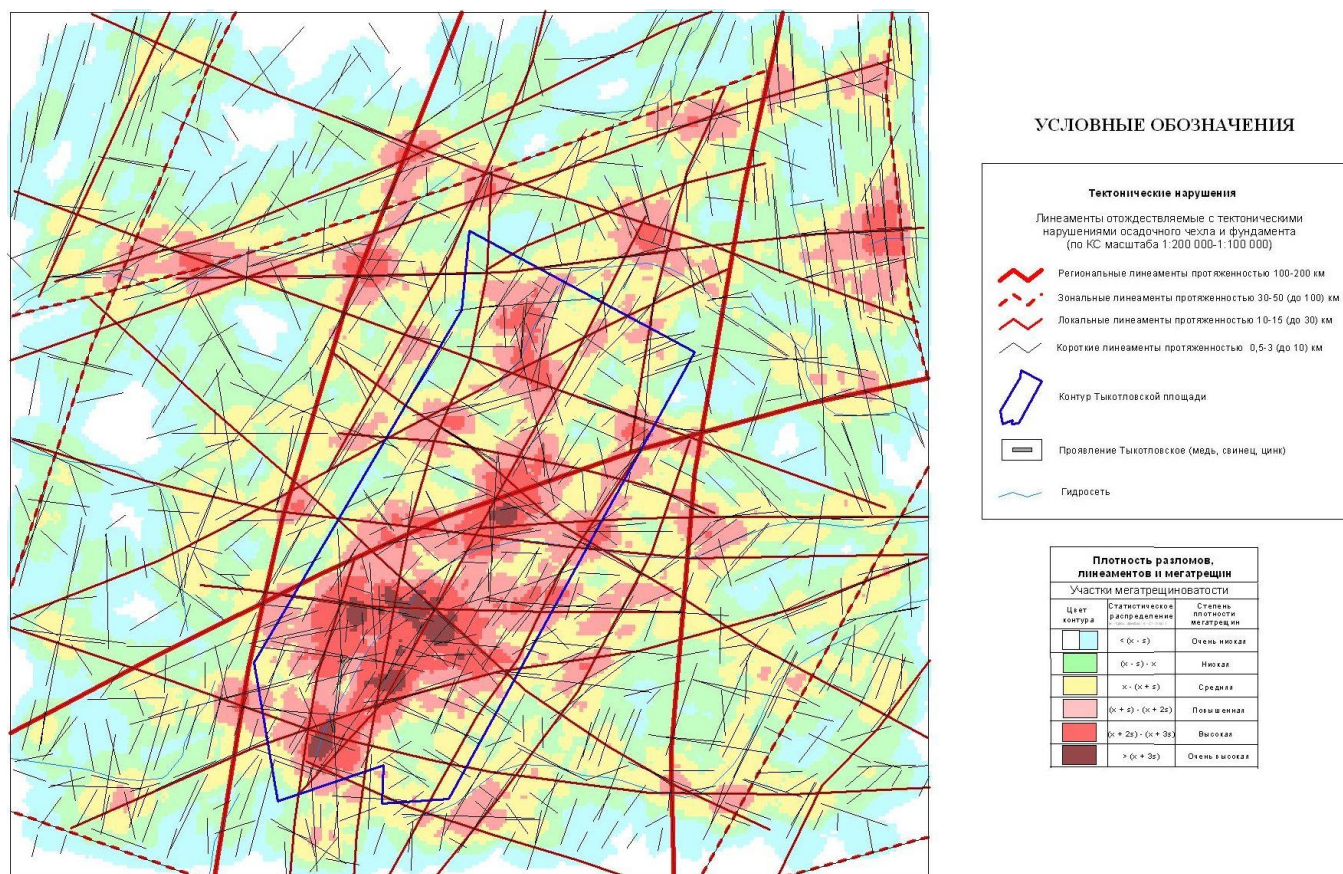
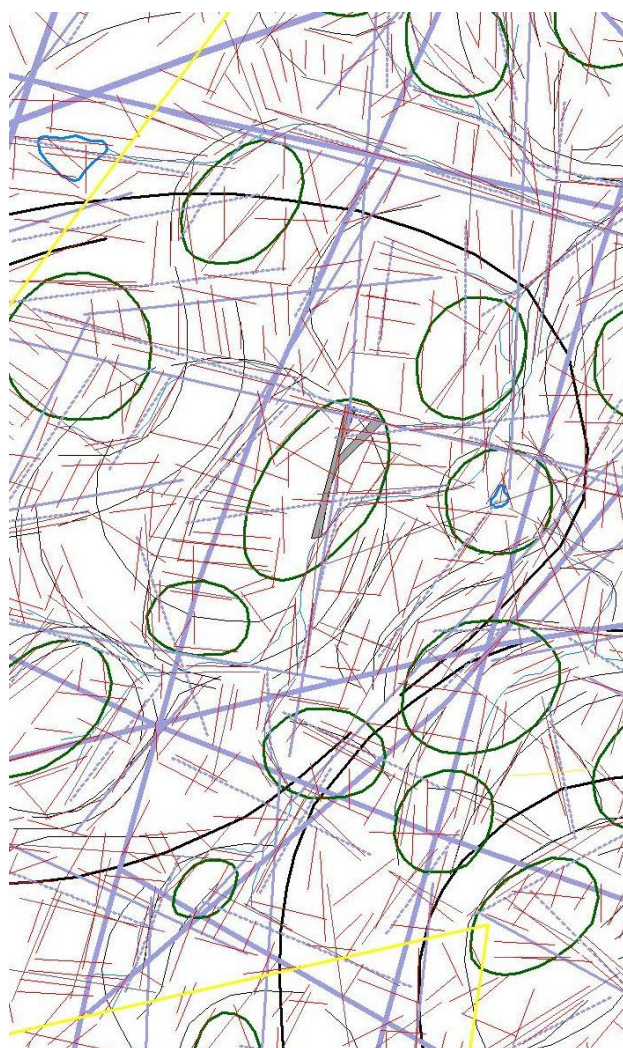


Рис. 6. Геодинамическая активность Тыкотловской площади. Масштаб 1:100 000

К геоактивным зонам относятся участки с высокой и очень высокой трещиноватостью, отличающиеся высокой контрастностью относительно фона [7, 11, 21]. Они занимают значительную часть в южной, центральной частях и локально – в северной части Тыкотловской площади. Все известные проявления медно-полиметаллических золотосодержащих руд (медь, свинец, цинк, золото) на площади характеризуются высокой и очень высокой геодинамической активностью.


На заключительном этапе проведено детальное дешифрирование КС, построена карта комплексного дешифрирования КС масштаба 1:25 000 (рис. 7), на которой отражены:

- линеаменты осевых зон трещинно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента: 3 региональных линеамента (100-200 км), 19 локальных и зональных линеаментов (5-15, до 30 км), 83 коротких линеаментов (2-3, до 10 км), 217 коротких линеаментов (1-2 км);
- прямолинейные линеаменты тектонического и другого генезиса (тектоническая и экзогенная трещиноватость, фрагменты литологических границ, магматических тел, мелкой складчатости и др.): 547 коротких линеаментов (0,5-1,0 км), 2514 коротких линеаментов (0,2-0,5 км);





РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Линеаменты осевых зон трещинно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента, по результатам регионального и среднемасштабного дешифрирования

-  региональные линеаменты значительной протяженностью (100-200 км), по КС масштаба 1:500 000 - 1:1 000 000
-  локальные и зональные линеаменты протяженностью 10-15 (до 30) км, по КС масштаба 1:200 000
-  короткие линеаменты (мегатрещины), протяженностью 2-3 (до 10) км, по КС масштаба 1:200 000
-  короткие линеаменты (мегатрещины), протяженностью 1-2 км, по КС масштаба 1:100 000

Прямолинейные линеаменты связанные с тектонической трещиноватостью и другого генезиса, по результатам крупномасштабного дешифрирования

-  короткие линеаменты (мегатрещины), протяженностью 0,5-1,0 км, по КС масштаба 1:50 000
-  короткие линеаменты, протяженностью 0,2-0,5 км различного генезиса (тектоническая и экзогенная трещиноватость, фрагменты литологических границ, магматических тел, мелкой складчатости и др.) по КС масштаба 1:25 000

Кольцевые и дуговые структуры предположительно тектонического происхождения и криволинейные линеаменты различного генезиса по результатам крупномасштабного дешифрирования

-  дуговые структуры размером 3x1 - 5x3 км отраженные на КС масштаба 1:100 000 - 1:200 000
-  дуговые структуры размером 2x1 км и криволинейные линеаменты отраженные на КС масштаба 1:50 000 - 1:100 000
-  малые кольцевые структуры размером 1x0,5 - 2x1 км, отраженные на КС масштаба 1:25 000-1:50 000




-  Контур Тыкотловской площади
-  Проявление Тыкотловское (медь, свинец, цинк)
-  Гидросеть

Рис. 7. Фрагмент карты результатов комплексного дешифрирования космических снимков Тыкотловской площади масштаба 1:25 000 (уменьшение)

- кольцевые и дуговые структуры предположительно тектонического происхождения и криволинейные линеаменты различного генезиса: 375 дугообразных и криволинейных линеаментов, 7 дуговых структур размером 1-3 x 3-5 км, 65 малых кольцевых структур размером 0,5-1 x 1-2 км.

- Тыкотловское рудопроявление, четко выраженное в серии разномасштабных кольцевых структур, неотектонических линеаментов, высокой плотности геодинамической активности [12].

Заключение

Проведены аэрокосмогеологические исследования на Тыкотловской площади в общем комплексе прогнозно-поисковых работ на медно-полиметаллические золотосодержащие руды. Выполнено разномасштабное дешифрирование космических снимков (от 1:1 000 000 до 1:25 000). Проведен линеаментно-геодинамический анализ, установлено 3373 неотектонических линеаментов разных рангов. Все известные проявления медно-полиметаллических золотосодержащих руд (медь, свинец, цинк, золото) на площади характеризуются высокой и очень высокой геодинамической активностью, контролируются зонами с повышенной тектонической трещиноватостью и сериями разномас-

штабных кольцевых структур. Намечены новые перспективные участки на поиски золота и полиметаллов. Для детализации их необходимо проведение аэрокосмогеологических исследований масштаба 1:10 000 с постановкой детальных геохимических работ.

Библиографический список

1. Бабенышев В.М., Долгих М.В., Манькова Т.В. и др. Отчет о работах по объекту «Прогнозно-поисковые работы на медно-полиметаллические руды в пределах Тыкотловской площади» в Березовском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, проведенных в 2008-2011 годах. ОАО «НПЦ Мониторинг», Ханты-Мансийск, 2011. 220 с.
2. Бабенышев В.М., Копылов И.С. Результаты прогнозно-поисковых работ на медно-полиметаллические руды на Приполярном Урале в пределах Тыкотловской площади // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Перм. гос. нац. исслед. ун-та. Пермь, 2020. С.321-329.
3. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-та. Пермь, 2022. 115 с.
4. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
5. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С.148-158.
6. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 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. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
9. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-та. Пермь, 2019. 131 с.
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. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
12. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 159-166.
13. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Куляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 167-175.
14. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С.129-143
15. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
16. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
17. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото -алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
18. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-X, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.

19. Мезенцев М.П., Суханов А.И. и др. Результаты поисково-съёмочных работ в бассейнах верховий рек Бол.Тыкотлова и Балбанью. Приполярный Урал (Отчет по работам Северо-Уральской поисково-съёмочной партии за 1971-1973 гг.). Главтюменьгеология, ТКГРЭ, Тюмень, 1974. 368 с.

20. Пыстин А.М. и др. Отчет по групповой геологической съёмке масштаба 1:50 000 на территории листов Q-41-77-Г; 78-Б (а, б, в), 88-А,В,Г; 89-А,Б,В; 90-А. ПГО «Полярноуралгеология», Сыктинская ГСП. Воркута, 1982.

21. Kopylov I.S., Kavin 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. С. 305-311.

АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРЛИНСКОГО ТИПА (НЕВАДА, США)

Проведен аэрокосмогеологический анализ в районах золоторудных месторождений Карлинского типа. Рассмотрены опорные месторождения рудного золота, их природные условия, геологическое строение, факторы золотоносности. Основными методами исследований являлись линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы. Проведено дешифрирование космических снимков, выделены линеаменты предполагаемых тектонических нарушений и кольцевые структуры. Сделан структурно-геологический анализ изучаемых районов. Установлены неотектонические критерии, контролирующие золоторудные месторождения и их структурно-тектоническое положение по набору космогеологических характеристик.

Ключевые слова: аэрокосмогеологические методы, поиски золота, Карлин тип, анализ структурно-геологических условий, линеаментно-геодинамический анализ, Невада, США.

I.S. Kopylov, A.O. Ustinov

Perm State University, Perm, Russia

AEROSPACE GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE GOLDEN FIELDS OF THE KARLINSKY TYPE (NEVADA, USA)

Aerospace geological analysis was carried out in the areas of the Goldoride deposits of the Karlinsky type. The supporting deposits of ore gold, their natural conditions, the geological structure, and the factors of goldenness are considered. The main methods of research were lineament, geodinamic and landscape-geodinamic analyzes. Decryption of space images was carried out, lineaments of alleged tectonic disorders and ring structures were identified. A structural and geological analysis of the studied areas has been made. Neotectonic criteria are established that control the golden venues and their structural-texture position on the set of cosmogeological characteristics.

Keywords: aerospace geological methods, gold searches, dwarf type, analysis of structural and geological conditions, lineament, geodine analysis, Nevada, USA.

Введение

Применение аэрокосмогеологических методов (АКМ) при поисках месторождений золота в комплексе с другими (геологическими, геохимическими, геофизическими и пр.) дает возможность прогнозировать новые месторождения наиболее эффективно. Основным преимуществом комплексирования методов исследования на поисковой стадии работ является их относительная низкая стоимость при удовлетворительных результатах.

Кроме того, АКМ позволяют достаточно быстро получить первичную информацию о труднодоступных районах исследования. В настоящее время пока недостаточно методических исследований АКМ по изучению различных

геолого-промышленных типов золота аэрокосмическими методами. Особенно слабо изучены структурно-геологические и геодинамические закономерности золоторудных месторождений карлинского типа.

Целью работы является изучение и анализ структурно-геологических условий золоторудных месторождений карлинского типа (на примере Невады, США) с применением аэрокосмогеологических методов для установления закономерностей при прогнозировании месторождений золота.

Физико-географические условия

Невада расположена в западной части США, площадь штата составляет 286 367 км². Граничит с Калифорнией (на западе), Орегон и Айдахо (на севере), Ютой (на востоке) и Аризоной (на юго-востоке) (рис. 1).

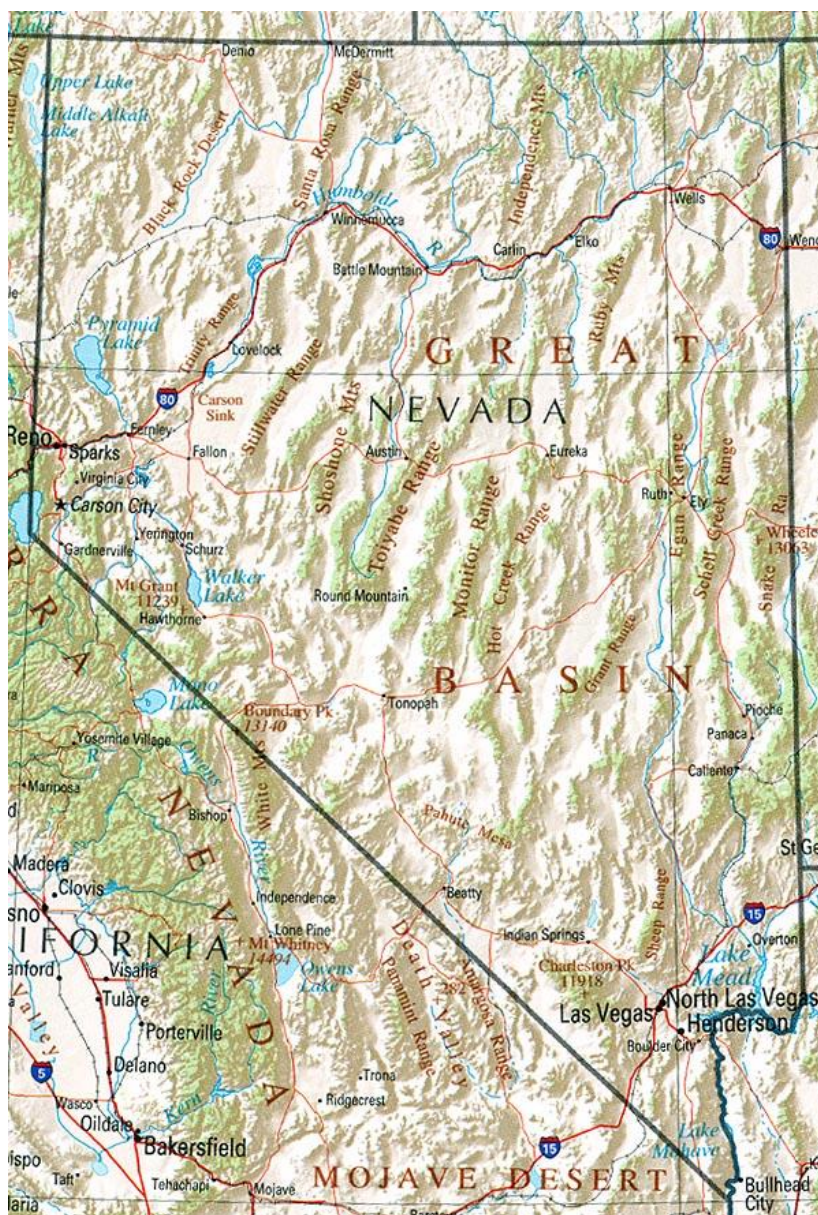


Рис. 1. Физико-географическая карта штата Невада [19]

Северная часть Невады находится в границах Большого Бассейна, эта территория главным образом занята пустыней и характеризуется жарким летом и довольно холодной зимой. Горные хребты, высота отдельных пиков которых

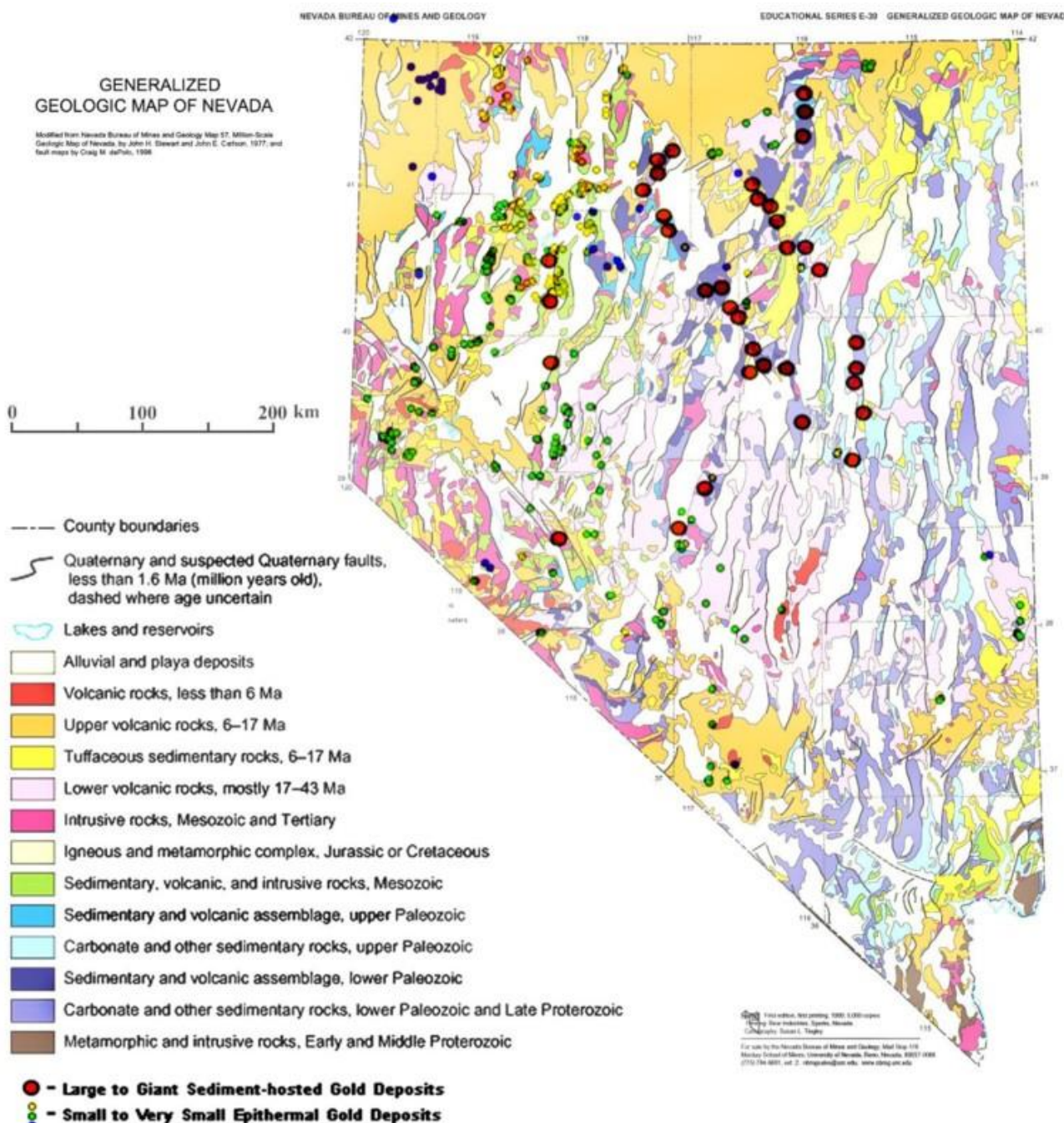
превышает 4000 м, образуют на более высоких территориях лесные массивы, несмотря на окружающие их пустынные равнины.

Геологические условия, золотоносность, поисковые критерии

Золоторудная провинция Северной Невады локализована в пределах Большого бассейна Северо-Американских Кордильер. Она включает месторождения золота Карлин типа в осадочно-теригенных отложениях, а также некоторые другие типы месторождений золота – эпитермальные, медно-порфировые и др. [15]. Основное экономическое значение имеют золоторудные месторождения, локализованные в пределах Карлин тренда. В региональном плане провинция представлена породами различного состава и возраста от нижнепалеозойских до четвертичных. Наиболее распространены палеозойские и мезозойские кремнистые и карбонатные морские осадочные отложения, мезозойские граниты, мезозойские и кайнозойские андезиты, базальты, потоки риолитов и интрузивные породы и различные неконсолидированные породы четвертичного возраста [17] (рис. 2).

Для месторождений *Карлин типа* характерны: табличные, стратиформные, морковковидные, Т-образные, неправильной формы рудные тела. Морфологические особенности рудных тел обусловлены формой локальных зон пористости и проницаемости, которые образовались в результате благоприятных литологических особенностей в сочетании с **крутыми и пологими разломами**. Рудные тела, как правило, расположены под непроницаемым экранирующим горизонтом, а лучшие сорта руды концентрируются под **куполами или антиклиналями**, где крутопадающие структуры служили подводящими каналами. На территории штата Невада (США) выделяют четыре промышленных типа золотых руд: 1) сурьмяная золотосодержащая джаспероидная руда ($Au + As + Tl$); 2) кремнистая золотая руда ($Au + Sb + Tl$); 3) мышьяковая золотая руда ($Tl + Hg + Sb + Au$); 4) таллиевая руда ($Tl > 0.1\%$, $Au < 0.1$ г/т) [1, 13, 14, 18].

Следовательно, одним из структурно-поисковых критериев месторождений Карлин типа м.б. структуры антиклинально-блокового типа с концентрацией разломов.



лись: аэрокосмогеологический, линеаментно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы [2-12, 16].

На начальном этапе анализировались известные районы золоторудных месторождений в разных регионах мира (США, Китай, Россия), при этом наиболее подробно изучались месторождения США, штата Невада. Была подготовлена дистанционная основа для составления карт и моделей. Использовались современные космоснимки (Landsat-8), загруженные с помощью программного обеспечения Google Earth (рис. 3, табл. 1, 2).

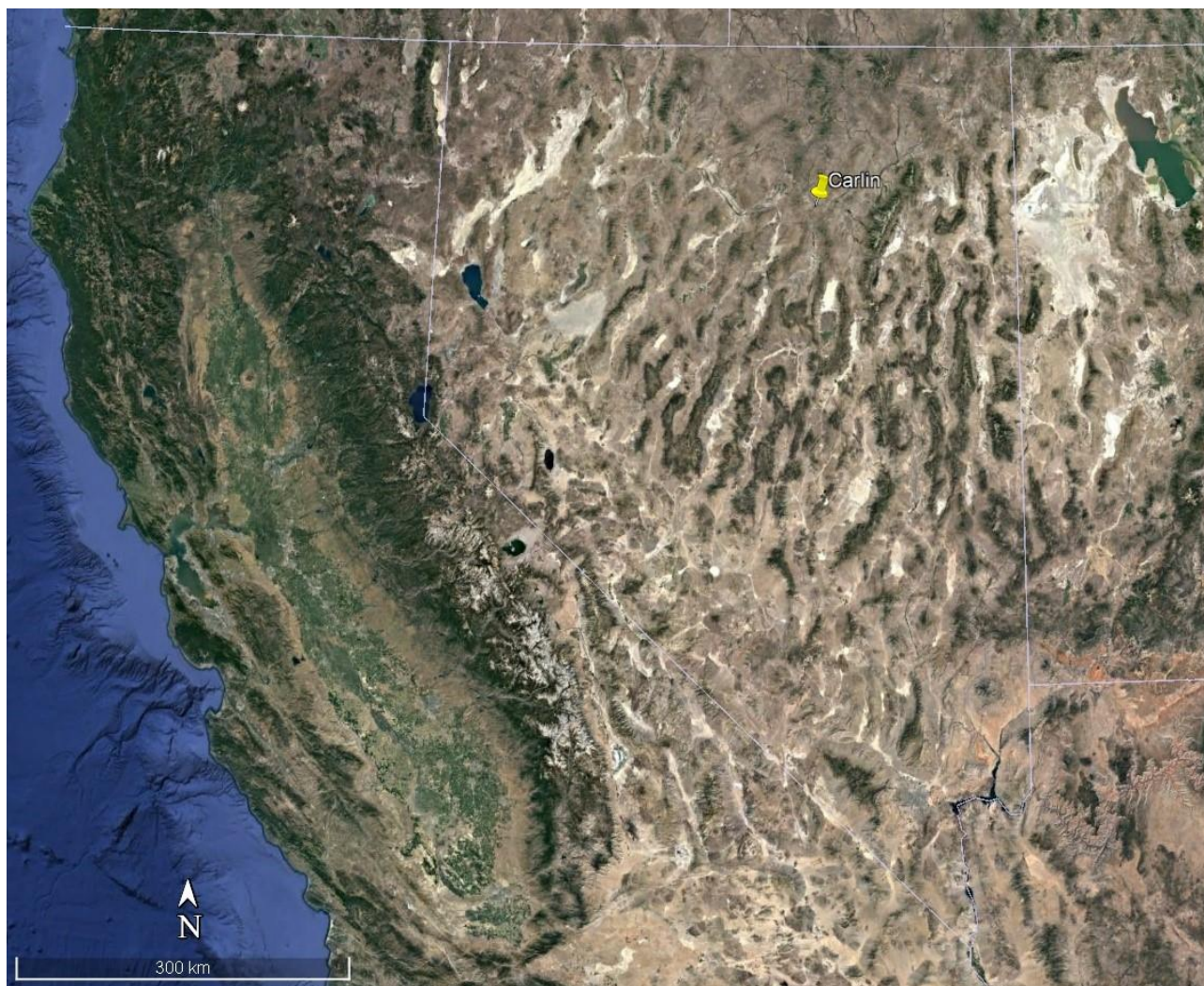






Рис. 3. Обзорный космический снимок штата Невада (Landsat-8, Google Earth, 2020)

На последующем (основном) этапе выполнялось космогеологическое дешифрирование КС разных масштабов (1:2 500 000, 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000), в соответствии со сложившимися стадиями аэрокосмогеологических исследований (обзорная, региональная, регионально-зональная, зональная, детальная).

Таблица 1

Краткое описание ландшафтов месторождений типа Карлин
(фрагмент базы данных)

№ района	Космические снимки	Характеристика природных и техногенных ландшафтов
1		Alligator Ridge Mine Преобладает горный рельеф. Небольшое количество рек. Большая часть территории пустынна. В горах прослеживаются территории с растительностью. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Прослеживаются линейные трассы дорог
2		Cortez Gold Mine Преобладает горный рельеф. Небольшое количество рек. Большая часть территории пустынна, есть небольшие лесные зоны. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Через месторождение проходит автодорога Grass Valley Rd.
3		Getchell Mine Преобладает плоский рельеф. Небольшое количество рек. Значительная часть территории пустынна. Почвы развиты слабо. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Прослеживаются автомобильные дороги
4		Gold Quarry Mine Преобладает горный рельеф. Небольшое количество рек. Значительная часть территории пустынна. В горах прослеживаются территории с растительностью. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Рядом с месторождением проходит автомагистраль Dwight D. Eisenhower Hwy





№ района	Космические снимки	Характеристика природных и техногенных ландшафтов
5		<p>Goldstrike mine Преобладает горный рельеф. Месторождение расположено рядом с горой Бивер Пик. Небольшое количество рек. Реки, протекающие рядом: Магги – Крик и Рок – Крик. Значительная часть территории пустынна. В горах прослеживаются территории с растительностью. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Прослеживаются линейные трассы дорог</p>
6		<p>Jerrett Canyon Месторождение расположено рядом с горой Калифорния, Джекс Пик и Макафи Пик. В горах прослеживается территория с растительностью. Небольшое количество рек. Рядом с месторождением протекают 3 реки: Уинтерс – Крик, Форман – Крик, Калифорния – Крик. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Около месторождения проходит автодорога Sagecrest Dr.</p>
7		<p>Pinson Gold Mine В основном преобладает плоский рельеф. Рядом с месторождением расположена гора Адам Пик. Небольшое количество рек. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Прослеживаются линейные трассы дорог</p>
8		<p>Twin Creeks mine В основном преобладает плоский рельеф. Рядом с месторождением расположена гора Адам Пик и гора Келли Крик. Небольшое количество рек. Малочисленные селитебные зоны населенных пунктов. Прослеживаются линейные трассы дорог</p>

Таблица 2

Подготовка дистанционной основы района месторождений (фрагмент)

Золото-карлинский тип месторождений (месторождение Gold Quarry Mine)

М. 1:1 000 000	М. 1:500 000	М. 1:100 000
		

Дешифрирование производилось в программе ArcGIS версии 10.4.1 и ArcView GIS 3.3. (рис. 4). Далее проводилась обработка данных, линейно-геодинамический и ландшафтно-геодинамический анализы; комплексный аэро-космогеологический анализ; выделялись вероятные перспективные участки для поисков золота в исследуемых районах; построение результирующих цифровых карт.

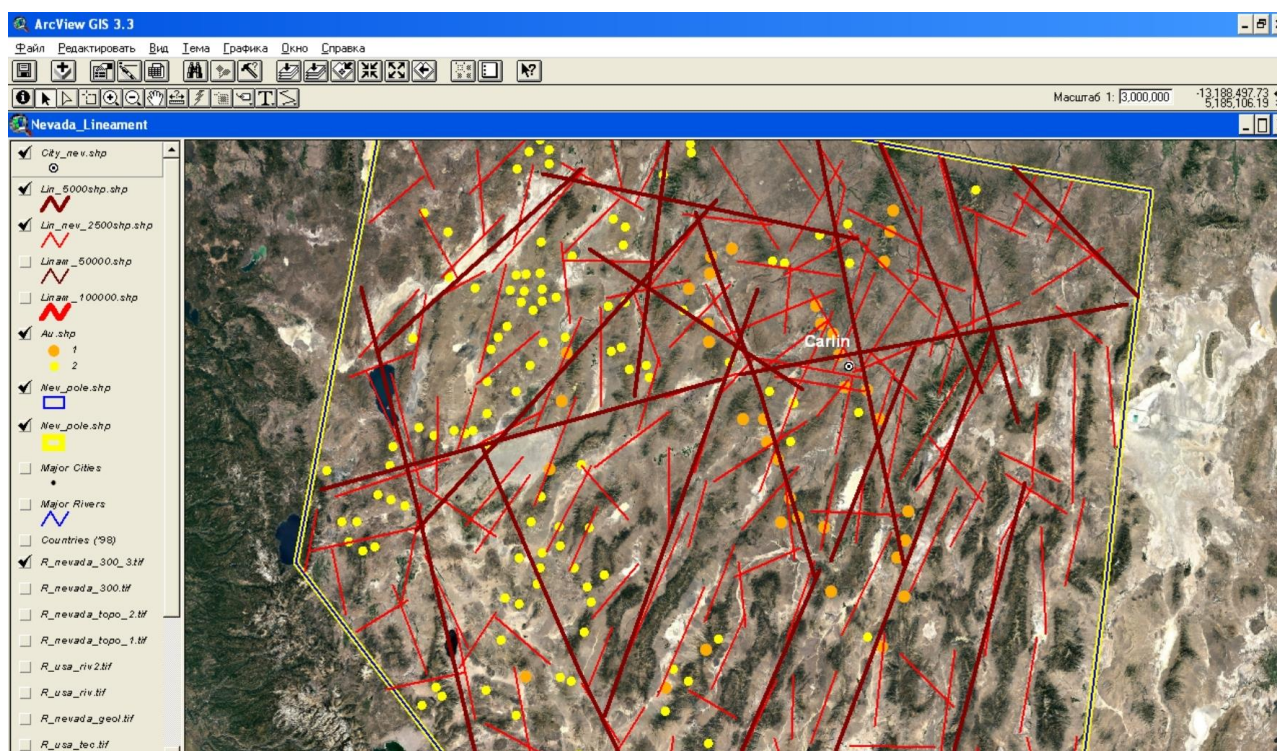


Рис. 4. Обзорное дешифрирование линейментов на территории Невады (рабочее окно программы)

Результаты аэрокосмогеологических исследований

В результате обзорного дешифрирования (масштаб 1:2 500 000) на всей территории штата Невада было выделено 218 тектонических прямолинейных линейментов (протяженностью 300-600 и более км).

В районе месторождения Gold Quarry Mine при региональном, регионально-зональном и зональном дешифрировании (масштаб 1:1 000 000 – 1:100 000)

было выделено 754 тектонических линеаментов, включая 34 региональных и зональных (25-100 км) и 720 локальных и коротких (3-5 – 25 км), а также – 156 кольцевых структур (рис. 5, 6).

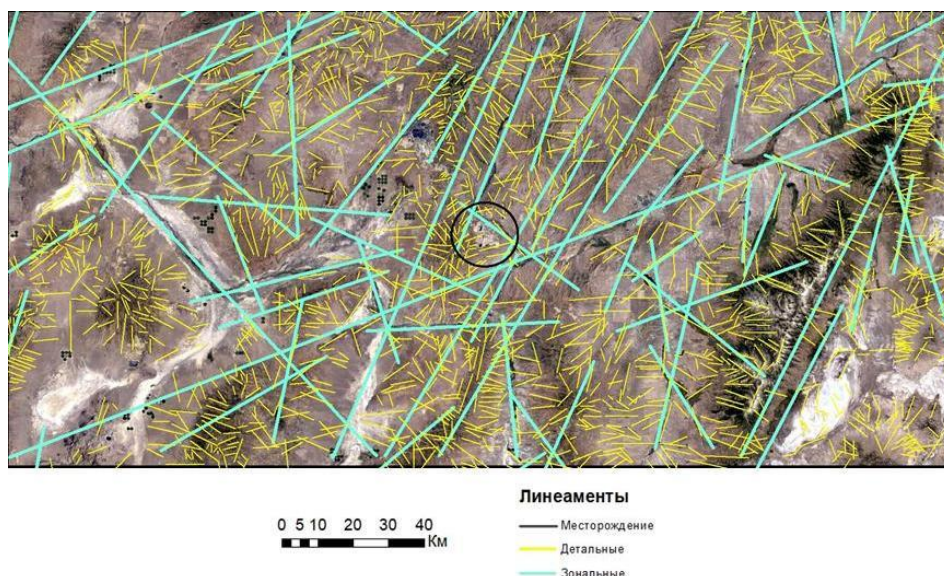


Рис. 5. Регионально-зональное дешифрирование линеаментов на месторождении Карлин



Рис. 6. Дешифрирование кольцевых структур

По результатам дешифрирования были построены карты плотности линеаментов исследуемых районов.

Для создания карт использовался инструмент «Плотность линий» модуля Spatial Analyst программы ArcGIS ArcMap. Количество классов значений плотности было вычислено стандартным методом классификации «Стандартное отклонение». Данная классификация позволяет узнать, насколько плотность линеаментов в разных частях района отличается от средней по району. В итоге было получено 6 классов плотности линеаментов, соответствующие классам геодинамической (неотектонической) активности (цвет на картах: 1-2 баллы с очень низкими и низкими значениями – зеленые; 3 балл со средними значениями – желтый; 4-6 баллы с высокими, очень высокими и чрезвычайно высокими

значениями – красные). Условно считается, что участки с показателями 1-3 балл характеризуются стабильной геодинамической обстановкой, а участки с показателями 4-6 балл характеризуются соответственно с повышенной и высокой геодинамической активностью [6].

Выбор космогеологических критериев и выделение зон, перспективных на поиски золота по материалам космической съемки

На основе анализа геологических и структурно-геодинамических аэрокосмогеологических характеристик составлена таблица поисковых критериев (табл. 3)

Таблица 3

Космогеологические критерии

Поисковые критерии	Карлин тип
Геологические критерии	Структуры вытянуты в северном или северо-западном направлении – параллельно крутопадающим разломам. Встречаются рудные тела длиной до 3 км по простиранию и более километра по вертикали, хотя они обычно прерывистые
	Для месторождений характерны табличные, стратиформные, морковковидные, Т-образные, неправильной формы рудные тела
Космогеологические критерии	Месторождение находится в кольцевой мезоструктуре диаметром 53 км
	Наличие замкнутых и фрагментарных кольцевых концентрических структур
	Месторождение находится между 2 и 5 классом плотности линеаментов

Комплексный аэрокосмогеологический анализ и составление дистанционных моделей золото-концентрирующих систем по золоторудным месторождениям

При проведении комплексного пространственного анализа всех космогеологических критериев (тектонические линеаменты, кольцевые структуры, плотность линеаментов, а также при совмещении критериев с геологическими основами получены следующие дистанционные модели золото-концентрирующих систем по изученным золоторудным месторождениям (рис. 7, 8)

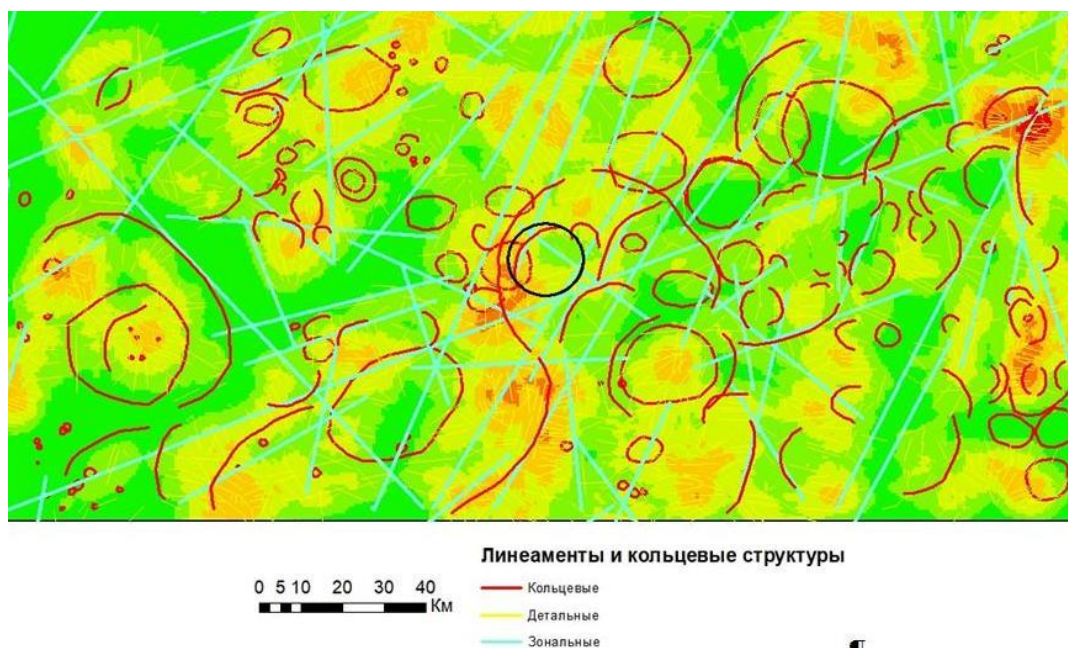


Рис. 7. Обобщенная схема плотности линеаментов с наложенными линеаментами и кольцевыми структурами

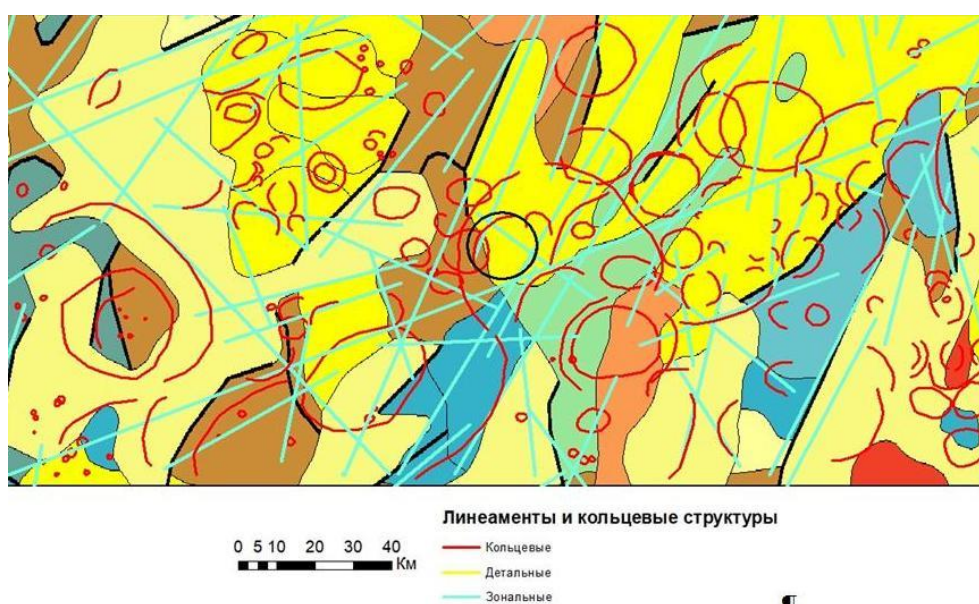


Рис. 8. Структурно-геологическая схема месторождения Карлин (схема линеаментов и кольцевых структур на геологической основе)

Проведя анализ дистанционных моделей золото-концентрирующих систем, установлено следующие закономерности и особенности и отображены на дистанционных моделях:

- месторождения типа Карлин находятся в пределах крупных кольцевых структурах. Малые кольцевые структуры (ландшафтные аномалии) присутствуют на всех месторождениях;
- крупные линеаменты закономерно присутствуют на всех участках месторождений. Так, месторождение Carlin контролируется зоной субширотного линеамента (протяженностью более 600 км) и субмеридиональным линеаментом (протяженностью более 300 км);

- мелкие линеаменты на месторождениях Карлин типа сконцентрированы в пределах отдельных участков месторождений;

- по плотности линеаментов (региональный и зональный уровень) месторождения Карлин типа находятся в зонах повышенной плотности линеаментов (с повышенной геодинамической активностью). Исходя из этого можно прогнозировать новые золоторудные месторождения Карлин типа вблизи и в пределах участков сильно трещиноватых пород, связанных с магматическими очагами.

Заключение

Район характеризуется хорошей геологической дешифрируемостью. Отмечается неравномерная плотность линеаментов, выделяются комплексы зон с повышенной плотностью в северо-восточной части, а также в центральной части района. Выделенные в процессе дешифрирования крупные линеаменты имеют в основном северо-западное и юго-восточное простирание.

По результатам проведенного анализа установлено, что структурно-тектоническое положение золоторудных месторождений карлинского типа выражается определенным набором космогеологических характеристик: наличием крупных линеаментов с концентрацией мелких, наличием кольцевых структур разных порядков и, как правило – повышенной плотностью линеаментов обусловленных повышенной геодинамической активностью. Месторождения этого типа располагаются, как правило, в контурах крупных кольцевых структур и подчеркиваются рядом малых кольцевых структур, ландшафтных аномалий. Вблизи известных золоторудных месторождений установлены магматические очаги. По аналогичным критериям, возможно, прогнозировать участки новых месторождений.

Библиографический список

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота карлинского типа // *Литосфера*, 2016, № 6. С. 145-165.
2. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
3. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. *Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing*, 2018. 210 с.
4. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
5. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ. Saarbrücken, 2012.
6. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
7. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 159-166.
8. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 95-100.
9. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 77-84.

10. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото -алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
11. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
12. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.
13. Cline J.S., Stuart F.M., Hofstra A.H., Premo W., Riciputi L., Tosdal R.M., Tretbar D.R. (2003) Multiple sources of ore-fluid components at the Gatchell Carlin-type gold deposit, Nevada, US. Mineral exploration and sustainable development. Rotterdam: Millpress, 2, p.965-968.
14. Dennis P. Cox, 1986, «Descriptive model of porphyry Cu», in Mineral Deposit Models, US Geological Survey, Bulletin 1693, p.76, 79.
15. Hofstra A.H., Cline J.S. (2000) Characteristics and models for Carlin-type gold deposits. Econ. Geol., 13(2), 163-220.
16. 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.
17. Ludington S., Folger H., Kotlyar B., Mossotti V.G, Coombs M.J., and Hildenbrand T.G., 2006b, Regional surficial geochemistry of the Northern Great Basin: Economic Geology, v.101, pp. 33-57.
18. Muntean J.L., Cline J.S., Simon A.C., Longo A.A. (2011) Magmatic hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits. Nature Geos, (4), p.122-127.
19. <https://albertamap.blogspot.com>.
20. <https://researchgate.net>.

А.С. Курдюмова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА БЕРЕЗИТОВЫЙ УВАЛ (ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В статье приведены сведения о применении аэрокосмических методов при изучении месторождения золота Березитовый Увал. Был выполнен комплексный анализ, в том числе линеаментное дешифрирование, и на его основе выделены перспективные зоны на поиски месторождений золота.

Ключевые слова: золото, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, кольцевые структуры, Оренбургская область.

A.S. Kurdyumova

Perm State University, Perm, Russia

AEROCOSMOGEOLOGICAL ANALYSIS OF THE AREA OF THE GOLD DEPOSIT BEREZITOVY UVAL (ORENBURG REGION)

The article provides information on the use of aerospace methods in the study of the Berezitovy Uval gold deposit. A comprehensive analysis was carried out, including lineament decoding, and on its basis promising zones for the search for gold deposits were identified.

Keywords: gold, aerospace methods, decoding, lineaments, ring structures, Orenburg region.

Введение

Применение аэрокосмических методов в комплексе с геохимическими, геофизическими и другими методами является оптимальным решением при поисках новых месторождений золота, также выявляя их косвенные признаки. Оперативность и относительно низкая стоимость является основным преимуществом дистанционных методов исследований. Данные методы позволяют быстро получить первичную информацию о труднодоступных районах исследования [1].

Наиболее эффективно применение материалов дистанционного зондирования (МДЗ) при поисках аллювиальных россыпей, и, прежде всего, для выявления структурно-геоморфологического и неотектонического контроля мест возможного россыпеобразования [19].

Целью работы является аэрокосмогеологический анализ территории месторождения золота Березитовый Увал и прогноз перспективных зон золота.

Основными задачами были: анализ геологических материалов территории; дешифрирование космических снимков с выделением линеаментов, коль-

цевых (дуговых) структур; комплексный аэрокосмогеологический анализ территории, выделение перспективных зон россыпей золота.

Месторождение Березитовый Увал является самым крупным проявлением золотоносных березитов в Оренбургской области и входит в Кумакский золоторудный район.

Геологическая изученность

В 1960-80-е годы на территории Оренбургской области проводились геофизические (Забарная З.И., Корниенко И.А., Зенкина З.И.) и сейсморазведочные работы (Лошманов В. И., Чиркина Л.Н., Беляева Ю.А.). В 2003 году на территории впервые выполнены исследования по технологии специализированного аэрокосмофотодешифрирования [23].

По результатам геологоразведочных работ 2015-2016 гг., все перспективные площади участка Березитовый увал оказались изучены по 35 разведочными линиям, пройдено 52 траншеи (375 секций). В ходе проведения выявлено несколько отдельных ложковых россыпей золота. Плотность разведочной сети позволяет достоверно выделить блоки запасов по категории C_1 и C_2 для открытой добычи.

Геологоразведочными работами выявлено, что на участке россыпная золотоносность приурочена к россыпям ложкового типа. Россыпи имеют небольшие размеры и достаточно неравномерное распределение золота, как по вертикали, так и в плане, приуроченное к пролювиально-делювиальному комплексу отложений. Средняя ширина россыпей порядка 200 м. Мощность золотоносных отложений варьируется от 0,3 до 1,9 м. Средняя мощность золотоносных отложений в пределах подсчётных блоков – 1,2 м. Содержания золота от 0,02 г/м³ до 0,54 г/м³ [2].

Физико-географические и геологические условия

Месторождение золота Березитовый Увал находится в Южном Зауралье, в Ясненском районе Оренбургской области, в правобережье р. Джабыга. Месторождение расположено в 12 км восточнее п. Кумак (рис. 1).

Площади участка Березитовый увал располагаются в степной зоне. Территория представляет собой полого-увалистую возвышенность. Абсолютные отметки от 330 до 350 м. Выявлена развитая овражно-балочная сеть. Часто на равнинной поверхности встречаются холмы овальной (сглаженной) формы с превышением над окружающей местностью в 30-40 м.

Климат района резко континентальный. Холодная ветреная зима с устойчивым снежным покровом сменяется жарким сухим летом с редкими дождями. Характерными для района являются сильные ветры преимущественно западного и юго-западного направления [2].

Главной водной артерией района является река Кумак. Здесь, в верхнем течении, река зарегулирована Кумакским водохранилищем. Наиболее значительны в пределах района притоки Кокпекты и Котансу, устья которых являются заливами Кумакского водохранилища (рис. 2).



Рис. 1. Обзорная схема района исследований на физической карте Оренбургской области [22]

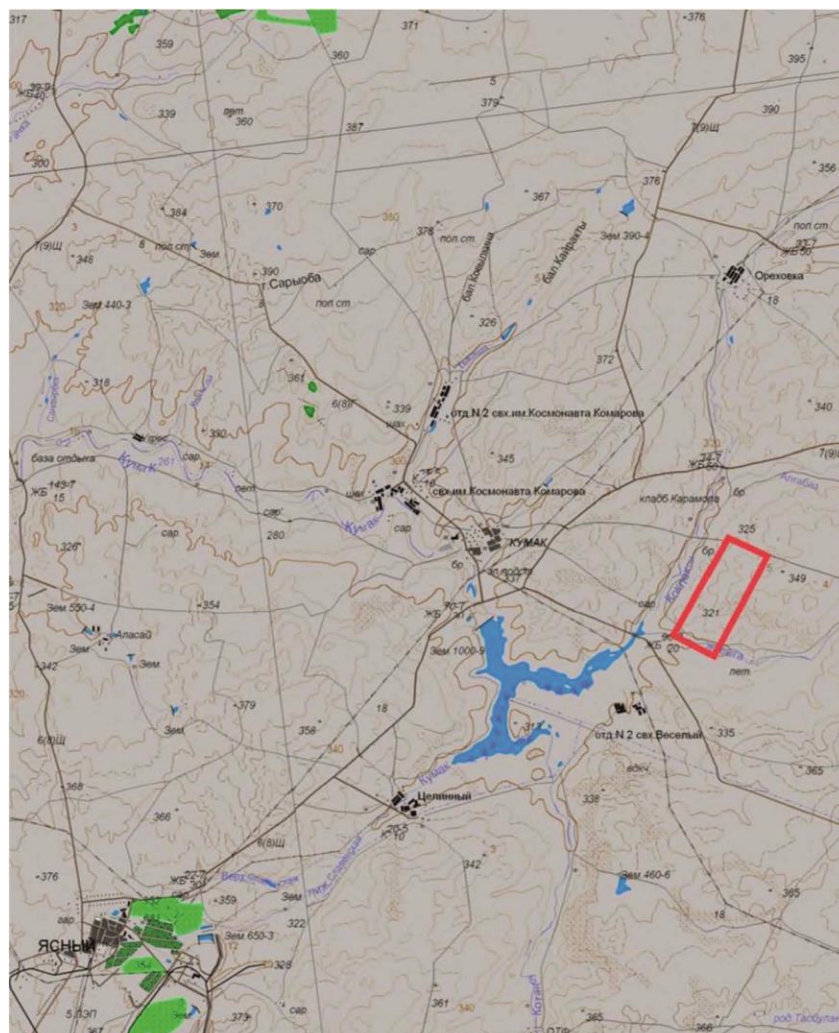


Рис. 2. Расположение объекта Березитовый Увал (Масштаб 1:200 000) [2]

В геологическом и структурно-тектоническом отношении район относится к Восточно-Уральскому поднятию, Еленовско-Кумакской структурно-формационной зоне, Кумакской структурно-формационной подзоне (Еленовско-Кумакский синклиниорий). Лицензионная площадь располагается на север-

ном крыле Кокпектинской синклинали, являющейся основной структурой района (рис. 3). Кокпектинская синклиналь сложена вулканогенным комплексом. В пределах района она представлена своей северо-восточной частью. Общее простирание складки северо-западное. С северо-востока она обрывается зоной Веселовского глубинного разлома, а с севера – контактом Чиликсайского массива габброидов.

Субрегиональные тектонические формы:
I – Адамовско-Мугоджарский антиклинорий;
II – Еленовско-Кумакский грабен-синклинорий;
III – Текельдытауский антиклинорий
Интрузивные массивы: 1 – Акжарский,
2 – Верхнекиембаевский, 3 – Кайрактинский;
4 – Джабыгасайский, 5 – Котансинский,
6 – Южно-Джабыгасайский, 7 – Джарбутацко-Боетский,
8 – Верхнесайский, 9 – Кумакская дайка.
Разломы: А – Еленовский, Б – Веселовский

Кокпектинская синклиналь разбита на многочисленные тектонические блоки разновозрастными разрывными нарушениями. Наиболее древними из них являются разломы северо-западного простирания. Эти разломы, по-видимому, связаны с образованием складчатого комплекса синклинали и примерно совпадают с направлением осевых плоскостей складок. Более поздними по отношению к складчатости являются крупные разломы северо-восточного простирания. Разломы совершенно не связаны с элементами складчатости и рассекают их почти под прямыми углами. Из наиболее молодых нарушений необходимо отметить серию мелких разломов и зон расланцевания в восточной части синклинали. Эти нарушения имеют северо-западное, близкое к субмеридиональному, и реже субширотному простираниям, связаны с образованием Джабыгасайского массива и с заложением зоны Веселовского глубинного разлома [2].

Из полезных ископаемых в районе известны проявления медных руд и золота (рис. 4).

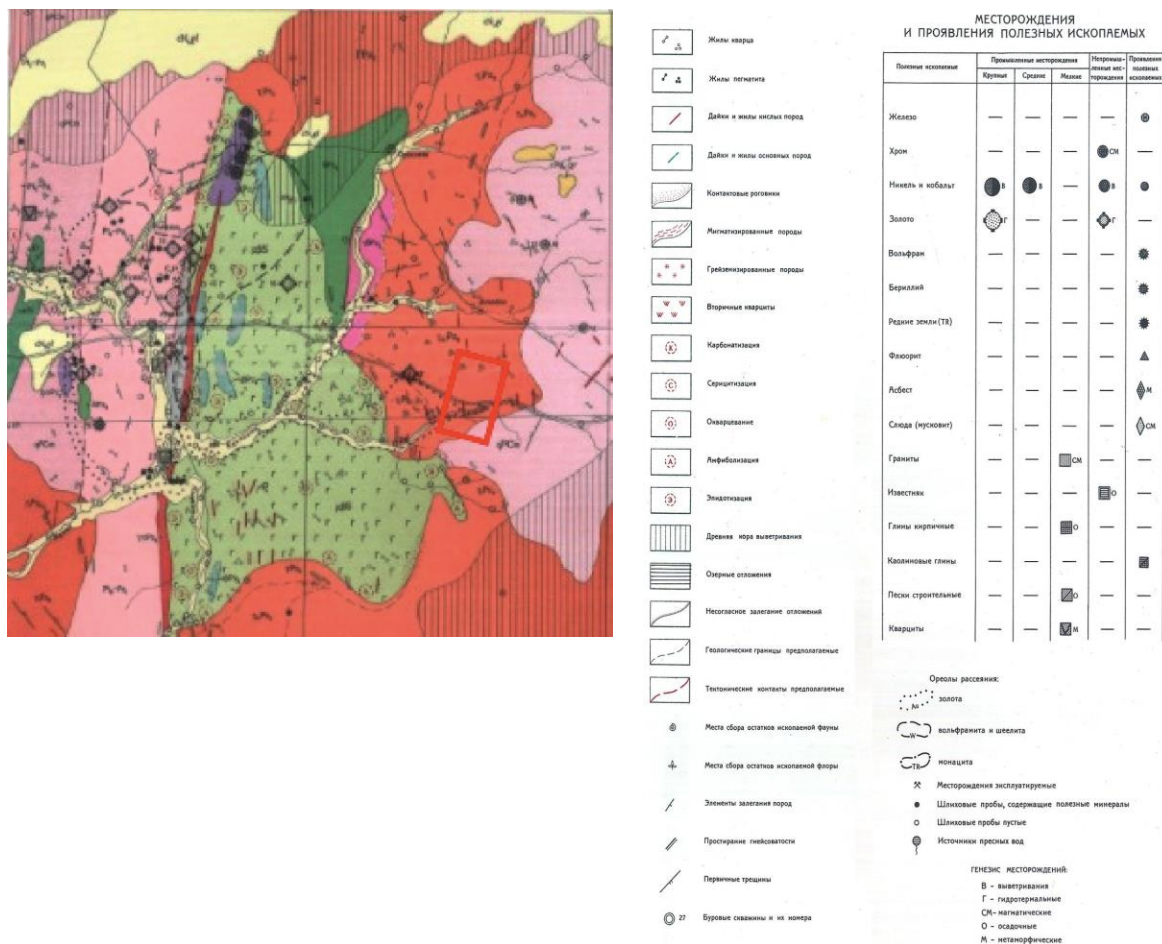


Рис. 4. Карта полезных ископаемых листа М-41-VII, XIII [5]

Медное оруденение представлено медноколчеданными и медно-порфировыми типами. Колчеданное оруденение чаще всего локализуется в верхних горизонтах средней вулканогенной толщи, где образует небольшие субсогласные залежи сплошных или прожилково-вкрапленных руд. Содержание меди в рудах от 0,2-0,5% до 3-5%. Вкрапленное медно-порфировое оруденение связано с массивами порфировидных гранитоидов [2].

Участок недр «Березитовый Увал» развит в экзоконтактовой зоне Джабыгасайского гранитного массива и эффузивных образований, прорванных многочисленными дайками, преимущественно кислого состава (гранитпорфиры, кварцевые порфиры, кварцевые диоритовые порфириты и др.).

Залежь россыпного золота приурочена к площади распространения делювиальных и пролювиальных отложений палеогенового и неоген-четвертичного возрастов в пределах логов, оврагов и русел ручьев. Россыпь представляет собой залежь глинисто-песчано-гравийно-дресвяных отложений, залегающую на неровной поверхности выветрелых палеозойских пород.

Методика аэрокосмогеологических исследований

Методология аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) изложена в работах [3, 6, 8-12, 16, 18], методики и технологии, в т.ч. — для поисков золота описаны в работах [4, 7, 13-15, 17, 19]. В качестве основного метода исследования месторождения Березитовый Увал применялось структурное дешифиро-

вание и линеаментно-геодинамический анализ. Выделялись прямолинейные линеаменты, предположительно отождествляемые с тектоническими нарушениями осадочного чехла и фундамента [3, 10, 20]. Все построения проводились в программе ArcMap. Для исследования был взят современный космический снимок (сервис Google Earth, 2021 г.) в растровом виде (Landsat-8), дата залета 20.9.2021 (рис. 5).

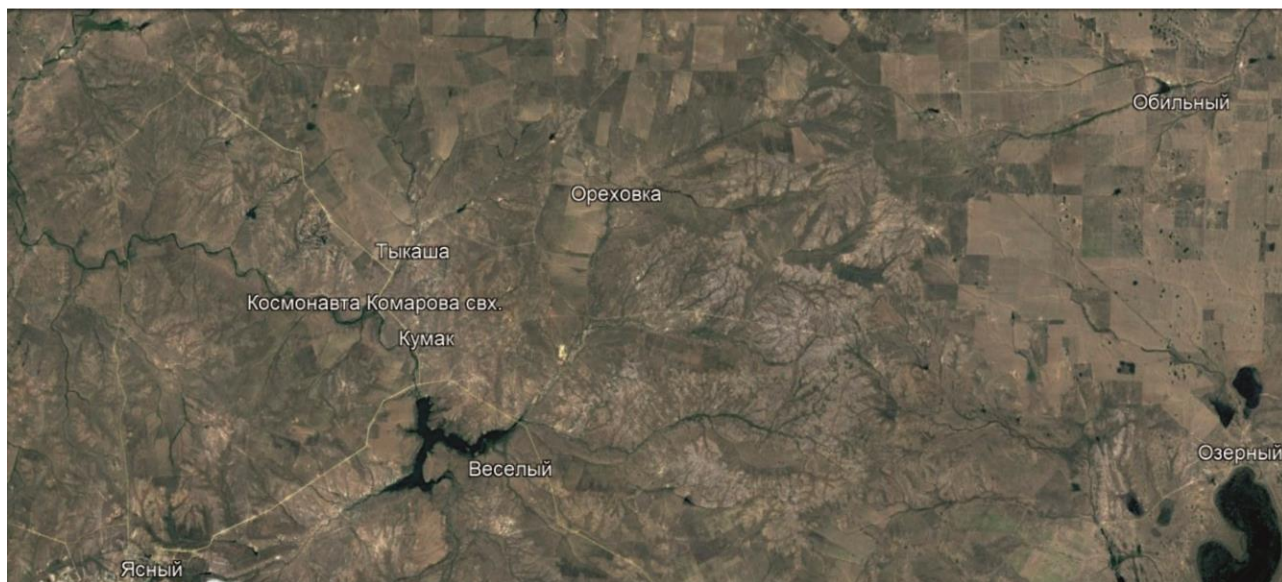


Рис. 5. Обзорный космический снимок исследуемой территории месторождения Березитовый Увал (М.1:500 000)

Результаты аэрокосмогеологических исследований

При структурном дешифрировании на снимках выделялись линейные, кольцевые (дуговые) образования, соответствующие разным стадиям аэрокосмогеологических исследований (региональная, зонально-региональная, зональная) (рис 6, табл. 1). Проведен анализ плотности линеаментов (рис 7).

Проведен пространственный аэрокосмогеологический анализ месторождения Березитовый Увал по сопоставлению геологических условий (по геологической карте. М. 1:200 000) и результатов структурно-тектонического дешифрирования (неотектонические линеаменты, кольцевые (дуговые) структуры, участки повышенной плотности линеаментов, узлы пересечения линеаментов).

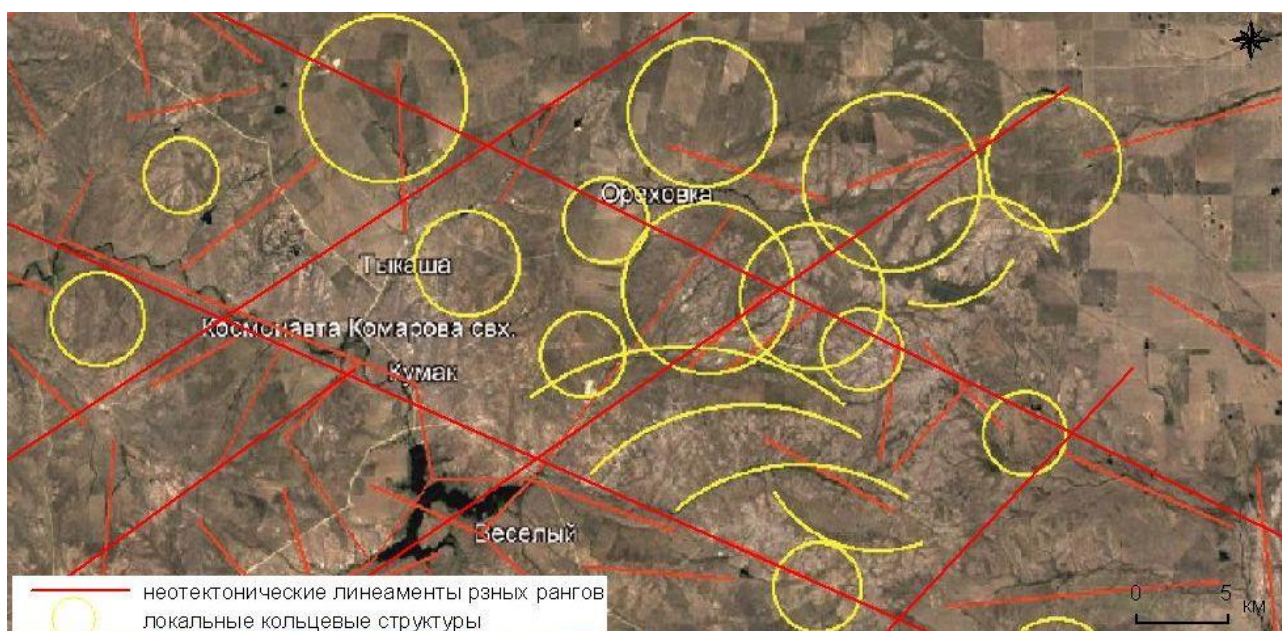


Рис. 6. Космический снимок с выделенными линеаментами, кольцевыми (дуговыми) структурами

Таблица 1

Результаты дешифрирования космических снимков месторождения
Березитовый Увал

Стадия работ	Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Количество линеаментов
Региональная	Зональные	15-50	5
Зонально-региональная	Локальные	5-15	34
Зональная	Короткие (1-го порядка)	1,5-5	19
Итого			58

Стадия работ	Ранги кольцевых структур	Размеры структур	Количество структур
Зонально-региональная	Локальные	5x8-10x15	10
Зональная	Короткие (1-го порядка)	3x4-4x4	12
Итого			22

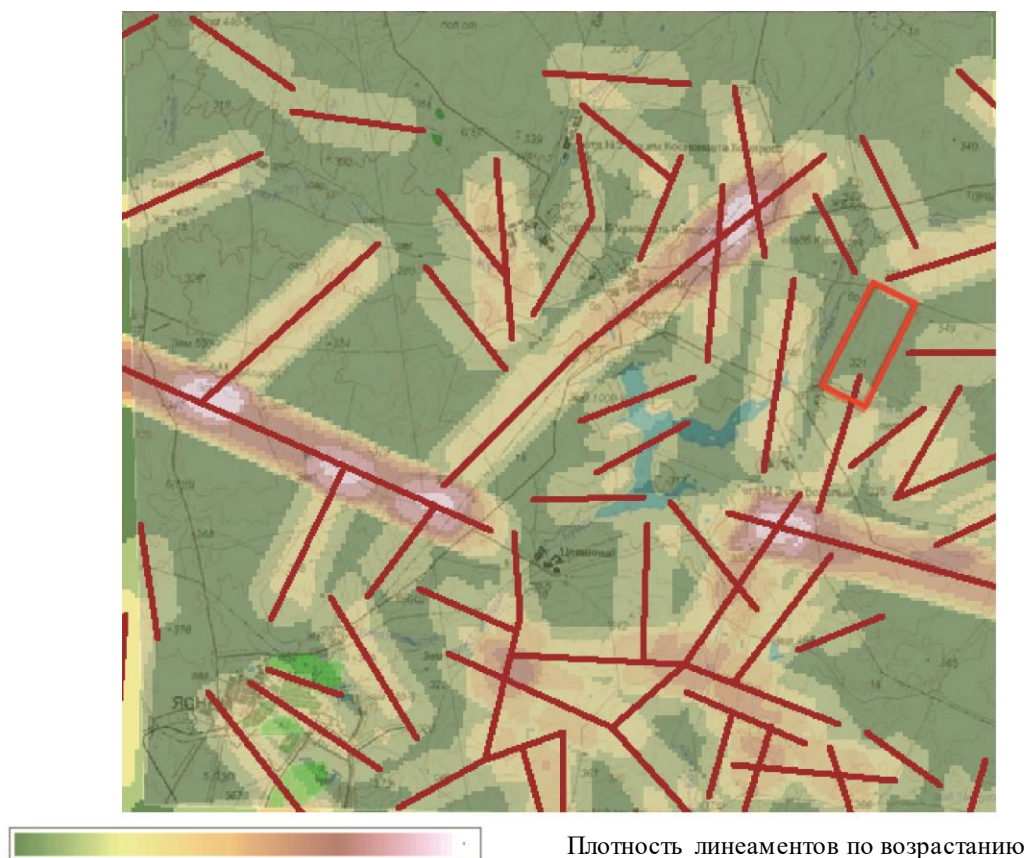


Рис. 7. Поле плотности линеаментов (возрастание от зеленого к красному)

Отмечается пространственная связь между перспективными зонами месторождений золота и выделенными линеаментными геоактивными зонами. Зоны находятся в местах повышенной плотности линеаментов. Многие перспективные зоны месторождений золота располагаются вблизи от протяженных линеаментов, которые зачастую совпадают с разломами, разделяющими крупные тектонические структуры (по аналогии с [4, 10 и др.]).

По результатам анализа факторами золотоносности для поисков золота в исследуемом районе были выбраны аэрокосмогеологические (неотектонические) и общегеологические критерии: высокая плотность линеаментов, указывающая на зоны повышенной трещиноватости, к которым может быть приурочено золотое оруденение; кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону; узлы тектонической напряжённости (участки пересечения крупных линеаментов), являющиеся зонами высокой проницаемости.

Для поисков россыпных месторождений факторами (критериями) золотоносности являются: 1) русла рек Кумак, Джабыга, Тыкаша и Алгабаз к которым приурочены шлиховые потоки золота; 2) высокая плотность линеаментов; 3) локальные кольцевые структуры; 4) узлы пересечения крупных линеаментов.

Всего на площади было выделено 9 зон, перспективных на поиски россыпного золота (рис. 8).



Рис. 8. Карта перспективных зон для поисков золота на территории района

Заключение

В результате аэрокосмогеологических исследований выделены зоны – перспективные участки на поиски золота. При сопоставлении линеаментов, кольцевых (дуговых) структур, аномалий плотности линеаментов и геологических условий площади было намечено 9 зон, перспективных на поиски россыпного золота. Проведенный анализ показывает, что аэрокосмические методы позволяют достаточно достоверно определить участки, перспективные на поиски золота. Использование аэрокосмических методов в общем комплексе прогнозных и поисковых работ может позволить сократить как временные, так и материальные затраты на поисковые работы.

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований* / Под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 316 с.
2. Ковалев А.Б. *Геологический отчет по результатам проведения геологоразведочных работ на россыпное золото в пределах лицензионного участка Березитовый Увал с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2017 г. и технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций*. Оренбург, 2016. 91 с.
3. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие*. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
4. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края*. Пермь, 2021. 501 с.
5. Копылов И.С. *Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах* // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С.148-158.
6. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа*. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
7. Копылов И.С. *Линейментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области* // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований* №7. 2016. С. 6.

8. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
9. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
10. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазовых регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
11. 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.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
13. Копылов И.С., Бабенышев В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь. 2020. С. 159-166.
14. Копылов И.С., Коноплев А.В. Применение аэрокосмических методов и геоинформационного моделирования на Куляндинской площади (Енисейский край) для поисков россыпного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 167-175.
15. Копылов И.С., Кузнецов В.А. Перспективы поисков золота в Бодайбинском районе с применением аэрокосмических и геохимических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 129-143
16. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 95-100.
17. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Региональный структурно-геодинамический анализ Вишерской площади по результатам аэрокосмогеологических исследований с целью поисков золота // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 77-84.
18. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
19. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 145-158.
20. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.
21. Материалы по листу М-41-VII, XIII [Электронный ресурс] <http://geo.mfvsegei.ru/200k/m-41/m-41-7,13/index.html> (Дата обращения: 28.10.2021).
22. Оренбургская область на карте России [Электронный ресурс] <https://maps-rf.ru/orenburgskaja-oblast/> (Дата обращения: 28.10.2021).
23. Отчёт по работам 2004-2005 гг. / ОАО НПО «Нафтаком»; М.И. Елманов, Л.И. Бузун, И.А. Смирнова, М., 2005. 185 с.

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕГИОНА БОЯКА (КОЛУМБИЯ)
ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И ПОИСКОВ ИЗУМРУДОВ**

Представлена геологическая информация о регионе Бояка (Колумбия) в связи с поисками и добычей изумрудов. Бояко – это регион Центральной Колумбии, известный производством высококачественных изумрудов. Геология региона имеет фундаментальное значение для формирования и расположения изумрудных месторождений. Дана характеристика основных методов их поисков. Проведен региональный аэрокосмический и линеаментно-геодинамический анализ территории Бояка для геодинамической оценки и поисков новых перспективных районов изумрудов.

Ключевые слова: геология, аэрокосмогеологические исследования, дешифрирование, линеаментно-геодинамический анализ, изумруды, Бояка, Колумбия

Eloy Fernando Castro Esquibel
Republic of Colombia

**AEROSPACE ANALYSIS OF THE BOYACA REGION (COLOMBIA)
FOR GEODYNAMIC ASSESSMENT AND SEARCH FOR EMERALDS**

Geological information about the Boyaca region (Colombia) in connection with the prospecting and mining of emeralds is presented. Boyaco is a region of Central Colombia known for producing high quality emeralds. The geology of the region is of fundamental importance for the formation and location of emerald deposits. A description of the main methods of their search is given. A regional aerospace and lineament-geodynamic analysis of the territory of Boyak was carried out for geodynamic assessment and search for new promising areas of emeralds.

Keywords: geology, aerospace geological research, interpretation, lineament-geodynamic analysis, emeralds, Boyacá, Colombia

Введение

Бояка́ (исп. *Boyacá*) – один из департаментов Колумбии. Располагается в центральной части страны, имеет небольшой участок границы с Венесуэлой. Административный центр – город Тунха. Площадь 23 189 км² (рис. 1, 2).

Бояка – это регион Колумбии, известный своим богатством природных ресурсов и значением в горнодобывающей промышленности. В частности, провинция Музо известна во всем мире качеством своих изумрудов, что вызвало большой интерес к геодинамической оценке и поиску этого минерала.

Поиск этих ресурсов был важным видом деятельности в регионе на протяжении веков, и сегодня он остается важной отраслью местной экономики. Геодинамика – это отрасль геологии, которая фокусируется на изучении процессов и явлений, влияющих на структуру и эволюцию Земли.



Рис. 1. Спутниковая карта Колумбии

В этой статье, оценка поиска изумрудов в Бояке будет проанализирована с аэрокосмической точки зрения, с использованием методов геодинамики для лучшего понимания геологии региона и содержащихся в нем минеральных ресурсов. Все карты геологического и географического содержания взяты из открытых источников [17-21, 25, 27].

Аэрокосмические методы используются для поиска изумрудных месторождений в Бояке, Колумбия, поскольку они способны предоставить подробную информацию о геологии и минерализации региона.

Геологические условия образования изумрудов

Бояка находится в Восточной Кордильере Анд – горном хребте, простирающемся через всю Южную Америку. Восточная Кордильера состоит из осадочных, метаморфических и магматических пород, которые формировались на протяжении миллионов лет в результате тектонической и вулканической активности в регионе (рис. 2, 3).

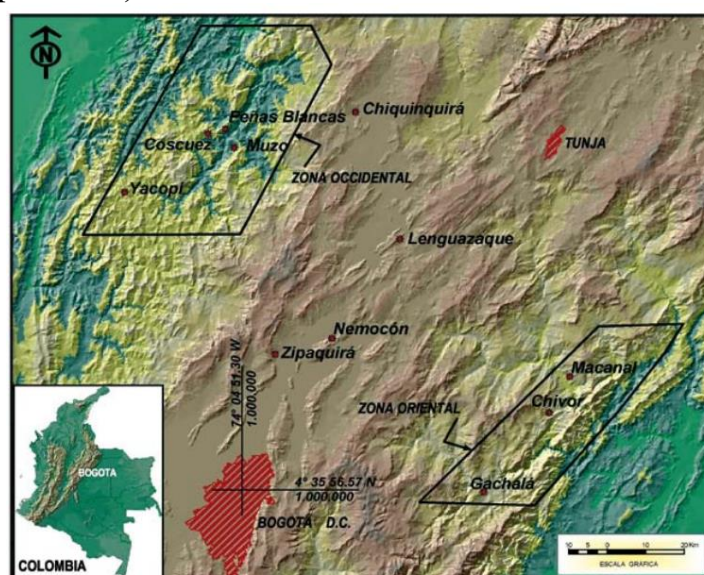


Рис. 2. Карта Бояса

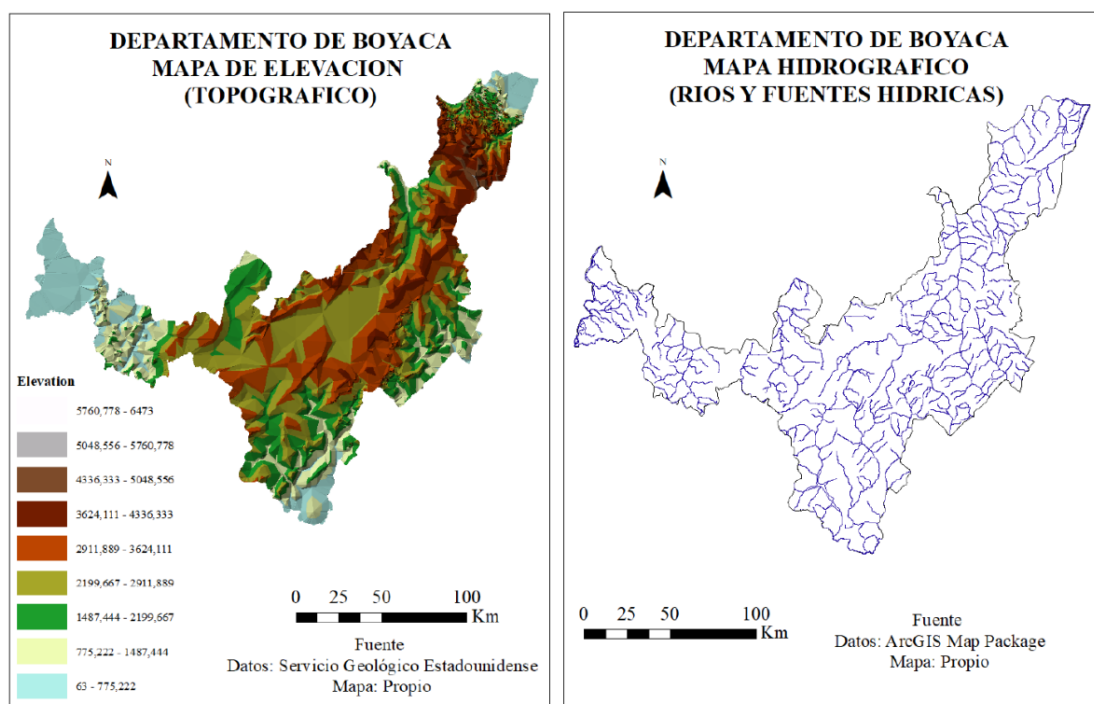


Рис. 3. Карта департамента Воюаса, представляющая топографию или контурную карту (слева). Карта департамента Бояка, представляющая карту рек и водоносных горизонтов (справа)

Геологические условия и геодинамическая оценка региона Бояка имеет фундаментальное значение для формирования и расположения изумрудных месторождений (рис. 4, 5).

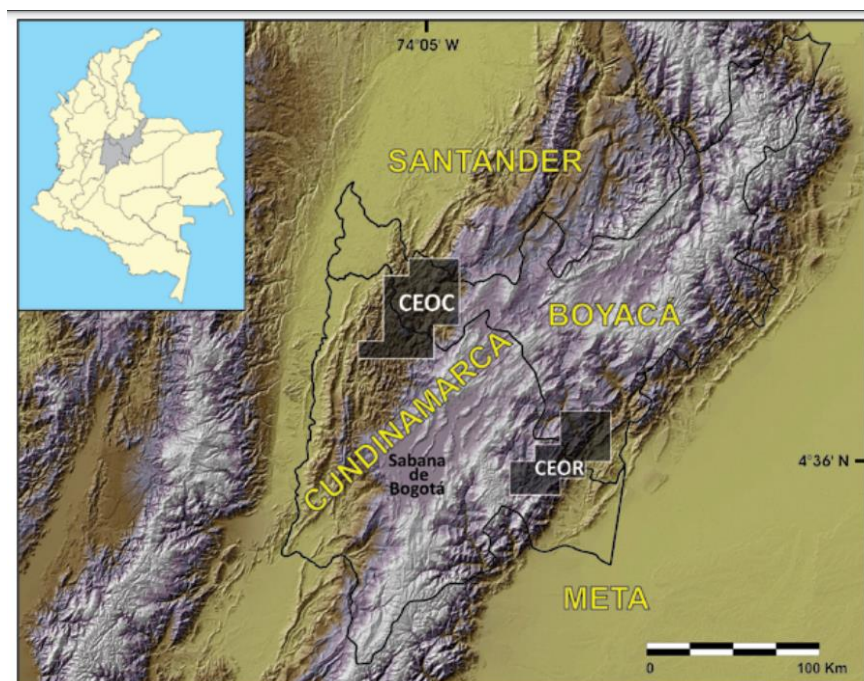


Рис. 4. Карта расположения Западного изумрудного пояса (CEO) и Восточного изумрудного пояса (CEOR), Восточная Кордильера, Колумбия

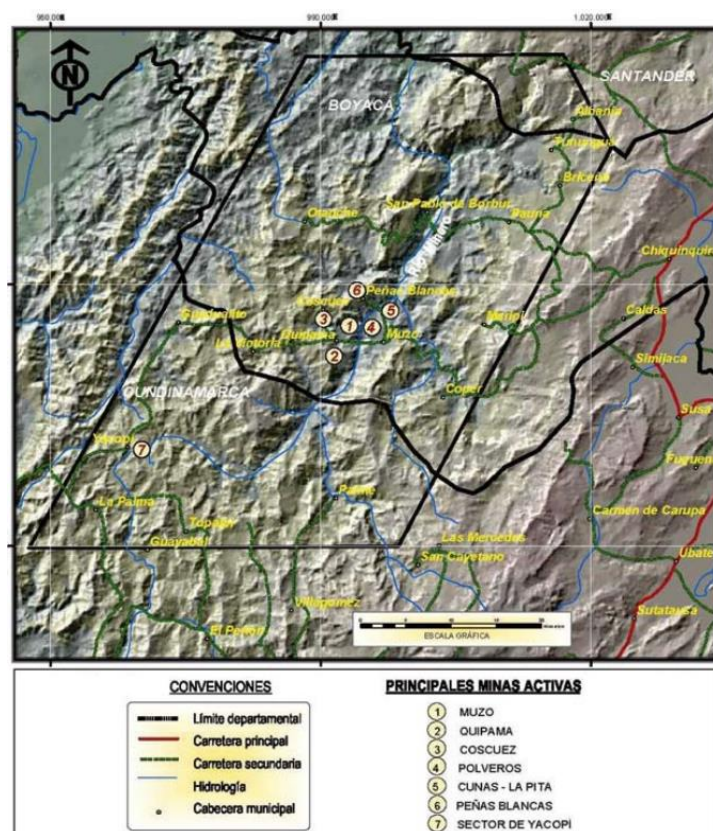


Рис. 5. Основные действующие шахты (обозначены цифрами)

Геологическое строение характеризуется наличием осадочных, метаморфических и магматических пород, которые формировались в течение миллионов лет в результате тектонической и вулканической активности в регионе. В частности, образование изумрудов связано с присутствием осадочных пород, богатых алюминием, бериллием и хромом, которые претерпели процессы метаморфизма и деформации. Осадочные породы являются наиболее важными для формирования изумрудных месторождений в Бояке. Изумруды встречаются в сланцах и мергелях, которые представляют собой осадочные породы, богатые алюмосиликатами. Эти породы сформировались более 65 миллионов лет назад в позднем меловом периоде, когда регион был покрыт мелководным морем. В позднем меловом периоде мелкое море, покрывавшее регион Бояка, испарилось, оставив после себя сланцевые и мергелевые отложения. Эти отложения подверглись метаморфизму и деформации в результате тектонической активности в регионе. В результате сланцы и мергели были преобразованы в метаморфические породы, известные как сланцы. Изумруды образовались в сланцах благодаря присутствию подземных вод, богатых хромом и ванадием. При взаимодействии этих вод со сланцами минералы, содержащие изумруды, растворялись и переносились по трещинам и разломам в породе. Со временем минералы кристаллизовались и образовали изумруды.

Большинство изумрудных месторождений в регионе Бояка находятся в районах Музо, Коскуес и Чивор. Эти месторождения расположены в районах, где сланцы подверглись процессам деформации и разломов, что позволило образоваться изумрудам.

Колумбийские изумруды имеют множество особых характеристик с точки зрения состава и цвета, включений и садов, а также двойникования и ассоциации с редкоземельными минералами. Состав и цвет Они характеризуются самым низким в мире содержанием Na и K, а также тем, что Fe не входит в определение хромофорных элементов; своим цветом они обязаны исключительно присутствию Cr и/или V (табл. 1).

Таблица 1

Основные районы добычи изумрудов Воуаса

Зона	Добыча, сектор	Характеристика изумрудов (цвет, качество и др.)
Западный	Музо	Глубокий травянисто-зеленый цвет и хорошая прозрачность из-за низкого присутствия примесей и включений
	Коскуэс	Типичный желтовато-зеленый цвет, называемый "cebolludo de Coscuez". Небольшое количество включений и примесей
Восточный	Чивор	В целом голубоватый цвет, очень характерный для этих месторождений. В целом, хорошее качество. В других присутствуют включения, микротрещины, трещины и пустоты, которые трудно замаскировать
	Гачала	Бледно-зеленый цвет. Отсутствие примесей или трещин, различных невооруженным глазом

Основные методы поисков изумрудов

Поиски изумрудных месторождений могут быть как *эмпирическими*, так и *техническими*. Первые основаны на опыте и наблюдениях знающих людей, а вторая использует технологические и научные инструменты для поиска месторождений полезных ископаемых. Технические поиски начинается с *изучения и анализа спутниковых снимков*, карт и публикаций, чтобы выбрать участок с благоприятным потенциалом. Затем следует *геологическое картирование*, а в некоторых случаях используются *геохимические или геофизические методы*, чтобы подойти к секторам с высоким потенциалом изумрудных месторождений. Геохимические методы, часто имеют приоритетное значение в процессе поисков, поскольку являются прямыми индикаторами месторождений полезных ископаемых (рис. 6).

Поиски изумрудов ведутся с использованием геофизических и геохимических методов для выявления участков с высокой концентрацией минералов. Среди наиболее часто используемых методов – магнитометрия, радиометрия и спектроскопия, которые позволяют определить физические и химические характеристики пород и почв. Кроме того, для определения качества и количества изумрудов, присутствующих на данной территории, используются методы отбора проб и анализа образцов.

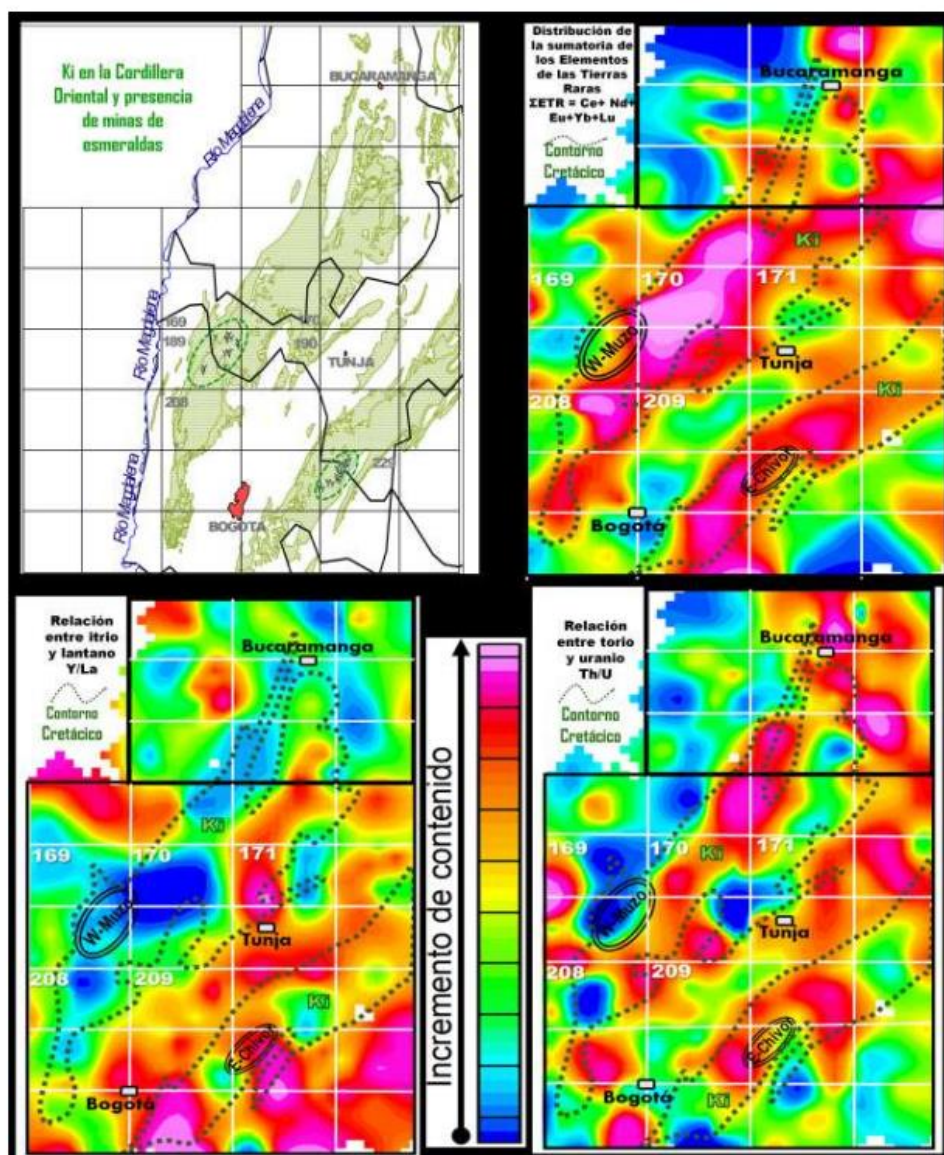


Рис. 6. Региональная геохимия, указывающая на очертания Кинфского и Изумрудного поясов

Однако поиски изумрудов в Бояке также вызывают экологические и социальные проблемы. Добыча полезных ископаемых может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, особенно на качество воды и местное биоразнообразие. Кроме того, горнодобывающая деятельность может порождать социальные и экономические конфликты, особенно в сельских общинах, для которых земля является источником средств к существованию.

Другим методом поиска изумрудов является воздушная магнитометрия, которая используется для измерения вариаций магнитного поля Земли. Это используется для выявления геологических структур, в которых могут находиться изумрудные месторождения. Горные породы, содержащие магнитные минералы, могут создавать магнитные аномалии, которые могут быть обнаружены датчиками воздушной магнитометрии. Дополнительная радиометрия с воздуха используется для измерения вариаций гамма-излучения, испускаемого Землей. При поиске изумрудов воздушная радиометрия используется для выявления пород, содержащих радиоактивные минералы, которые могут служить индикаторами.

тором наличия изумрудных месторождений. Породы, содержащие радиоактивные минералы, могут создавать радиометрические аномалии, которые могут быть обнаружены датчиками воздушной радиометрии.

Линейное поле использовалось для картирования зон пополнения и разгрузки подземных вод в Бояке. Это важно для поиска изумрудов, поскольку подземные воды являются ключевым фактором в формировании изумрудных месторождений. Знание зон подпитки и разгрузки подземных вод позволило определить участки с наибольшим потенциалом для добычи изумрудов.

Методика и результаты исследований

Аэрокосмические методы используются для поиска изумрудных месторождений в Бояке, Колумбия, поскольку они способны предоставить подробную информацию о геологии и минерализации региона. Основные методы включают дистанционное зондирование, воздушную магнитометрию и воздушную радиометрию.

Дистанционное зондирование – это метод, использующий дистанционное зондирование для сбора информации о земной поверхности. При поиске изумрудов дистанционное зондирование используется для выявления участков нарушенной растительности, что может служить индикатором наличия изумрудных месторождений. Кроме того, с помощью дистанционного зондирования можно выявить участки с изменениями в землепользовании, что может свидетельствовать о наличии горных работ.

Геодинамический анализ является одним из важнейших, при поиске изумрудов в Бояке. Было изучено влияние тектоники Анд на формирование изумрудных месторождений, а структурный анализ использовался для выявления геологических структур, в которых могут находиться изумрудные месторождения.

Кроме того, геодинамический анализ использовался для оценки воздействия добычи изумрудов на окружающую среду в регионе. Такие методы, как дистанционное зондирование, использовались для мониторинга изменений в землепользовании и растительности, а также для выявления районов, где был нанесен ущерб окружающей среде.

Общая методология аэрокосмогеологических и геодинамических исследований изложена в работах [1, 2, 4, 5, 8, 9, 26], методика работ и их примеры в разных регионах приведена в работах [3, 6, 7, 10-16, 22-24].

При аэрокосмогеологических исследованиях применялось *структурное дешифрование* космоснимков с выделением линеаментов (линейных структур) и кольцевых структур на поверхности Земли. Был изучен рельеф участка, и структуры выделялись на элементах, расчленяющих рельеф, долинах и руслах рек, различных подъёмах и опусканиях рельефа и на участках временных водотоков. Эти элементы имеют прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре.

Затем проводился *линеаментно-геодинамический анализ* на основе космоснимков с выделенными структурами. Построена карта плотности линеаментов, на которой выделяются геодинамически активные зоны. Геодинамически активные зоны и их пересечение с кольцевыми структурами позволяет выде-

лить опасные геодинамические зоны и перспективные участки для поисков месторождений полезных ископаемых.

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

1) линеаментные и кольцевые структуры указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;

2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы; чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. изумруды;

3) кольцевые структуры также указывают на возможность существования рудоконцентрирующей или рудоконтролирующей зоны;

4) особенно высока вероятность нахождения такой зоны, если кольцевая структура осложнена множеством линеаментов.

Аэрокосмогеологическое исследование проводилось по космическим снимкам масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000. Эти материалы были взяты с сайта nakarte.me (ESRI Satellite E). Структурно-геологический и линеаментно-геодинамический анализы проводились при помощи программного обеспечения ArcMap и включенного туда модуля геообработки Spatial Analyst. Всего на основе дешифрирования современных космических снимков было выделено 19 региональных линеаментов (субмеридионального направления), 8 дуговых и 5 кольцевых структур, на карте масштабом 1:1 000 000. На карте выделен участок карты, который будет рассмотрен подробнее на карте 1:200 000 масштаба (рис. 7).

На карте масштаба 1:200 000 было выделено 659 зональных и 27 региональных линеаментов, 24 дуговых и 16 кольцевые структуры. Данный масштаб позволяет более подробно рассмотреть исследуемый участок, поэтому основное дешифрирование выполнено в этом масштабе (рис. 8).

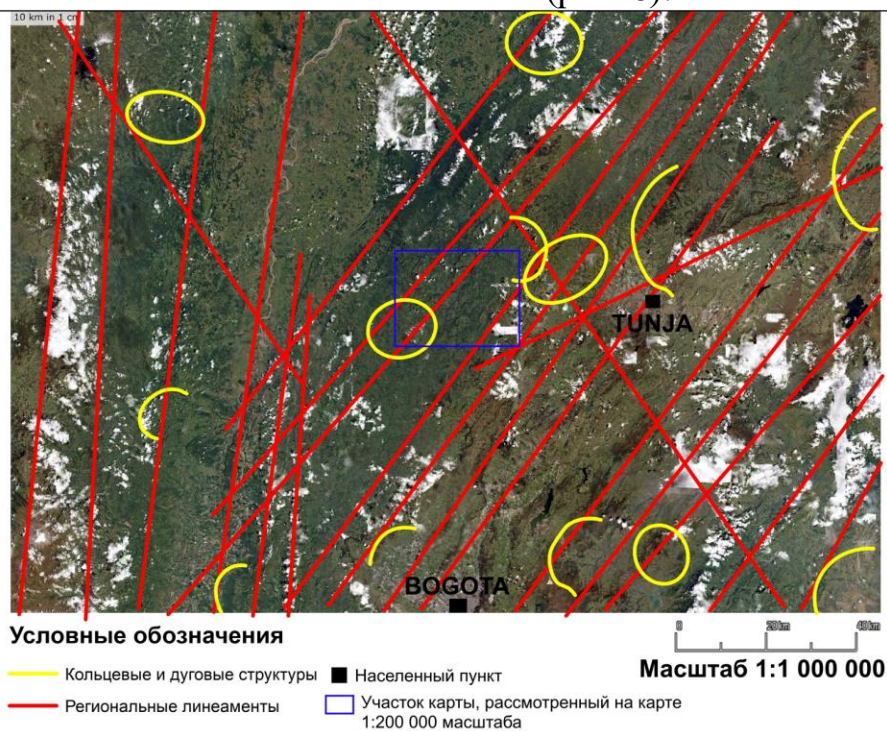


Рис. 7. Космоснимок Воуаса с выделенными региональными линеаментами, кольцевыми и дуговыми структурами (масштаб 1:1 000 000)

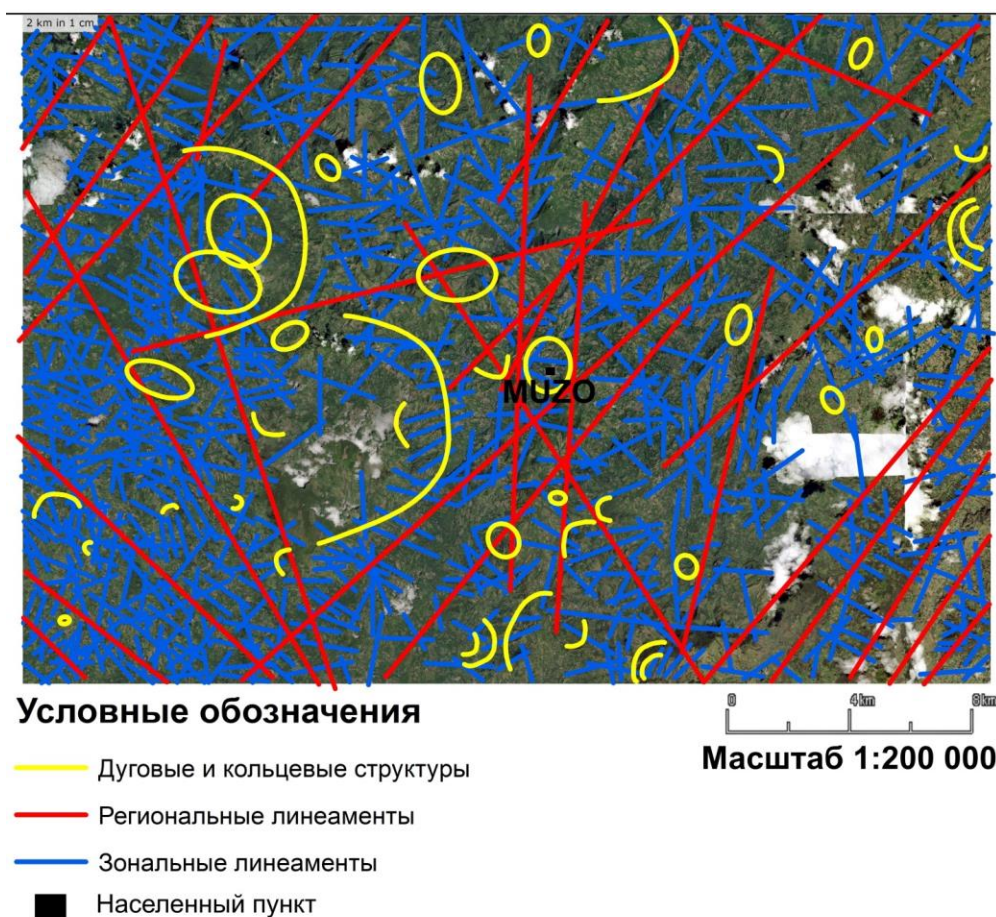


Рис. 8. Космоснимок Воюаса с выделенными региональными и зональными линеаментами, кольцевыми и дуговыми структурами (масштаб 1:200 000)

Результаты выделения структур сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица выделенных структур и линеаментов

Стадия работ	Масштаб дешифрования	Количество линеаментов		Количество кольцевых структур	Количество дуговых структур
		Региональные	Зональные		
Обзорная	1:1 000 000	19	-	5	8
Зонально-региональная	1:200 000	27	659	16	24
Суммарное количество структур		46	659	21	32

При выполнении линеаментно-геодинамического анализа была составлена карта плотности линеаментов (рис. 9). Геодинамическая активность выражена градиентом от зеленого к красному цвету, строилась по плотности линеаментов на карте с помощью модуля геообработки Spatial Analyst.

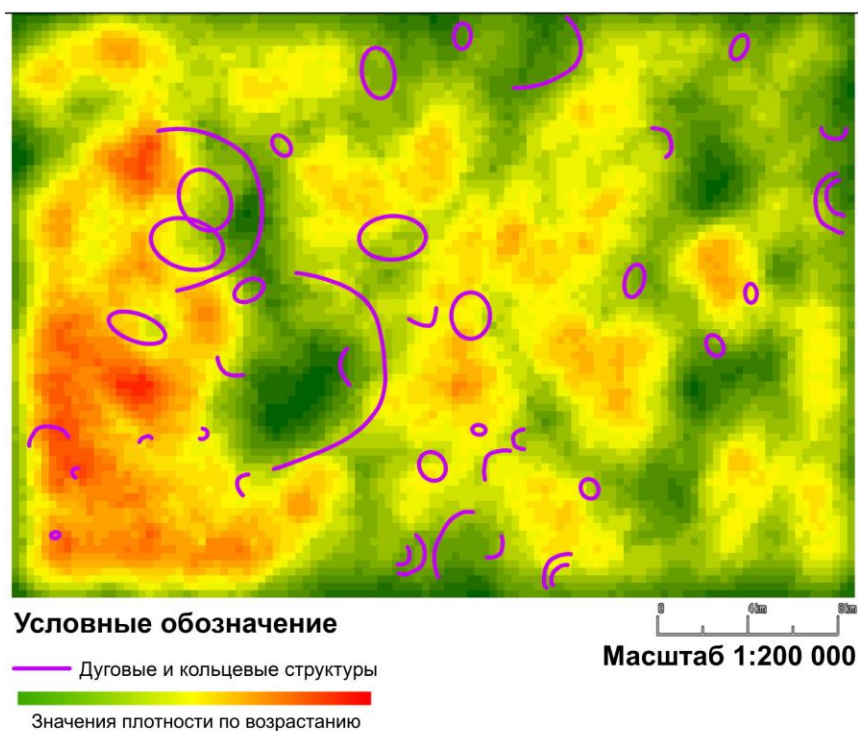


Рис. 9. Карты плотностей пересечения линеаментов и выделенных кольцевых и дуговых структур (масштаб 1:200 000)

По карте плотности линеаментов можно определить, что на территории не высокая плотность линеаментов. Большая плотность линеаментов отмечены в западной части карты. Большинство структур приурочены к изменениям рельефа под влиянием временных водотоков и незначительных изменениях речной сети. Они имеют низкие и предные значения геодинамической активности.

Закартированы 3 перспективные зоны на поиски изумрудов, которые выделялись на пересечении: максимумов поля плотности линеаментов; зон пересечения линеаментов и наличия кольцевых и дуговых структур (рис. 10).

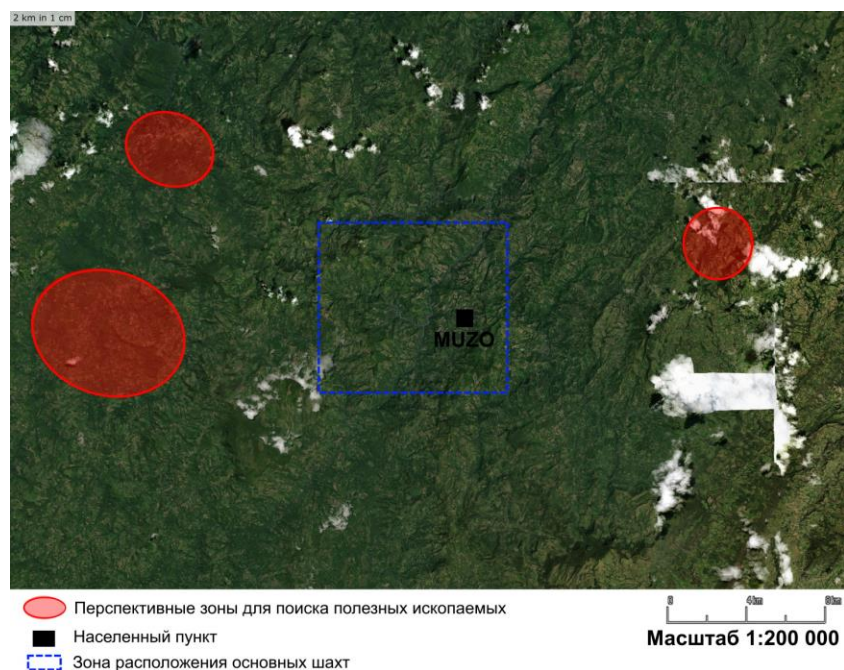


Рис. 10. Карта перспективных новых зон поисков изумрудов с участком расположения основных шахт Вуаса (Масштаб 1:200 000)

Зоны, которые не пересекаются, друг с другом были исключены из обработки данных и не показаны на карте. Для наглядности на карте представлен участок расположения основных шахт. Ни одна из выделенных перспективных зон не попала в пределы участка. Однако, визуально видно, что сектор Музо в структурно-геологическом плане контролируется региональными тектоническими линеаментами и локальной кольцевой структурой. Полученные данные требуют подтверждения детальными космогеологическими методами (масштаб 1:100 000-1:25 000) и дополнительными исследованиями с привлечением геофизических и геохимических методов.

Заключение

В заключение следует отметить, что геодинамическая оценка и поиски изумрудов в Бояке требуют глубокого понимания местной геологии и использования передовых методов разведки. Однако также важно учитывать экологические и социальные последствия горнодобывающей деятельности и искать пути их минимизации с помощью устойчивых и ответственных методов. Линейное поле и геодинамический анализ являются ценными инструментами при поиске изумрудов в Бояке, Колумбия, поскольку они позволяют определить участки с наибольшим потенциалом для добычи изумрудов и оценить воздействие горнодобывающей деятельности на окружающую среду. Знание зон подпитки и разгрузки подземных вод и выявление геологических структур, в которых могут находиться изумрудные месторождения, являются ключевыми аспектами эффективного поиска изумрудов. В целом, ответственное и устойчивое использование этих инструментов является основополагающим для обеспечения сохранения окружающей среды и долгосрочной устойчивости горнодобывающей деятельности в Бояке. В совокупности эти методы могут помочь сократить затраты и время, необходимые для разведки изумрудов в Бояке.

Библиографический список

1. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / И.С. Копылов; Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.*
2. Брюханов В.Н., Буш В.А. *Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.*
3. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.*
4. Копылов И.С. *Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 148-158.*
5. Копылов И.С. *Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beaи Vassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.*
6. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.*
7. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.*
8. Копылов И.С. *Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
9. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанцион-*

ных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.

10. Копылов И.С. Результаты детального дешифрирования космических снимков для оценки геодинамической активности и выделения потенциально опасных карстовых участков города Кентау (Южный Казахстан) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 284-291.

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

12. Копылов И.С., Бабеныхин В.М. Поиски полиметаллов и золота на Приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 159-166.

13. Копылов И.С., Ковин О.Н., Накисбек С. Инженерно-геодинамический анализ территории на стыке России, Китая, Казахстана и Монголии для строительства магистральных трубопроводов // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения*. Пермь, 2019. С. 197-203.

14. Копылов И.С., Ковин О.Н., Нахесбик С. Изучение инженерно-геодинамических условий аэрокосмическими методами для проектирования крупных линейных сооружений России (Алтай) и Китая (провинция Синьцзянь) // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2019. № 2 (39). С. 428-434.

15. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-X, XVI) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 145-158.

16. Ali M.D., Kopylov I.S. Lineament-geodynamic analysis of the republic of Somalia for oil and gas search // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 204-216.

17. Acosta, J. y Ulloa, C. (1998). *Geología de la Plancha 208 – Villeta. Escala 1:100000*. Ingeominas. Bogotá.

18. Acosta, J. y Ulloa, C. (2001). *Geología de la Plancha 208 – Villeta. Escala 1:100000. Memoria Explicativa*. 84p. Ingeominas. Bogotá.

19. Canchon, D.M., Concha, P., A.E., Moreno M., J.M. (2014). *Caracterización Petrográfica y Geoquímica del Cuerpo Intrusivo de Guaquimay (Cundinamarca) Colombia*. GEOLOGIA COLOMBIANA, Vol.39. Bogotá, Colombia.

20. Carrillo, Victor (2009). *Esmeraldas de Colombia. Patrimonio geológico de la humanidad*. Bogotá.

21. Guiza, Sonia (2020). *Alcance de la Geoquímica en la Cordillera Oriental (Colombia, Suramérica) para el Potencial de Metales Estratégicos*. Colombia.

22. Kopylov I.S. Estimation of geodynamic activity and its effect on mining-geological conditions and flooding of potassium mines // *Mine Water: Technological and Environmental Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference. Perm State University, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of RAS*. 2019. С. 16-22.

23. 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.

24. Kopylov I.S., Kovin O.N., Nahesbik S. Regional aerospace-geological analysis for the design of major linear engineering objects of Western China // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 55-62.

25. Montoya, D. y Moreno, G. (2019). *Esmeralda. En: Recursos minerales de Colombia*, vol. 2. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

26. Seredin V.V., Kopylov I.S., Khrulev A.S., Leibovich L.O., Pushkareva M.V. Evolution of fracture surface morphology in rocks // *Journal of Mining Science*. 2013. Т. 49. № 3. С. 409-412.

27. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39521/u806850.pdf?sequence=1>.

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

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

УДК 622.323

И.А. Андреева, В.В. Андреева, С.Н. Гладких
Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГЕОЭКОЛОГИИ

В статье рассматриваются основные направления использования аэрокосмических методов в геоэкологических исследованиях, таких как инвентаризация различного рода территориальных систем, оценка их состояния и возможностей использования, изучение динамики, геоэкологическое прогнозирование, а также поиск месторождений полезных ископаемых в труднодоступных районах Арктического региона. Раскрыта сущность и значение изучения геологического строения из космоса. Показана сущность дешифровки космических снимков и его практическое применение.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дистанционное зондирование земли, геоэкологическое прогнозирование, дешифровка космических снимков, геофизические исследования.

I.A. Andreeva, V.V. Andreeva, S.N. Gladkikh
Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

USE OF AEROSPACE METHODS IN GEOECOLOGY

The article discusses the main directions of using aerospace methods in geoecological research, such as inventory of various kinds of territorial systems, assessment of their condition and use possibilities, study of dynamics, geoecological forecasting, as well as the search for mineral deposits in hard-to-reach areas of the Arctic region. The essence and significance of studying the geological structure from space is revealed. The essence of decoding satellite images and its practical application is shown.

Keywords: aerospace methods, remote sensing of the Earth, geoecological forecasting, decoding of satellite images, geophysical research.

Введение

Космические методы нашли широкое применение при геологических исследованиях, прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых, изучении сейсмоопасных, обвально-оползневых зон, и активности экзогенных процессов (эрозионных, абразионных, карстово-суффозионных), инженерно-геологических изысканиях, структурно-геоморфологических и неотектонических исследованиях, изучении шельфа, мониторинге геологической среды, в геоэкологии.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что космические методы в геологии могут значительно упростить поиск месторождений полезных ископаемых, особенно в труднодоступных районах, в частности в Арктическом регионе [19, 20].

Отсюда видно, что космические методы в геологии имеют важнейшее значение, причем в самых различных отраслях – от поиска месторождений полезных ископаемых до экологии, от вопросов безопасности (например, при изучении сейсмоопасных или оползневых зон) до экологических вопросов.

Цели и задачи

Цель данной работы: показать возможности отечественной аэрокосмической науки для проведения относительно недорогих, по сравнению с зарубежными, методов исследований тектонического строения недр Арктического региона, позволяющих провести изучение нефтегазовых перспектив некоторых его шельфовых территорий.

Задачи работы: раскрыть сущность и значение изучения геологического строения из космоса; показать сущность дешифровки космических снимков и его практическое применение; показать возможности отечественной аэрокосмической науки при изучении тектонического строения Арктического региона.

Теория

Космические снимки стали применять в геологии с 60-х годов. Доступные вначале только для специалистов, они быстро получили широкое признание. На этой базе оформились самостоятельные виды региональных геологических исследований, созданы карты нового типа: космогеологические, космо тектонические, космогеодинамические; открыты месторождения полезных ископаемых. Постоянно совершенствуются методы получения космической информации, способы ее преобразования и компьютерной обработки.

При аэрокосмических съемках регистрируются отраженная от поверхности Земли солнечная радиация и собственное электромагнитное поле системы земная поверхность-атмосфера. Для дистанционного зондирования используют следующие диапазоны волн: ультрафиолетовый (0,27-0,4 мкм), видимый (0,4-0,78 мкм), инфракрасный (ближний 0,7-0,9 мкм; тепловой 3,5-5,0 и 8,0-14 мкм), микроволновой (0,30-10 см). В видимом и инфракрасном диапазонах съемки проводят фотографическими, телевизионными и сканерными методами, в которых используют естественное отражение или вторичное тепловое излучение объектов, обусловленное солнечной радиацией. Эти методы называют пассив-

ными. Активные – радарные методы применяют в микроволновой области излучения, создаваемого искусственным источником направленного действия [13].

Космические снимки получают с межпланетных автоматических станций, искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и долговременных орбитальных станций. От масштаба и пространственного разрешения космических снимков, под которым понимают размеры минимального объекта, различимого на снимке, зависят его обзорность и генерализация изображения. Различают снимки глобального, континентального, регионального, локального и детального уровней генерализации.

На всех космических снимках независимо от геологического, геоморфологического строения региона, истории его развития и климата выделяются линейные, кольцевые и площадные объекты.

На космических снимках прежде и лучше всего отражены основные формы современного рельефа, которые определены в основных своих чертах позднекайнозойской структурой, сформированной эндогенными процессами за последние 35-40 млн лет. Поэтому на снимках континентального уровня генерализации выделяются крупные латеральные неоднородности земной коры и литосферы с различной интенсивностью и направленностью (поднятия / опускания) новейших тектонических движений, границы которых совпадают с линейментами. В орогенических областях такие площадные объекты представлены антиклинальными и синклинальными мегаскладками основания и мезозойско-кайнозойскими складками чехла, горстами, грабенами, впадинами разной морфологии, выраженными в рельефе. В платформенных областях, где фундамент, за исключением щитов, перекрыт чехлом осадочных отложений, а амплитуды тектонических движений и деформаций на порядок ниже, геологические структуры устанавливаются по косвенным, ландшафтно-индикационным признакам.

На космических снимках более крупного масштаба и пространственного разрешения дешифрируются геологические тела, образованные стратифицированными толщами относительно выдержанного вещественного состава и однотипного характера дислоцированности (вещественно-структурные комплексы). Детальность их расчленения зависит от геолого-структурных и ландшафтно-климатических особенностей района. Наиболее высокая она в геологически открытых районах с литоморфным рельефом, где на современный денудационный срез выведены коренные породы разного возраста, и с различными противоденудационными свойствами, нашедшими отражение в рельефе: крепкие породы образуют гряды, а менее прочные – межгрядовые понижения. В геологически закрытых районах плит, где на поверхности на больших площадях распространены четвертичные отложения, возможно выделение генетических типов четвертичных отложений (флювиальных, ледниковых, делювиальных). Информативность космических снимков разная в регионах с различным геологическим и геоморфологическим строением.

Аэрокосмические методы, совместно с наземными геолого-геофизическими данными, могут дать возможность с меньшими финансово-экономическими затратами выделить наиболее перспективные нефтегазовые регионы

Северного Ледовитого океана, его прибрежных зон и спланировать систему проведения дальнейших детальных геолого-геофизических работ в этом очень перспективном для поисков нефти и газа регионе.

Результаты исследования.

Российские шельфовые зоны Северного Ледовитого океана, по мнению специалистов [1-12,15,16,22], проводивших там исследования должны быть богаты запасами нефти и газа. Региональные геолого-геофизические исследования недр под российской акваторией Северного Ледовитого океана до недавнего времени проводилось в основном такими научными организациями «ВНИИОкеанология» [9], «ААНИИ» [16], «ИЗМИРАН» [16, 21], «ИФЗ РАН» [18], ОАО «СЕВМОРГЕО» и другие, с помощью геофизической аппаратуры, установленной на дрейфующих полярных станциях «Северный полюс» и вдоль одиночных арктических геотраверсов ледокола «Арктика». В последнее время появилось много новых геологоразведочных организаций, выполняющих с помощью морских съемок и полярной авиации геофизические исследования в Арктическом регионе вдоль некоторой локальной сети профилей (рис.1).

По спутниковым электромагнитным данным можно увидеть, что одна ветвь Арктического океанического рифта (II а) продолжается от Новосибирских островов через пролив Санникова и далее почти вдоль береговой линии восточного побережья Российской Федерации, по Восточно-Сибирскому и Чукотскому морям, проходит немного южнее острова Врангеля до Берингова пролива, где она соединяется с Тихоокеанским срединно-океаническим хребтом (III), испытывавшим в недавние геологические периоды постепенное вертикальное движение вверх. Это привело к вздыманию северной части Тихоокеанского СОХ над уровнем Мирового океана (рис. 2).

Выявление полосовых палеомагнитных аномалий в Северном Ледовитом океане также позволяет определять месторасположение Арктической рифтовой системы и направление глубинных трансформных разломов этой системы. И эти данные о положении полосовых палеомагнитных аномалий в Восточно-Сибирском и Чукотском морях [5, 14] не противоречат нашим спутниковым данным о расположении Арктической рифтовой системы срединно-океанического хребта Северного Ледовитого океана и глубинных трансформных разломов.

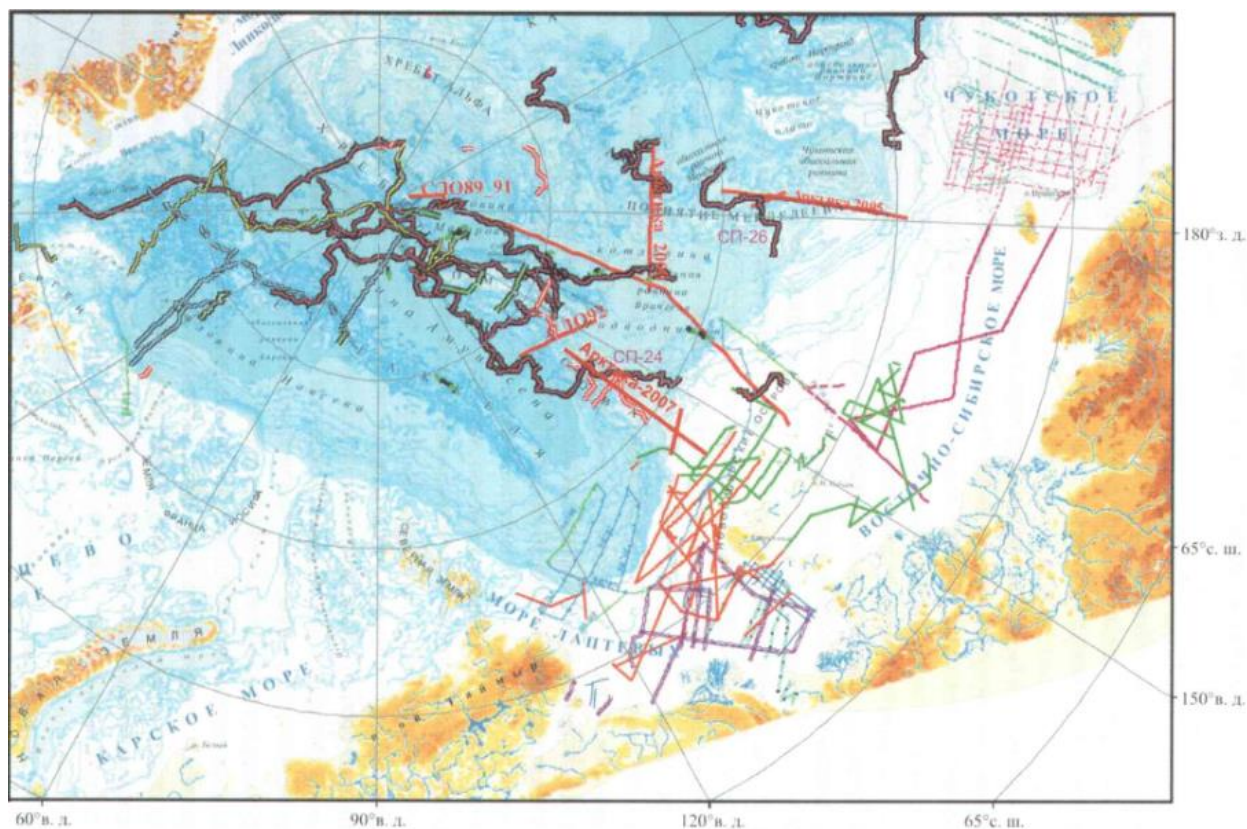


Рис. 1. Схема проводимых геолого-геофизических исследований на акватории Северного Ледовитого океана в российском секторе Арктического региона: с помощью научных станций на дрейфующих льдах «Северный полюс – СП» – обозначены коричневыми кривыми; красными жирными линиями выделены геотраверсы ледокола «Арктика»; оранжевыми, зелеными, лиловыми линиями показаны маршруты аэромагнитных съемок в пределах Северного Ледовитого океана [9]

Для подтверждения географического расположения вновь формирующейся восточной ветви (II а) Арктической рифтовой системы, протягивающейся вдоль побережья Восточно-Сибирского и Чукотского морей, выделенной нами по спутниковым электромагнитным аномалиям, авторами также были проанализированы спутниковые данные по альтиметрическим (гравитационным) аномалиям, измеренным на спутнике «CHAMP» (рис. 3)

На акватории Северного Ледовитого океана (синими и зелеными линиями), частично представленные на карте перспективных запасов углеводородов на рис. 4, также показывают, что они образуют вокруг себя достаточно перспективные (выделенные желтым цветом – V, VIII, X) и высокоперспективные зоны (выделенные оранжевым цветом – II, IV) со значительными запасами углеводородов. То есть, независимые оценки перспективности различных районов Северного Ледовитого океана, сделанные по комплексу различных геолого-геофизических ведомственных данных, совпадают с перспективными зонами накопления углеводородов, выделенными нами по спутниковым электромагнитным, альтиметрическим и морфоструктурным данным.

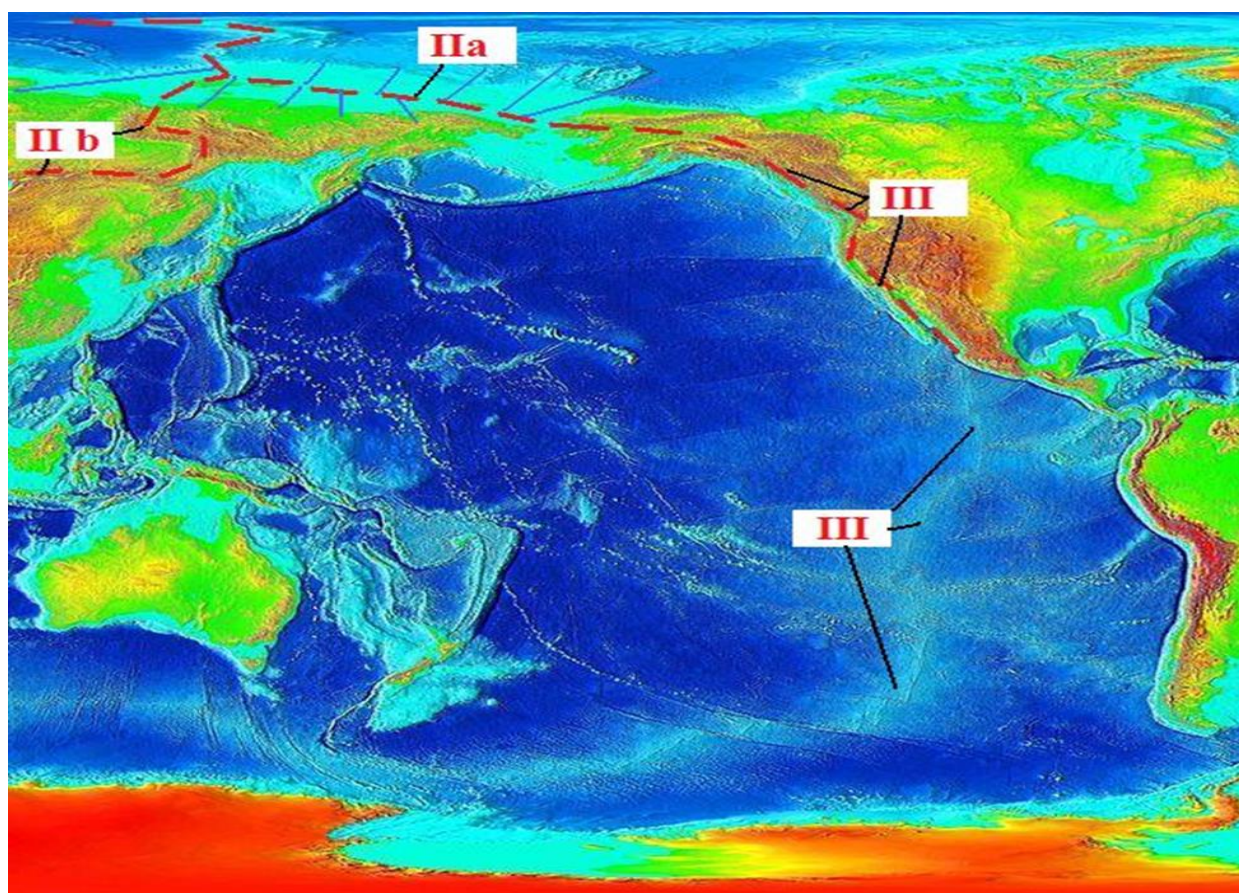


Рис. 2. Схема расположения океанической (II а) и континентальной (II б) ветвей Арктической (II) и Тихоокеанской (III) рифтовых систем СОХ (пунктир красного цвета), их глубинных трансформных тектонических разломов (линии синего цвета), построенная на основе спутниковой карты рельефа поверхности Земли [19]

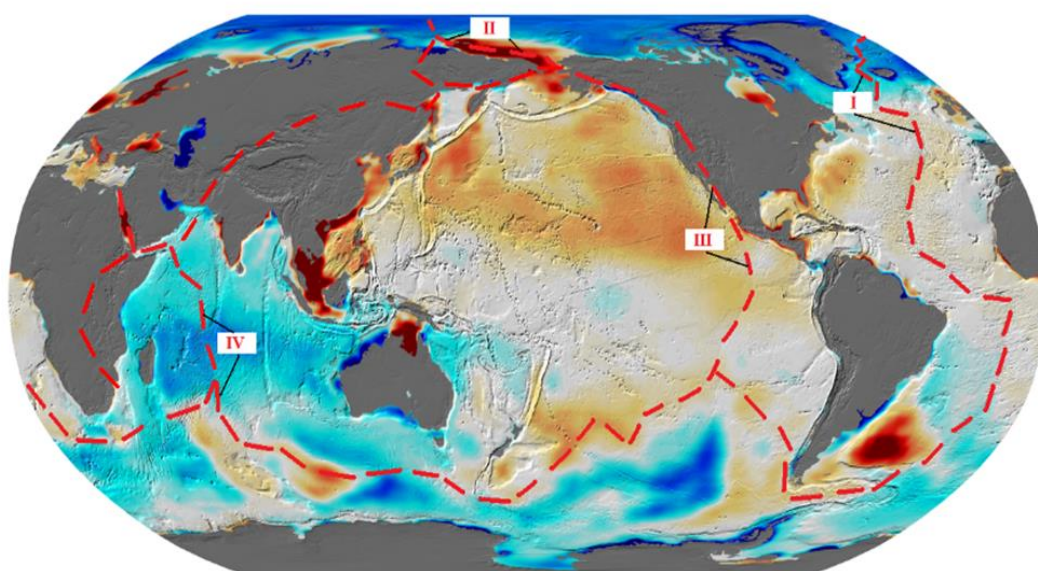


Рис. 3. Цветовая карта альтиметрических (гравитационных) аномалий по данным КА «СНАМР» и пространственное расположение срединно-океанических хребтов (красный пунктир), коррелирующих с максимальными значениями альтиметрических аномалий (коричневые зоны) [19]

К сожалению, даже самые мощные и лучшие в мире отечественные ледокольные суда с атомным двигателем и полярная авиация могут относительно свободно выполнять геофизические измерения в пределах Северного Ледовитого океана лишь в осенне-летний период и лишь в благоприятные по погодным условиям годы. Региональных геофизических исследований Северного Ледовитого океана было явно недостаточно, чтобы можно было решать задачи по изучению перспективности его регионов на поиски и разведку месторождений нефти и газа.

Рис. 4. Карта перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Северного Ледовитого океана [9]. Оранжевым цветом выделены высокоперспективные зоны, желтым цветом выделены умеренно перспективные зоны расположения месторождений углеводородов

В современных условиях, когда имеются определенные экономические трудности и сложности с поставкой импортного оборудования для российских геологоразведочных компаний, занимающихся в основном морской 3D-сейсморазведкой в морях Северного Ледовитого океана, самыми оперативными и относительно недорогими отечественными геолого-геофизическими методами поисков перспективных регионов на наличие в их недрах месторождений нефти и газа, на акваториях Арктического региона могут быть спутниковые магнитные и гравитационные методы.

По расчетам министерства природных ресурсов Российской Федерации большинство крупных и средних месторождений нефти на территории равнинных областей России и стран Евразийского союза находятся в стадии интенсивной эксплуатации и постепенного истощения. Специалистами рассчитано, что мелкие месторождения нефти на равнинных территориях Арктического нефтегазового бассейна в современных условиях разрабатывать экономически нецелесообразно. Поэтому по прогнозам некоторых аналитиков [17] добыча нефти на равнинной территории Российской Федерации может уменьшиться в пять раз к 2030 году, с 500 до 100 миллионов тонн, если не будут открыты новые нефтегазовые провинции на территории Российской Федерации и стран Евразийского союза, подобные крупной Западно-Сибирской нефтегазовой провинции. Прирост разведанных запасов нефти и газа в Российской Федерации, к сожалению, находится на самом низком уровне за последние 70 лет. Поэтому основные надежды нефтяников Российской Федерации, по-видимому, могут быть связаны с открытием новых перспективных регионов Восточной Сибири или крупных месторождений нефти и газа в пределах шельфовых зон, на акватории Северного Ледовитого и Тихого океанов.

Статистические данные о расположении месторождений нефти и газа по всей поверхности Земли показывают [5,12], что значительная часть месторождений газообразных и жидких углеводородов (газ, газоконденсат, нефть) сосредоточена в окрестностях трансформных глубинных разломов, связанных с океаническими рифтовыми системами. Поэтому в этой статье авторы придают такое большое значение определению месторасположения Арктической рифтовой системы и ее трансформных разломов.

В связи с санкционными ограничениями на поставки импортного оборудования для глубоководного бурения нефтегазовых скважин можно предложить Российским нефтедобывающим компаниям проводить разведочное бурение на поиски месторождений нефти и газа на мелководном шельфе Восточно-Сибирского и Чукотского морей (менее санкционной глубины 150 метров), в конусах выноса осадочных пород из дельт сибирских рек – являющихся зонами вклинивания Арктических рифтовых трансформных разломов в континентальную кору, где могут располагаться значительные месторождения углеводородов в мощных слоях осадочных песчано-глинистых пород.

Заключение

Исследованы космические методы в геологии, которые имеют важнейшее значение в поиске месторождений полезных ископаемых, изучении сейсмоопасных и оползневых зон, активности экзогенных процессов, инженерно-геологических изысканиях, структурно-геоморфологических и неотектонических исследованиях, изучении шельфа, мониторинге геологической среды, в геоэкологии.

Раскрыта сущность и значение изучения геологического строения из космоса, показана сущность дешифровки космических снимков и его практическое применение.

Показаны возможности отечественной аэрокосмической науки для проведения исследований тектонического строения недр Арктического региона, позволяющих провести изучение нефтегазовых перспектив некоторых его шельфовых территорий.

Библиографический список

1. Апплонов С.В., Шмелев Г.Б., Краснов Д.К. Геодинамика Баренцево Карского шельфа (по геофизическим данным) // *Геотектоника*. №4. 1996. С. 58-76.
2. Афанасенков Д.А., Никишин А.М., Унгер А.В., Бордуков С.И., Луговая О.В., Чикишев А.А., Яковашина Б.Г. Тектоника, тектоностратиграфия и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена // *Геотектоника*. №2. 2016. С. 23-42.
3. Богацкий В.И., Богданов Н.А., Костюченко С.Л., Сенин Б.В., Соболев С.Ф., Шипилов Э.В., Хаин В.Е. Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части Европейской России масштаба 1 : 2 500 000. Под ред. Н.А.Богданова, В.Е.Хаина. М.: Изд-во Ин-та литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 1996. 94 с.
4. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
5. Вакье В. Геомагнетизм в морской геологии. Л.: Недра, 1976. 192 с.
6. Вержбицкий В.Е., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Лобковский Л.И. Новые данные о структуре и тектонической эволюции острова Врангеля (российская Восточная Арктика) // *Доклады РАН*. Т.456. №6. 2014. С. 686-690.
7. Гаврилов В.П., Федоровский В.П., Тронов Ю.А. и др. Геодинамика и нефтегазоносность Арктики. Под ред. В.П.Гаврилова. М.: Недра, 1993. 323 с.
8. Гладких С.Н. Аэрокосмический мониторинг в экологических исследованиях // *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей / под общ. ред. И. С. Копылова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2021. Вып. 3. С.280-288.*
9. Каминский В.Д. Глубинное строение Центрального Арктического бассейна // *Автореферат на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. С-Петербург*. 2009. 47 с.
10. Ким Б.И., Евдокимова Н.К., Харитонова Л.Я. Структура, нефтегазовый потенциал и нефтегазогеологическое районирование Восточно-Арктического шельфа России // *Геология нефти и газа*. №1. 2016. С. 2-16.
11. Клецев К.А., Шеин В.С. Геодинамическая эволюция и перспективы нефтегазоносности Арктики. М.: Изд-во ВНИГНИ, 2008. 108 с.
12. Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин В.А., Зотеев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьев М.В., Фрадкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // *Геология и геофизика*. Т.54. №8. 2013. С. 1253-1274.
13. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Пер. с нем. / П. Кронберг. – М.: Мир, 2008. – С.56-58
14. Макаренко Г.Ф. Планетарные горные дуги и мифы мобилизма. М.: Космосинформ, 1993. 280 с.
15. Погребницкий Ю.Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // *Советская геология*. № 12. 1976. С. 3-22.
16. Салихов З.С., Арабский А.К., Кузнецов В.Д., Зайцев А.Н., Петров В.Г., Фомичев В.В., Трошичев О.А., Янжура А.С. Система контроля космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямал // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2010. №4. С. 39-48.

17. Тимурзиев А.И. Октябрьские тезисы к созданию теории происхождения и поисков нефти и газа // *Материалы всероссийской конференции по глубинному генезису нефти и газа «5-е Кудрявцевские чтения»*. 17-19 октября 2016 г. Москва. ЦГЭ.

18. Трофимов И.Л., Шнеер В.С., Халезов А.А. Аномальное магнитное поле хребта Ломоносова по данным дрейфующей станции “Северный полюс-19” // *Геомагнетизм и аэрономия*. Т. 46. № 2. 2006. С. 275-279.

19. Харитонов А.Л. Аэрокосмические ГРП // *Neftegaz.RU*. 2018. №3. С.1260.

20. Харитонов А.Л. Возможности методов аэрокосмического мониторинга для дистанционного зондирования глубинных морфологических особенностей активных тектонических разломов и прогноз аварий на технических объектах // В книге: *Сборник тезисов докладов 14-ой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. Электронный сборник тезисов докладов. Москва. ИКИ РАН. 2016. С. 322-323.

21. Харитонов А.Л., Хассан Г.С., Серкерев С.А., Фонарев Г.А., Харитонова Г.П. Использование комплекса спутниковых геофизических данных для изучения глубинных неоднородностей строения тектоносферы Земли в пределах Европейско-Африканского меридионального сектора // *Исследование Земли из космоса*. № 2. 2007. С. 34 – 42.

22. Шеин В.С., Альференок А.В., Каламкаров С.Л., Книппер А.А., Шеин В.А. Тектоническое строение и нефтегазоносность фундамента Западной Арктики и сопредельных регионов // *Геология нефти и газа*. №6. 2017. С. 5-29.

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОРОХОВСКОГО ГАЗОНЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Приведена характеристика природно-геологических и техногенных условий Дороховского газонефтяного месторождения. Описаны результаты исследования современного состояния окружающей среды анализируемого объекта. Проведена оценка геоэкологического состояния Дороховского месторождения с применением аэрокосмических методов и линеаментно-геодинамического анализа.

Ключевые слова: природно-геологические условия, газонефтяное месторождение, аэрокосмогеологические методы, линеаментно-геодинамический анализ, интегральная геоэкологическая оценка.

S.S. Bezrukov¹, I.S. Kopylov², S.M. Kostarev²

¹Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

²Perm State University, Perm, Russia

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF DOROKHOVSKOYE OIL AND GAS FIELD USING AEROSPACE METHODS

The characteristics of the natural-geological and technogenic conditions of the Dorokhovskoye oil and gas field are given. The results of a study of the current state of the environment of the analyzed object are described. An assessment of the geoecological state of the Dorokhovskoye field was carried out using aerospace methods and lineament-geodynamic analysis.

Key words: natural geological conditions, gas and oil field, aerocosmogeological methods, lineament-geodynamic analysis, integral geoecological assessment.

Введение

Геоэкологическая оценка территории – это определение степени пригодности природно-территориальных условий для жизни и деятельности человека. Основой геоэкологических исследований является дифференциация территории с оценкой состояния природной среды и ее компонентов. Геоэкологическая оценка показывает степень антропогенного воздействия на природную среду – ландшафт, почво-грунты, природные воды и ее устойчивость к этому воздействию. При комплексной геоэкологической оценке территории должны проводиться исследования и природных и антропогенных факторов. Важную роль играют геологические факторы формирования геоэкологических условий природно-геологической среды, особенно геодинамическая (неотектоническая активность). Эколого-геодинамические условия целесообразно изучать аэрокомо-

геологическими методами при проведении линеamentно-геодинамического анализа [6, 17, 25, 37].

Дороховское месторождение расположено на юго-востоке Пермского края, в Предуральском краевом прогибе, приурочено к Дороховскому валу, который вытянут параллельно Предуральскому прогибу. Представляет собой брахиантиклинальную складку небольших размеров северо-западного простирания. Открыто в 1964 г. Промышленная нефтеносность установлена в карбонатных отложениях фаменского яруса верхнего девона, башкирского яруса и верейского горизонта среднего карбона [45].

Методика

В настоящей работе представлена геоэкологическая оценка Дороховского газонефтяного месторождения на основе анализа опубликованных данных по различным методикам [12, 16].

Геоэкологическая оценка Дороховского газонефтяного месторождения выполнена С.С. Безруковым, согласно методике интегральной оценки геоэкологического состояния природно-геологической среды с учетом аэрокосмогеологических данных и линеamentно-геодинамического анализа по И.С. Копылову [14, 33].

Результаты геоэкологических исследований визуализированы с применением методики С.М. Костарева и А.В. Головова [34, 35].

Характеристика природно-геологических и техногенных условий

Административно-территориальное положение

В административном отношении Дороховское месторождение расположено в Октябрьском районе Пермского края, в 3,5 км к северо-западу от п. Октябрьский и в 150 км к юго-востоку от г. Перми (рис. 1).

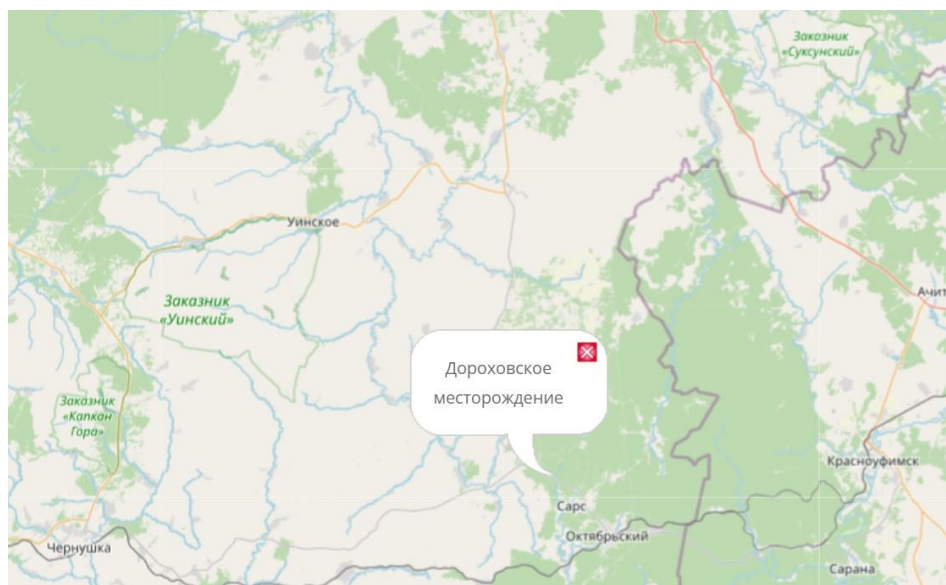


Рис. 1. Обзорная схема Дороховского месторождения [1]

Связь с областным центром осуществляется круглогодично по тракту Пермь – Кунгур – Орда – Октябрьский. В 3,5 км южнее проходит Горьковская железная дорога. Ближайшая железнодорожная станция п. Октябрьский. Ближайшие разрабатываемые месторождения Курбатовское (в 5,5 км северо-западнее), Моховское (в 14 км западнее), Трифионовское (в 10 км юго-западнее) [37].

В физико-географическом отношении площадь месторождения расположена на восточной окраине Восточно-Европейской равнины, на южном окончании Сылвенского кряжа, в междуречье рек Сарс и Токарь.

Ландшафт и почвы

Территория Дороховского месторождения находится в зоне почв тайги и хвойно-широколиственных лесов с дерново-подзолистыми, преимущественно неглубокоподзолистыми почвами [44].

По классификации ландшафтов Н.Н. Назарова [40], территория Дороховского месторождения относится к бореально гумидному типу, таежному подтипу, равнинному классу, возвышенному подклассу эрозионно-пластообразному слаборасчлененному на нижнепермских карбонатных породах, вид Тюйско-Сарский ландшафт.

По ландшафтно-геологическому (геохимическое и геодинамическое) районированию Пермского Приуралья и Урала [5, 7, 28] территория расположена в пределах мегагеохоры субэлювиально-трансэлювиальной приподнятой денудационной равнины Уфимского плато, макрогеохоры Уфимского плоскогорья и Сылвенского кряжа умеренных дифференцированных поднятий. Мегагеохора сложена нижнепермскими терригенно-карбонатными и сульфатными отложениями, перекрытыми элювиально-делювиальными четвертичными образованиями, с преобладанием дерново-подзолистых, черноземных оподзоленных почв.

Характеристика поверхностных и подземных вод

Территория Дороховского месторождения расположена в междуречье рек Сарс и Токарь. Западнее площади месторождения протекает р. Ирень. Фоновый химический состав поверхностных вод преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый с минерализацией до 0,5 г/дм³ [6, 42].

По гидрогеологическому районированию территория Дороховского месторождения расположена в Восточно-Европейском гидрогеологическом регионе, на восточной окраине Восточно-Русского сложного бассейна пластовых вод (провинция), Тулвинской группы бассейнов в Иренско-Сылвенском бассейне [7, 39, 41].

Верхний гидрогеодинамический этаж содержит помимо зоны аэрации зону безнапорно-субнапорных нисходящих вод, зону субнапорных нисходяще-восходящих вод [36, 43].

На территории выделяется два водоносных комплекса – четвертичный и пермский (нижнепермский подкомплекс) [18, 20].

В четвертичном водоносном комплексе наибольшее распространение имеет четвертичный аллювиальный горизонт (аQ), распространен в долинах рек и приурочен к аллювиальным отложениям пойменных и надпойменных террас. Мощность горизонта находится обычно в пределах 1,5-15 м, достигая

лишь в долинах относительно крупных рек 20-30 м. Водосодержащими в составе аллювия являются песчаные и гравийно-галечные отложения. Пески чередуются с невыдержанными по простиранию маломощными прослоями и линзами глин, суглинков и супесей. В аллювиальных отложениях развиты поровые грунтовые безнапорные воды. На отдельных участках, где в кровле аллювия залегают прослои глин, отмечается местный напор, редко превышающий 1-2 м. Основным источником питания горизонта являются атмосферные осадки, о чем свидетельствует повышение уровней воды после дождей и таяния снегов. Значительную роль в питании подземных вод играют воды коренных отложений, а также воды руслового потока в периоды паводков [20, 43].

Нижняя гидродинамическая зона субнапорных нисходяще-восходящих вод представлена нижнепермским водоносным карбонатным комплексом (cP_1). Комплекс объединяет карбонатные породы филипповского горизонта кунгурского яруса, артинского, сакмарского и ассельского ярусов и занимает верхнюю часть верхнекаменноугольно-нижнепермского газонефтеводоносного комплекса. Наиболее обводненными являются филипповские и артинские карбонатные отложения. В пределах рассматриваемой территории, где комплекс выходит на поверхность, с ней связан бассейн трещинно-карстовых вод с двусторонним стоком: на западе – к р. Ирени и на востоке – к рекам Сылве и Кишертки. Наибольшая обводненность пород наблюдается в долинах рек, приуроченных к Кишертско-Иргинской зоне распространения верхнедевонских барьерно-рифовых образований. В южном районе в долине р. Кишертка происходит разгрузка вод этой серии в виде родников и в котловинах карстовых озер (родник в д. Низкое, озеро Молебное и озеро Провальное)ю. Рассматриваемая гидродинамическая зона характеризуется нисходящей фильтрацией подземных вод в областях питания и восходящим движением их на участках разгрузки. Движение вод от областей питания к областям разгрузки происходит под действием разности гидростатических напоров по наиболее проницаемым слоям и пластам. По химическому составу пресные подземные воды, распространенные на территории Дороховского месторождения, относятся к типу гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 0,2-0,5 г/дм³. [20, 43].

Геоэкологический анализ и оценка современного состояния компонентов природной среды

Геоэкологический анализ по ранее проведенным региональным исследованиям, включающим геоэкологическое, ландшафтно-геохимическое, многоцелевое геохимическое гидрогеологическое, неотектоническое, геологическое картографирование и исследования показало на отсутствие геохимических и гидрогеохимических аномалий в пределах территории Дороховского месторождения [4-10, 15, 19, 21, 23, 24, 26-33].

Атмосферный воздух. Исследования состояния атмосферного воздуха показали, что содержание вредных веществ в воздухе, вблизи населенного пункта, не превышает ПДК для населенных мест.

Поверхностные воды. Результаты опробования поверхностных вод на территории Дороховского месторождения показали, что:

- содержание нефтепродуктов в опробованных точках не превышали $\text{ПДК}_{\text{р.х.}}=0,05 \text{ мг/дм}^3$;
- концентрации ионов хлора колеблются в пределах фоновых значений и значительно ниже $\text{ПДК}_{\text{х.п.}}=300 \text{ мг/дм}^3$.

Результаты опробования подземных вод на территории Дороховского месторождения (в 2015 г.) показали, что:

- содержание нефтепродуктов в опробованных точках не превышали $\text{ПДК}_{\text{х.п.}}=0,1 \text{ мг/дм}^3$;
- концентрации ионов хлора колеблются в пределах фоновых значений и значительно ниже $\text{ПДК}_{\text{х.п.}}=350 \text{ мг/дм}^3$.

Почвы. На территории месторождения были проведены почвенные геохимические исследования. Результаты их показали отсутствие засоления и загрязнения нефтепродуктами почвенных горизонтов.

Результаты геоэкологических исследований визуализированы на рисунках 2, 3 с применением методики С.М. Костарева и А.В. Головкова [35, 36].

Результаты геоэкологической оценки

Результаты оценки геоэкологического состояния Дороховского газонефтяного месторождения проводились с применением методики И.С. Копылова [17, 22].

Вся территория Дороховского месторождения с прилегающей территорией (12 x 12 км) была разделена на квадраты 2 x 2 км, в которых оценивались компоненты природной среды по 10 показателям (в условных баллах от 1 до 10) (рис. 4).

Поскольку превышений ПДК в природных средах (природные воды, почвы, донные осадки воздух – химическое и радиоактивное загрязнение) не было установлено значения показателей устанавливались минимальными (1-2 баллов). Территория характеризуется значительной степенью нарушенности (на отдельных участках до 6-10 баллов). По эндогенным условиям (сейсмичность) по всем участкам – 2 балла. Пораженность территории экзогенными геологическими процессами (в основном карст и овраги) – от 1 до 3 баллов. Геодинамическая активность на данном этапе не оценивалась (1 балл).

В результате проведенной интегральной оценки было получено 54 квадрата с расчетными данными от 11 до 29 баллов.

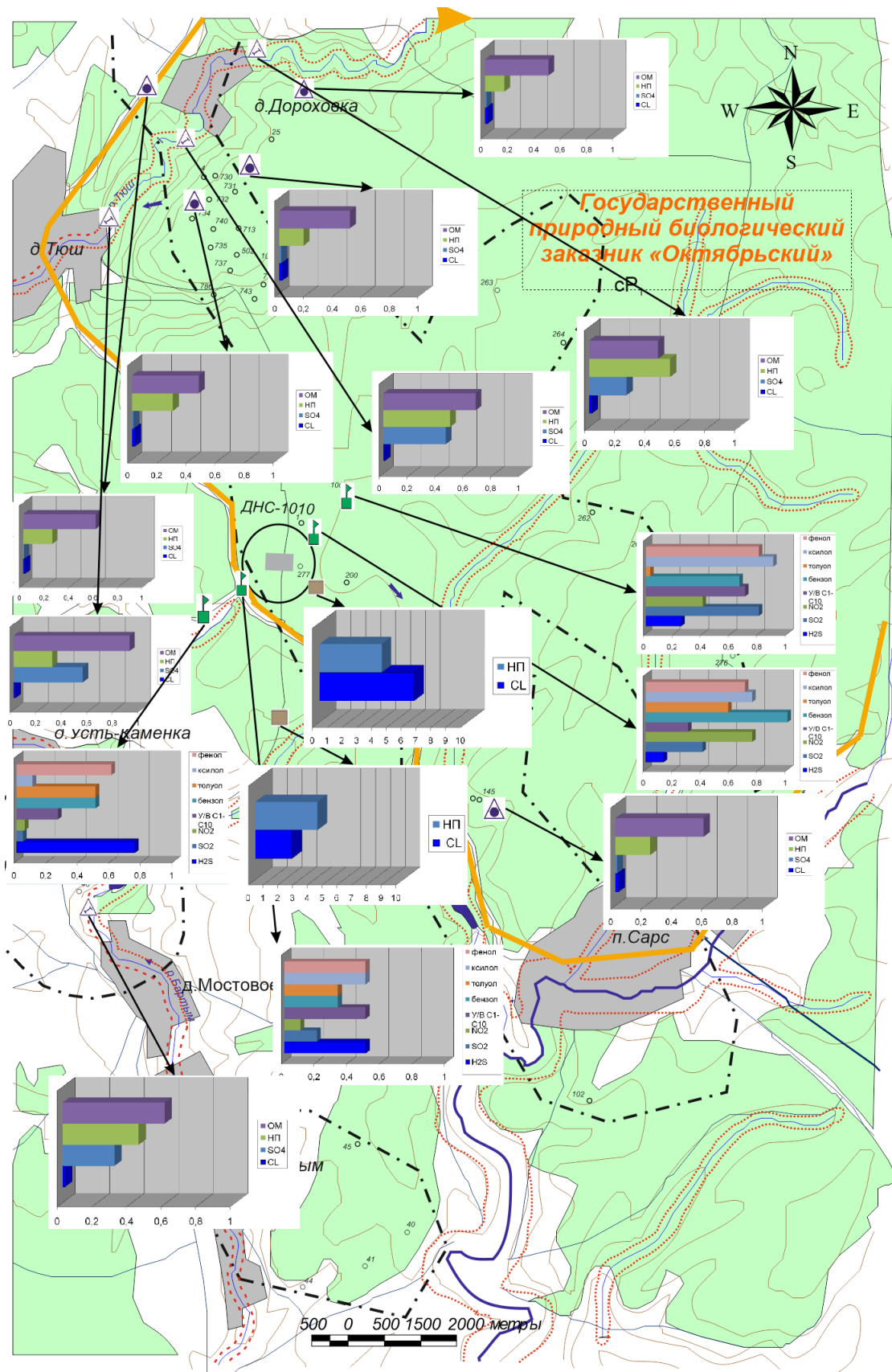


Рис. 2. Схематическая карта современного экологического состояния Дороховского нефтяного месторождения (по С.М. Костареву и А.В. Головкову [34, 35] с изменением)


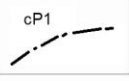










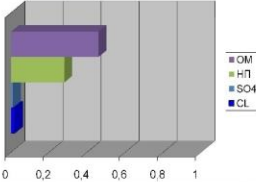
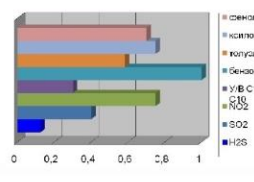
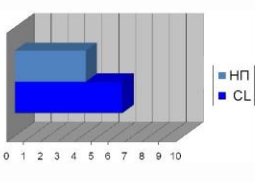






I	Распространение различных видов ландшафтов (по Н.Н. Назарову 1996)	Карстовые плато на нижнепермских известняках, доломитах и гипсах. Вид представлен одним ландшафтом – Туюско-Сарским	 Границы между ландшафтами отсутствует	
III	Минерально-сырьевые ресурсы	 сР1 – водоносная нижнепермская карбонатная серия	 Лесные массивы	
III	Расположение нефтепромысловых объектов	 ДНС - 1010	 Дороги	
IV	Возможные пути миграции загрязняющих веществ	 По направлению поверхностного стока	 По направлению движения подземных вод	 Вертикально-нисходящая миграция в почвах отсутствует
V	Расположение особо охраняемых объектов и зон ограниченного пользования	 Условные границы водоохранной зоны рек  Государственный природный биологический заказник "Октябрьский"	 Памятники природы отсутствует	 Возможно наличие редких, или находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных отсутствует
VI	Результаты исследований на объекте	 Результаты гидрогеохимических исследований в долях ПДК _{г/г} для поверхностных вод 2012 г. в долях ПДК _{г/г} для подземных вод 2012-2013 г.	 Результаты атмогеохимических исследований в долях ПДК _{г/г} 2012 г.	 Результаты почвенных исследований в мг/100г. 2009 г.
VII	Оценка современного экологического состояния территории	 Пункты отбора проб воды	 Пункты отбора проб воздуха	 Пункты отбора проб почвы
VIII	Рекомендуемая система ведомственного экомониторинга	 Местоположение наблюдательных водопунктов	 Местоположение наблюдательных пунктов	 Местоположение наблюдательных пунктов

Рис. 3. Экспликация к схематической карте современного экологического состояния Дороховского месторождения

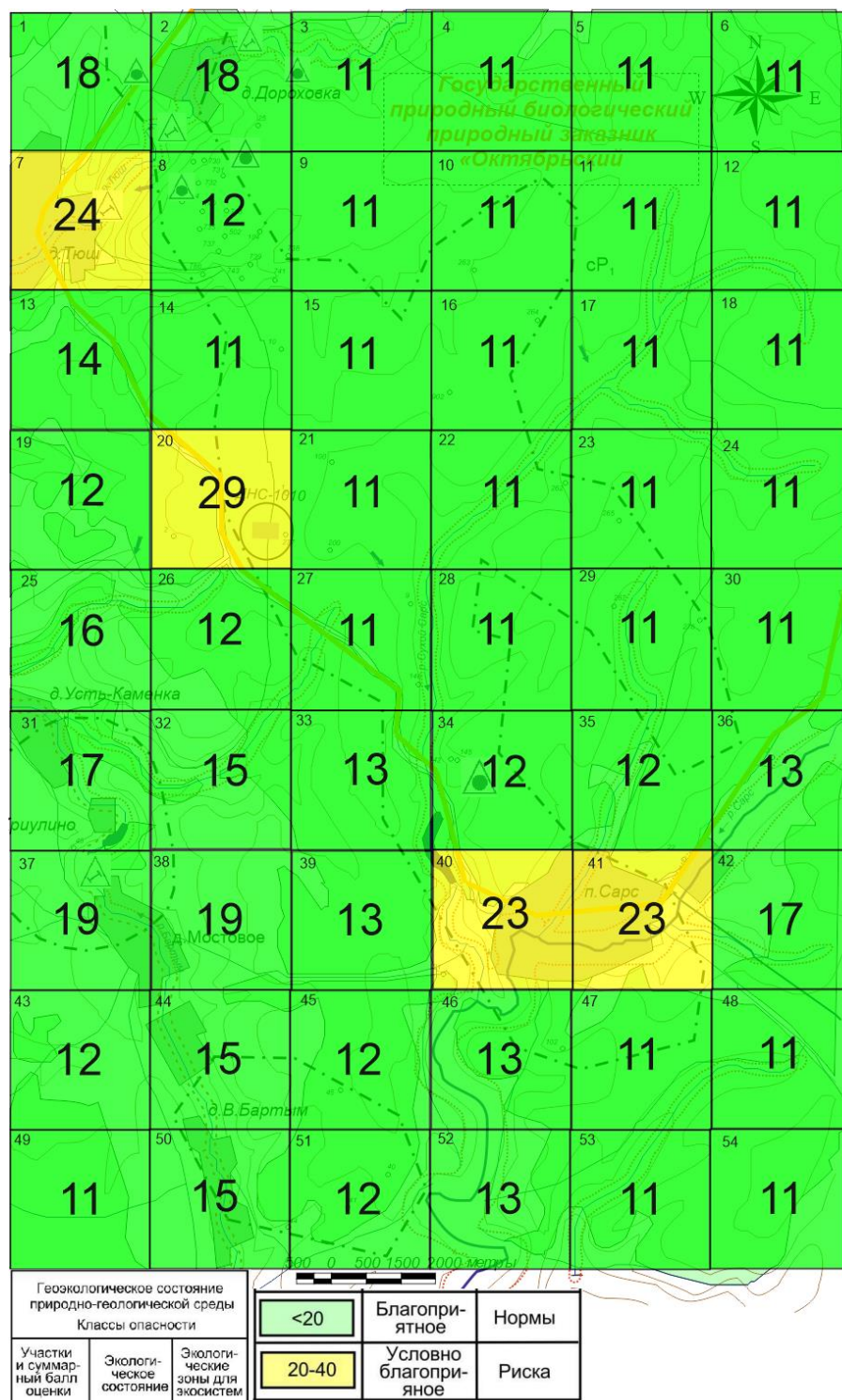


Рис. 4. Интегральная оценка геоэкологического состояния Дороховского месторождения (С.С.Безруков – без оценки геодинамической активности и процессов)

Таким образом, проведя интегральную оценку геоэкологического состояния Дороховского газонефтяного месторождения на первом этапе, можно сделать вывод, что:

- территории с благоприятным экологическим состоянием занимают 92,6%;
- территории с условно-благоприятными экологическими условиями занимают 7,4%, характеризуются умеренно-опасной степенью загрязнения и

входят в зону экологического риска, к ним относятся территории населенных пунктов д. Тюш и п. Сарс, а также территория ДНС-1010 Дороховского месторождения.

Эколого-геодинамические условия с применением аэрокосмогеологического (линеamentно-геодинамического) анализа

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на рассматриваемой территории проводились В.Г.Гацковым (1982ф), И.Н.Пономаревой (1985ф), Ю.А.Ильиных (1996ф). И.С.Копыловым и В.З.Хурсиком проведено обобщение всех АКГИ на территории Пермского края (2010ф) включая рассматриваемую территорию, проведено дешифрирование цифровых космических снимков (КС), построена Аэрокосмогеологическая карта Пермского края, позже был проведен линеamentно-геодинамический анализ территории [2, 3, 7, 11, 13].

На рис. 5 приведен фрагмент Аэрокосмогеологической карты Пермского края с участком Дороховского месторождения.

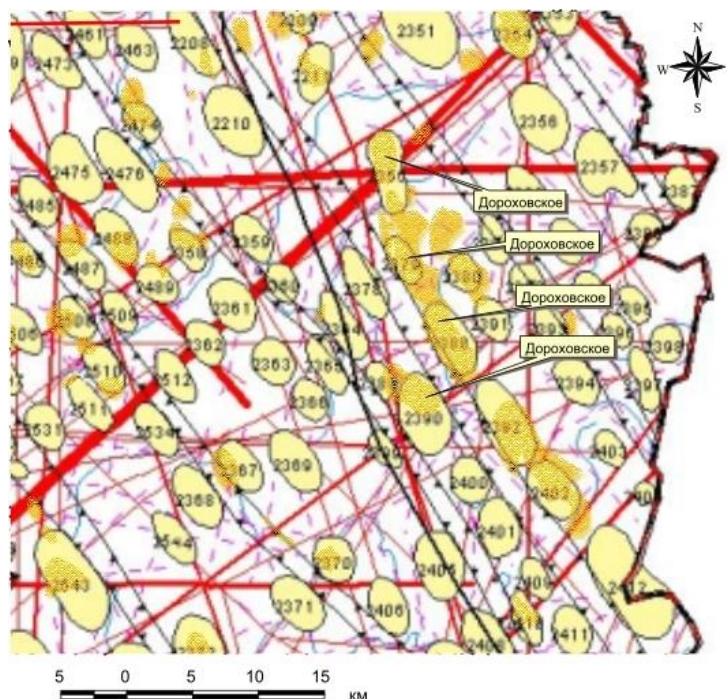


Рис. 5. Фрагмент Аэрокосмогеологической карты Пермского края с участком Дороховского месторождения [13]

На данной карте отмечена концентрация крупных тектонических нарушений – линеamentов регионального уровня, в северной части Дороховского месторождения. Более точно линеamentы отражены на карте линеamentного поля Пермского края [14], на основе которой составлена карта эколого-геодинамического риска Дороховского месторождения (рис. 6).

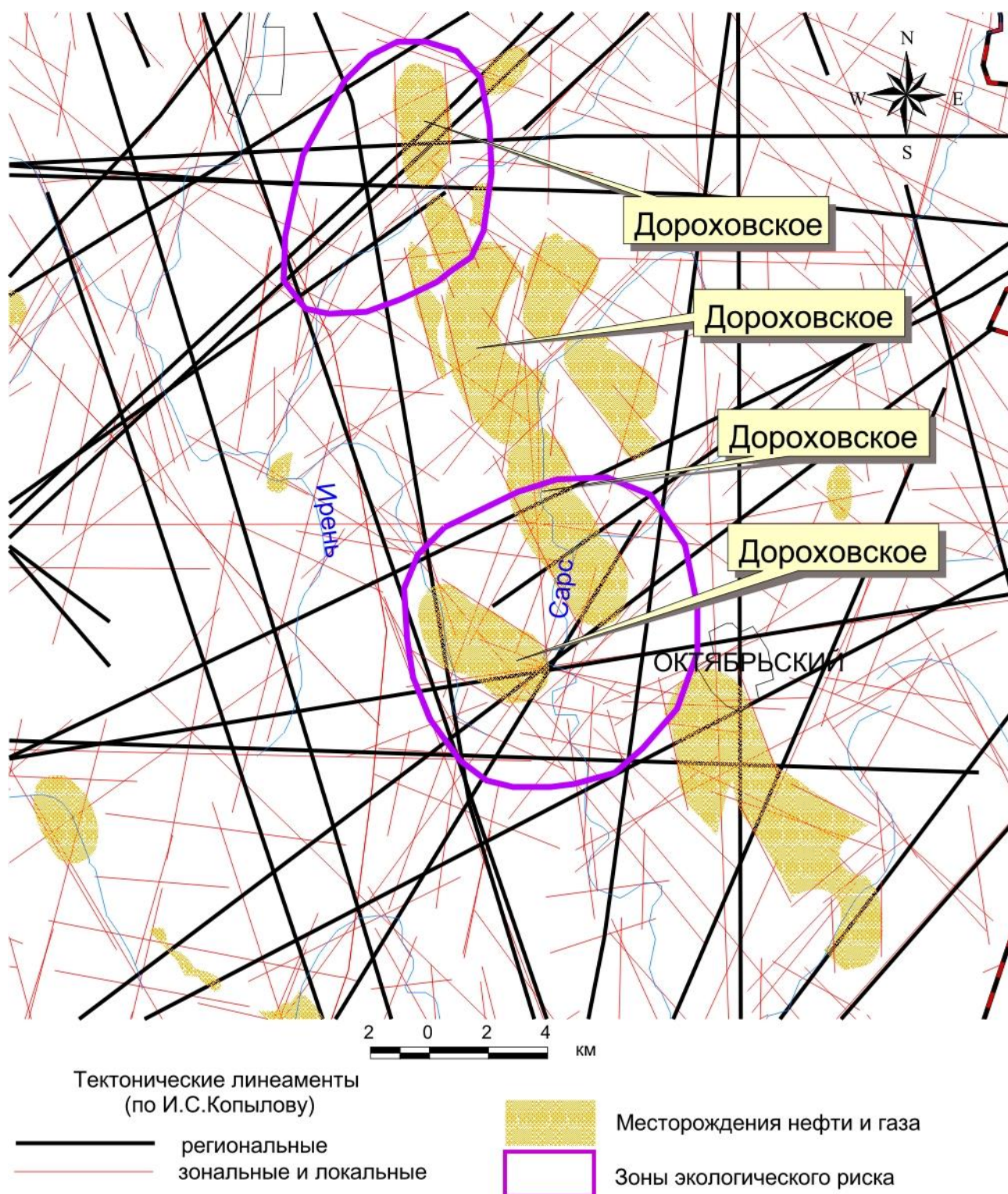


Рис. 5. Карта эколого-геодинамического риска Дороховского месторождения
(по И.С.Копылову, 2010ф, 2021)

Преобладают региональные и зональные линеаменты (протяженностью более 25-100 км) северо-восточной, север-северо-восточной, и север-северо-западной и широтной ориентировки, которые в большинстве своем оконтуривают Дороховское месторождения и концентрируются в северной и южной его частях. Наблюдаются многочисленные (более 100) локальные линеаменты по всей площади месторождения, особенно с концентрацией в долине р.Сарс. Оче-

видно, что данные участки имеют повышенную геодинамическую активность. Эти участки пространственно совпадают с участками зоны риска, превышающих 20 баллов (рис. 4). Фактически с учетом геодинамического фактора их значения будут превышать 30 баллов (а с учетом карстовых рисков еще выше); также эти зоны расширяются, практически охватывают всю площадь Дороховского месторождения. В районе п. Сарс и западнее его значения интегрального геоэкологического показателя будет составлять 35-39 баллов, что близко к уровню экологического кризиса.

Заключение

Таким образом, интегральная геоэкологическая оценка Дороховского газонефтяного месторождения с учетом геодинамического фактора (по региональным аэрокосмическим данным) показывает, что территория месторождения находится в условиях экологического риска. В северной и южной его частях концентрация тектонических линеаментов возрастает, поэтому экологический риск также возрастает. Необходимо проведение детальных (масштаба 1:25 000) геоэкологических исследований в комплексе с детальными аэрокосмогеологическими исследованиями и мониторингом.

Библиографический список

1. Дороховское месторождение / Нефтяники. РФ. http://www.nftn.ru/oilfields/russian_oil-fields/permskij_kraj/dorokhovskoe/22-1-0-1025.
2. Копылов И.С. Аэрокосмогеологическая основа территории Пермского края для выбора перспективных направлений, площадей, объектов нефтегазопоисковых работ и экологической безопасности // В сборнике: Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Сборник научных трудов к 100-летию со дня рождения профессора П.А. Софроницкого. Пермь, 2010. С. 208-212.
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. Геодинамические и геохимические ландшафты: систематизация, районирование, аномалии // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2019. № 22. С. 345-352
6. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 67-71.
7. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. 501 с.
8. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-3. С. 86-90.
9. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145-149.
10. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. 2013. №. 4.
11. Копылов И.С. Картирование геодинамических активных зон Среднего Урала при проведении аэрокосмогеологических исследований территории трасс магистральных газопроводов // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург: УрОРАН, 2011. С.196-198.

12. Копылов И.С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // *Перспективы науки*. Тамбов, 2011. № 8 (23). С. 126-129.
13. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
14. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
15. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2012. №. 2 (15). С. 16-34.
16. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
17. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазовых регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с
18. Копылов И.С. Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 9-2. С. 105-110.
19. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология*. Пермь, 2011. №. 1. С. 26-37.
20. 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.
21. 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.
22. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6.
23. Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 12. С. 172-177
24. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ: монография / LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 152 с.
25. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
26. 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
27. Копылов И.С. Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // *Вестник Пермского университета. Геология*. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.
28. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-1.
29. 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. С. 431.
30. 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.
31. 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.

32. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
33. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
34. Костарев С.М. Геоэкологическое обеспечение проектирования нефтепоисково-разведочных работ и освоения нефтяных залежей в Пермской области // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, № 3. 2003.
35. Костарев С.М., Головков А.В. Способ отображения результатов инженерно-экологических изысканий в районах нефтедобычи в виде постоянно действующей геоэкологической модели нефтепромысла (Свидетельство ВНИИЦ N 73200300145 от 08.07 2003).
36. Кудряшов А. И. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь: 2006. 464 с.
37. Кураמיшина Н.Г. Геоэкологическая оценка территории и реабилитация. Учебное электронное издание сетевого доступа. Уфа, 2021. 229 с.
38. Месторождения нефти, газа, конденсата распределительного фонда недр. Геонедра. 2021. Режим доступа: <https://geonedra.ru/2018/dorohovskoe-mestorozhdenie-permskij/>
39. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР / МинГео СССР, ВСЕГИНГЕО / Составители: Л.А.Островский и др. М., Недрa, 1990.
40. Назаров Н.Н. Классификация ландшафтов Пермской области // Межвуз. сборн. научн. тр. "Вопросы физической географии и геоэкологии Урала", ПГУ, Пермь, 1996.
41. Перечень бассейнов подземных вод территории СССР для ведения Государственного водного кадастра. МинГео СССР, ВСЕГИНГЕО. М., Недрa, 1988.
42. Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967.
43. Шимановский Л. А., Шимановская И. А. Пресные подземные воды Пермской области. Пермь, 1973. 197 с.
44. Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://soil-db.ru/soilatlas>
45. Требин Г.Ф., Чарыгин Н.В., Обухова Т.М. Нефти месторождений Советского Союза. Справочник. Изд. 2-е. М.: Недрa, 1980. 583 с.

С.Н. Гладких¹, Н.Н. Семчук², И.И. Козлов¹

¹Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

²Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского
федерального исследовательского центра Российской академии наук, Борки, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Проанализировано применение космического мониторинга для исследования Земли. Рассматриваются различные виды мониторинга: мониторинг тепловых объектов; мониторинг водной поверхности; геоинформационный мониторинг; мониторинг и прогноз катастрофических землетрясений; мониторинг гелиогеофизической обстановки; мониторинг информационных полей. Описаны модели, применяемые при космическом мониторинге. Выделена классификация по аспекту размера наблюдаемых территорий геоинформационного мониторинга: глобальный, региональный и локальный; по аспекту выбора станций наблюдения: космический, воздушный и наземный. Рассмотрены средства дистанционного зондирования, устанавливаемые на космических аппаратах и орбитальных станциях; аппаратура, используемая при различных типах мониторинга.

Ключевые слова: космический мониторинг, космические исследования Земли, моделирование, геоданные, геоинформационный мониторинг.

S.N. Gladkikh¹, N.N. Semchuk², I.I. Kozlov¹

¹Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

²NOVGOROD Research Institute of Agriculture – Branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Borki, Russia

APPLICATION OF SPACE MONITORING FOR EARTH EXPLORATION

The application of space monitoring for Earth exploration is analyzed. Various types of monitoring are considered: monitoring of thermal objects; monitoring of the water surface; geoinformation monitoring; monitoring and forecasting of catastrophic earthquakes; monitoring of the heliogeophysical situation; monitoring of information fields. The models used in space monitoring are described. The classification is distinguished by the aspect of the size of the observed territories of geoinformation monitoring: global, regional and local; by the aspect of the choice of observation stations: space, air and ground. Remote sensing devices installed on spacecraft and orbital stations are considered; equipment used for various types of monitoring.

Keywords: space monitoring, space exploration of the Earth, modeling, geodata, geoinformation monitoring.

Введение

Если рассматривать космический мониторинг в узком смысле – это мониторинг с использованием космических средств наблюдений.

Если в широком смысле – это технологический комплекс, интегрирующий наземные, воздушные и космические технологии и системы.

Особенность космического мониторинга – глобальная оперативность. По аспекту направленности мониторинга различают внутренний (земной) и внешний (внеземной) виды геоинформационного мониторинга. Внутренний направлен на поверхность Земли и околоземное пространство [1, 8]. Внешний мониторинг направлен на объекты, влияющие на биосферу Земли и протекающие процессы на ее поверхности. Это Луна, планеты Солнечной системы и особо опасные космические объекты [10].

Космический мониторинг позволяет оперативно выявлять изменения окружающей среды, оценивать динамику и качество изменений и изучать взаимодействие техногенных систем. Развитие космического мониторинга определяется уровнем развития науки и техники, достижениями компьютерной техники, и методами обработки информации, текущими проблемами человечества, уровнем развития информационных, а в недалеком будущем и интеллектуальных технологий. В настоящее время для космического мониторинга характерна диверсификация, но в последние годы наметилась тенденция к интеграции на основе методов геоинформатики и геоинформационного мониторинга. Тем не менее, космический мониторинг иногда предстает как комплексная технология, а иногда как специализированная технология.

Мониторинг тепловых объектов

Для мониторинга тепловых объектов, например, таких как извержение вулканов и лесных пожаров, могут использоваться существующие и модернизируемые средства космических систем глобального наблюдения [3].

Мониторинг тепловых источников основан на методах регистрации электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне с помощью аппаратуры, установленной на геостационарных высоко и средне орбитальных космических аппаратах, а также с помощью аппаратуры высокого разрешения, установленной на низко орбитальных космических аппаратах. При мониторинге вулканов обеспечивается возможность контролировать уровни задымленности, определять концентрацию частиц в выбросах, прогнозировать распространение шлейфа с помощью высокоорбитальных и низкоорбитальных космических аппаратов, обеспеченных аппаратурой инфракрасного диапазона [11]. В состав системы мониторинга лесных пожаров входят комплексы средств пожаротушения, установленные в авиационных лабораториях.

Мониторинг водной поверхности

Космический мониторинг водной поверхности создается как комплексный мониторинг морских акваторий [5]. Система включает в свой состав: средства дистанционного зондирования, установленные на космических аппаратах и орбитальных станциях; летающие лаборатории, например на базе самолетов типа ИЛ-76 и вертолетов МИ-8 и КА-32 [11]. Эти носители оборудованы набором средств дистанционного зондирования и бортовой обработки данных, обеспечивающих получение информации о различных объектах океана; специализированные корабли экологического контроля; буйковые станции; гидроакустические системы; средства связи; высокоэффективные технические сред-

ства обработки изображений, обеспечивающие решение широкого спектра задач зондирования морской среды и моделирование экосистем прибрежных вод. Для мониторинга водной среды используются методы и аппаратура дистанционной оптической пространственно-частотной спектроскопии, многочастотной радиоволнографии, лазерного, многоспектрального и гиперспектрального зондирования.

Система обеспечивает наблюдение за акваториями, обработку данных в наземных аналитических центрах и передачу результатов потребителям. На основе анализа полученной информации в аналитических центрах: производится идентификация источников загрязнений и оценка их масштабов – оценивается экологический риск для экосистемы прибрежных вод, обусловленный воздействием антропогенных факторов различных типов; формируются модели для контроля климатических изменений регионального масштаба; – разрабатываются рекомендации для принятия природоохранных мер, препятствующих дальнейшему загрязнению окружающей среды; – создаются базы данных по характеристикам различных явлений в прибрежных регионах [2,15].

Космическим и воздушным средствам наблюдения оказывается повсеместная сбалансированная наземная и надводная поддержка. Для глобального мониторинга [14], требующего наблюдений со всей поверхности Земли интеграция наземной и надводной систем мониторинга является обязательной.

Геоинформационный мониторинг

Геоинформационный мониторинг является интегрированной технологией, которая объединяет разные технологии: наблюдение, обработка, анализ. Современный геоинформационный мониторинг включает в общем случае четыре основные функции: наблюдение; анализ, прогнозирование, управление [16]. Не всегда эти функции используют в полном объеме, но принципиальная возможность их реализации имеется.

Первой особенностью геоинформационного мониторинга является интеграция разных технологий в единую технологию.

Второй особенностью геоинформационного мониторинга является возможность комплексной обработки данных получаемых из разных источников и от разных технологий.

Геоинформатика интегрирует науки о Земле. Поэтому геоинформационный мониторинг является более широким понятием. Геоинформационный мониторинг включает большее число технологий наблюдения, решает большее число задач и позволяет обрабатывать более разнообразные данные, чем те которые получают в рамках разных технологий. Геоинформационный мониторинг распространяется на более широкий класс задач.

Геоинформационный мониторинг использует геоданные, которые включают фотограмметрические данные, картографические данные, данные дистанционного зондирования [12].

Геоинформационный мониторинг может быть классифицирован по-разному, в зависимости от аспекта рассмотрения. По аспекту размера наблюдаемых территорий выделяют следующую иерархию: глобальный, региональный

и локальный уровни мониторинга. В совокупности они могут образовывать единую сложную систему мониторинга.

Региональный мониторинг является подуровнем глобального, а локальный подуровнем регионального. В тоже время они могут функционировать независимо.

Локальный мониторинг (мониторинг объектов) применяют к отдельным объектам и районам, подверженным антропогенным воздействиям. К ним относятся отдельные водоемы, лесные и горные массивы, городские районы, отдельные представители растительного и животного мира. Основными объектами наблюдения локального мониторинга являются: приземной слой воздуха, поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки, атмосферные выбросы, радиоактивные излучения.

Региональный мониторинг (мониторинг экосистем) применяют для обследования больших территориальных зон, которые образуют отдельные городские, природные, лесные и водные экосистемы. Целью регионального мониторинга является контроль за параметрами экосистем. Он включает оценку отличия наблюдаемых значений параметров от фоновых, установление влияния на наблюдаемые параметры имеющихся в регионах источников антропогенного воздействия. В ходе его проведения исследуют происходящие биологические круговороты и их нарушения, следят за популяциями представителей животного мира, возможностями природных ресурсов по обеспечению жизнедеятельности конкретных регионов. Региональные изменения параметров атмосферы, гидросферы и литосферы.

Глобальный мониторинг (мониторинг глобальных процессов) применяют для изучения процессов, протекающих шире, чем региональные процессы, например изучение информации о всей биосфере. Он изучает планетарные изменения, осуществляет наблюдения за состоянием морей и океанов, а также за состоянием почвы, растительного и животного мира в целом всей планеты.

По аспекту выбора станций наблюдения различают: космический, воздушный и наземный мониторинг. В этом аспекте иерархии нет. Эти виды мониторинга дополняют друг друга. Геодезический мониторинг относится к наземному. Например, мониторинг геологической среды включает: геодезический мониторинг движения земной коры; сейсмический мониторинг; мониторинг оползневых склонов. Система геодезического мониторинга состоит из 250 постоянных пунктов и также включает специализированную сеть по геодиническим наблюдениям современных движений земной коры и деформаций геологической среды. Сейсмический мониторинг осуществляется на основе использования сети наблюдений, получаемой информации с 8 постоянных пунктов. Аналогичные наблюдения выполняет Центр региональных геофизических и геоэкологических исследований «Геон», который использует с 1996 года также 8 пунктов наблюдений. В ходе сейсмического мониторинга изучается воздействия на объекты города сейсмических колебаний от естественных и искусственных источников.

Мониторинг и прогноз катастрофических землетрясений

Мониторинг и прогноз катастрофических землетрясений [4] использует методы многочастотного радиопросвечивания ионосферы Земли с борта космических аппаратов, приеме наземными станциями прошедшего через ионосферу излучения, на обнаружении по принимаемым сигналам предвестников землетрясений магнитудой более пяти баллов на период примерно трое суток с вероятностью правильного прогноза 0,7 и доведении оперативных сообщений до органов, ответственных за принятие решений. В состав технических средств системы входят: – геостационарные космические аппараты (точки стояния 35° и 130° в. д.), контролирующие ионосферу в пределах $\pm 65^\circ$ по широте и долготе относительно точки стояния; – космические аппараты дополнительно оснащаются бортовой аппаратурой многочастотного радиопросвечивания ионосферы «Матрица» и бортовой аппаратурой (ретранслятором) комплекса сбора и передачи данных миллиметрового диапазона; – пространственно распределенная сеть из 20-25 автоматических наземных приемных модулей сигналов радиопросвечивания, размещаемых на поверхности Земли в контролируемой зоне с шагом 300-500 км; – сеть наземных передающих станций, топологически совмещенных с сетью приемных модулей; – наземные пункты приема и комплексной обработки информации, сопряженные на информационном уровне с информационно-аналитическими центрами потребителей. Методы прогноза землетрясений с борта космических аппаратов апробированы экспериментально.

Мониторинг гелиогеофизической обстановки

Мониторинг гелиогеофизической обстановки [9] состоит в зондировании космической среды комплексами многочастотного радиопросвечивания ионосферы и средствами регистрации параметров электрических и магнитных полей, волн в плазме магнитосферы, энергии, плотности потоков и пространственно-временных характеристик заряженных частиц в магнитосфере с борта геостационарных и высокоэллиптических космических аппаратов.

Этот вид мониторинга решает следующие задачи: – прогнозирование нарушений в работе радиолокационных систем, в том числе радиолокаторов авиадиспетчерских служб управления воздушным движением; -прогнозирование сбоев и отказов в функционировании электронной аппаратуры космических аппаратов систем управления, навигации и связи; -прогнозирование сбоев и отказов в работе распределенных вычислительных систем, распределенных коммуникационных систем, систем безопасности опасных промышленных объектов (АЭС); – фиксацию в реальном времени испытаний ядерного оружия во всех средах; – прогнозирование оптимальных частот радиосвязи для Центров управления воздушным движением и Центров управления судами морского флота; – прогнозирование возможности возникновения токовых перегрузок и аварийных отключений в энергосетях; -прогнозирование биоэффективных изменений геомагнитного поля, а также периодов неблагоприятной геофизической обстановки в целях проведения профилактических мероприятий по снижению риска заболеваний населения; – мониторинг радиоактивных выбросов с атомных электростанций.

В процессе создания аэрокосмических систем разработан метод мониторинга [11] радиоактивно опасных объектов, основанный на измерении и сравнении структуры радиолокационных сигналов при отражении от ионизированных облаков радиационных выбросов и от элементов рельефа, обычных выбросов и метеорологических облаков.

Мониторинг гелиогеофизической обстановки позволяет: проводить дистанционную оценку состояния радиационно опасных объектов по облакам их выбросов, обнаруживать места захоронения радиоактивных отходов, осуществлять поиска полезных ископаемых [6] и т.п.

Мониторинг экологической безопасности озер – охладителей атомных электростанций осуществляется на основе данных, полученных в результате дистанционного зондирования и моделирования, благодаря этому можно решать следующие задачи: исследовать пространственное распределение температуры поверхности озер-охладителей, исследовать временную изменчивость распределения температуры поверхности озер-охладителей в зоне сброса охлаждающей воды, оценивать экологическую опасность тепловых сбросов атомных электростанций и т.п. [7].

Мониторинг информационных полей

Мониторинг информационных полей, обусловленных физическими процессами окружающей среды, строится на предположении того, что физические поля непрерывно распространяются в пространстве и не являются разрывными [13].

Характеристики физического поля передаются от точки к точке и коррелируют с соседними значениями. Это дает основание применять методы моделирования таких полей и использовать полученные модели для мониторинга. Такие модели создают на основе статистических, аналитических, структурных, статистических, лингвистических и нечетких подходов [9]. К

числу таких моделей относят: – комплексные модели полей сигналов на входе дистанционной аппаратуры различных типов; – модели полей, обусловленные влиянием объектов окружающей среды; – пространственные модели полей объектов суши, облачности и морской поверхности; – модели полей спектральной яркости излучения различных природных объектов в оптическом диапазоне; – модели полей климатических состояний Земли как планеты.

Технология моделирования и ее программные реализации могут использоваться в составе средств цифровой имитации информационного тракта применительно к системам глобального дистанционного мониторинга окружающей среды.

Заключение

Проведен анализ применения космического мониторинга для исследования Земли. Рассмотрены различные виды и модели, применяемые при космическом мониторинге. Основой интеграции космического мониторинга служит геоинформационный мониторинг.

Библиографический список

1. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Околоземное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2013. № 4. С. 4-9.
2. Бармин И. В., Савиных В. П., Цветков В. Я., Затыкалова В. В. Мониторинг загрязнений моря судами по данным дистанционного зондирования // Морской сборник. 2013. Том 1998. № 9. С. 41-49.
3. Бондур В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С.3–13.
4. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линеаментов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исследование Земли из космоса. 2007. № 1. С.47–56.
5. Бондур В.Г., Филатов Н.Н., Гребенюк Ю.В., Долотов Ю.С., Здоровеннов Р.Э., Петров М.П., Цидилина М.Н. Исследования гидрофизических процессов при мониторинге антропогенных воздействий на прибрежные акватории (на примере бухты Мамала, о. Оаху, Гавайи) // Океанология. 2007. Том 47. № 6. С.827–846.
6. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. 2010. № 6. С.13–17.
7. Бондур В.Г. Принципы построения космической системы мониторинга Земли в экологических и природноресурсных целях // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1995. № 2. С.14–38.
8. Гладких С.Н. Аэрокосмический мониторинг в экологических исследованиях //Аэрокосмические методы в геологии: сб. научных статей / под общ. ред. И. С. Копылова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь. 2021. Вып. 3. С.280-288.
9. Лазарев А.И., Бондур В.Г., Коптев Ю.И. и др. Космос открывает Тайны Земли. СПб.: Гидрометеиздат. 1993. 240 с.
10. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урличич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. М.: НИИ КС им. А.А. Максимова. 2010. 570 с.
11. Савин А.И., Бондур В.Г. Научные основы создания и диверсификации глобальных аэрокосмических систем // Оптика атмосферы и океана. 2000. Том 13. № 1. С.46–62.
12. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Том 84. № 9. С. 826–829.
13. Tsvetkov V.Ya. Information field. // Life Science Journal. 2014. № 11(5). pp. 551-554.
14. Tsvetkov V. Ya. Global Monitoring // European Researcher. 2012. Vol. 33, № 11-1. P. 1843-1851.
15. Цветков В. Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы Науки и Образования. 2015. 3 (15) Международный электронный научный журнал № 3 (15). С. 48-55.
16. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. 2012. № 4. С. 54-58.

**ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ТЕРРИТОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРАССЫ ВОЛП В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Рассмотрены инженерно-геологические условия прохождения трассы волоконно-оптических линий передач в западной части территории Республики Татарстан. Из опасных геологических процессов отмечаются сейсмичность, геодинамическая активность, подтопление, карст. По аэрокосмогеологическим исследованиям выделены опасные геоактивные зоны.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, изыскания, аэрокосмогеологический анализ, геологические процессы, опасные геоактивные зоны, Республика Татарстан.

F.A. Leontyev

LLC NPF "Geoservice", Republic of Tatarstan, Russia

**STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS
OF THE TERRITORY OF THE ROUTE OF FIBER-OPTIC TRANSMISSION
LINES IN THE WESTERN PART OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN
USING AEROSMOGEOLOGICAL ANALYSIS**

The engineering and geological conditions for the passage of the route of fiber-optic transmission lines in the western part of the territory of the Republic of Tatarstan are considered. Dangerous geological processes include seismicity, geodynamic activity, flooding, and karst. Based on aerocosmogeological studies, dangerous geoactive zones have been identified.

Key words: engineering-geological conditions, surveys aerospace-geological analysis, geological processes, dangerous geoactive zones, Republic of Tatarstan.

Введение

Главная цель инженерной геологии – изучение природной геологической обстановки местности до начала строительства, а также прогноз тех изменений, которые произойдут в геологической среде, и в первую очередь в породах, в процессе строительства и эксплуатации сооружений. Одной из важнейших задач является оценка инженерно-геологических условий для обоснования принципиальной возможности и экономической целесообразности строительства и эксплуатации сооружений, выбора их местоположения и типа и методов производства строительных работ [9].

Актуальность проблемы изучения инженерно-геологических условий территорий для проектирования волоконно-оптических линий передач (ВОЛП) обусловлена несколькими факторами:

- во-первых, ВОЛП играют ключевую роль в современной телекоммуникационной инфраструктуре, поскольку обеспечивают передачу больших объемов данных с высокой скоростью и надежностью. Поэтому правильное проектирование и строительство таких линий требует учета всех инженерно-геологических особенностей территории, чтобы избежать возможных проблем в будущем.

- во-вторых, инженерно-геологические условия также могут повлиять на выбор лучших мест для размещения оптических кабелей, учитывая факторы, такие как грунтовые условия, подземные воды, сейсмическая активность и др.

Неправильный выбор места размещения и неучтенные геологические особенности могут привести к повреждению кабелей и снижению их надежности.

Объектом изучения является геологическая среда в западной части территории Республики Татарстан, *предметом* – инженерно-геологические условия изучаемой территории, среди которых важное значение играют геодинамические эндогенные и экзогенные процессы.

Цель работы заключается в изучении инженерно-геологических условий на основе инженерных изысканий и аэрокосмогеологического анализа трассы прохождения линии ВОЛП для проектных решений в связи с эффективной работой телекоммуникационных систем.

Одной из важных задач при проведении инженерно-геологических изысканий является применение дешифрирования космических снимков, выявление геоактивных зон на трассе ВОЛС.

Природно-геологические и техногенные факторы формирования инженерно-геологических условий

В административном отношении участок изысканий расположен на Европейской территории Российской Федерации, в пределах Лаишевского, Буинского, Верхнеуслонского, Камско-Устьинского, Апастовского районов Республики Татарстан (рис. 1).

Антропогенное воздействие на природную среду в пределах изыскиваемого района связано, прежде всего, с промышленным и сельскохозяйственным освоением территории. В техническом коридоре коммуникаций параллельно изыскиваемой ВОЛП проходят магистральные трубопроводы, автодороги и линии электропередач (ВЛ). Трасса проходит по сельскохозяйственным полям и населенным пунктам, пересекает дороги местного и регионального значения, линии электропередач, автодороги, трубопроводы и другие, наземные и подземные коммуникации.

Рельеф и геоморфология. Изучаемый район расположен в пределах Русской равнины. Северо-восточная часть трассы приурочена к Заволжью, центральная и юго-западная – к Приволжской возвышенности. Абсолютные отметки поверхности рельефа в пределах изыскиваемой трассы варьируются от 53 до 175 м. Минимальные отметки рельефа отмечены в поймах речных долин, максимальные – на возвышенных водораздельных пространствах.

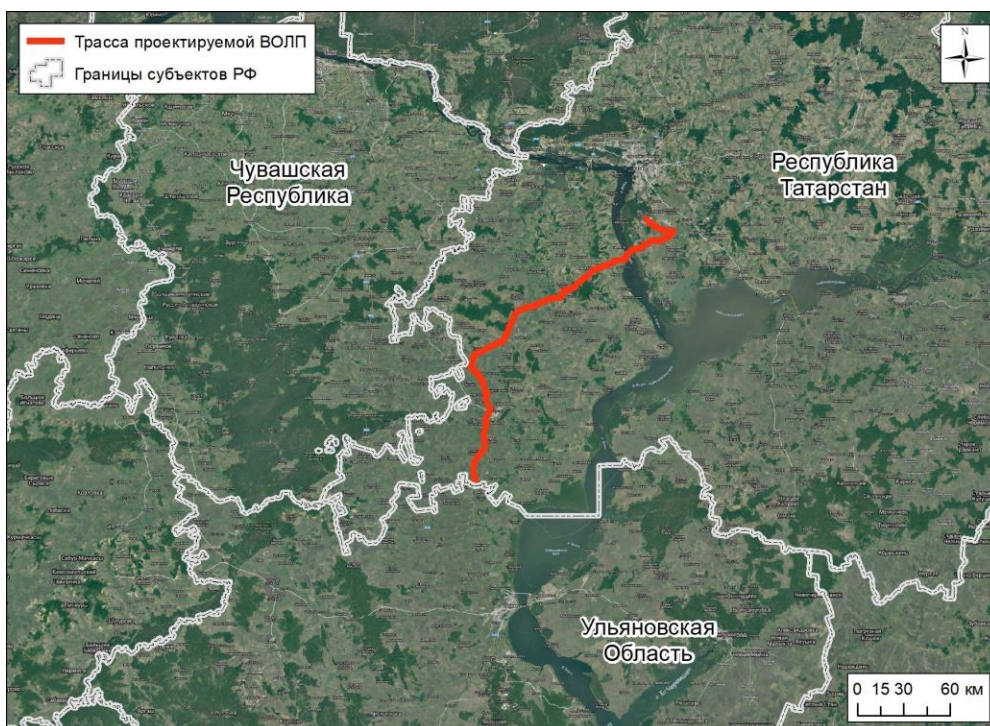


Рис. 1. Местоположение проектируемой трассы ВОЛП на территории Республики Татарстан

По климатическим условиям территория исследований находится в зоне умеренно-континентального климата с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Основные климатические характеристики и их изменения по территории района определяются влиянием общих и местных факторов: солнечной радиации, циркуляции атмосферы.

Гидрографическая сеть территории относится к бассейну р. Волги. Участок изысканий пересекает многочисленные водотоки и водоемы, безымянные ручьи, озера. Суммарная протяженность речной сети достигает 19632,5 км. Коэффициент густоты речной сети изменяется от 0,11 до 0,80 км/км², средняя протяженность одного водотока – 2,2 км. Реки Татарстана относятся к равнинным водотокам, в режиме которых четко выделяются два периода – весенний паводок и летне-осенняя межень. Основную долю питания (от 80 до 100%) малые реки получают в период весеннего паводка. В летне-зимний период сток рек осуществляется за счет подземного питания. Существует тесная гидравлическая связь между подземными и поверхностными водами. Режим поверхностных водотоков в значительной степени определяет режим подземных вод.

Геологические условия. В тектоническом отношении трасса проектируемой ВОЛП расположена в пределах Восточно-Европейской платформы, в центральной части Волго-Уральской антеклизы. Северо-восточная часть трассы находится в пределах Вятского авлакогена, юго-западная – на территории Токмовского свода [1, 15]. В геологическом строении территории в приповерхностной части разреза принимают участие отложения пермской (Р), юрской (J), меловой (К) и неогеновой (N) систем, перекрытые с поверхности чехлом образований четвертичной (Q) системы (рис. 2) [2, 4, 5].

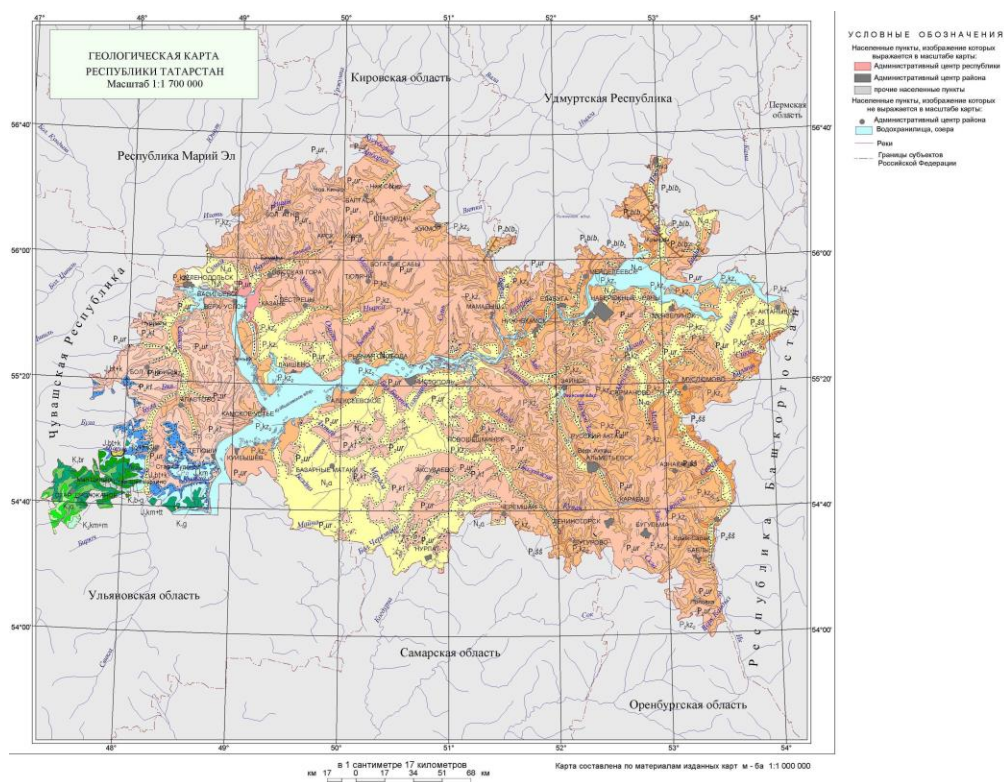


Рис. 2. Геологическая карта Республики Татарстан [15]

По неотектоническому режиму рассматриваемая территория находится в различных условиях – от слабоактивного до весьма активного режима [13, 14] (рис. 3).

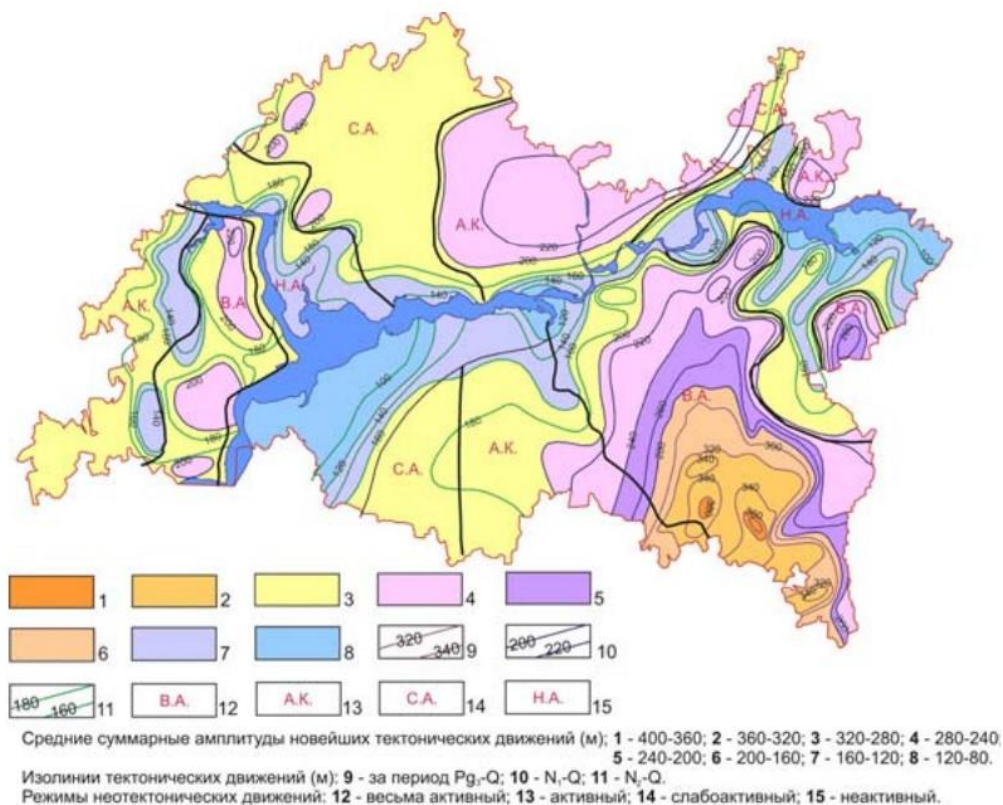


Рис. 3. Карта новейшей тектоники Республики Татарстан [13]

Гидрогеологические условия территории формируются под влиянием совокупности естественных (особенности геологического строения, тектоника, геоморфология, гидрография, климат) и искусственных (техногенная переработка) факторов. По гидрогеологическому районированию территория относится к Сурско-Приволжскому артезианскому бассейну на юго-западе и Волго-Уральскому артезианскому бассейну на северо-востоке. В пределах рассматриваемой территории присутствуют водоупорные слои, представленные одновозрастными глинами и плотными алевритами пермского, юрского и мелового возраста. Водоупорные отложения залегают под слоем неоген-четвертичных образований, мощность которых варьирует от нескольких метров на водоразделах и достигает более 100 м в пределах долин и палеодолин. Подземные воды залегают в породах четвертичного, неогенового, мелового, юрского и пермского возраста [3].

Инженерно-геологические условия. Территория располагается в пределах инженерно-геологического региона Восточно-Европейской платформы, в центральной части Волго-Уральской антеклизы. На поверхность выходят следующие инженерно-геологические формации (системы) пород:

- пермская система выходит на поверхность преимущественно в центральной и северо-восточной части изыскиваемой трассы. Система представлена казанским (P_{2kz}) и уржумским (P_{2ur}) ярусами биармийского отдела и котельнической свитой (P_{3kt}) северодвинского яруса татарского отдела;

- юрская система развита в центральной и юго-западной части изыскиваемой территории, представлена батским (J_{2bt}), келловейским (J_{2k}) ярусом среднего отдела и киммериджским (J_{3km}) и титонским (J_{3tt}) ярусом верхнего отдела;

- меловая система развита в юго-западной части изыскиваемой территории, представлена готеривским (K_{1g}), барремским (K_{1br}) и аптским (K_{1a}) ярусами нижнего отдела;

- неогеновая система развита в долинах рек Волги и Свияги, представлена киммерийским (N_{1k}) и акчагыльским (N_{1a}) ярусами плиоцена.

Вышеперечисленные отложения практически повсеместно перекрываются образованиями четвертичного возраста, формирующими физико-геологические комплексы четвертичных образований: аллювиальными отложениями, флювиогляциально-аллювиальными и элювиально-делювиальными образованиями.

Согласно СП 11-105-97 Ч.III к специфическим грунтам, развитым на участке изысканий, относятся элювиально-делювиальные образования четвертичного возраста (edQ), в том числе и просадочные (edQ), а также элювий коренных пород ($eJ-K$, eP_{2-3}).

Из опасных геологических и инженерно-геологических процессов на участке изысканий развиты процессы сейсмичности, подтопления, карста, овражной эрозии и затопления.

Сейсмичность. Согласно карте В ОСР-2016 для массового строительства, приведенной в СП 14.13330.2018, на исследуемой территории расчетная интенсивность сейсмических сотрясений по шкале MSK-64 составляет 5 и менее баллов, ожидаемой на данной площади с вероятностью 10%, 5%, 1%.

Подтопление. По критериям типизации по подтопляемости в районе выделяются 3 участка: I-A-1 (постоянно подтопленные), I-A-2 (сезонно подтапливаемые), II – A2 (потенциально подтопляемые в результате экстремальных природных ситуаций). Негативными последствиями подтопления являются: снижение прочностных и деформационных свойств грунтов; ухудшение условий эксплуатации зданий и сооружений; возникновение и активизация опасных инженерно-геологических процессов и явлений; изменение химического состава и усиление агрессивности подземных вод.

Карст. По геологическим и карстовым условиям в центральной и северо-восточной части района развит сульфатный и карбонатно-сульфатный тип карста. В самой крайней юго-западной части трассы ВОЛП установлен меловой карст. На остальной части трассы (южная и юго-западная часть) ВОЛП карст не распространен. По степени обнаженности карстующихся пород и характеру перекрывающей толщи преобладает покрытый тип карста. По отношению к уровню подземных вод карстующиеся породы залегают в зоне аэрации.

Аэрокосмогеологический анализ

Важную роль в определении геологических факторов, контролирующих экзогенные геологические процессы играют аэрокосмические методы. Одним из эффективных методов картирования тектонической трещиноватости является линеamentно-геодинамический анализ [6-11].

Аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на территории Республики Татарстан проводились многими исследователями, в основном для решения задач нефтегазовой геологии, связанной неотектоническими движениями [13, 14]. АКГИ обзорного и регионального уровня (масштаб 1:2 500 000 – 1:1 000 000) с линеamentно-геодинамическим анализом были выполнены И.С.Копыловым [8] (рис. 4). По материалам АКГИ установлены многочисленные неотектонические блоковые структуры и нарушения, которые хорошо выражаются прямолинейными линеаментами на космических снимках (КС).

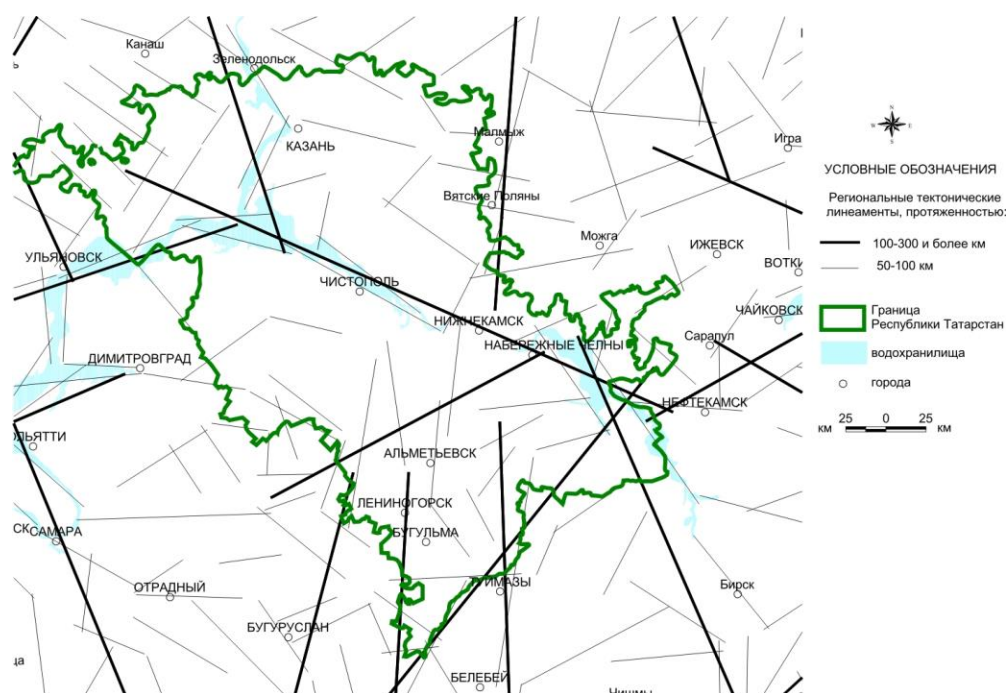


Рис. 4. Фрагмент карты регионального линеamentного поля РФ по РТ (по И.С. Копылову).
Масштаб 1:2500000

Автором выполнены регионально-зональные АКГИ (масштаб 1:1 000 000 – 1:200 000) для выделения тектонических линеamentов по современным космическим снимкам. Основными методами являлись: геологическое компьютерное дешифрирование и структурно-линеamentно-геодинамический анализ [6, 11].

При создании карты линеamentов использовались программы: SASPlanet, ArcGIS Pro.

На космоснимке (Landsat) в программе SASPlanet, на территории площадью 380 x 200 км, выделены линеamentы трех рангов: зональные линеamentы протяженностью 50-100 км (масштаб 1:1 000 000), зональные линеamentы протяженностью 15-50 км (масштаб 1:500 000), локальные линеamentы протяженностью 5-15 км (масштаб 1:200 000).

После выделения линеamentов, KMZ (KML) файлы, с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcGIS Pro, были преобразованы в shape-файлы и привязаны к карте, в системе координат GCS_WGS_1984. В результате чего была получена карта региональных, зональных и локальных тектонических линеamentов.

В результате компьютерного дешифрирования было закартировано 85 зональных и 177 локальных линеamentов. Анализ пространственной ориентации линеamentов показывает, что большинство крупных линеamentов имеют диагональную ориентировку, реже – меридиональную и субширотную ориентировку (рис. 5).

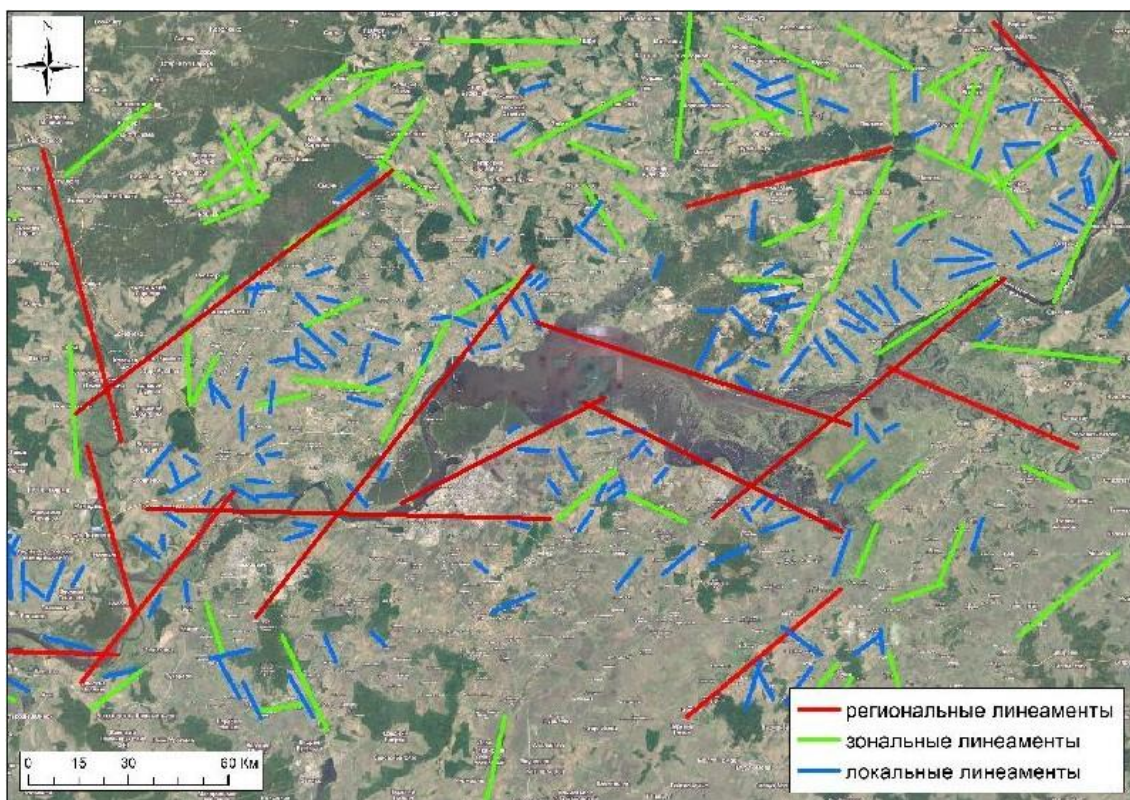


Рис. 5. Карта результатов аэрокосмогеологических исследований

На основе выделенных линеаментов была построена карта полей плотностей (рис. 6).

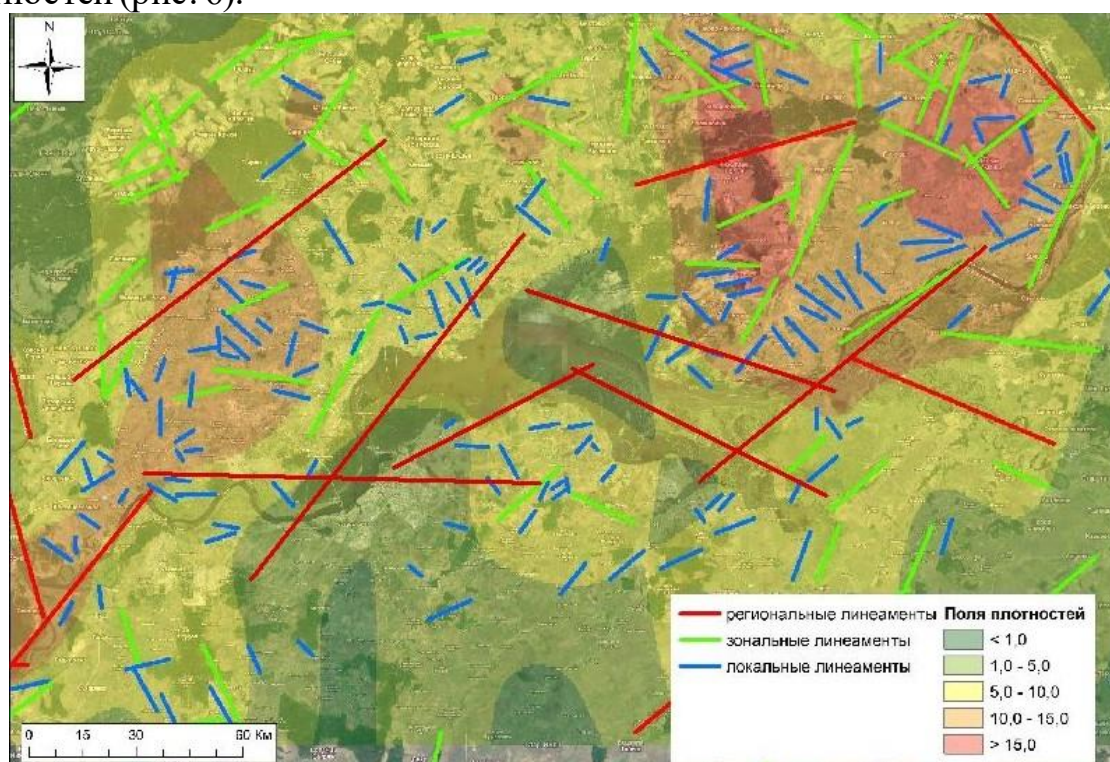


Рис. 6. Карта полей плотностей линеаментов

Анализируя построенную карту, можно отметить, что наибольшая плотность линеаментов разных рангов наблюдается западной (на участке

прохождения ВОЛП) и в северо-восточной части территории, что указывает на повышенную геодинамическую активность. Установлено, что аномалии плотности линейментов обусловлены повышенной геодинамической активностью контролируют места развития оползней, оврагов, суффозии, карста, подтопления, заболаченности и других опасных и неблагоприятных инженерно-геологических процессов.

Заключение

Изучение инженерно-геологических условий обеспечивает надежность и долговечность волоконно-оптических линий связи. Инженерно-геологические условия территории могут иметь существенное влияние на прочность и устойчивость подземных и надземных инфраструктурных элементов, таких как кабельные траншеи, опоры и шахты. Недостаточное изучение геологического строения и условий территории может привести к непредвиденным геологическим процессам, таким как обвалы, оползни, оседания и прочие, что может привести к повреждениям и прерыванию работы волоконно-оптических линий связи.

При проведении инженерно-геологических изысканий в т.ч. изысканий территорий ВОЛС в обязательном порядке должно быть проведение детальных инженерно-аэрокосмогеологических исследований, которые позволяют выявлять опасные активные геодинамические зоны.

Библиографический список

1. Войтович Е. Д., Гатиятуллин Н. С. *Тектоника Татарстана*. Казань: Изд. КГУ. 2003.
2. Застрожная О. И., Орлова Т. Б., Застрожных А. С. и др. *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Центрально-Европейская. Лист N-39 Казань–Самара. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. 467 с.*
- 3 *Инженерная геология СССР. Том 1. Русская платформа. Изд-во Московского университета, 1978. 183 с.*
4. *Карта дочетвертичных образований: N-38, (39) (Самара). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта дочетвертичных образований, масштаб: 1:1000000, составлена: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2000.*
5. *Карта неоген-четвертичных образований: N-39 (Казань-Самара). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Карта неоген-четвертичных образований. Центрально-Европейская серия, масштаб: 1:1000000, серия: Центрально-Европейская. ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2021.*
6. Копылов И.С. *Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.*
7. Копылов И.С. *Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.*
8. Копылов И.С. *Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. 501 с.*

9. Копылов И.С. Инженерная геология. Практикум. Учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2024. 76 с.
10. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241-246.
11. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
12. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
13. Мингазов М.Н., Мингазов Б.М. Геодинамические аспекты мониторинга экзогенных и эндогенных процессов на территории Республики Татарстан // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2010. № 2 (2). С. 14.
14. Мингазов М.Н., Стриженов А.А., Камышников А.Г., Киямова А.Г. Региональные аспекты новейшей тектоники Республики Татарстан // Георесурсы. № 2(57). 2014. С. 44-50.
15. Электронный ресурс: <http://atlaspacket.vsegei.ru/> ВСЕГЕИ: ГИС-Пакеты оперативной геологической информации.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
ГОРОДА АФУЛА, ИЗРАИЛЬ**

Проведен инженерно-геологический анализ территории индустриальной зоны города Афула, Израиль. Изучены инженерно геологические элементы на участке объекта строительства электростанции. Выполнена оценка инженерно-геологических условий территории строительства электростанции для выбора оптимальных фундаментов для зданий электростанции. Для анализа широко применялись современные космические снимки.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия территории строительства электростанции, космические снимки, разломы, инженерно геологические элементы, свайный фундамент, плитный фундамент, город Афула, Израиль.

R. Makarenko

Israel Klar ltd, The State of Israel

**APPLICATION OF SPACE IMAGES FOR THE PURPOSES
OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL ANALYSIS AND SELECTION
OF OPTIMUM FOUNDATIONS IN DESIGNING THE POWER PLANT
IN THE CITY OF AFULA, ISRAEL**

An engineering-geological analysis of the territory of the industrial zone of the city of Afula, Israel was carried out. The engineering geological elements on the site of the power plant construction object were studied. The engineering-geological conditions of the power plant construction area were assessed to select the optimal foundations for the power plant buildings. Modern satellite images were widely used for analysis.

Key words: engineering-geological conditions of the power plant construction area, space images, faults, engineering-geological elements, pile foundation, slab foundation, Afula city, Israel.

Введение

Для регионального инженерно-геологического анализа любых территорий большое значение имеет применение современных космических снимков, необходимых, как для общего пространственного ориентирования строительных объектов на местности, так и решения специальных инженерно-геологических задач, выделения опасных геодинамических зон для строительства, изменения динамики подземных вод [7-14, 16].

Целью исследований являлась оценка инженерно-геологических условий территории строительства электростанции для выбора оптимальных фундаментов зданий.

Актуальность инженерно-геологических исследований связана с планированием компанией Сименс строительства электростанции (ЭС) в индустриальной зоне города Афула – Израиль [15].

Задачи и объект исследований:

- изучить общие инженерно-геологические условия района с применением современных космических снимков;
- выделить инженерно-геологические элементы на площадке строительства;
- выбрать тип фундамента для строительства зданий, оценить степень пригодности фундамента
- сравнить альтернативные типы фундамента;
- оценить влияние изменений, которые могут быть вызваны строительством на окружающую среду и устойчивость существующих зданий, в том числе сейсмических воздействий;
- определить области альтернативного земельного участка, если это применимо;
- предоставить необходимую информацию для правильного и экономичное планирования работы;
- предоставить проектную информацию, необходимую для расчета фундамента, склонов и т. д.

Основная задача исследований – выделение инженерно геологических элементов на участке планируемого объекта.

Объектом исследования является северная часть Израиля в муниципальной зоне города Афула в индустриальной зоне Алон Тавор (рис. 1, 2, 3, 4) [18]. Площадка исследований находится на участке с координатами 726080/234860 (новые израильские координаты).

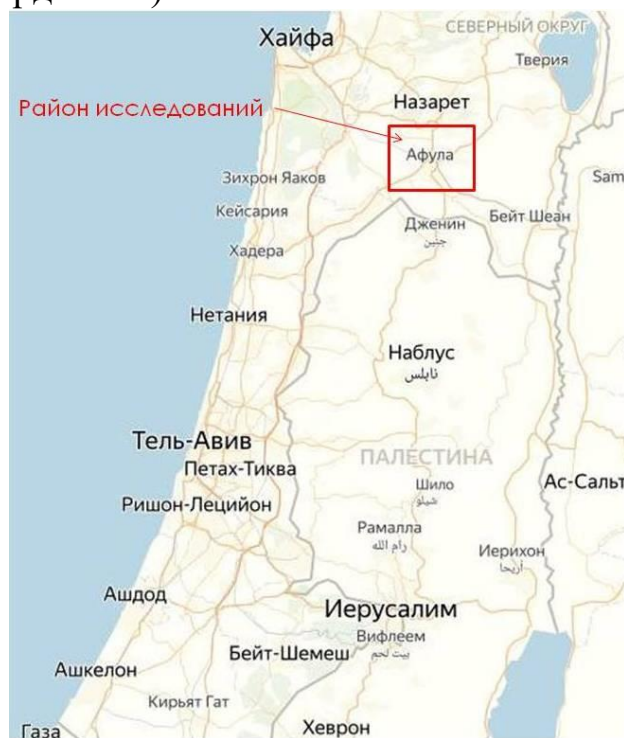


Рис. 1. Обзорная карта района



Рис. 2. Обзорный космоснимок района

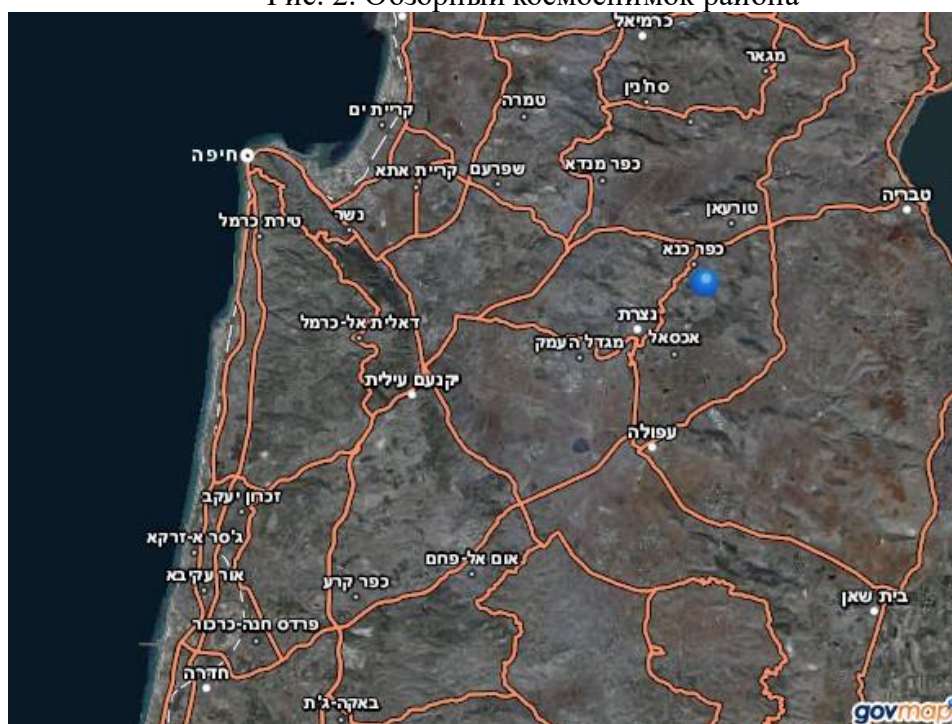


Рис. 3. Район исследований [17]



Рис. 4. Площадка под строительство [17]

Методы исследований являются стандартными: инженерно-геологический анализ с применением космических снимков, бурение скважин, отбор проб, лабораторные работы.

При проведении инженерно-геологической оценки изучаются инженерно-геологические элементы, проводится проверка на срез и выявляются несущие способности грунтов.

В практическом плане рассматривается и принимается ряд решений: какой тип фундамента выбрать (как в инженерном плане, так и экономическом) – плитный или свайный. Определяется качество и инженерные свойства как плитных, так и свайных фундаментов, и выбирается самый оптимальный как в инженерном так и в экономическом плане.

Геоморфологические и геологические условия

Район исследований расположен на восточной стороне нижней Галилеи в районе плоскогорья с единичными поднятиями. Высота отдельных поднятий варьируется от 300-450 м над уровнем моря. Площадка изысканий находится на абсолютной отметке +240,0 м [3].

Район находится в пределах Средиземноморско-Трансазиатского сейсмического пояса, в геоактивной зоне регионального уровня [9, 12], но в удалении от активных тектонических разломов и от участков тектонической активности. Площадка изысканий находится примерно в 30 км от Сирийско-Африканского

разлома, который проходит вдоль всей восточной границы Израиля. Его общее положение с севера на юг (рис. 5, 6) [6].

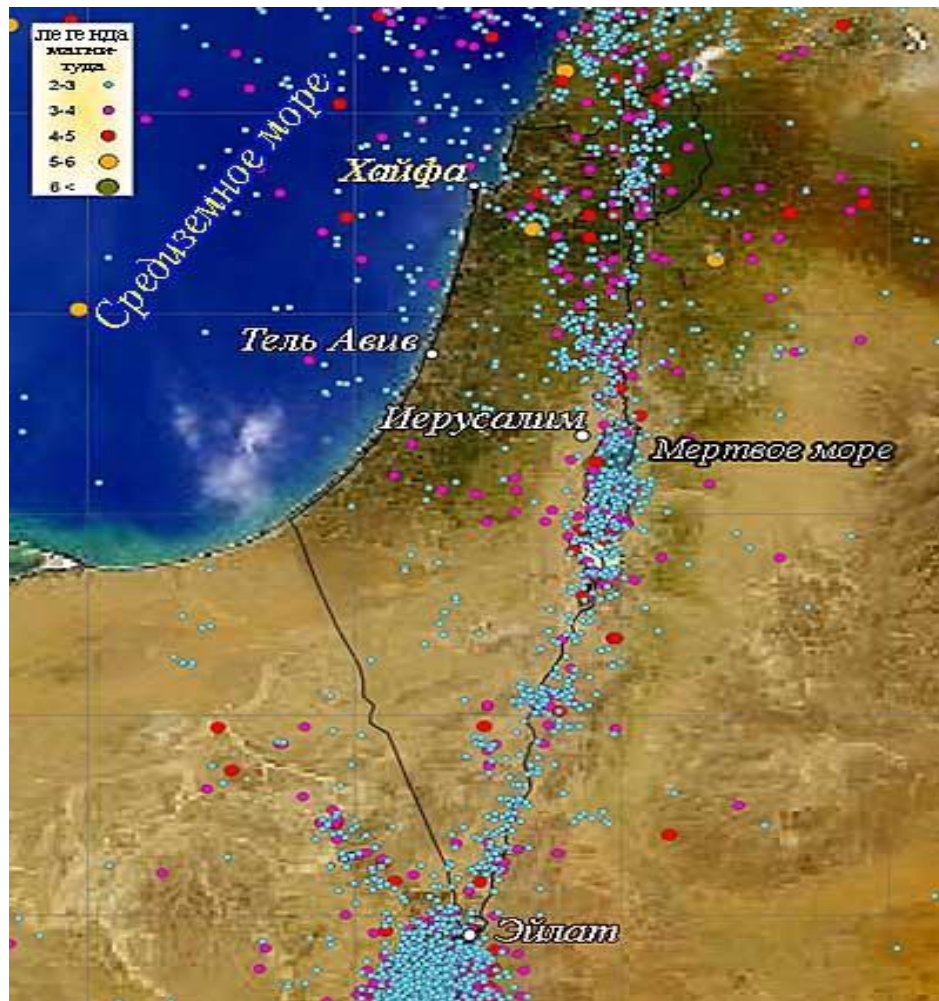


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений (1900-2003гг.). Израиль



Рис. 6. Сирийско-Африканский разлом (снимок из космоса)

Геологическое условия исследуемой территории обусловлены распространением осадочных пород, представленных известняками нижнего и среднего эоцена формации Тимрат и базальтовых покровов нижнего и среднего миоцена, частично перекрытых четвертичными аллювиальными отложениями (рис. 7).

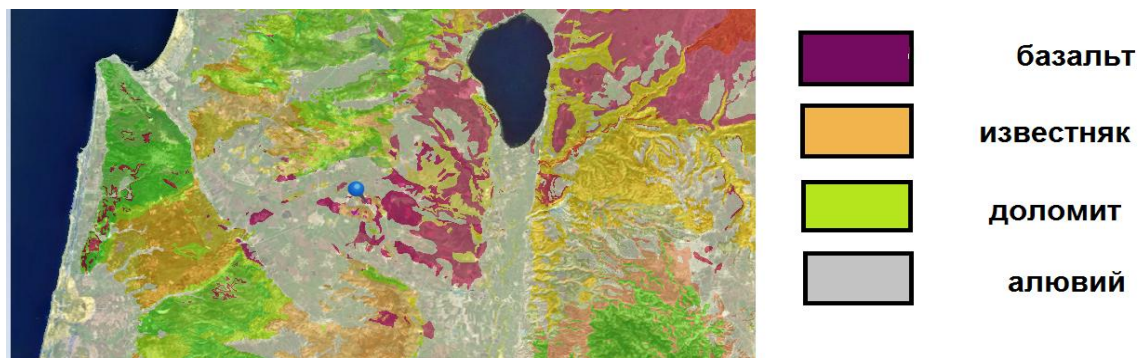


Рис. 7. Геологическая карта объекта, совмещенная с космическим снимком [16]

Результаты исследований

Более точные данные о геологическом строении и глубине залегания пород, были выяснены с помощью бурения 10 исследовательских скважин. Бурение данных скважин проводилось при помощи буровой установки с отбором керна в мае 2015 г. (рис. 8) [3, 18].

Для дальнейшего определения характеристик были сделаны два разреза по скважинам, разрез А-А и В-В (рис. 9).

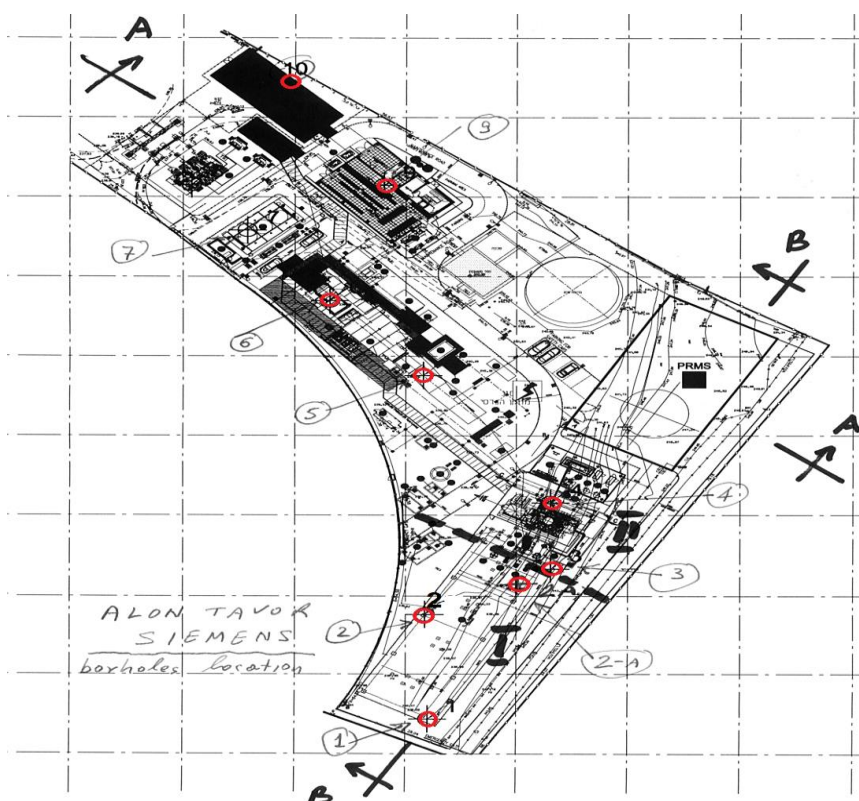


Рис. 8. Местоположение скважин (рабочий план)

Характеристика инженерно-геологических элементов

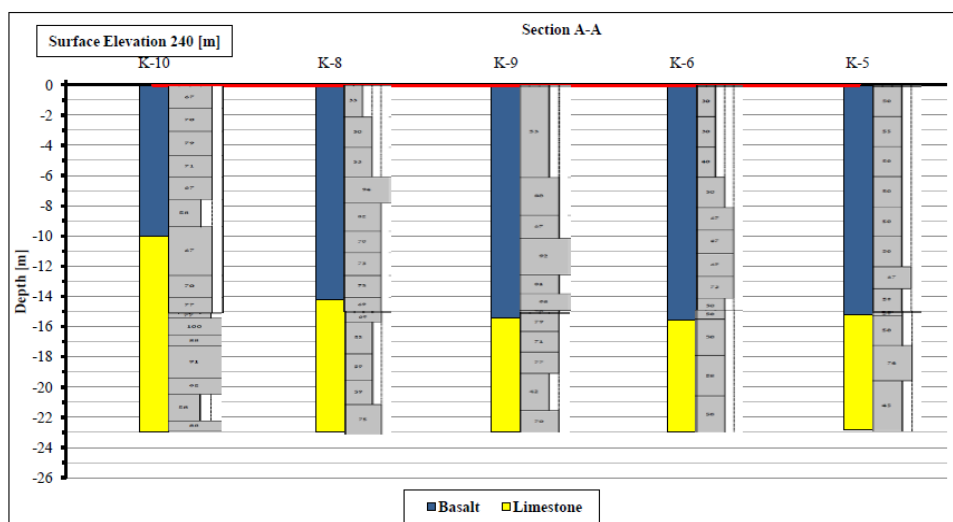
Глина – на данной территории характеризуется как мягко пластичная, изменяется в световой гамме от коричневого до красно коричневого. Глина в Скв. 1-2-2А пробуренных в южной части объекта характеризуется как жирные глины до жирных с обломками базальта, найдены с 0.0м до глубины 6.0м. данный участок характеризуется как самый низкий на данном объекте (+240м над уровнем моря) [3, 17].

Также в СКВ 3-4 была найдена красно коричневая жирная глина под пластами базальта на глубине с 15,0м до 16,0м. глины до 6,0м являются аллювиальными отложениями **q** [18].

Базальт – на данной территории характеризуется как твердый, серый базальт, частично разрушен с мелким материалом. Был установлен в СКВ 3-10 с глубины 0,0 м до 23,0м. Базальт относится к нижнему и среднему миоцену **βm** [9].

Известняк – на данной территории относится к твердому белому до серо белого сильно до средне трещиноватому известняку. Данный известняк был изучен в СКВ 5-10 с глубин 10,0 м и до 23,0 м. Известняк относится к формации Тимрат нижний средний эоцен **et** [15, 18].

Section A-A



Section B-B

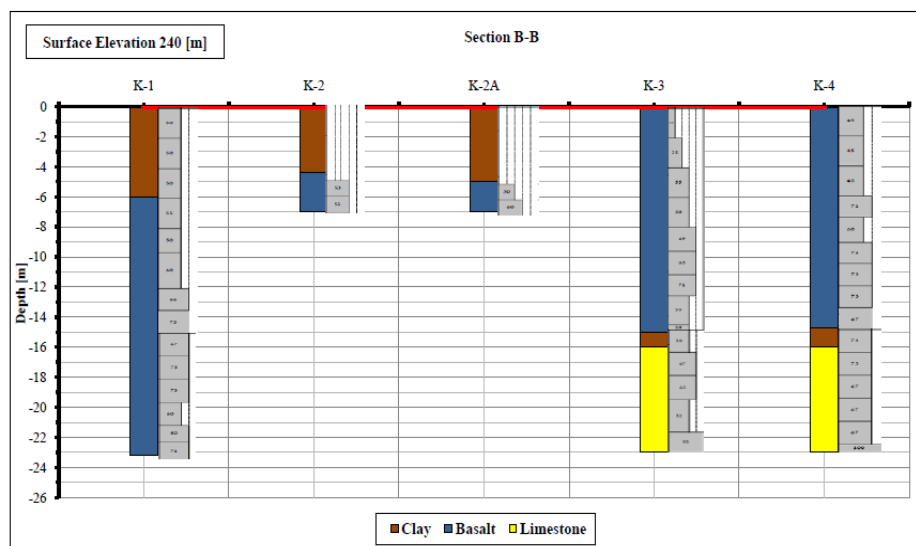


Рис. 9. Геологические разрезы по скважинам

Определение нормативных и расчетных характеристик грунтов

Для определения инженерных характеристик были проведены следующие проверки.

Динамическое испытание CBR (определение калифорнийского числа).

Динамический коэффициент CBR – это сложный показатель несущей способности, который зависит от прочности, формы зерен, морозоустойчивости и шероховатости отдельных зерен [5] (рис. 10).

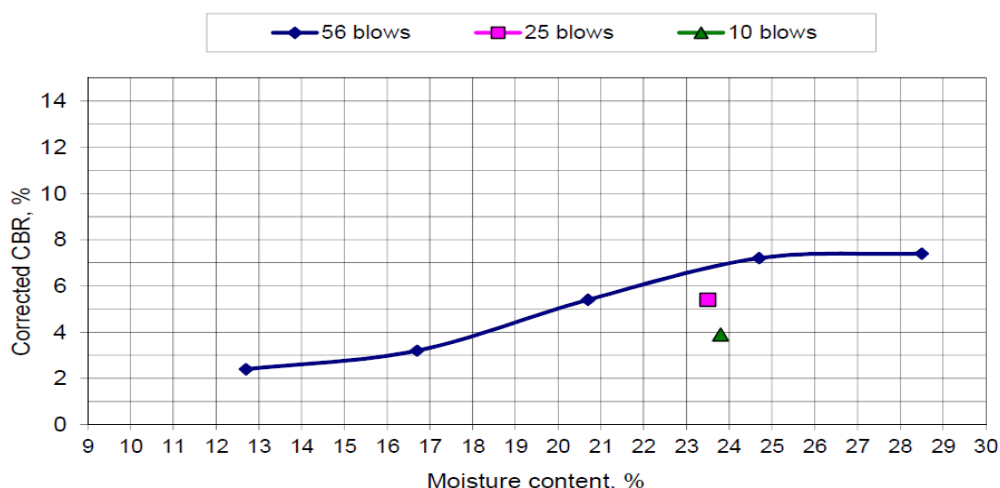


Рис. 10. Результаты динамического испытания [15]

Метод исследования прочности материалов на растяжение

Рассматривается плоская деформация кругового цилиндра при различных системах статически эквивалентных нагрузок.

Метод исследования прочности материалов на растяжение

Номер скв	Глубина отбора пробы, (м)	описание	Диаметр, (см)	Толщина, (см)	Вода, %	Сухой вес пробы, (Кг\ м³)
4	16	известняк	6.29	3.03	0.07	2678

Время теста до разрыва 2.03 мин.

Сила до растяжения до разрыва 12.59 МПА.

Прочность при сжатии керна при свободном боковом расширении.

Предел прочности на сжатие есть пороговая величина постоянного (для статического предела прочности) или, соответственно, переменного (для динамического предела прочности), превышая который механическое напряжение в результате разрушит пробу [5].

Для определения мах разрешенных нагрузок было сделано 14 проверок на сжатие 7 для базальтов и 7 для известняков.

Мелко-заглублённые (плавающие) плитные фундаменты применяются для всех видов построек. Они имеют большую площадь опоры, а, следовательно, и большую несущую способность в целом, однако конструкция плиты при этом испытывает колоссальные нагрузки (изгибающие моменты) в нижних слоях плиты под конструкциями, передающими на нее сосредоточенную нагрузку и в верхних слоях плиты на разгруженных участках [2, 16].

Для мелко-заглублённых плит весьма актуальна проблема набухания на пластичных грунтах, вернее деформаций плиты, связанных с ним. Дело в том, что при процессах набухания, грунта в нижней части плиты происходят очень серьезные деформации, плиту просто «разрывают на части» силы сдвигов грунта, выгибы плиты по периметру и существенные прогибы по центру. При этом на подошве фундамента неминуемо появление трещин, причем их размер уве-

личивается с каждым циклом увлажнения и высыхания. Процесс появления трещин невозможно исключить, можно только уменьшить раскрытие трещин путем сверхплотного армирования, и устройства демпфирующих слоев. В образовавшиеся трещины может попасть вода при этом процесс разрушения железобетона ускорится. Поэтому в неблагоприятных условиях надежность и долговечность плавающих плитных фундаментов у меня вызывают большие сомнения.

Свайный фундамент железобетонные сваи – изделия, при создании которых применяется тяжёлый бетон. Нагрузка передаётся за счёт бокового трения поверхности свай об уплотнённый грунт. Практически все возводимые сегодня фундаменты используют сваи, поскольку это значительно упрочняет и повышает качество сооружения. Железобетонные сваи – изделия, при создании которых применяется тяжёлый бетон. Нагрузка передаётся за счёт бокового трения поверхности свай об уплотнённый грунт. Практически все возводимые сегодня фундаменты используют сваи, поскольку это значительно упрочняет и повышает качество сооружения [2, 4].

Свайный фундамент является самым оптимальным во всех отношениях, ввиду его гибкости, можно адаптировать к геологическим условиям для мягких или твердых пород [15].

Обсуждение результатов

В практическом применении и в связи с полученными инженерными характеристиками от проведенных лабораторных работ можно выбрать между двумя видами фундамента (глубокого заложения и не глубокого заложения) то есть плитный фундамент. По данным результатов, полученных при оценке исследуемого объекта, и по результатам анализа инженерных геологических условий можно назвать самым оптимальным фундаментом свайный, так как на данном участке присутствует глина в верхних слоях. При этом отмечается, что плитный фундамент также можно применять, но это потребует больших объемов земляных работ, что в свою очередь приводит к удорожанию самого проекта. Свайный фундамент, не смотря на определенную трудоемкость, решает ряд проблем, которых плитный фундамент не в силах решить. Например, свайный фундамент работает на боковом трении, то есть он проходит проблематичный слой глины и основывается на трении от скальных пород. Так же при возможном землетрясении свайный фундамент намного надежнее, чем плитный из-за распределения нагрузок.

Выводы

Рассмотрены инженерно-геологические условия района и площадки под строительство электростанции компанией Сименс на севере Израиля. Данная площадка изучена в геологическом плане: в тектоническом, сейсмическом, гидрогеологическом, инженерном-геологическом. Инженерном геологические условия этой территории были изучены полевыми изысканиями и лабораторными испытаниями, на основе которых были выделены и охарактеризованы инженерно геологические элементы. Так же была рассмотрены возможности

строительства различных типов фундамента. На основании данных инженерных характеристик был выбран свайный тип фундамента, как самый оптимальный вариант.

Для инженерно-геологического анализа широко применялись современные космические снимки, которые позволяли выделять тектонические нарушения и современные инженерно-геологические и гидрогеологические процессы.

Библиографический список

1. Аврахам Вершавский. Инженерная экономика. 40 с.
2. Donald G. Newnan-Civil Engineering Problems and Solutions Дональд Ньюман - Инженерные проблемы и решения. 52 с.
3. Ицхак Штерн. Геоморфология Израиля. 4 с.
4. Израильский стандарт 1378 Свайный фундамент пневмоударным методом (1994) 20 с.
5. Израильский стандарт 940 Геотехнические конструкции: геотехника и фундамент (2008).
6. Израильский стандарт 413 Дизайн для сейсмостойкости строений (2013).
7. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
8. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-3. С. 86-90.
9. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.
10. Kopylov I.S. Estimation of geodynamic activity and its effect on mining-geological conditions and flooding of potassium mines // Mine Water: Technological and Environmental Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference. Perm State University, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of RAS. 2019. С. 16-22.
11. Kopylov I.S. Scientific and methodological foundations of geoecological studies of oil and gas regions and assessment of the geological safety of cities and objects using remote methods / dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences / Ural State Mining University. 2014. 351 p.
12. 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.
13. Kopylov I.S., Kovin O.N., Nahesbik S. Regional aerospace-geological analysis for the design of major linear engineering objects of Western China // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 55-62.
14. 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.
15. Makarenko .R. Evaluation of engineering and geological conditions for selecting optimal foundations for power plant buildings in Afula, Israel // Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherkinskie reading: Series of scientific article. Materials of I International sci.-pract. conf. Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2020. P. 238-246.
16. Seredin V.V., Kopylov I.S., Khrulev A.S., Leibovich L.O., Pushkareva M.V. Evolution of fracture surface morphology in rocks // Journal of Mining Science. 2013. Т. 49. № 3. С. 409-412.
17. Шауль Данкман. Геология для инженера. 238с.
18. www.govmap.co.il. Государственный сайт Израиля по картам.

С.В. Макаров

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ КОКУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Проведена оценка современного экологического состояния водных объектов и атмосферного воздуха на территории Кокуйского месторождения нефти. Описан этап отбора проб, средства измерения при отборе и анализе проб, методики и результаты исследований. Для установления масштабов загрязнения вод использованы современные космические снимки.

Ключевые слова: геоэкологическая оценка, подземные и поверхностные воды, воздух, превышение ПДК, космические снимки, Кокуйское месторождение нефти.

S. V. Makarov

Perm State University, Perm, Russia

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CONDITION OF WATER BODIES AND ATMOSPHERIC AIR IN THE TERRITORY OF THE KOKUY OIL FIELD USING SPACE IMAGES

An assessment of the current ecological state of water bodies and atmospheric air in the territory of the Kokuy oil field was carried out. The sampling stage, measuring instruments during sampling and analysis, methods and research results are described. Modern satellite images were used to establish the extent of water pollution.

Key words: geoecological assessment, ground and surface waters, air, excess of maximum permissible concentrations, satellite images, Kokuy oil field.

Введение

Несмотря на огромную важность нефти для человечества, на всех стадиях от добычи до получения готового продукта происходит загрязнение окружающей среды, что создает серьезные проблемы для населения нефтедобывающих районов. Объекты нефтедобычи являются источниками загрязнения водных объектов, атмосферного воздуха, почв.

На Кокуйском нефтегазовом месторождении, расположенном в Кунгурском и Ординском районах Пермского края, в 28 км юго-западнее г. Кунгура разработку осуществляет ООО «Лукойл-Пермь». Месторождение открыто в 1961 г., запущено в эксплуатацию в 1965 г. Разработка данного месторождения ведется в сложных горно-геологических условиях, вызванных развитием карстовых и геодинамических процессов.

Особенности проявления этих процессов можно наблюдать на участке д. Павлово, расположенной на расстоянии 5,8 км к юго-востоку от УППН «Кокуй». Впервые загрязнение нефтью р. Тураевка зафиксировано 18 апреля 1997 года. Тогда вода в реке покрылась пленкой нефти 20-сантиметровой толщины. В 250 метрах выше по течению реки от деревни обнаружались выделения нефти. Как раз в этом месте р. Тураевка «выныривает» из скалы, при этом вход реки в скальный массив происходит за 1,5 км от деревни [3, 14, 16].

Для выяснения источника загрязнения, были проведены многочисленные научные исследования как на территории Кокуйского нефтяного месторождения, так и непосредственно в районе д. Павлово. Выполняли эти исследования различные организации Перми, Волгограда, Казани, Москвы, в том числе ученые МГУ, ПГНИУ и специалисты органов государственного экологического надзора. В результате исследований, был сделан вывод о том, что загрязнение р. Тураевка носит природный характер, связанный с закарстованностью территории.

С целью минимизации последствий загрязнения, компанией ООО «Лукойл-Пермь» был выполнен ряд природоохранных мероприятий: на выходе реки из скалы была построена нефтеловушка, а в октябре 2007 г. – станция очистки воды от нефтепродуктов. В настоящее время вода реки Тураевки проходит три ступени очистки. Первая – это установка каталитического окисления газов. В ней все те газы, которые поднимаются с поверхности воды, обезвреживаются со степенью очистки 99,9%. После этого вода поступает в нефтеловушку. Вода здесь отстаивается, и операторы улавливают пленку нефти, которая всплывает на поверхность воды. Если в ловушке собирается достаточное серьезное количество углеводородов, они собираются и отвозятся на установку подготовки и перекачки нефти (УППН) «Кокуй» для очистки. Третья ступень – две линии фильтров с угольным сорбентом. Они улавливают те нефтепродукты, которые оказываются растворенными в воде [1, 15].

Цель статьи – изучение современного экологического состояния водных объектов и атмосферного воздуха на территории Кокуйского месторождения нефти с проведением опробования, лабораторных исследований, фотосъемки природных и техногенных условий, с использованием космических снимков.

Геолого-гидрогеологические условия

Кокуйское месторождение расположено в пределах Бымско-Кунгурской впадины Волго-Уральской антеклизы. Поверхность на большей части площади представляет собой слаборасчлененное плато, прорезанное сетью глубоко врезуемых эрозионно-карстовых долин и суходольных логов. Основной особенностью изучаемого района является повсеместное развитие сульфатно-карбонатного карста. Земная поверхность осложнена карстовыми формами рельефа, повсеместно развиты кары, поноры, воронки, котловины, овраги, рвы, лога, пещеры. Движение глубинных вод на территории района происходит как по вертикали, так и в латеральном направлении через сеть линейных трещинно-разрывных структур, отображённых в строении земной поверхности прямолинейными линеаментами. В пределах месторождения выявлена неравномерно

плотная сеть прямолинейных линеаментов, предположительно отображающих субвертикальные трещинно-разрывные структуры осадочного комплекса [4, 5, 7] (рис. 1).

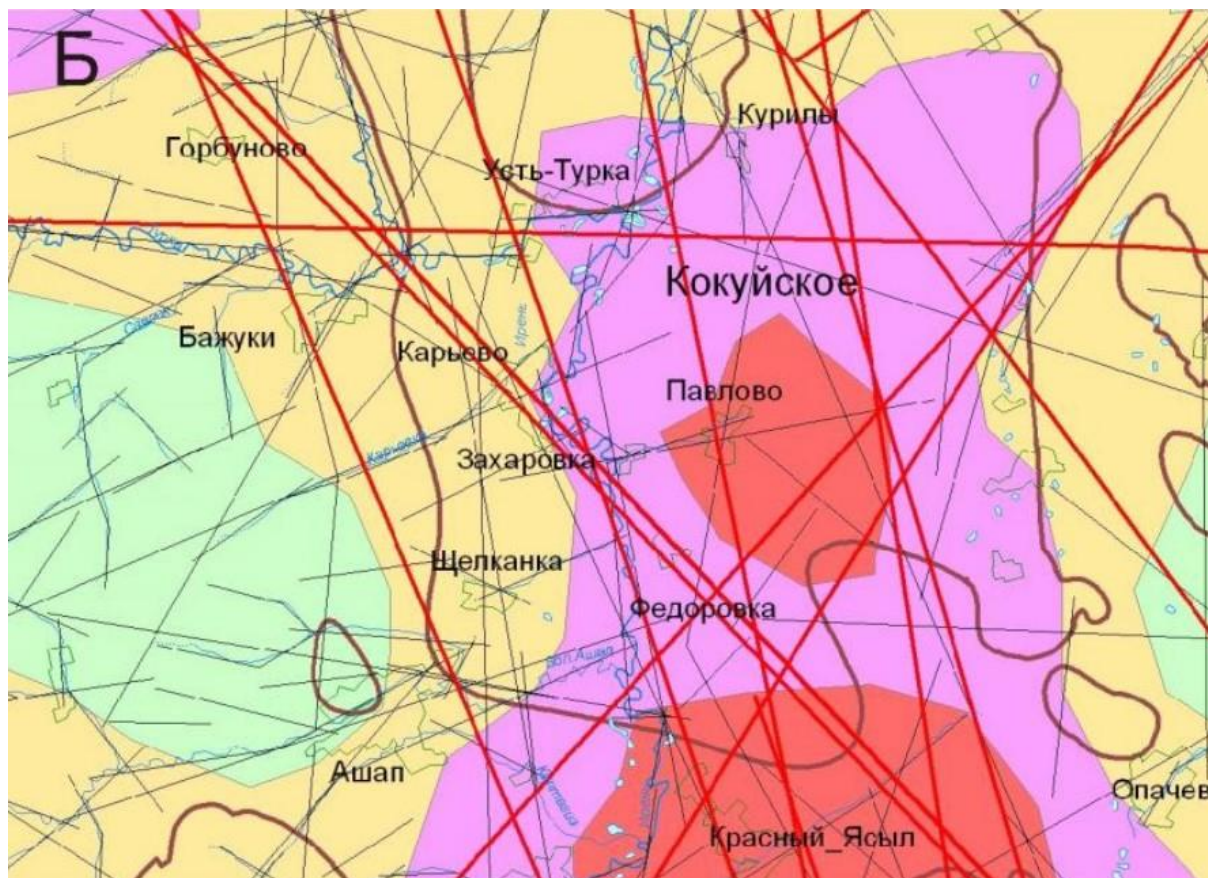


Рис. 1. Тектоническая трещиноватость на Кокуйском месторождении (по И.С. Копылову) [7]

Территория находится на восточной окраине Восточно-Русского бассейна пластовых вод, в пределах Иреньско-Сылвинского бассейна. На поверхности в зоне свободного водообмена распространены четвертичный, шешминский, соликамский и кунгурский водоносные комплексы. В районе по материалам гидрогеологических и геохимических съемок установлены локальные гидрогеохимические и литогеохимические аномалии, которые формируют Иреньскую комплексную геохимическую аномальную зону [6, 8-13]. Гидрогеохимические аномалии могут формироваться за счет миграции глубинных вод по тектоническим нарушениям [17].

Материалы и методы

В ходе исследования были собраны материалы, помогающие оценить современное состояние атмосферного воздуха и водных объектов на территории Кокуйского месторождения нефти.

Для установления масштабов загрязнения вод использованы современные космические снимки (Landsat).

Полевые исследования проводились в 2022-2023 гг.

Отбор проб осуществлялся 3 раза: 17.11.2022 г., 16.02.2023 г. и 28.04.2023 г. сотрудниками лаборатории ООО «ЭкоЛаб» (в т.ч. – автором).

Отбор проб атмосферного воздуха производился согласно РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы», часть I, п.4. Всего отобрано 18 проб атмосферного воздуха. Атмосферный воздух анализировался на содержание в нем следующих загрязняющих веществ: сероводород, углеводороды предельные С1-С5, углеводороды предельные С6-С10, бензол, толуол, диметилбензол, этилбензол.

Отбор проб воды из родников и поверхностных вод производился согласно ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб [2]. При осуществлении отбора проб и их измерений были использованы официальные методики: (РД 52.04.795-2014; ПНД Ф 13.1:2:3.23-98; ПНД Ф 13.1:2:3.24-98; РД 52.04.838-2015; ПНД Ф 14.1:2:4.128-98; ПНД Ф 14.1:2:3.4.111-97).

Для исследования воды, как наиболее соответствующие деятельности, связанной с нефтедобычей, были выбраны показатели: нефтепродукты и хлорид-ионы.

Результаты и их обсуждение

Для осуществления отбора проб приповерхностных вод были установлены следующие точки (рис. 2):

- КТ № 1. р. Турка, выше по течению от УППН «Кокуй», фон;
- КТ № 2. р. Турка, ниже по течению от УППН «Кокуй», контроль;
- КТ № 3. д. Павлово, р. Тураевка, у нефтеловушки;
- КТ № 4. д. Павлово, р. Тураевка, у моста;
- КТ № 5. р. Тураевка, перед впадением в р. Ирень.

Для осуществления отбора проб атмосферного воздуха установлены следующие точки:

- КТ № 1 на границе СЗЗ УППН «Кокуй» (1 км на запад от УППН);
- КТ № 2 на границе СЗЗ УППН «Кокуй» (1 км на восток от УППН);
- КТ № 3. д. Павлово, у нефтеловушки (восточная окраина деревни);
- КТ № 4. д. Павлово, у моста через р. Тураевка (центр д. Павлово);
- КТ № 5 южная окраина д. Павлово;
- КТ № 6 северная окраина д. Павлово.

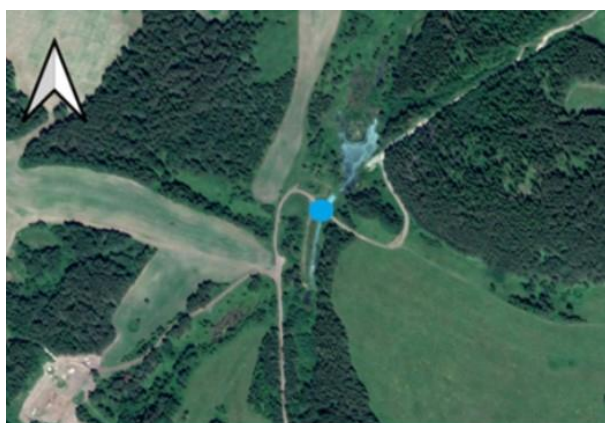
Для анализа природных и техногенных условий автором изучались современные космические снимки и была проведена фотосъемка природных и техногенных условий (рис. 3).



УПН «Кокуй»



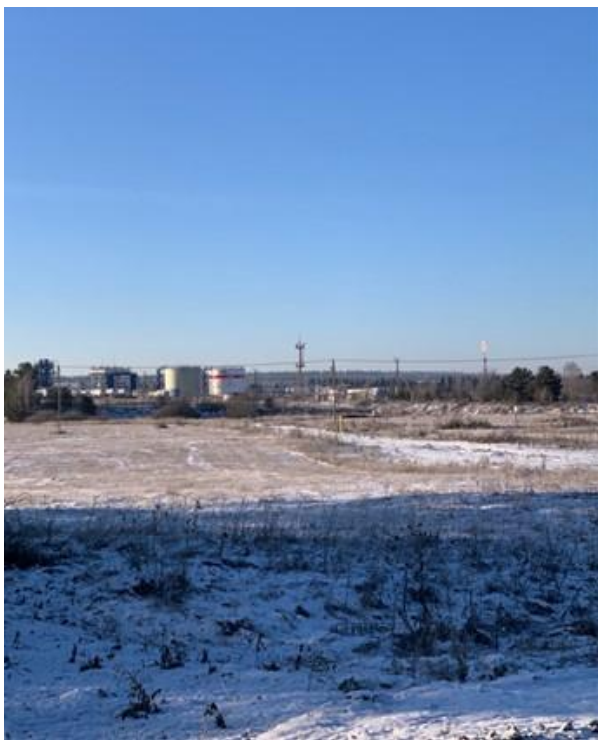
Территория д Павлово



КТ № 6. р. Каменка

- точки отбора проб воды
- точки отбора проб воздуха

Рис. 2. Схема отбора проб на космоснимках



УППН «Жокуй»



Штанговые насосные установки



КТ № 3. Фильтровальная станция



КТ № 4. У моста через р. Тураевка



КТ № 6. Р. Каменка (выход из скалы)



КТ № 6. Р. Каменка

Рис. 3. Природные и техногенные условия района

По результатам проведения анализа воздуха за весь период изучения были получены следующие результаты содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в мг/м^3 : сероводород – менее 0,006; углеводороды предельные С1-С5 – 1,1-1,8; углеводороды предельные С6-С10 – менее 1,0; бензол – менее 0,01; толуол (метил-бензол) – менее 0,01; сумма ксилолов (диметил-бензол) – менее 0,03; этилбензол – менее 0,01 (табл. 1). По результатам сравнения полученных результатов с ПДК в атмосферном воздухе вблизи Кокуйского месторождения и на территории д.Павлово превышений по рассматриваемым загрязняющим веществам не выявлено.

По результатам проведения анализа воды были получены следующие результаты (табл. 2, 3).

Существуют ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения, к которым относятся реки Турка и Тураевка. Предельно допустимые концентрации принимались в соответствии с таблицей № 2 Приказа Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (табл. 3).

Таблица 1

Результат испытаний проб атмосферного воздуха в долях ПДК м.р.

Точка отбора	Дата отбора	Результат испытаний проб в долях ПДК м.р.						
		Сероводород (дигидро-сульфид)	Углеводороды предельные C1-C5	Углеводороды предельные C6-C10	Бензол	Толуол (метилбензол)	Сумма ксиолов (диметилбензол)	Этилбензол
ПДК м.р.		0,008	200	50	0,3	0,6	0,2	0,02
КТ № 1 - р. Турка, выше по течению от УПНН «Кокуй», фон	17.11.2022 г.	0,75	0,009	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,006	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
КТ № 2 - р. Турка, ниже по течению от УПНН «Кокуй», контроль	17.11.2022 г.	0,75	0,0055	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,0065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,0055	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
КТ № 3 - д. Павлово, р. Тураевка, у нефтеловушки	17.11.2022 г.	0,75	0,0055	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,0065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,0055	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
КТ № 4 - д. Павлово, р. Тураевка, у моста	17.11.2022 г.	0,75	0,007	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,0065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,006	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
КТ № 5 - р. Тураевка, перед впадением в р. Ирень	17.11.2022 г.	0,75	0,006	0,02	0,033	0,016	0,38	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,0065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,006	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
КТ № 6 - р. Каменка	17.11.2022 г.	0,75	0,006	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	16.02.2023 г.	0,75	0,0065	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5
	28.04.2023 г.	0,75	0,0055	0,02	0,033	0,016	0,15	0,5

По результатам сравнения полученных результатов с ПДК, в атмосферном воздухе в районе Кокуйского месторождения и на территории деревни Павлово, превышений по рассматриваемым загрязняющим веществам не выявлено.

По результатам сравнения полученных результатов с ПДК вод хозяйственно-бытового назначения, выявлены превышения:

По нефтепродуктам:

- КТ № 6 – р. Каменка (1,76 ПДК) в пробах от 28.04.2023 г.

По хлорид-ионам:

- КТ № 6 – р. Каменка (1,99 ПДК) в пробах от 28.04.2023 г.

Таблица 2

Результат испытаний проб поверхностных водных объектов в долях ПДК х.б.

Точка отбора	Дата отбора	Результат испытаний в долях ПДК х.б.	
		Нефтепродукты	Хлорид-ионы
ПДК х.б.		0,3	350
КТ № 1 – р. Турка, выше по течению от УППН «Кокуй», фон	17.11.2022 г.	0,016	0,023
	16.02.2023 г.	0,063	0,02
	28.04.2023 г.	0,03	0,014
КТ № 2 – р. Турка, ниже по течению от УППН «Кокуй», контроль	17.11.2022 г.	0,03	0,018
	16.02.2023 г.	0,056	0,018
	28.04.2023 г.	0,03	0,014
КТ № 3 – д. Павлово, р. Тураевка, у нефтеловушки	17.11.2022 г.	0,236	0,14
	16.02.2023 г.	0,16	0,17
	28.04.2023 г.	0,33	0,11
КТ № 4 – д. Павлово, р. Тураевка, у моста	17.11.2022 г.	0,133	0,15
	16.02.2023 г.	0,186	0,17
	28.04.2023 г.	0,11	0,11
КТ № 5 – р. Тураевка, перед впадением в р. Ирень	17.11.2022 г.	0,133	0,25
	16.02.2023 г.	-	-
	28.04.2023 г.	0,053	0,17
КТ № 6 – р. Каменка	17.11.2022 г.	-	-
	16.02.2023 г.	-	-
	28.04.2023 г.	1,76	1,99

Таблица 3

Результат испытаний проб поверхностных водных объектов в долях ПДК

Точка отбора	Дата отбора	Результат испытаний в долях ПДК р.х.	
		Нефтепродукты	Хлорид-ионы
ПДК р.х.		0,05	300
КТ № 1 – р. Турка, выше по течению от УППН «Кокуй», фон	17.11.2022 г.	0,01	0,027
	16.02.2023 г.	0,38	0,023
	28.04.2023 г.	0,18	0,016
КТ № 2 – р. Турка, ниже по течению от УППН «Кокуй», контроль	17.11.2022 г.	0,18	0,021
	16.02.2023 г.	0,34	0,021
	28.04.2023 г.	0,18	0,16
КТ № 3 – д. Павлово, р. Тураевка, у нефтеловушки	17.11.2022 г.	1,42	0,16
	16.02.2023 г.	1	0,203
	28.04.2023 г.	2	0,13
КТ № 4 – д. Павлово, р. Тураевка, у моста	17.11.2022 г.	0,8	0,17
	16.02.2023 г.	1,12	0,02
	28.04.2023 г.	0,66	0,13
КТ № 5 – р. Тураевка, перед впадением в р. Ирень	17.11.2022 г.	0,8	0,29
	16.02.2023 г.	-	-
	28.04.2023 г.	0,32	0,19
КТ № 6 – р. Каменка	17.11.2022 г.	-	-
	16.02.2023 г.	-	-
	28.04.2023 г.	10,6	2,32

По результатам сравнения полученных результатов с ПДК вод рыбохозяйственного значения, выявлены превышения:

По нефтепродуктам:

- КТ № 3 – д. Павлово, р. Тураевка, у нефтеловушки (1,42 ПДК) в пробах от 17.11.2022 г.;
- КТ № 4 – д. Павлово, р. Тураевка, у моста (1,12 ПДК) в пробах от 16.02.2023 г.;
- КТ № 6 – р. Каменка (10,6 ПДК) в пробах от 28.04.2023 г.

По хлорид-ионам:

- КТ № 6 – р. Каменка (2,32 ПДК) в пробах от 28.04.2023 г.

Заключение

По результатам изучения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вблизи Кокуйского месторождения и на территории д.Павлово превышений ПДК не выявлено.

По результатам изучения приповерхностных вод отмечается загрязнение с превышением ПДК по нефтепродуктам и хлоридам в районе д. Павлово, а также на КТ 6 – р. Каменка. Этот вывод подтверждают пробы с КТ 3 от 17.11.2022 г., КТ 4 от 16.02.2023 г., КТ 6 от 28.04.2023 г.

Негативное воздействие на природную среду вблизи Кокуйского месторождения нефти сохраняется. Фильтровальная станция, находящаяся в окрестностях д.Павлово, в полной мере не справляется со своей задачей, и вода, загрязненная нефтепродуктами, протекает по территории деревни

Необходимо продолжать наблюдения за состоянием подземных и поверхностных водных объектов в местах выхода рек из скальных массивов для установления генезиса хлоридных загрязнений с использованием разномасштабных космических снимков.

Библиографический список

1. Газета «Звезда», 19.10.2010. <https://gazeta-star.ru/?module=archiveis&action=list&page=20>.
2. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб.
3. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Особенности нефтяного загрязнения подземных и поверхностных вод в карстовых районах юга Пермского края // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2021. С.256-262.
4. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14-19.
5. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2021. 501 с.
6. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145-149.
7. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
8. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. №. 2 (15). С. 16-34.
9. Копылов И.С. Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // Успехи современного естествознания. 2014. № 9-2. С. 105-110.

10. 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.
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*. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.
13. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Ераля // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. С. 678.
14. Морева А.М., Репин И.С. Особенности нефтяного загрязнения в д.Павлово (Пермский край) // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность*. Пермь, 2018. С. 111-116.
15. Мячина К.В. Геоэкологический анализ и пути оптимизации ландшафтов степной зоны в условиях разработки нефтегазовых месторождений / дис. на соиск. уч. степ. док. географических наук. Оренбург: ФБУН Оренбургский федеральный исследовательский центр, 2021. 310 с.
16. Плачкова С.Г., Плачков И.В., Дунаевская Н.И., Подгуренко В.С., Шильяев Б.А. и др. История открытия и использования нефти и газа, и их происхождение. Энергетика. История, настоящее и будущее. Кн.1. От огня и воды к электричеству. 2012-2013 / URL: <http://www.energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-8/8-1> (Дата обращения 07.12.2023).
17. 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.

Н.Н. Семчук¹, С.Н. Гладких², О.В. Балун¹

¹ – Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского ФИЦ РАН. Новгородская обл., Новгородский р-н, д. Борки, smecvo@mail.ru

² – Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. Великий Новгород, Россия, gl_svetlana53@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕКОГНОСЦИРОВКИ АРЕАЛА ИНВАЗИОННОГО ВИДА

*В последние годы пришло осознание того, что удаление инвазионного вида *Heracleum sosnowskyi* Manden из естественных фитоценозов потребует много времени и усилий. Следует также учитывать два важных обстоятельства: высокую плодовитость растений и способность семян долгое время сохранять жизнеспособность после попадания в почву. Поскольку каждое новое единичное растение, которое появляется в экосистеме, является реальным источником расширения уже имеющегося ареала, важно иметь детальную картину распространения растений борщевика Сосновского, в том числе и отдельно локализованных растений. Это возможно только за счет осуществления постоянного мониторинга территорий, на которых имеются или возможно появление инвазионных растений. Наиболее рациональным и эффективным вариантом для этого является обследование ландшафтов в автоматическом режиме беспилотными летательными аппаратами на базе дирижаблей.*

Ключевые слова: инвазионный вид, мониторинг, семена, дирижабль, карта ареала.

N.N. Semchuk¹, S.N. Gladkikh², O.V. Balun¹

¹ – Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

² – Novgorod Research Institute of Agriculture is a branch of the St. Petersburg FITZ RAS.
Novgorod region, Borki, Russia

THE USE OF AIRCRAFT FOR RECONNAISSANCE OF THE AREA OF AN INVASIVE SPECIES

*In recent years, it has been realized that the removal of the invasive species *Heraculum sosnowskyi* Manden from natural phytocenoses will require a lot of time and effort. Two important circumstances should also be taken into account: high fecundity of plants and the ability of seeds to remain viable for a long time after entering the soil. Since each new single plant that appears in the ecosystem is a real source of expansion of the already existing range, it is important to have a detailed picture of the distribution of plants of borscht Sosnowski, including separately localized plants. This is possible only through the implementation of constant monitoring of territories in which there are or may be the appearance of invasive plants. The most rational and effective option for this is the survey of landscapes in automatic mode by unmanned aerial vehicles based on airships.*

Keywords: invasive species, monitoring, seeds, airship, area map.

Введение

Уже одно только появление инвазионных растений в экосистеме является серьезной проблемой. Ее острота кратно увеличивается в том случае, если но-

вый для фитоценоза вид обладает опасными для человека свойствами, может вызвать заболевание, инвалидность или привести к летальному исходу. Борщевик Сосновского не только представляет угрозу здоровью человека, но также обладает высокой агрессивностью и скоростью распространения, что создает трудности на предмет борьбы с ним.

Биологические особенности *Heracleum sosnowskyi* Manden

Родиной культурного растения считается место обитания его дикого прародителя. Именно в климатических условиях той среды формируются главные свойства организма – характер морфологии и анатомического строения, особенности физиологических процессов, норма реакции генотипа и т. п.

Вид *H. sosnowskyi* является представителем естественной флоры субальпийского пояса Кавказского региона, а также северо-востока Турции [5, 15]. Некоторое время вид культивировался в СССР как кормовое растение. Однако вследствие отрицательного влияния на качество продукции от животных, которым скармливали силос из борщевика, все созданные селекционерами сорта исключили из списка культурных растений. Кроме того, выяснилось также, что химические вещества, содержащиеся в тканях растения, вызывают серьезные заболевания у человека. Позже *H. sosnowskyi* был признан инвазионным видом. В настоящее время его ареал распространился на несколько стран Европы, а также обнаружен на территориях нескольких государств постсоветского пространства [10, 13, 15].

Растения обладают всем комплексом признаков, характерных для агрессивного вида. Прежде всего, это – чрезвычайно высокая семенная продуктивность. Почти полное отсутствие вегетативного размножения в полной мере компенсируется образованием у одного растения нескольких десятков тысяч семян (в среднем около 20 тысяч). А отдельные особи способны продуцировать и более 100000 семян.

Как не парадоксально, но самые обильные плодоношения возникают в случаях вегетации в течение нескольких лет, что обычно происходит при регулярном скашивании наземной массы. *H. sosnowskyi* зацветает и плодоносит на второй год жизни, после чего отмирает (монокарпик). Но если возникают условия, которые деформируют процесс вегетации, то растение может продолжить онтогенез в течение нескольких лет, и за все это время происходит накопление большого количества пластических веществ в корневой системе. В результате у него образуются мощные соцветия с большим количеством цветков и, соответственно, плодов.

Кроме того, примерно процент из общего числа особей популяции способны к многократному плодоношению в течение онтогенеза, то есть являются поликарпиками. Есть также и растения, которые могут размножаться вегетативно. Таким образом, вид демонстрирует не только уникальные свойства, но и не менее значимые отклонения от них.

Для вида характерна энтомофилия, то есть осуществление перекрестного опыления при помощи насекомых. Однако даже в случаях самоопыления образуются жизнеспособные семена (около половины из них прорастает).

Так ли это важно? Оказывается – да.

Колонковый вислоплодник борщевика относится к синкарпному типу сухих дробных плодов. После созревания он распадается на два мерикарпия, которые обычно называют семенами, хотя по ботаническим канонам это – полуплодики [12]. Для растений борщевика характерна баллистохория, при которой происходит разбрасывание семян недалеко от материнского растения вследствие раскачивания стеблей [2, 7].

Однако некоторые семена (предположим, хотя бы одно жизнеспособное) посредством ветра, воды или транспортного средства может быть перенесено на расстояние нескольких километров от материнского растения. Оно проросло, сформировалось во взрослое растение, на котором образовались соцветия. Далее произошло самоопыление, так как в пределах перемещения насекомых другие особи борщевика отсутствуют. При этом на нем образовалось не очень много семян (например, меньше, чем в среднем – всего около 10 тысяч). Половина из них дала проростки (при самоопылении всхожесть семян с 90% уменьшается до 50%) и, следовательно, на этом новом месте потенциально может возникнуть целая популяция растений *H. Sosnowskyi* из 5000 растений.

В естественных условиях формирование новых особей ограничено барьерами сопротивления биогеоценоза. Так, например, в результате прорастания семян от одного растения на протяжении двух-трех лет может образоваться плантация борщевика Сосновского размером около 6-8 м² [8]. Учитывая высокую степень агрессивности, а также пластичность в адаптации к экологическим условиям вновь образовавшийся ареал будет иметь тенденцию к увеличению.

На материнских растениях не все плоды успевают созреть и готовы к прорастанию. Некоторые из них, попадая в почву, проходят в дальнейшем незавершенные этапы своего развития, которое может продолжаться длительный период. Вследствие этого семена находятся в состоянии органического покоя, сохраняя свою жизнеспособность в течение нескольких лет. Иногда – до 10 и очень редко до 15 лет [11].

Отмечено также наличие вторичного покоя и у каудексов [9]. В наших исследованиях установлено, что покой меристем у каудексов является не органическим (глубоким), а вынужденным, прежде всего – под воздействием низких температур. При создании оптимального температурного режима в меристематических тканях ростовые процессы начинаются уже через 3-4 недели (рис. 1). Это также обуславливает быстрое развитие вегетативной массы растений борщевика весной, что позволяет занять доминирующее положение в фитоценозах.



Рис. 1. Активация клеток апикальной меристемы почки возобновления в зоне каудекса (*caudex*) растения *Heracleum sosnowskyi* Manden 26 ноября при температуре 21 °С

Рассмотренные особенности растений имеет большое значение в разработке стратегии борьбы с распространением вида.

Проростки начинают появляться еще под снегом, и, следовательно, стартовое развитие растений намного опережает таковое у видов аборигенных. Быстрое формирование наземной части приводит к сильному затенению соседних растений [9]. Вследствие этого происходит вытеснение местных видов и трансформация фитоценоза к монодоминантному типу растительного сообщества.

Мониторинг динамики ареала *Heracleum sosnowskyi* Manden

В связи с тем, что семена растения сохраняют жизнеспособность в течение ряда лет и проростки, которые образуются из их запасов в почве, формируются ежегодно, наблюдение за появлением новых растений необходимо проводить непрерывно. При использовании эффективного способа уничтожения вегетирующих растений в течение одного сезона можно ликвидировать плантации борщевика на территории зарегистрированного ареала. Однако если мониторинг за этой территорией, а также прилегающих к ней ландшафтам прекратить, то неизбежно появление новых очагов инвазий. А это означает возобновление быстрого распространения растений в пределах уже бывшего ареала, а также за его пределами.

Современные технические возможности позволяют осуществлять наблюдение за изменениями в экосистемах с целью обнаружения карантинных или инвазионных растений. Причем, набор регистрирующих приборов может проводить идентификацию видов в автоматическом режиме. Главной проблемой этого процесса является высокая его стоимость.

Существенно уменьшить расходы на осуществление непрерывного мониторинга можно за счет использования дирижаблей небольшой грузоподъемности (рис. 2).



Рис. 2. Многоцелевой российский дирижабль AU-30 [3]

В компании «РосАэроСистемы» осуществляется разработка, производство и испытание летательных аппаратов, представляющих собой комбинированные аэростатические устройства, которые сочетают в себе элементы сразу нескольких уже известных: дирижабля, вертолета, самолета, а также водного судна на воздушной подушке [6, 1].

На аэродроме Киржач-Д в течение многих лет осуществляли испытания дирижаблей различных модификаций. Полеты проводились, в том числе, и в экстремальных условиях. В частности:

- при видимости менее одного километра;
- с облачностью в 100-150 метров по нижнему краю;
- при температурном диапазоне от -36 до +38 °C
- в условиях сильного ветра.

Во время испытаний устойчивости дирижаблей на этапах взлета и посадки ветер достигал 15 м/с. Особо следует отметить, что без единой аварии тысячи летных часов испытаний прошли как по трассам воздушных линий, так и в свободном пространстве. Все проводилось по правилам, которые предписаны для гражданской авиации Российской Федерации [3]. При этом пилоты получали официальный допуск к управлению дирижаблем, что подтверждалось соответствующим документом (рис. 3).



Рис. 3. Свидетельство пилота на право управления дирижаблем [3]

Опыт использования дирижаблей для уникальной процедуры дистанционного мониторинга высоковольтных линий электропередач с использованием воздушных лазерных сканеров показал, что они имеют неоспоримое преимущество перед другими авиационными платформами: вертолетами, самолетами, автожирами (небольшими винтокрылыми летательными аппаратами, похожими на вертолеты). Прежде всего, вследствие возможности перемещения с небольшими скоростями и большой дальности беспосадочного полета. При этом стоимость выполнения столь специфических работ была в разы меньше, чем при использовании, например, вертолета Ми-8.

Для выполнения рекогносцировочных работ на дирижабль АУ-30 устанавливали комплекс оборудования: видеокамеры, сканер, длиннофокусную фотокамеру и др. (рис. 4 и 5). Это позволяло выполнять сканирование поверхности территории с высоким разрешением и получением качественных изображений мелких деталей [3].

Предполагаемый диапазон использования дирижаблей достаточно широк – рекогносцировка поверхности ландшафтов для решения специфических задач, транспортировка объемных и сверхтяжелых объектов на большие расстояния, спасательные операции, выполнение пассажирских перевозок и грузов в труднодоступные местности в условиях слабо развитой инфраструктуры и т. п. [13, 4].

Для эксплуатации дирижаблей нет необходимости в строительстве дорогостоящих аэродромов, так как для этого достаточно использовать мобильную причально-мачтовую систему (рис. 6).



Рис. 4. Оборудование для плановой съемки [3]



Рис. 5. Оборудование для проведения детальной съемки [3]

Как один из вариантов мониторинга динамики фитоценозов – челночное движение по площади уже известного ареала борщевика Сосновского с захватом территории нескольких километров в ширину по его периметру.



Рис. 6. Мобильная причально-мачтовая система [3]

Траекторию перемещения можно запрограммировать таким образом, чтобы получить информацию для создания цифровой карты по дислокации, как отдельных особей, так и скопления растений.

Заключение

Организация тщательного непрерывного мониторинга является неизбежным условием в программе борьбы с инвазионным видом. Без него все усилия и большие затраты будут постоянно обнуляться вследствие появления и быстрого разрастания новых очагов борщевика Сосновского, которые уже не будут учтены. Естественно, что за счет них будут формироваться новые плантации и всю сложную, дорогостоящую процедуру придется начинать практически с нуля. Уже имеющийся в почве большой запас жизнеспособных семян вынуждает создавать многолетние программы мониторинга, а также разрабатывать новые эффективные способы борьбы с *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Библиографический список

1. АТЛАНТ [Электронный ресурс] // РосАэроСистемы: офиц. сайт. URL: <http://rosaerosystems.ru/atlant/> (дата обращения: 23.11.2022).
2. Кривошеина М.Г., Озерова Н.А., Петросян В.Г. Распространение семян борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) Российский журнал биологических инвазий. 2020. Т. 13. № 3. С. 22–31.
3. Куликов И.Н. ДИРИЖАБЛЬ – ЗНАЧИТ УПРАВЛЯЕМЫЙ. Воздушно-космическая сфера. 2021. № 2 (107). С. 66-75.
4. Куликов И.Н. К вопросу оценки эффективности применения дирижабельных систем как средства спасения космических экипажей // Пилотируемые полеты в космос. 2020. № 4(37). С. 115-132.
5. Манденова И.П. Борщевик – *Heracleum* L. // Флора СССР. 1951. Т. 17. С. 223-259.
6. Владимир Мордашев об атомных дирижаблях [Электронный ресурс] // AtomInfo.Ru: электронное периодическое издание. URL: <http://www.atominfo.ru/newsaj0283.htm> (дата обращения: 23.11.2022)

7. Панасенко Н.Н. Некоторые вопросы биологии и экологии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) // Российский журнал биологических инвазий. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 95-106.
8. Панасенко Н.Н., Харин А.В., Ивенкова И.М., Зайцев С.А. Некоторые сведения о биологии борщевика Сосновского в Брянской области. Вестник Брянского государственного университета. 2013. № 4. С. 139-142.
9. Панасенко Н.Н., Холенко М.С. Фенология на территории Брянской области // Ученые записки Брянского государственного университета. – 2017. – № 1(5). – С. 62-67.
10. Протопопова В.В., Шевера М.В. Інвазійні види у флорі України. I. Група високо активних видів // GEO&BIO. – 2019. – vol. 17. – Р. 116-135. 10.15407/gb.2019.17.116.
11. Ткаченко К.Г. Борщевики (род *heracleum* l): pro et contra. Биосфера. 2015. Т. 7. № 2. С. 209-219.
12. Ткаченко К.Г. Гетеромерикарпия *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Umbelliferae = Apiaceae). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):156-163. DOI: 10.30901/2227-8834- 2020-4-156-163
13. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Под общ. ред. В.И. Парфенова, А.В. Пугачевского – Минск: Беларуская навука, 2020. – 407 с.
14. Шеремет И.А. Перспективы воздухоплавательного флота в России // Воздушно-космическая сфера. 2017. № 5(90). С. 100-103.
15. CABI, 2021. *Heracleum sosnowskyi*. (Электронный документ). In: *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CAB International. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/108958>. (дата обращения: 21.11.2022)

М.А. Фефилова, И.С. Копылов

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЧУСОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Рассмотрены инженерно-геологические условия Чусовского городского округа Пермского края. Проведен инженерно-аэрокосмогеологический анализ. Выделены зоны геологических рисков для строительства.

Ключевые слова: инженерно-аэрокосмогеологический анализ, космические снимки, геологические риски, Чусовской городской округ.

M.A. Fefilova, I.S. Kopylov

Perm State University, Perm, Russia

STUDYING THE ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF CHUSOVSKY CHUSOVSKY URBAN DISTRICT WITH THE HELP USING SPACE IMAGES

The engineering and geological conditions of the Chusovsky urban district of the Perm region are considered. An engineering and aerocosmogeological analysis was carried out. Geological risk zones for construction have been identified

Key words: engineering and aerospace geological analysis, space images, geological risks, Chusovsky urban district.

Введение

Изучение инженерно-геологических условий городов и других урбанизированных территорий играет важнейшую роль для обоснования и обеспечения мероприятий по их геологической безопасности [17].

Чусовской городской округ (ЧГО) расположен в восточной части Пермского края, (площадь округа составляет 3,5 тыс. км²), относится к горнодобывающим и нефтедобывающим районам Среднего Урала (рис. 1).

Изучение инженерно-геологических условий (ИГУ) ЧГО играет ключевую роль в подготовке к строительству различных объектов, таких, как «Чусовской цементный завод», магистральные нефтегазопроводы, дороги, жилые дома и т.д. Знание инженерно-геологических условий и рисков является крайне важным для обеспечения безопасности и надежности объектов и защиты интересов населения. Значительную помощь в изучении ИГУ могут оказать аэрокосмогеологические исследования (АКГИ).

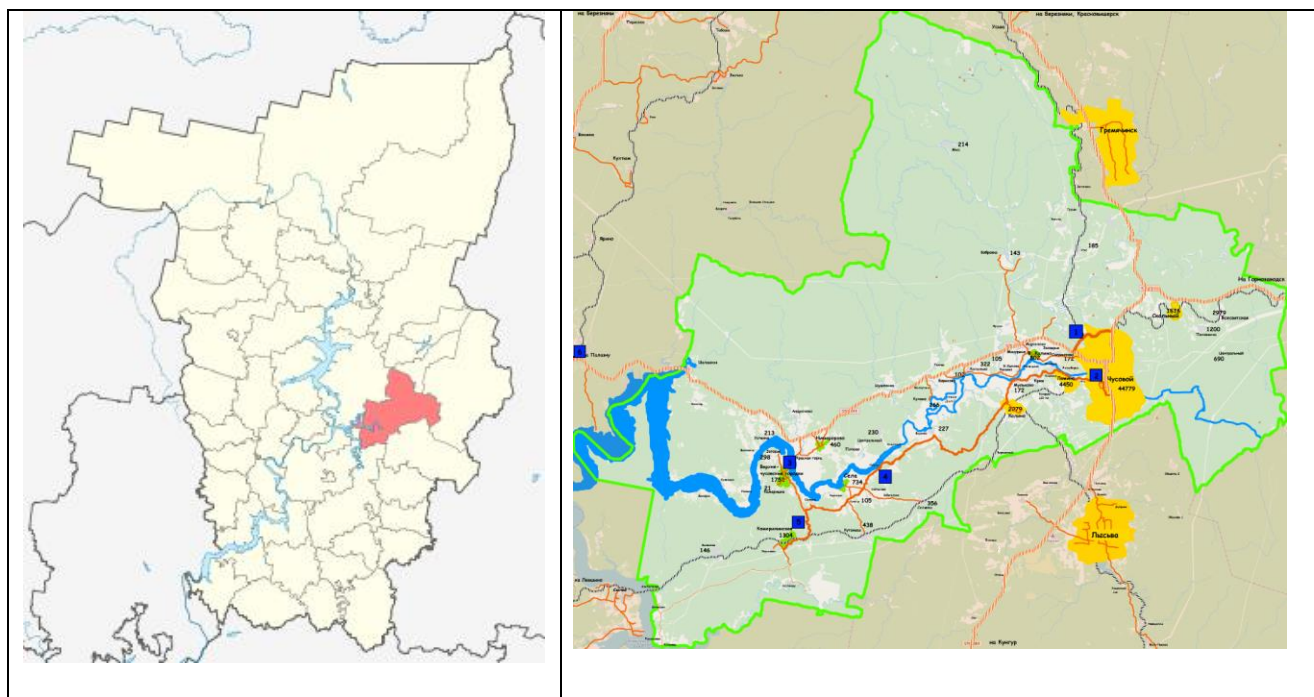


Рис. 1. Чусовской ГО на карте Пермского края и площадки экономического развития [19, 21]

Природно-геологические факторы формирования инженерно-геологических условий

Выделяются 3 основные группы региональных факторов: физико-географические гидрогеологические и геологические [5, 18].

Физико-географические факторы

Рельеф. Территория ЧГО расположена на границе двух геоморфологических стран: Восточно-Европейской равнины и Складчатого Урала. Левобережная часть ЧГО расположена в пределах Лысьвенско-Тулумбасской возвышенной равнины, относящейся к геоморфологической области Предуральской равнины и кряжей. Рельеф в основном холмистый, на северо-западе преобладает низкогорный рельеф. Средняя высота: 239 м, минимальная высота 101 м, максимальная высота 523 м [22, 24].

Климат района относится к умеренно-континентальному. Зимы холодные и снежные, средняя температура в январе составляет около -15°C . Лето теплое и дождливое, средняя температура в июле около $+18^{\circ}\text{C}$. Осенью и весной часто бывают перепады температур, а также дожди и снегопады [2].

Гидрография. По территории района протекает 45 рек один из самых многоводных притоков Камы – река Чусовая (объем среднегодового стока $6,9 \text{ км}^3$), которая впадает в Камское водохранилище. В Чусовском районе в нее впадают реки Усьва и Лысьва. В западной части характерен вогнутый рельеф, со слабо врезанными речными долинами, приобретающий более резкие формы в районе Чусовского залива Камского водохранилища. В восточной части речные долины глубоко врезаны [21].

Геологические факторы

В тектоническом отношении район Чусовского ГО находится на восточной окраине Русской плиты Восточно-Европейской платформы, на стыке и в пределах Предуральяского краевого прогиба, Западно-Уральской внешней зоны складчатости (Передовые складки Урала) и Центрально-Уральского поднятия. В пределах платформенной части на территории ЧГО выделяются структуры I порядка: Пермский свод, Бымско-Кунгурская впадина, Косьвинско-Чусовская седловина, Юрзано-Сылвенская депрессия [16, 19].

Литология и стратиграфия

Главными геологическими формациями являются палеозойские отложения, включающие песчаники, сланцы, известняки, доломиты и туфы. Коренные породы, подстилающие четвертичные отложения, представлены отложениями уфимского и кунгурского яруса пермской системы. Они сложены в основном известняками, мергелями, гипсами, доломитами, ангидритами, алевролитами и сланцами (рис. 2).

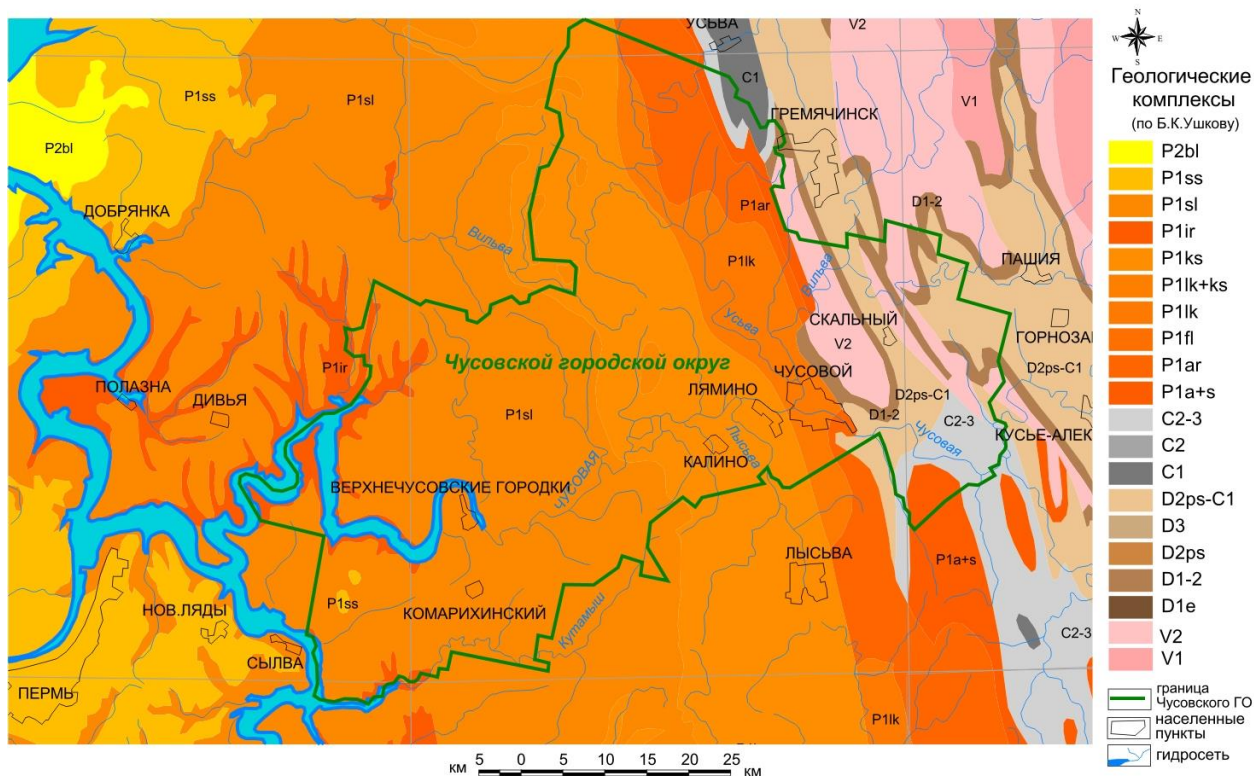


Рис. 2. Геологическая карта дочетвертичных отложений ЧГО [5, 18]

Из четвертичных образований преобладают элювиальные и элювиально-делювиальные породы. У элювиальных отложений преимущественно глыбово-щебнистый состав и залегают они в виде пятен, приуроченных к вершинам водоразделов. Элювиально-делювиальные отложения имеют преобладающее распространение и сформировались на водораздельных пространствах долин современных рек и их склонах, с мощностью 1-3, до 20 м. Аллювиальные отложения в долине реки Чусовой и ее притоков состоят из песчано-глинисто-гравийно-галечных отложений, которые содержат глыбы, валуны и щебень коренных пород.

Гидрогеологические факторы

Чусовской ГО характеризуется разнообразными и сложными гидрогеологическими условиями. Восточная часть района относится к провинции подземных вод складчатого Урала. Основными являются визейско-артинский и франско-турнейский карбонатные водоносные комплексы. Центральная и северо-западная части района относятся к гидрогеологической области трещинных и карстовых вод Соликамской впадины, в которой развиты кунгурский терригенный и соликамский водоносные комплексы. Юго-западная часть района занимает северную окраину гидрогеологической области карстовых вод, провинции подземных вод восточной окраины Русской платформы. Здесь в породах соликамского возраста воды распространены спорадически. Под соликамскими отложениями развиты иренские гипсы, местами выходящие на поверхность. Подземные воды в соликамских отложениях развиты не повсеместно, подстилающие гипсы обводнены спорадически, а карстовые воды в них обладают повышенной (2-3 г/л) минерализацией [9-11]. Наблюдаются различные геохимические и гидрогеохимические аномалии в подземных водах и почвах [6, 8, 13, 15].

Инженерно-геологические условия

По инженерно-геологическому районированию (рис. 3) территория ЧГО относится к Предуральскому региону второго порядка области денудационной равнины Предуралья с распространением карбонатно-терригенной и галогенно-карбонатной формаций перми; с преобладанием в северной части флювиогляциальных песков и супесей, ледниковых и полигенетических отложений, в центральной и южной части – с покровом песчаных и глинистых элювиально-делювиальных отложений [5, 18].

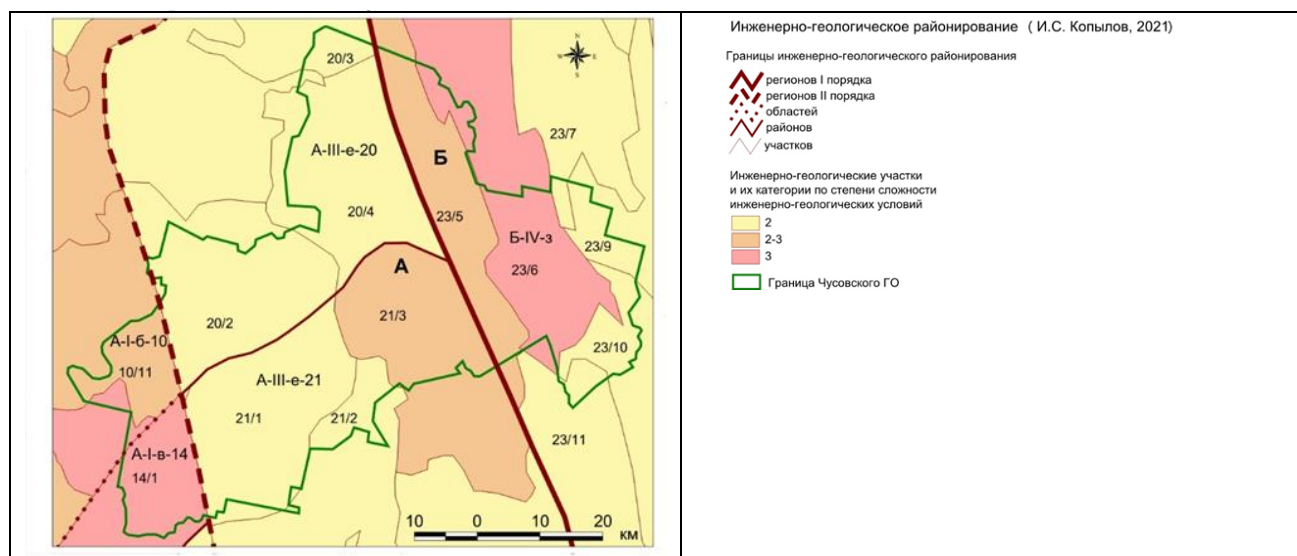


Рис. 3. Инженерно-геологическое районирование ЧГО [5, 17]

Инженерно-геологические формации и комплексы

В пределах Чусовского ГО выделяются 4 основные инженерно-геологические формации, которые имеют практическое значение для строительства:

карбонатно-терригенная формация средней и нижней перми (уфимские и казанские отложения), галогенно-карбонатная формация нижней перми (ассельско-артинские отложения), метаморфические и вулканогенные формации венда, терригено-карбонатная формация девона и карбона.

Западная часть представлена карбонатно-терригенной формацией средней и нижней перми (уфимские и казанские отложения), сложенной глинами, алевролитами, аргиллитами, песчаниками общей мощностью 300-500 м. Восточнее наблюдается галогенно-карбонатная формация нижней перми (ассельско-артинские отложения) состоящая из двух типов: западного – известняково-доломитового, мощностью до 300 м и восточного с преобладанием органогенных известняков и песчано-глинистых отложений мощностью 200-400 м.

На востоке наблюдается метаморфические и вулканогенные формации венда, терригено-карбонатная формация девона и карбона. Осадочные, вулканогенные и метаморфические горные породы этих формаций характеризуются высокими прочностными свойствами и являются надежным основанием для сооружений. Все эффузивные породы обладают высокими прочностными свойствами [5].

Инженерно-геологические процессы

Чусовской ГО находится в зоне высокого геологического риска, что означает наличие опасности для жизни и здоровья людей, а также экономических потерь вследствие возможных природных катаклизмов. Основными геологическими и потенциально – инженерно-геологическими процессами на рассматриваемой территории являются: оползни, обвалы, подтопления, затопления, заболачивание, карст, различные виды эрозии [5].

По сейсмическому районированию России ОСР-2016 территория Чусовского ГО относится к районам с интенсивностью землетрясений в 5 баллов по карте ОСР-2016-А, 6 баллов по карте ОСР-2016-В, в 7 баллов по карте по ОСР-2016-С [23].

Геодинамическая активность

К мощному фактору формирования инженерно-геологических условий территорий, который часто играет ведущую роль среди многих природных факторов, можно отнести геодинамические активные зоны (участки земной коры, активные на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью коры, повышенной трещиноватостью, проницаемостью, и, как следствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности и других процессов в т.ч. – инженерно-геологических, геоэкологических, гидрогеологических) [7, 11].

В пределах Чусовского ГО, на значительной его части выделена (по морфонеотектоническому анализу – Копылов И.С., 2012, 2021 и др.) Чусовская геодинамическая активная зона (общая площадь 9092 км²), охватывающая частично слабые и умеренные поднятия равнины Предуралья и в большей степени – области значительных дифференцированных поднятий западного склона Среднего Урала [1, 4].

В пределах этой крупной геоактивной зоны выделяются (по данным линейно-амбипольно-геодинамического анализа и по аэрокосмогеологическим исследовани-

ям – Копылов И.С., 2012, 2021 и др.) [3, 20] зональные и локальные геоактивные участки (показаны на карте красным и коричневым цветом: черные линии – региональные неотектонические линеаменты) (рис. 4, 5).

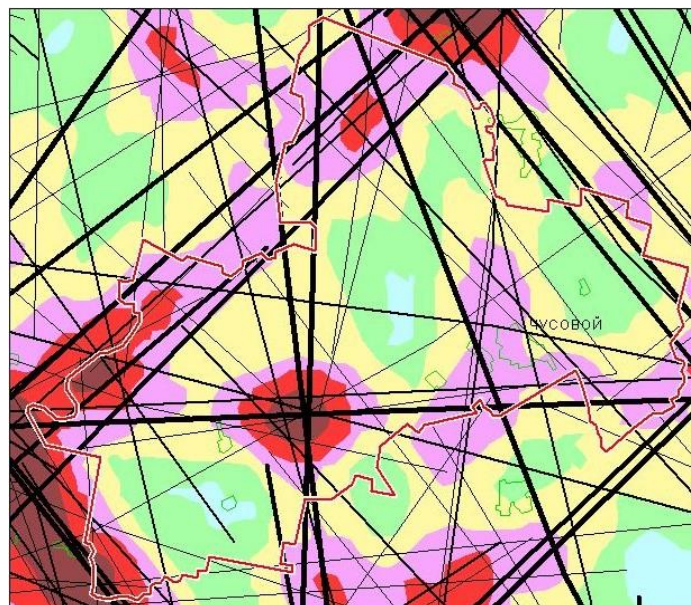


Рис. 4. Карта геоактивных зон ЧГО [3-5]

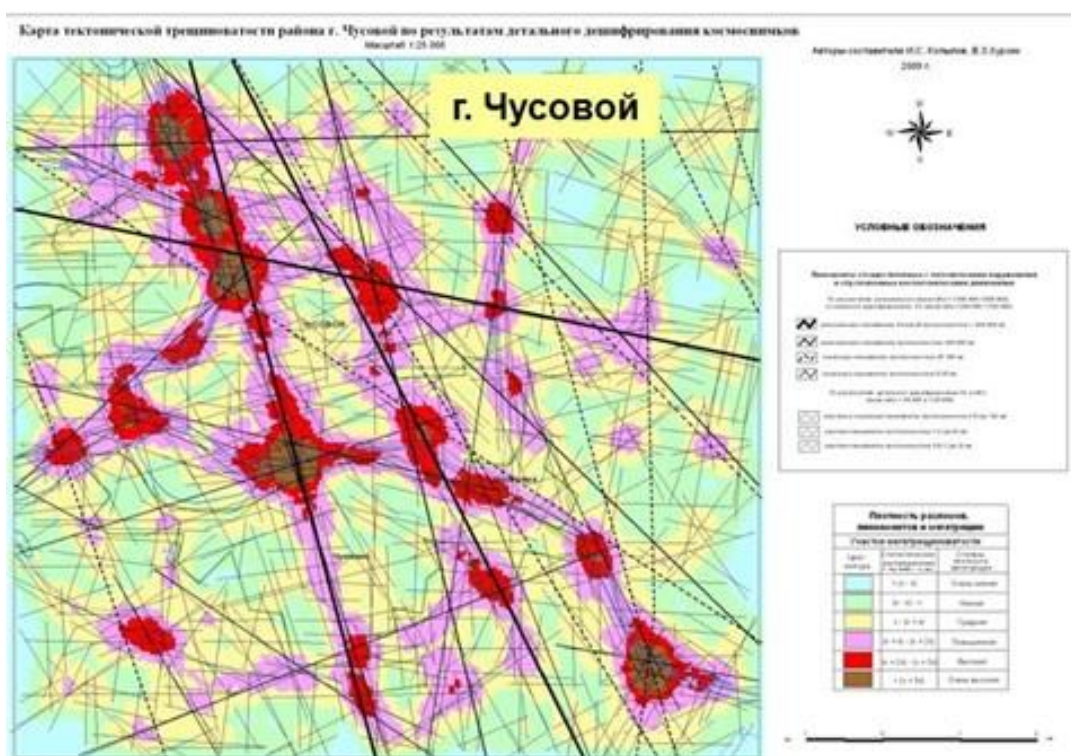


Рис. 5. Карта тектонической трещиноватости и геоактивных зон г.Чусового [3]

Многочисленные факты свидетельствуют о закономерностях влияния геодинамической активности на инженерно-геологические условия территорий разной степени освоенности, что характеризует инженерно-геологическую роль геодинамических активных зон как весьма значительную. Это вызывает необходимость рассмотрения их, как одного из главных факторов формирования

инженерно-геологических условий и критериев для инженерно-геологической оценки и районирования территорий [4, 7].

Инженерно-аэрокосмогеологический анализ

Методика анализа

Дешифрование космических снимков (КС) является важным этапом в обработке и анализе информации, полученной с помощью спутниковых систем наблюдения Земли. Космические снимки предоставляют ценные данные о поверхности планеты, позволяя исследовать различные явления, изменения в природной среде, а также использовать их для различных целей, включая картографирование.

Методика проведения анализа включала следующую последовательность:

- определение целей и задач исследования;
- сбор данных, подготовка материалов, создание базы данных;
- получение КС для дешифрирования и анализа. Использовались современные цифровые космические снимки с ресурса Google Earth (Landsat-8) [25];
- разделение территории на участки для дальнейшего подробного описания. Обзорный космоснимок (масштаб 1:1 000 000) Чусовского ГО был разделен на участки для дальнейшего анализа (рис. 6);

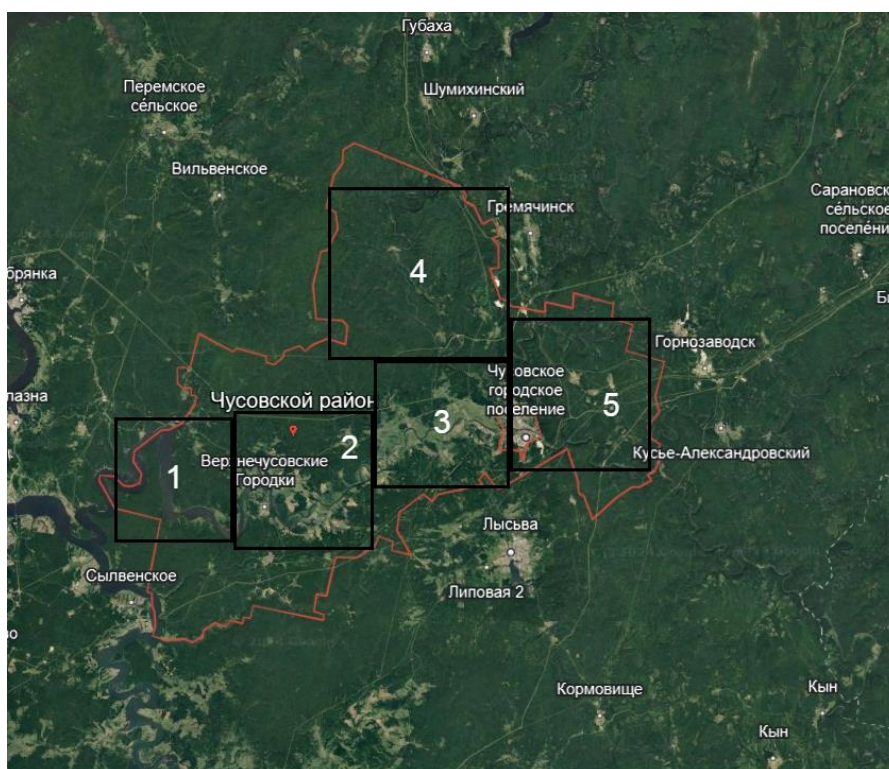


Рис. 6. Обзорный космоснимок ЧГО [23]

- дешифрирование КС, изучение и описание геологических процессов на каждом отдельном участке в масштабе 1:100 000;
- окончательный анализ и оценка, составление карт, выводы: составление карты инженерно-геологических процессов и выводы на основе интерпретации данных.

Результаты анализа

Участок №1 (рис. 7). На данном участке протекает р. Чусовая, берега ее покрыты растительностью, представленной темнохвойными и широколиственными деревьями, к югу, где находятся пос. Конец Гор и Заозерье, наблюдается заболачивание территории. Между пос. Конец Гор и Куликово наблюдается развитие склоновых процессов, а именно развитие оползней. Около д. Пеньки находится обширная область заболачивания. К востоку от д. Загоскино наблюдается малая группа небольших по размеру провалов.

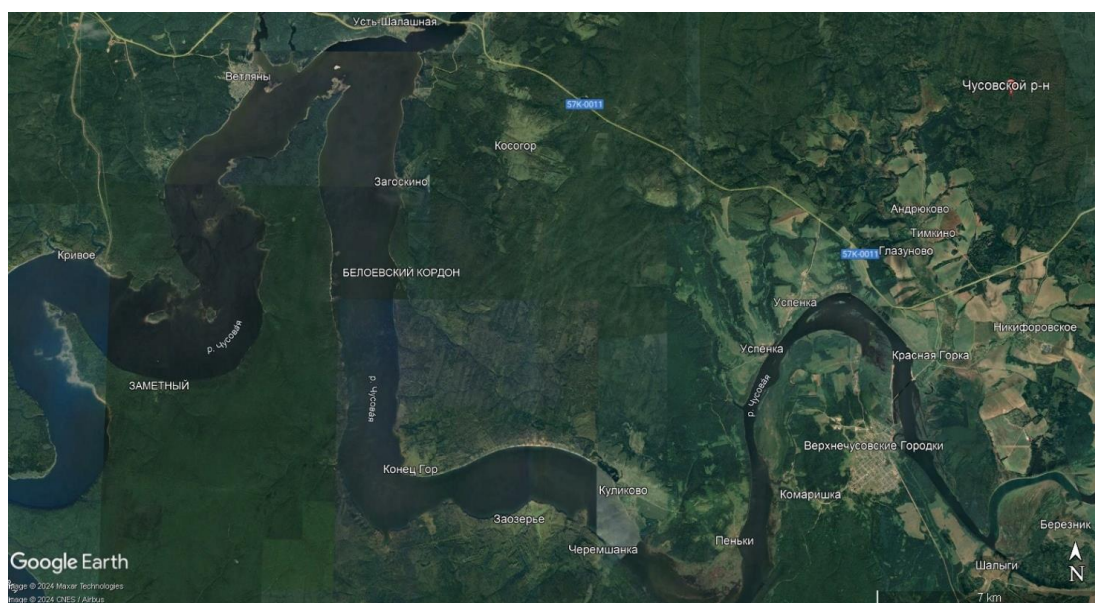


Рис. 7. Участок №1

Участок №2 (рис. 8). В центре протекает р. Чусовая, берега которой покрыты растительностью, которая представлена темнохвойными и широколиственными деревьями, а также луговой растительностью, причём наблюдается снижение растительности с запада на восток. Также на всём участке территории, где протекает река, наблюдается заболачивание. Самые крупные заболоченные участки хорошо видны на представленном фрагменте снимка, они находятся: севернее и восточнее пос. Верхнечусовские Городки, на западе от д. Березняк, на севере от д. Плесо и на западе от д. Вереино. На территории пос. Сёла наблюдается заболачивание территории, но сравнивая снимки, которые были сделаны раньше, можно сделать вывод, что болота осушаются. В районе д. Вереино наблюдается боковая эрозия. Также большая область распространения действия плоскостной эрозии.

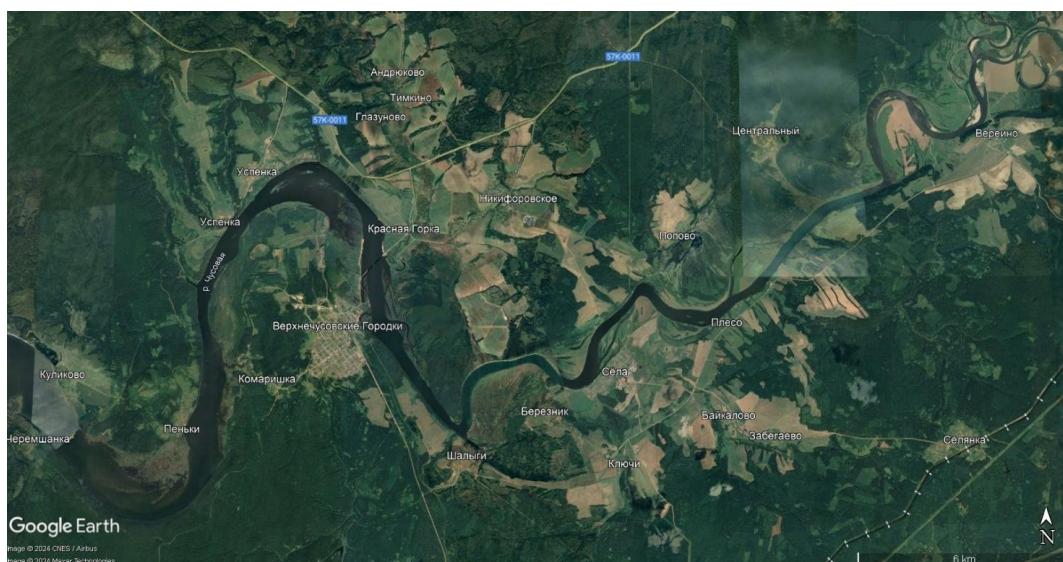


Рис. 8. Участок №2

Участок №3 (рис. 9). На данном участке наблюдается меандрирование р. Чусовая, берега практически не покрыты растительностью, в местах, где растительность присутствует, она представлена луговой растительностью. К югу от д. Кучино наблюдается заболачивание территории, также заболачивание наблюдается на востоке д. Копально, на севере от пос. Калино, на западе от с. п. Верхнекалинского и на территории рабочего пос. Лямино. В центре распространена плоскостная эрозия.

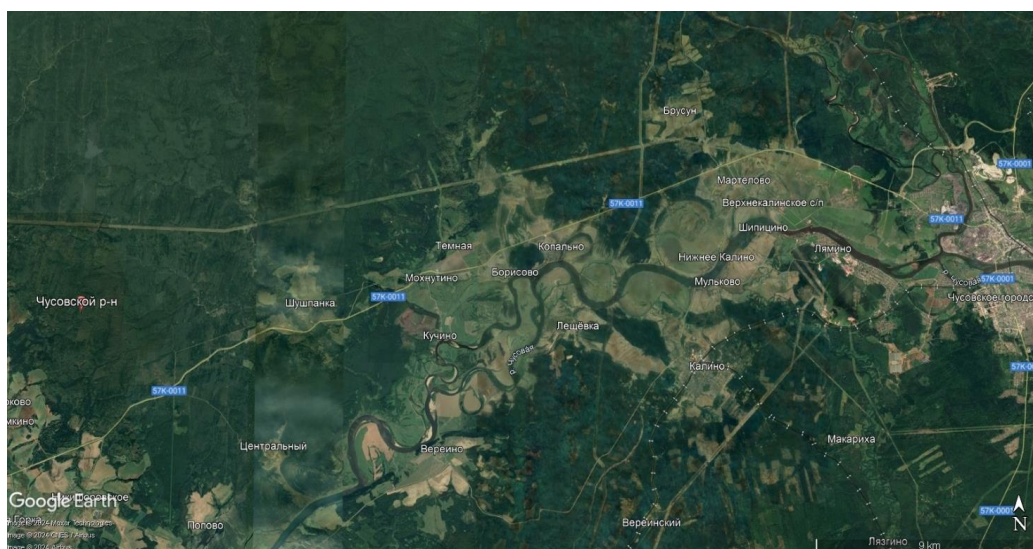


Рис. 9. Участок №3

Участок №4 (рис. 10). На участке наблюдается обильная растительность, представленная темнохвойными и широколиственными деревьями, также развивается овражная эрозия, у д. Мыс наблюдается заболачивание территории.

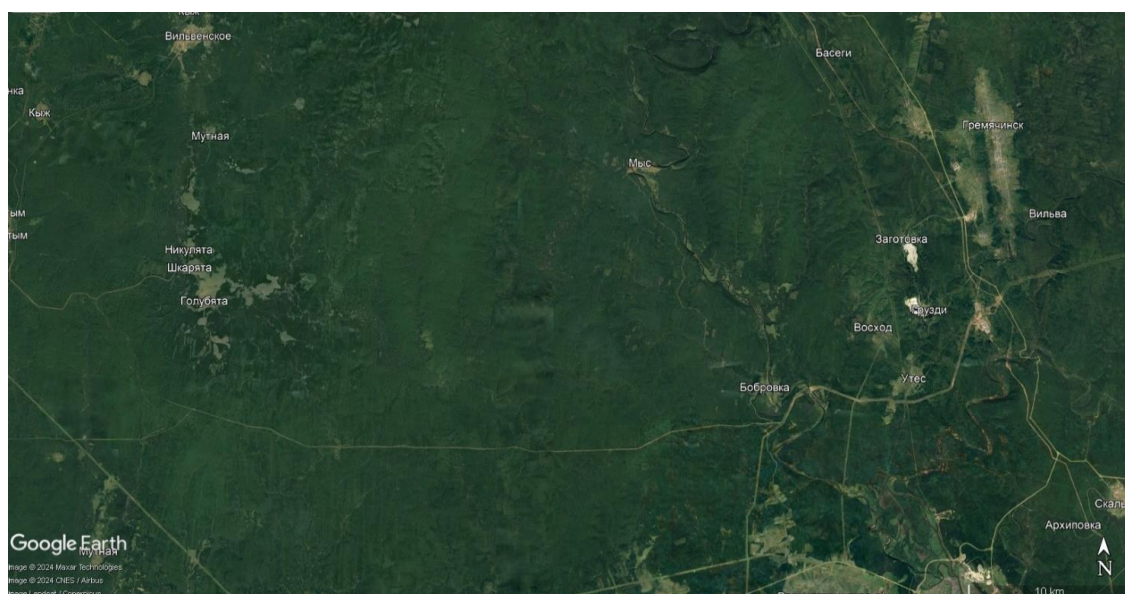


Рис. 10. Участок №4

Участок №5 (рис. 11). На данном фрагменте карты находится административный центр Чусовского ГО – город Чусовой. На территории города находятся две карьерные выработки. Растительность представлена темнохвойным и широколиственными деревьями и луговой растительностью. По берегам рек Чусовая и Усьва наблюдается заболачивание берегов. К востоку от города наблюдается овражная эрозия. Также на отдельных участках видно распространение плоскостной эрозии.

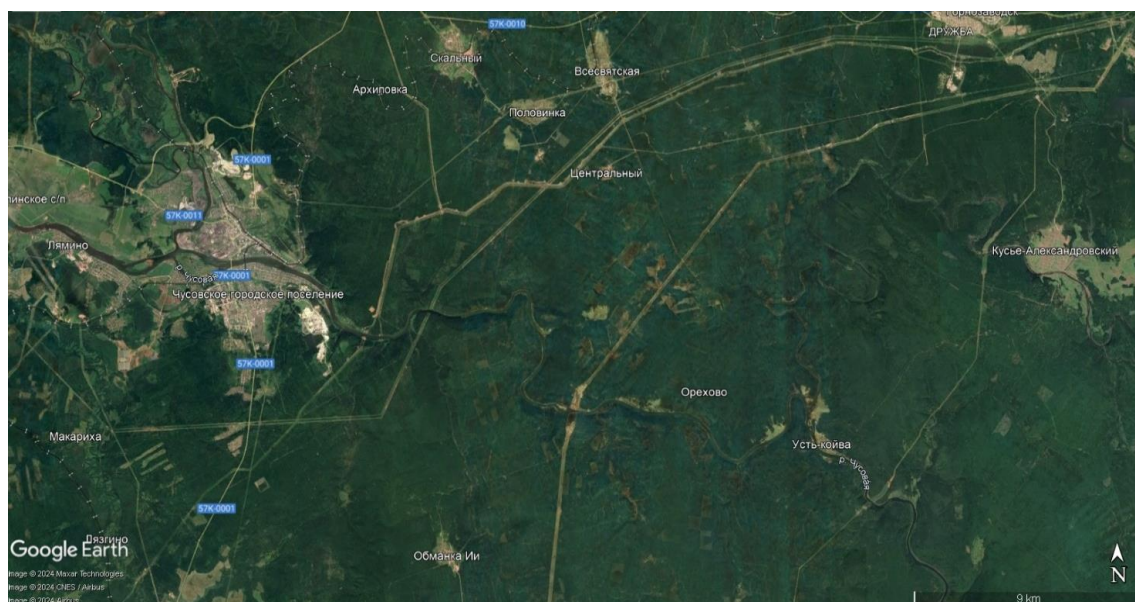


Рис. 11. Участок №5

Составление инженерно-геологической карты

На основании проведённого инженерно-аэрокосмогеологического анализа была построена карта инженерно-геологических процессов на территории Чусовского ГО (рис. 12).

Основу карты составляет геологическая карта и инженерно-геологическая карты (авторы: Б.К.Ушков, 2000; И.С.Копылов, А.В. Коноплев, 2005, 2012).

Объекты инженерно-геологических процессов установлены на основе карты экзогенных геологических процессов Пермского края масштаба 1:500 000 и дешифрирования КС М.А.Фефиловой.

На основе анализа всей известной информации по геологическим процессам и изученности (геологическая, гидрогеологическая съемка и др. работы), а также по материалам дешифрирования космоснимков автора можно сделать вывод, что на исследуемой территории преобладает распространение карста (воронки), гравитационных процессов (оползни и обвалы на крутых склонах), развитие линейной эрозии и заболачивания в долинах и по берегам реки Чусовая, а также плоскостной эрозии, вследствие развития сельского хозяйства.

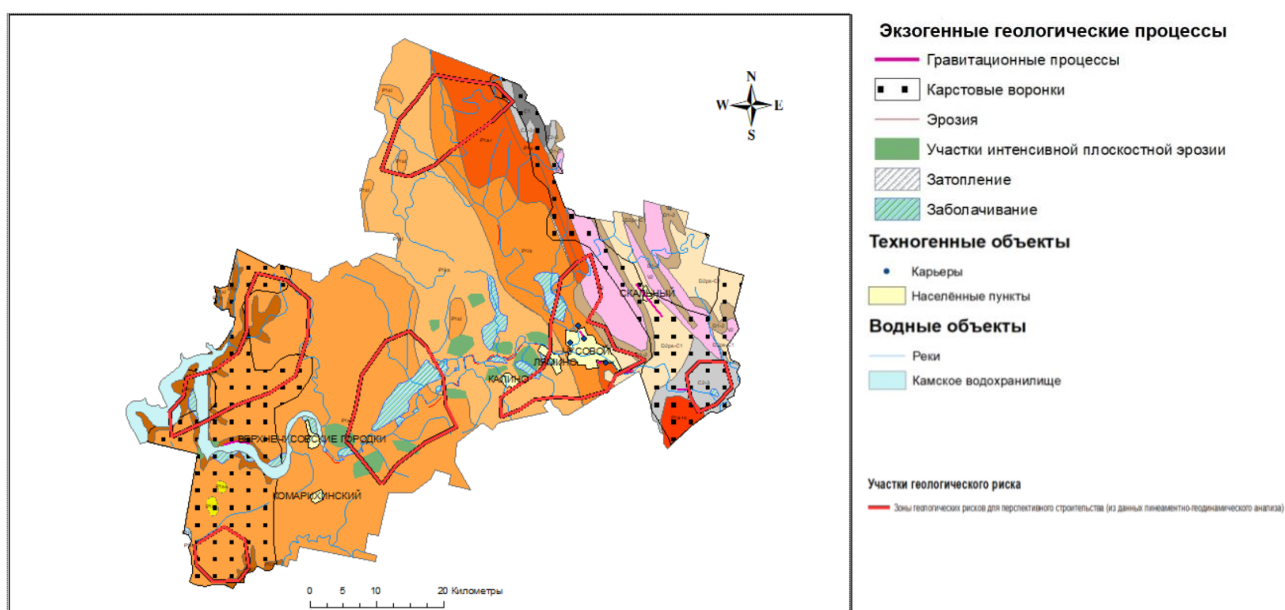


Рис. 12. Карта инженерно-геологических процессов (М.А.Фефилова)

Инженерно-геологическое районирование по степени сложности инженерно-геологических условий

По степени сложности инженерно-геологических условий территория Чусовского ГО относится ко 2 и 3 категориям:

2 – условно благоприятные (требуется значительная инженерная подготовка),

3 – ограниченно благоприятные (требуется сложная инженерная подготовка). На данной территории есть высокий уровень риска возникновения опасных геологических процессов или других серьезных проблем, которые могут повлиять на безопасность и устойчивость строительства объектов.

Выделяется 6 участков геологических рисков с преобладающей 3 категорией сложности. В 3 категорию могут входить такие факторы, как:

- нестабильные грунты, склонные к обвалам, оползням или иным деформациям;
- высокий уровень грунтовых вод, что может привести к подтоплению и ухудшению грунтовых условий;
- наличие опасных геоактивных зон с высокой плотностью тектонических нарушений, отдельные разломы, карстовые явления и др.

Заключение

Проведён инженерно-аэрокосмогеологический анализ, с помощью которого были выделены участки геодинамической активности, локализованы участки развития инженерно-геологических процессов.

Установлены геоактивные зоны и участки – опасные для различных видов строительства.

Построена карта инженерно-геологических процессов на территории Чусовского ГО, с помощью которой можно выбирать более благоприятные участки для строительства.

Определены потенциальные опасности, связанные с естественными явлениями (карст, заболачивание, плоскостная эрозия, склоновые процессы, подтопление и др.), что требует принятия соответствующих мер по обеспечению безопасности объектов.

Библиографический список

1. 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.
2. Климат и средняя погода круглый год в Чусовой [Электронный ресурс]. URL: Климат, погода по месяцам, средняя температура в Чусовой (Россия) – Weather Spark (дата обращения: 20.10.2023).
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. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, 2021. 501 с.
6. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145-149.
7. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.
8. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. №. 2 (15). С. 16-34.
9. Копылов И.С. Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // Успехи современного естествознания. 2014. № 9-2. С. 105-110.
10. 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.
11. 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.
12. Копылов И.С. Прикладная геоэкология / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2023. 247 с.
13. 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.
14. Копылов И.С. Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39-46.

15. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2-1.
16. 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.
17. 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.
18. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибраминов 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.
19. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото - алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
20. Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-X, XVI) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 145-158.
21. Официальный сайт администрации Чусовского муниципального района Пермского края // Общие сведения о муниципальном образовании "Чусовской муниципальный район" // 2. Ресурсный потенциал – основа развития отраслей экономики [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/37bQov> (дата обращения: 06.12.2023).
22. Сергеев Д.В. Внесение изменений в генеральный план Чусовского городского округа Пермского края. Материалы по обоснованию генерального плана. Шифр: 03/10-2021. Том-3. Москва 2022.
23. Стратегия социально-экономического развития Чусовского городского округа на 2019-2030 годы // Стратегия СЭР ЧГО на 2019-2030 годы: текстовый документ 05.02.2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/37bQm2> (дата обращения: 04.12.2023).
24. Топографическая карта Чусовой [Электронный ресурс]. URL: Топографическая карта Чусовой, высота, рельеф (topographic-map.com) (дата обращения: 20.10.2023).
25. Google Earth (Landsat-8) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.google.com/intl/ru/earth/about/>

А.А. Фишер

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия

ИНЖЕНЕРНО-АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА «УЧАСТОК «АГАНСКАЯ» – «ВОЛОДИНО» НА ТЕРРИТОРИИ ХМАО

Проведено дешифрирование космических снимков и линеаментно-геодинамический анализ территории трассы трубопровода на территории Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области. Выполнено районирование трассы трубопровода по степени инженерно-геологической сложности и построена карта районирования.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, трубопровод, Западная Сибирь.

A.A. Fisher

Perm State University, Perm, Russia

ENGINEERING AND AEROSPACE ANALYSIS OF THE PIPELINE ROUTE SECTION OF «AGANSKAYA – VOLODINO» IN THE TERRITORY OF THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG

The interpretation of satellite images and lineament-geodynamic analysis of the territory of the pipeline route in the Nizhnevartovsk region of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug of the Tyumen region were carried out. The pipeline route was zoned according to the degree of engineering and geological complexity and a zoning map was constructed.

Key words: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, pipeline, Western Siberia.

Введение

В Западной Сибири в связи с многочисленным расположением месторождений нефти, возрастает число нефтепроводов, по которым происходит передача нефтепродуктов на значительное расстояние. Главным требованием к нефтепроводам является обеспечение безопасности жизни людей и экологической обстановки природы, так как они являются объектами повышенной опасности. Особое внимание необходимо уделять изучению глубинных процессов, проявляющихся в виде тектонических нарушений с применением аэрокосмогеологических исследований [16, 17].

Цель работы инженерно-аэрокосмический анализ трассы территории трассы трубопровода «Участок КС «Аганская» – КС «Володино» с применением аэрокосмогеологических исследований.

Природно-геологические условия

В административном отношении трассы трубопровода «Участок КС «Аганская» – КС «Володино» находятся на территории Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области.

Физико-географические условия.

Центральную часть района занимает плоская болотно-озерная Среднеобская низменность со средними абсолютными отметками высот 35- 55 м, среди которой возвышается Аганский увал – холмисто-увалистый расчлененный водоразделами рек Аган-Вах, достигающий абсолютной отметки 156 м. В северо-восточной части района находится пологоувалистая, хорошо дренированная Верхнетазовская возвышенность; в юго-восточной и восточной частях – плоская и пологоволнистая Кетско-Тымская равнина.

Климат района характеризуется продолжительной зимой, длительным залеганием снежного покрова (200-210 дней), короткими переходными сезонами, поздними весенними и ранними осенними заморозками, коротким безморозным периодом (100-110 дней), коротким летом (70-100 дней). Средняя температура воздуха самого холодного месяца года – января – варьирует от минус 22,0 °С до минус 24,0 °С; средняя температура самого теплого месяца – июля – изменяется соответственно от 16,0 °С до 17,0 °С.

Территория Нижневартовского района характеризуется развитой гидрографической сетью – здесь протекает более 2 тыс. рек и ручьев и более 2 тыс. озер. Общая протяженность водотоков района составляет порядка 40 тысяч километров. Основная река – Обь с двумя притоками Вах и Аган. Самое крупное озеро района Торм-Эмтор; другие крупные озера – Сигтынэмтор, Эллепугол-Эмтор, Имнлор, Сомотлор, Щучье и другие. Приблизительно 50% территории района заболочена.

Геологические условия. В основании Западносибирской плиты находится палеозойский фундамент, глубина залегания которого составляет, в среднем 7 км. Наиболее древние докембрийские и палеозойские горные породы в Западной Сибири выходят на поверхность лишь в горных районах ее юго-востока, в то время как в пределах Западно-Сибирской плиты они скрыты под сплошным мощным чехлом осадочных пород.

С поверхности повсеместно развит чехол современных и верхнечетвертичных четвертичных терригенных пород, представляющих собой сложно построенный комплекс озерно-аллювиальных, аллювиальных, озерных и болотных отложений. Мощность чехла рыхлых отложений достигает 70-100 м. Верхнюю часть разреза составляют четвертичные отложения песчано-глинистого характера, мощностью до 300 м.

В районах, примыкающих к речным долинам, широко развиты аллювиальные отложения, сложенные песками разной крупности и галечниками, желтовато-серый в верхней части разреза до глубины 5-6 м. Влажный, ниже водонасыщенный. На многих участках в восточной части района водонасыщенные пески залегают на глубинах 1,5-2 м, особенно вблизи болот и под торфом. В песке повсеместно встречаются линзы и прослой супеси и суглинка. Мощность этих образований обычно составляет 10-20 м, иногда достигая 30 м [1, 2, 18].

В гидрогеологическом отношении район проектирования относится к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну. Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием водоносного горизонта, приуроченного к современным болотным и современным аллювиальным отложениям.

Участок трассы находится в южной *геокриологической зоне*, характеризующейся, в основном, сложным распространением реликтовой толщи многолетне-мерзлых пород (ММП). Однако, на отдельных участках возможно сохранение ММП в виде локальных островков. Реликтовые мерзлые породы приурочены к верху алтымской и низу новомихайловской свит олигоцена с мощностью 50 – 100 м. Мерзлые осадочные породы имеют сложное строение. Пески, разнотернистые, кварцевые, но преимущественно тонко и мелкозернистые. Температура этих пород не ниже $-0,5^{\circ}\text{C}$. Болота промерзают до глубины 10 м, а при постоянном удалении снежного покрова на участках распространения суглинков с влажностью в 20% за 10 лет они промерзают до глубины 12 м. Увеличение глубины сезонного промерзания приводит в этих районах к пучению пород [1, 14].

Инженерно-геологические условия. Территория района расположена в пределах Западно-Сибирского инженерно-геологического региона. В соответствии со «Схемой инженерно-геологического районирования Западно – Сибирской плиты» составленной Е.М. Сергеевым и С.Б. Ершовой (рис. 1), относится к инженерно-геологической области первого порядка крупных речных долин, сложенных аллювиальными верхнечетвертичными отложениями; второго порядка – к долине Оби – ступенчатой аккумулятивной равнине, сложенной верхнечетвертичными и современными отложениями [2].

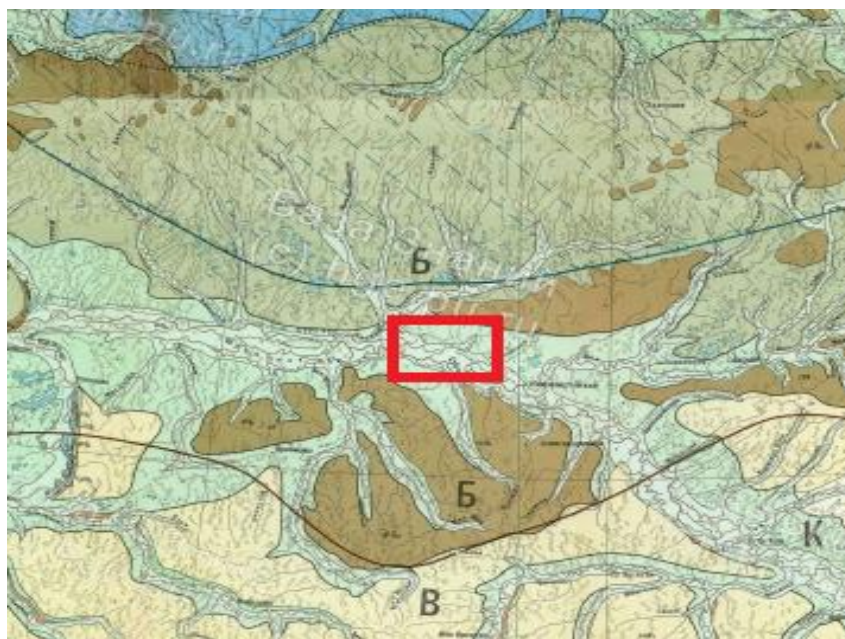


Рис. 1. Район исследований на карте инженерно-геологических формаций и комплексов Западной Сибири [2]

На территории трассы ведущими геологическими процессами являются заболачивание, суффозионно – просадочные и мерзлотные процессы.

Методика и результаты инженерно-аэрокосмогеологического анализа

Методика исследований и их примеры подробно изложены в работах [3-13, 15, 23].

Для анализа инженерно-геологических условий (ИГУ) трассы было проведено:

- дешифрирование современных космических снимков Landsat-8 с выделением линейных тектонических нарушений (линеаментов) (рис. 2, 3);

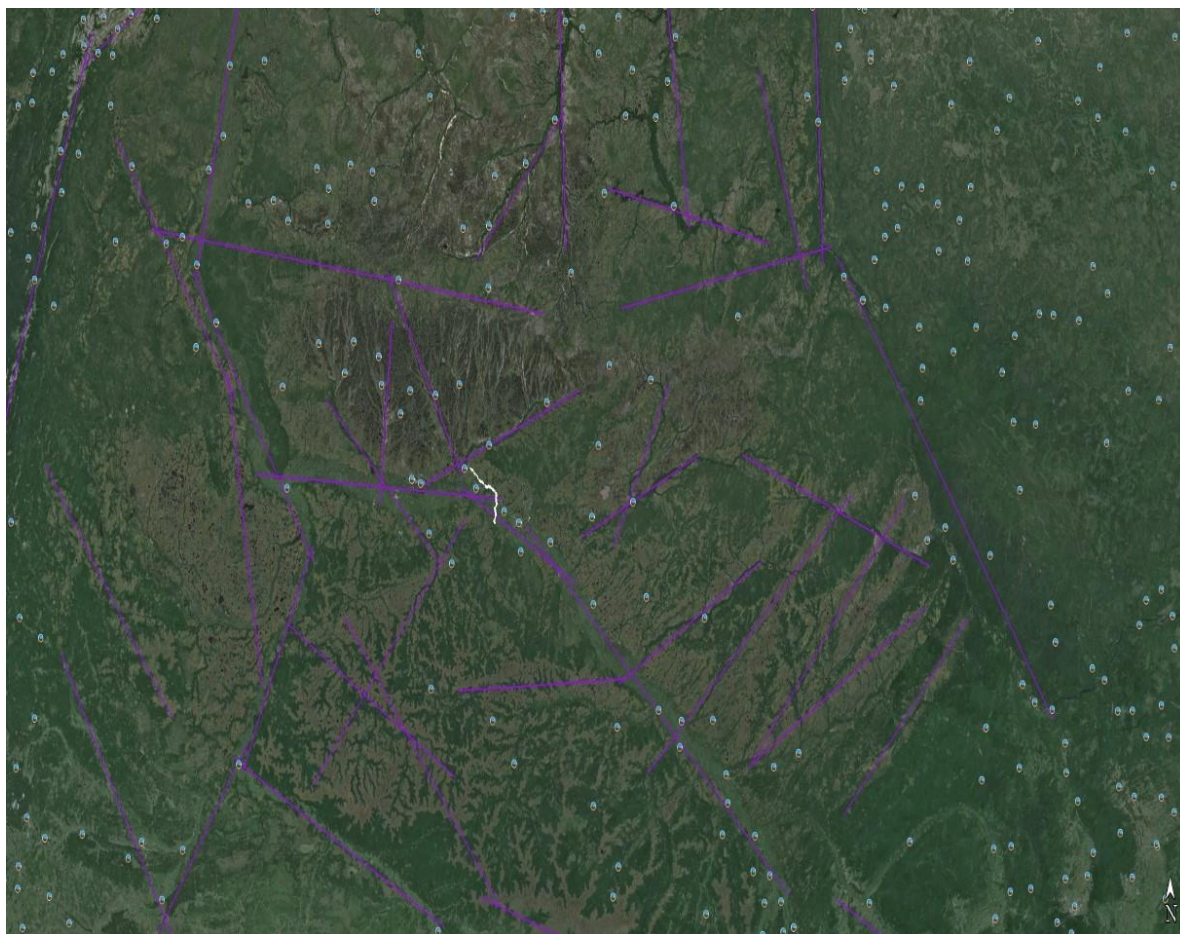


Рис. 2. Обзорное и региональное дешифрирование территории трассы

- линеаментно-геодинамический анализ с составлением карты плотности линеаментов – с выделением геоактивных зон.

В результате дешифрирования космоснимков в последовательной стадийности масштаба от мелкого к крупному было выделено 290 линеаментов из которых: 9 региональных, 27 зональных, 254 локальных линеаментов.

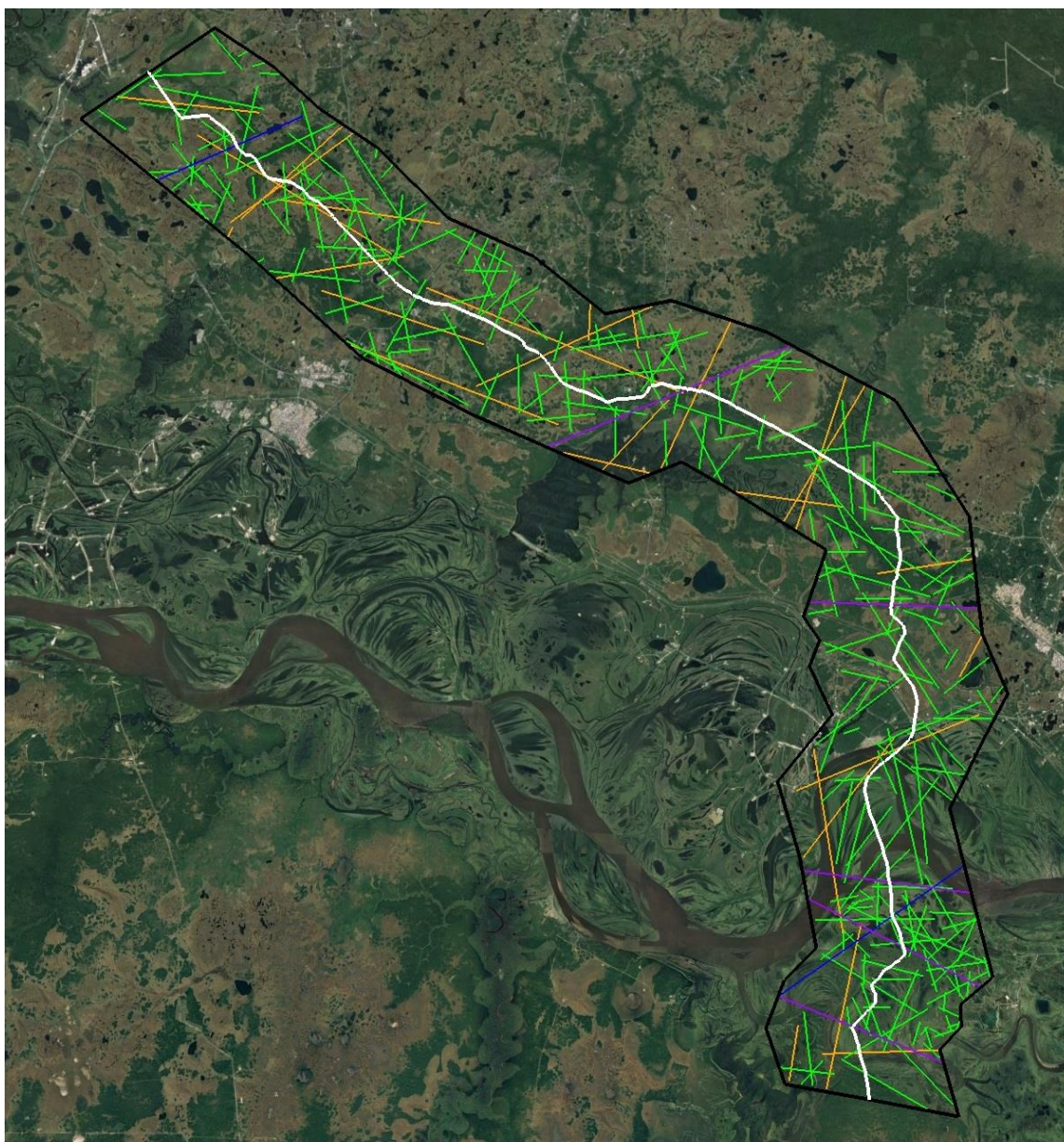


Рис. 3. Карта дешифрования линеаментов по трассе трубопровода

Линеаменты имеют различное направление, наблюдается концентрация линеаментов на отдельных участках.

На основе линеаментно-геодинамического анализа [8, 22], оценки критериев геодинамической опасности и риска в коридоре трассы трубопровода выделено 5 геодинамических активных зон, представляющих собой потенциально аварийные участки (рис. 4).

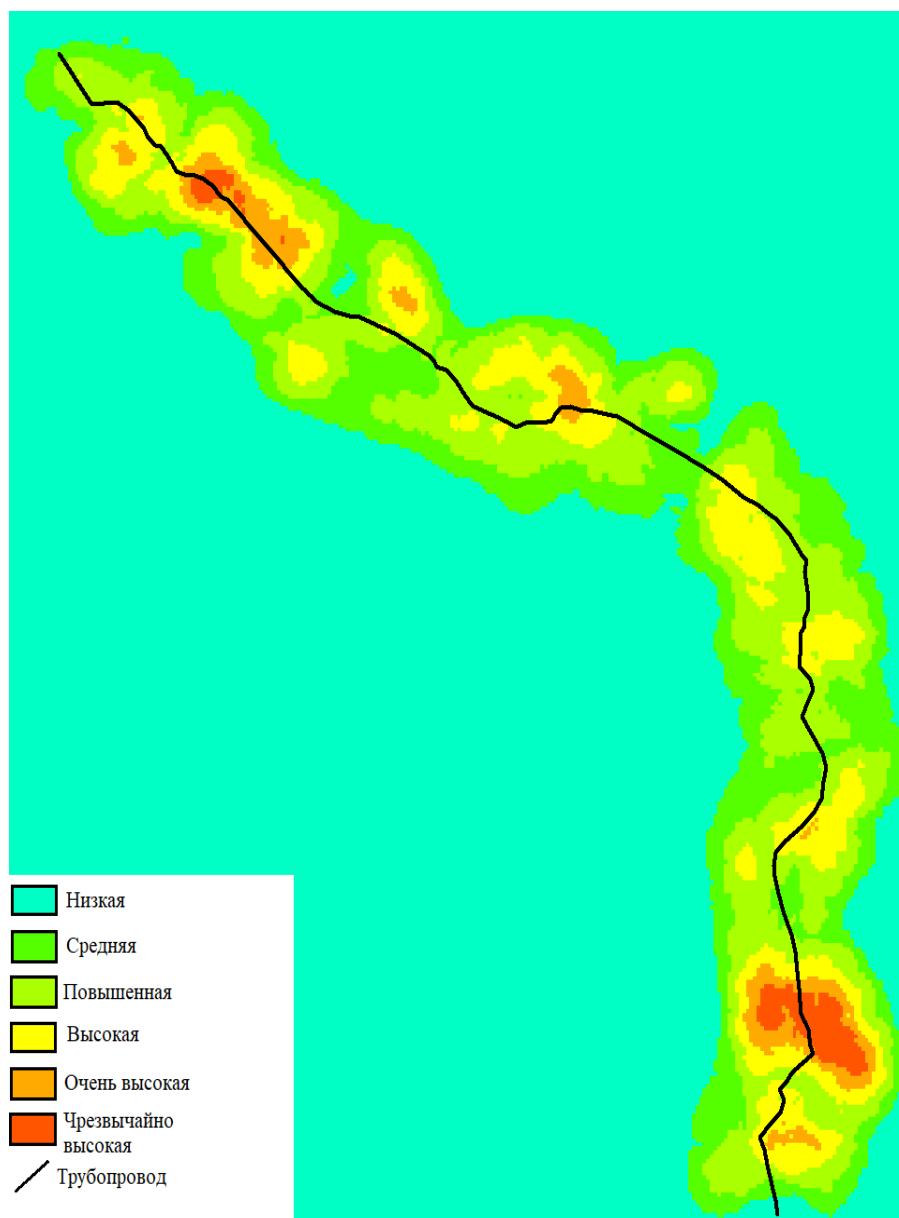


Рис. 4. Карта плотности линеаментов

Составление карты районирования участка трассы и описание таксонов

По полученным результатам инженерно-космогеологического анализа и результатам обработки данных изысканий (по методике [19, 20]) выделены таксоны инженерно-геологических условий:

1 – таксон, характеризующийся благоприятными условиями, в коридоре не выявлен:

2 – таксон, характеризующийся условно благоприятными условиями, в коридоре трассы выделено 15 участков. Участки сложены песком, глинистыми грунтами тугопластичной и мягкопластичной консистенции, торфом. Наблюдается процесс заболачивания. Степень геодинамической активности от средней до высокой.

3 – таксон, характеризующийся неблагоприятными условиями, в коридоре трассы выделено 10 участков. Участки сложены глинистыми грунтами мягкопластичной консистенции и торфом. Наблюдается процесс заболачивания и

речной эрозии. Степень геодинамической активности от повышенной до очень высокой.

В результате трасса проектируемого трубопровода была разделена на 14 инженерно-геологических участков, ранжируемых на 3 ранга по степени сложности инженерно-геологических условий (табл. 1). Составлена карта районирования трассы по степени сложности ИГУ (рис. 5).

Таблица 1

Инженерно-геологическая оценка проектируемой трассы

№ участка	№ скважин	ИГ характеристика			ИГ оценка	
		Грунты	Плотность линеamentов	ЭГП	К _р	Таксон
1	1-24	Глинистые мягкопластичные, торф	Повышенная	Заболачивание, речная эрозия	20	3
2	24-34	Глинистые мягкопластичные, торф	Повышенная	Заболачивание	10	2
3	34-56	Глинистые мягкопластичные, торф	Высокая	Заболачивания, речная эрозия	22	3
4	56-64	Глинистые мягкопластичные, торф	Повышенная	Заболачивание	14	2
5	64-113	Глинистые мягкопластичные, торф	Высокая и очень высокая	Заболачивание	23	3
6	113-160	Глинистые мягкопластичные и тугопластичные, торф	Повышенная и средняя	Заболачивание	16	2
7	160-167	Глинистые тугопластичные, торф	Высокая	Заболачивание	21	3
8	167-173	Глинистые тугопластичные, торф	Повышенная	Заболачивание	16	2
9	173-214	Глинистые тугопластичные, торф	Повышенная	Заболачивания, речная эрозия	19	3
10	214-226	Глинистые тугопластичные, торф	Высокая	Заболачивание	18	2
11	226-245	Глинистые мягкопластичные, торф	Высокая и очень высокая	Заболачивание	23	3
12	245-346	Глинистые мягкопластичные, торф	Повышенная, средняя и высокая	Заболачивание, местами речная эрозия	15	2
13	346-359	Глинистые мягкопластичные, торф	Высокая	Заболачивание	19	3
14	359-389	Песок и торф	Средняя и повышенная	Заболачивание	15	2

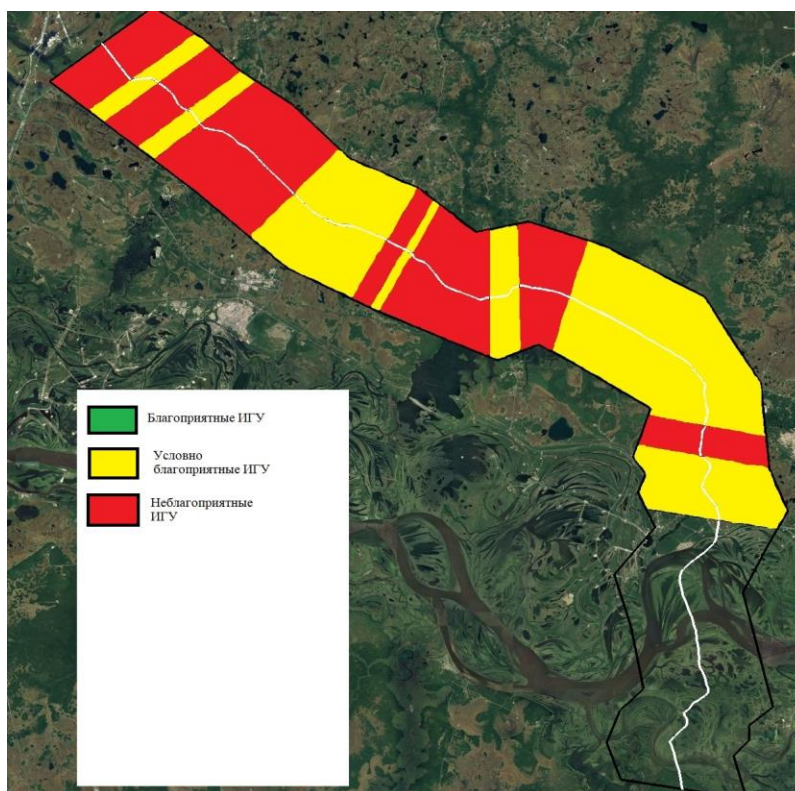


Рис. 5. Карта районирования трассы проектируемого трубопровода по степени сложности ИГУ

Заключение

В результате дешифрования космоснимков территории трассы проектируемого трубопровода выделено 290 тектонических линеаментов. Тектонические нарушения могут влиять на экзогенные геологические процессы. В зонах развития нарушений появляется благоприятная среда, для развития многих процессов, особенно – геокриологических (термокарст, пучение, заболачивание), оползни, обвалы, эрозия и различных типов выветривания, что в дальнейшем может привести к нарушению эксплуатации трубопроводов, а также – ко многим экологическим проблемам [4, 5, 8].

Проведено районирование трассы по степени сложности ИГУ с последующим описанием таксонов. В ходе районирования было выделено 14 ИГ участков, которые разделены на 3 класса по степени инженерно-геологической сложности.

Библиографический список

1. Инженерная геология СССР. Западно-Сибирская и Туранская плиты: В 2 кн. / Под ред. В.Т. Трофимова, Ю. Ф. Захарова, А. С. Хасанова, М.: Недра, 1990. Кн. 2. 334 с.: ил.
2. Инженерная геология СССР Т.2. Западная Сибирь. Под ред. Е.М.Сергеева. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 495 с.
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 геозкологические 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. Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разра-ботке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 4. С. 38-43.
8. Копылов И.С. Научно-методические основы геозкологических исследований нефтегазона-сных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанци-онных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
9. Копылов И.С. Оценка эколого-инженерно-геокриологических условий и геодинамической активности Западной Сибири в районе конденсатопровода Уренгой – Сургут при проведении аэро-космогеологических исследований // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2021. С. 307-315.
10. Копылов И.С. Проведение линеаментно-геодинамического анализа Горного Алтая и трас-сы проектируемого газопровода "Алтай" // *Международный журнал экспериментального образо-вания*. 2015. № 8-3. С. 398.
11. Копылов И.С., Коноплев А.В. Методология оценки и районирования территорий по опас-ностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций как основного результата действия геоди-намических и техногенных процессов // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 1.
12. Копылов И.С., Порозков К.С. Инженерно-аэрокосмический анализ территории трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 228-238.
13. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М.: Геокарт; ГЕОС, 2006. 244 с.
14. Кудрявцев В.А. Динамика толщ многолетнемерзлых горных пород / Полевые геокриологи-ческие (мерзлотные) исследования. М., Изд-во АН СССР, 1961.
15. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 (1:100000-1:500000). М.: Недра, 1978. 391 с.
16. Михалев В.В., Копылов И.С., Аристов Е.А., Коноплев А.В. Оценка техноприродных и соци-ально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского При-уралья // *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 нефтегазонасных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. № 5-6. 2005. С 76-78.
18. Полевой отчет ООО НИПППД «НЕДРА», Пермь, 2023.
19. Середин В.В. Математические методы в гидрогеологии и инженерной геологии / Курс лекций. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2011. 120 с.
20. Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Хрулев А.С. К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных пород // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2013. № 3. С. 85-90.
21. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. Москва, Недра, 1979. 223 с.
22. Чадаев М.С., Гершанок В.А., Гершанок Л.А., Копылов И.С., Коноплев А.В. Гравиметрия, магнитометрия, геоморфология и их параметрические связи. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2012. 91 с.
23. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. Forecasting of geodynamic hazards at potash mines us- ing remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // *15th International Multidisci- plinary 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.

СРЕДНЕЕ ДНИЩЕ ТОПЛИВНОГО БАКА В РАКЕТА-НОСИТЕЛЕ

В статье рассмотрен краткий процесс изготовления одной из основных входящих в сборку узла детали ракета-носителя типа «Протон-М» среднего днища топливного бака окислителя и горючего.

Ключевые слова: летательный аппарат, ракета-носитель, технология изготовления.

N.O. Shchekochikhin

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

THE MIDDLE BOTTOM OF THE FUEL TANK IN THE BOOSTER

The article considers a brief manufacturing process of one of the main parts of the Proton-M type launch vehicle, the middle bottom of the oxidizer and fuel tank, which is included in the assembly assembly.

Key words: aircraft, launch vehicle, manufacturing technology.

Космонавтика – совокупность отраслей науки и техники, обеспечивающих освоение космического пространства и внеземных объектов с использованием ракет и космических аппаратов.

Главной целью космонавтики является повышение знаний о Вселенной, решение научных и народнохозяйственных задач.

Все мы немножко связаны с космосом в том или ином плане. Ракетно-космическая техника обеспечивает современную навигацию, экологический мониторинг, современные спутники позволяют вести космическую и, что немало важно, непосредственно видовую разведку.

Технический прогресс не стоит на месте, очень важно иметь представление, в какую сторону развиваться далее в области космонавтики, а для этого необходимо вспомнить основные этапы создания и развития космической техники, ознакомиться с биографией великих конструкторов, учёных, занимавшихся разработками в данной сфере деятельности, попытаться понять мотивацию их поступков, нацеленных на определённый результат, сделать свои выводы.

Данная статья освещает вопрос поэтапного обзора процесса сборки одной из важнейших деталей ракеты-носителя, изготавливаемой на одном из ведущих предприятий российской ракетно-космической промышленности – Государственном космическом научно-производственном центре имени М.В. Хруничева.

Цель. Цель статьи является разработка технологического процесса и сборки днища топливного бака. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Произвести конструктивно-технологический анализ среднего днища топливного бака окислителя и горючего.

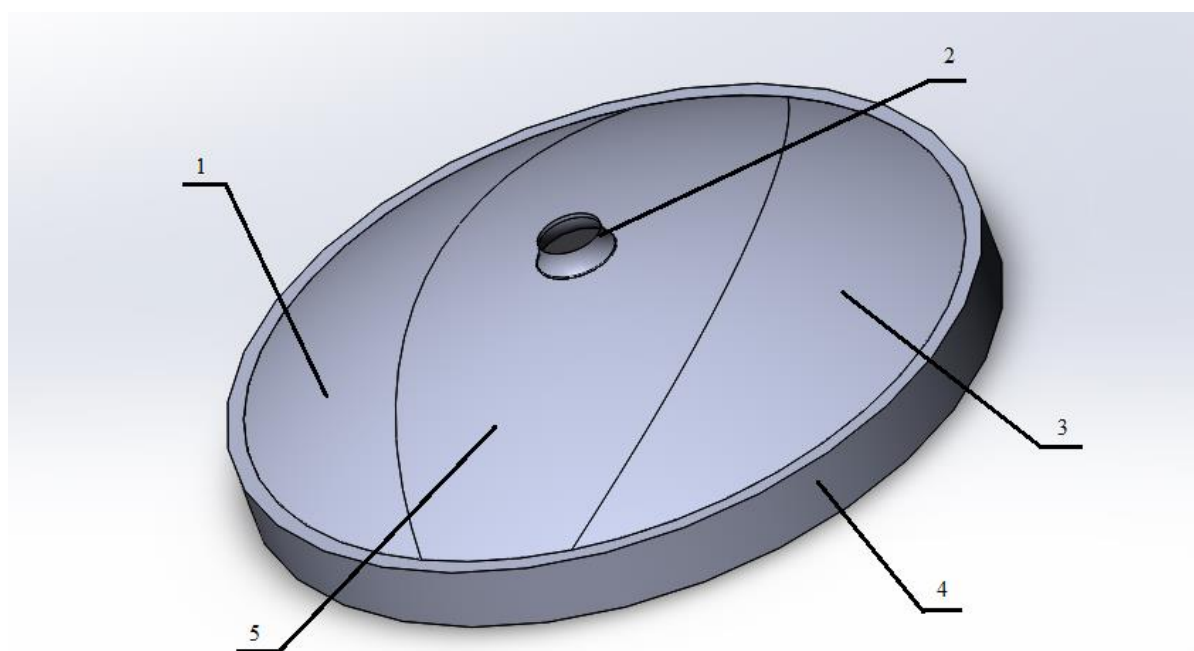
2) Вторая задача состоит в разработке схемы увязки размеров и форм днища топливного бака.

3) Третья задача необходимо разработать технологический процесс изготовления детали, входящий в узел.

4) Четвертая задача состоит в разработке технологического процесса сборки.

Среднее днище топливного бака – это элемент конструкции обеспечивающий герметичность бака и жесткость конструкции. Среднее разделительное днище окислителя и горючего выполнено из плакированных листов. Слой плакировки находится со стороны, обращенной к окислителю. Тонкостенная оболочка отсека корпуса служит для принятия на себя продольные сжимающие или растягивающие нагрузки и поперечные сдвигающие нагрузки.

Среднее днище топливного бака (рис. 1) имеет 5 входящих деталей: 1 фланец, 3 обшивки сектора и шпангоут.



1, 3 – Обшивка сектора; 2 – Фланец; 4 – Шпангоут; 5 – Центральная обшивка

Рис. 1. Среднее днище топливного бака

Для получения обшивки сектора (рис. 2) сначала получаем на ГН Н407 путем нарезки листов из АМг6 заготовки для обшивки, далее на станках ЧПУ лазером F6020-3000W при помощи технологической электронной модели получаем заготовки [2]. Далее путем обтяжки на РО-3М на вытянутых пуансонах получаем сферическую форму обшивок. После чего центральная обшивка идет на фрезерный станок МЗ-2040 при помощи ТЭМ для получение центрального

отверстия под фланец. Далее все 3 обшивки свариваются между собой аргонодуговой сваркой КЕДР MultiTIG-5000P.

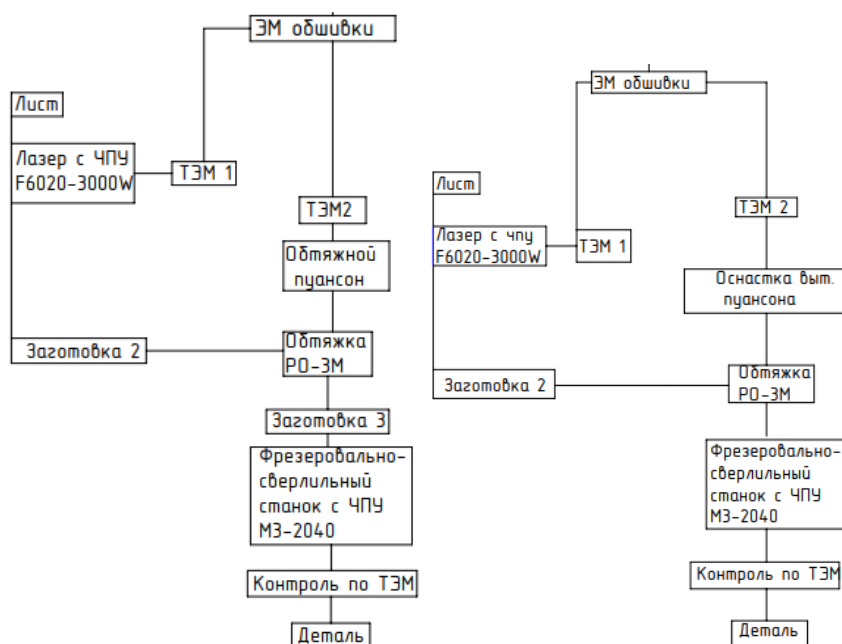


Рис. 2. Схема бесплазовой увязки

Для получения шпангоута (рис. 3), из профиля нарезается полукольца шпангоута на ленточнопильном станке PROTECH BS-500DSA, после чего на гидравлическом профилегибе РВН 360 с помощью ШГ, получают готовые полукольца шпангоута. Далее они при помощи ТЭМ отправляются на фрезеровочный станок с ЧПУ МЗ-2040, где получается две части полукольца шпангоута. Далее они свариваются ручной аргонодуговой сваркой Seborга WIN TIG AC-DC 340T 395 между собой и затем герметично привариваются аргонодуговой сваркой КЕДР MultiTIG-5000P 2 к обшивке [3] (рис. 4).

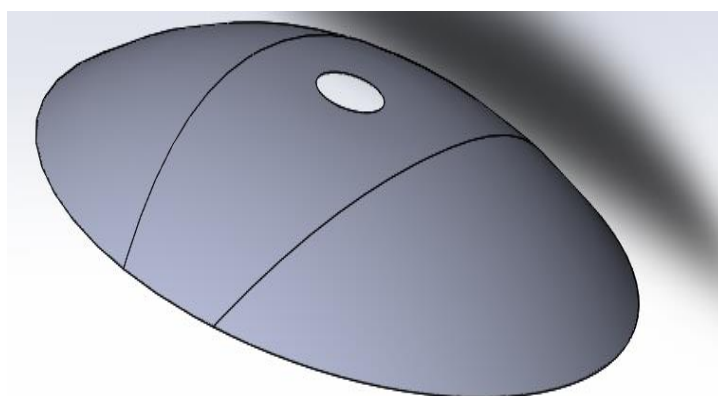


Рис. 3. Обшивка днища

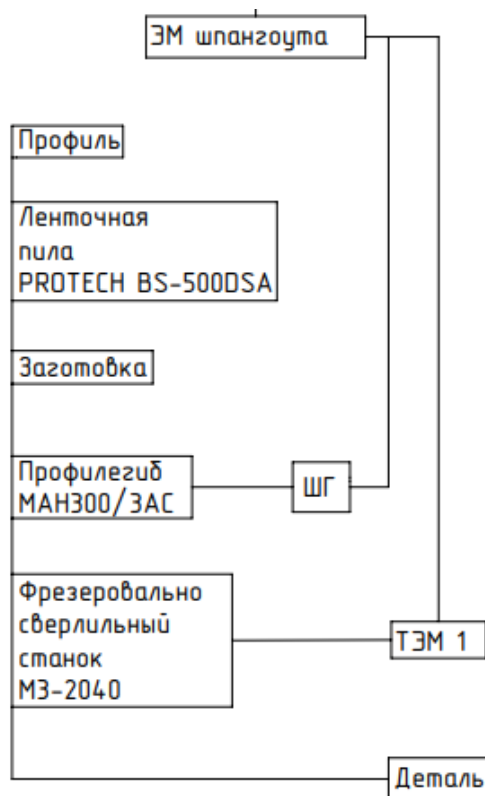


Рис. 4. Схема бесплазовой увязки шпангоута

Для получения фланца (рис. 5) для начала режем трубу на ленточнопильном станке METAL MASTER BSM-220 (рис. 6), после чего полученная заготовка идет на вертикально-фрезерный обрабатывающий центр Haas Mill, где мы получаем готовый фланец после чего он приваривается к обшивке аргонодуговой сваркой КЕДР MultiTIG-5000P.

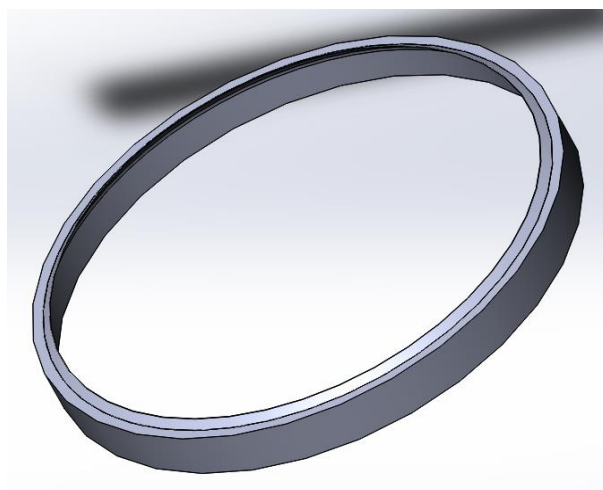


Рис. 5. Шпангоут



Рис. 6. Схема бесплазмовой увязки

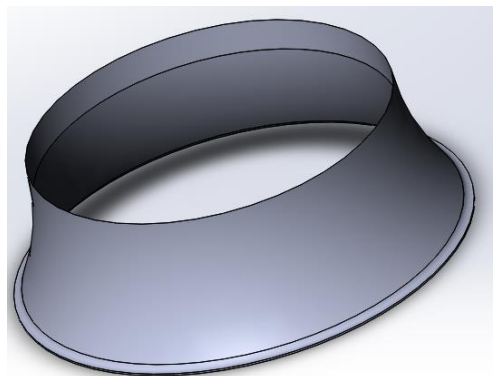


Рис. 7. Фланец

Базированием при сборке называется установка собираемых элементов в требуемое положение.

Существует 3 метода базирования:

1. По базовым элементам сборочного приспособления.
 - 1.1. Сборка с базированием по поверхности каркаса.
 - 1.2. Сборка с базированием по наружной поверхности обшивки.
 - 1.3. Сборка с базированием по внутренней поверхности обшивки.
2. Сборка по координатно-фиксирующим отверстиям.
3. По сборочным отверстиям.

В работе будет использована сборка с базированием по наружной поверхности обшивки (по БЭСП) т.к. он чаще всего применяется на производстве. Сначала базируется первая часть обшивки на спец. плите (рис. 8). Она плотно прижимается прижимами на специальной плите для более жесткой фиксации, что бы в последствии минимизировать нарушение геометрии днища [4].

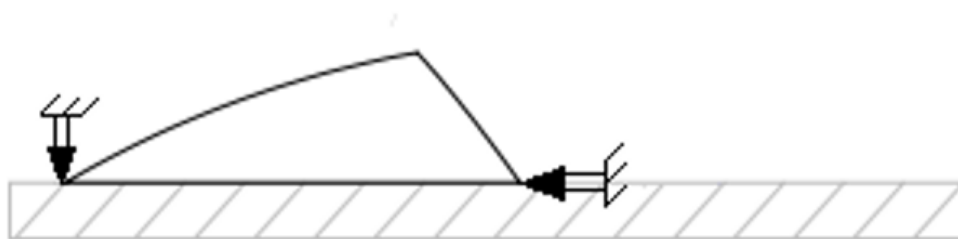


Рис. 8. Схема базирования первой части обшивки

Базирование центральной обшивки:

Затем базируется центральная обшивка к первой части обшивки на специальной плите. Закрепляется обшивка прижимами сначала между собой, затем плотно прижимается к специальной плите для более жесткой фиксации (рис. 9), для отсутствия возможности перемещения.

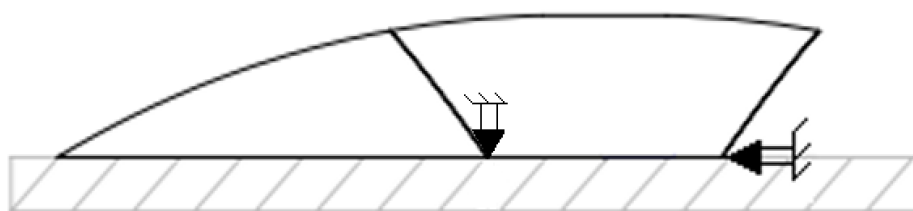


Рис. 9. Схема базирования центральной обшивки

Базирование правой части обшивки:

Следом базируется вторая часть обшивки к центральной обшивке днища которая находится на специальной плите (рис. 10). Закрепляется обшивка плотно друг к другу прижимами сначала между собой затем к специальной плите.

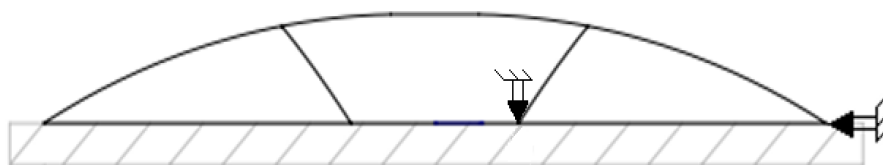


Рис. 10. Схема базирования второй части обшивки

Базирование шпангоута:

После обшивки базируется шпангоут днища к обшивке (рис. 11). Сначала базируется шпангоут на специальную плиту, закрепляется фиксаторами, затем фиксируется обшивка над шпангоутом.

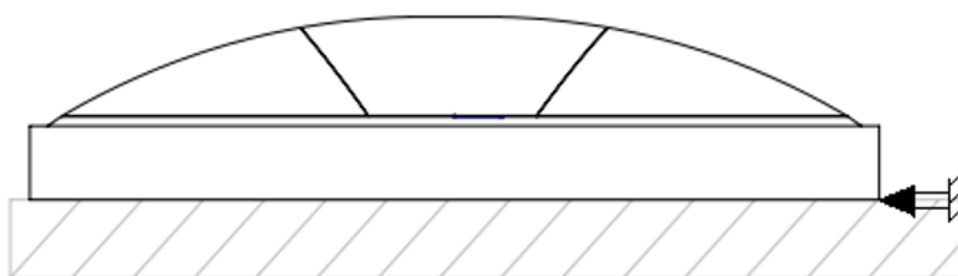


Рис. 11. Схема базирования шпангоута

Базировани фланца:

После базируется фланец, базируется (рис. 12) по отверстию. в центральной обшивке.

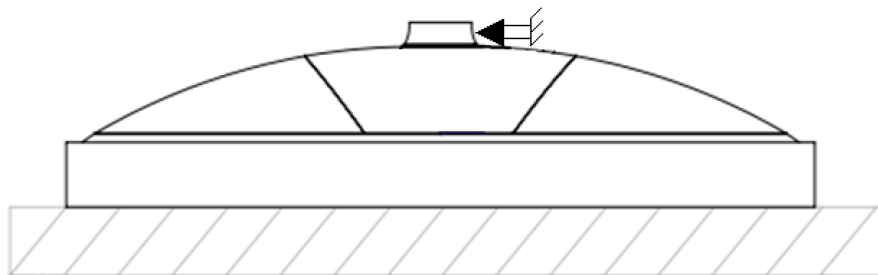


Рис. 12. Схема базирования фланца

Заключение

В ходе данной работы был проведен огромный комплекс конструктивно - технологических работ. На основе чертежа была построена 3D модель среднего днища топливного бака.

В результате проведенной работы, было установлено, что днище бака является технологичным и его изготовление целесообразно. Проведен конструктивно-технологический анализ днища топливного бака. Рассмотрено основные составляющие среднего днища топливного бака окислителя и горючего, произведено качественная и количественная оценка днища, было указано материал изделия и вид соединения.

На основе уже имеющихся данных, была разработана схема базирования деталей для сборки, при этом, проведен расчет на точность. Выбранный способ базирования смог обеспечить заданные требования по точности.

Библиографический список

1. Блинов В.Н., Иванов Н.Н., Сеченов Ю.Н., Шалай В.В.. Контроль геометрии и массы. Ракеты-носители. Проекты и реальность: справ. пособие: в 2 кн. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.
2. Получение алюминиевого сплава АМгб [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://cuprum-metall.ru/informatsiya/alyuminiy/splav-amgb>. (Дата обращения 05.05.2022).
3. Космонавтика – совокупность отраслей науки и техники [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/3294092.
4. Технологичность конструкций изделия [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008329> (Дата обращения 20.05.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В РАЙОНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ УХТА И МАЛАЯ ПЕРА С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕАМЕНТНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Статья посвящена линеаментно-геодинамическому анализу территории Республики Коми. Представлен аэрокосмогеологический анализ обзорной площадью 200 x 270 км. Работа раскрывает возможности данного анализа и его важность в определении наличия геодинамических активных зон. В статье раскрываются особенности использования линеаментно-геодинамического анализа, необходимого для изучения инженерно-геологических условий.

Ключевые слова: линеамент, анализ, дешифрирование, космоснимки, Республика Коми.

D.A. Yrochkin

Perm State University, Perm, Russia

STUDY OF THE TERRITORY OF THE KOMI REPUBLIC IN THE AREA OF SETTLEMENTS UKHTA AND MALAYA PERA USING LINEAMENT-GEODYNAMIC ANALYSIS

The article is devoted to lineament-geodynamic analysis of the territory of the Komi Republic. An aerocosmogeological analysis of a survey area of 200 x 270 km is presented. The work reveals the capabilities of this analysis and its importance in determining the presence of geodynamic active zones. The article reveals the features of using lineament-geodynamic analysis necessary for studying engineering-geological conditions.

Key words: lineament, analysis, interpretation, satellite images, Komi Republic.

Введение

Территория Республики Коми (РК) в инженерно-геологическом отношении изучена не достаточно, а на многих участках – слабо. Вместе с тем РК относится к высокоперспективным нефтегазоносным регионам, где уже давно ведется добыча нефти и газа. Территория интенсивно осваивается, проектируются и строятся новые нефтегазопроводы. Опыта типового проектирования и эксплуатации объектов нефтегазодобычи в инженерно-геологических условиях, которые характерны для рассматриваемой территории, немного.

Техногенное воздействие на природную и геологическую среду, в основном обусловлено прокладкой магистральных трубопроводов и проявляется в образовании и развитии эрозионных процессов на склонах и бортах долин рек при уничтожении почв и растительности, нарушении естественного режима поверхностных и подземных вод.

Особенно это проявляется в геодинамических активных зонах, где особенно часто происходят аварии на действующих нефтегазопроводах [4, 7-11, 31, 32, 39].

В период эксплуатации нефтегазовых сооружений возможно загрязнение грунтов, поверхностных и подземных вод. При строительстве на участках развития карбонатных пород возникает необходимость проводить дополнительные мероприятия для обеспечения устойчивости инженерных сооружений. Для фиксирования геодинамических активных зон (опасных геоактивных участков для строительства и эксплуатации инженерных сооружений) важными методами являются инженерно-аэрокосмогеологические исследования и линеаментно-геодинамический анализ [19].

Природно-геологические условия

По физико-географическому районированию участок проектируемого магистрального газопровода расположен на территории Республики Коми, между г.Ухта и пос. Малая Пера. Малая Пера – посёлок в городском округе Сосногорск Республики Коми, и расположен на левом берегу реки Малая Пера (рис. 1).

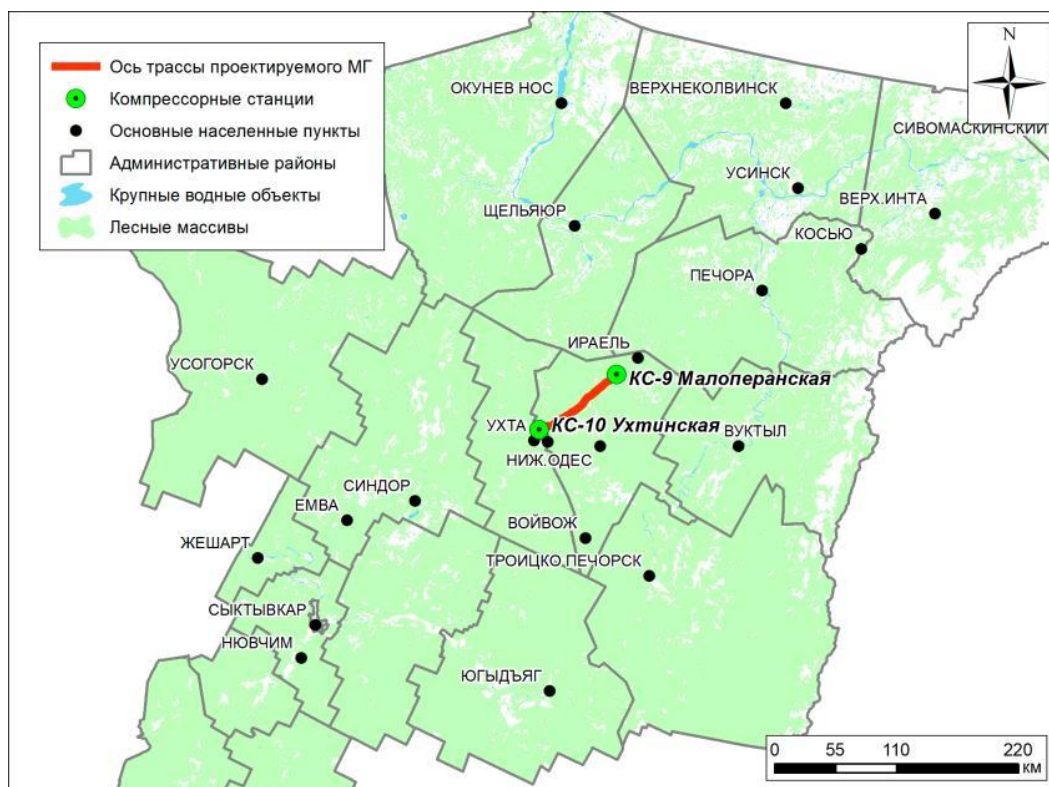


Рис. 1. Обзорная карта расположения проектируемого магистрального газопровода (Open street map)

Рельеф. Северо-восточная часть участка относится к Печорской низменности, представляющей собой слабоволнистую, лесисто-болотистую с густой сетью рек равнину, осложненную холмами и грядами высотой от 15 до 40 м с плоскими вершинами и пологими, около 5°, склонами. В центральной части трасса проходит через Ижма-Айювинскую равнину и долину р. Айюва. Для Ижма-Айювинской равнины характерным является большое распространение болот. Юго-западная часть территории, проходит через долину р. Ижмы и на

юго-западе пересекает ее русло. Непосредственно по устьям буровых скважин абсолютные отметки рельефа изменяются от 110,5 до 178,0 м.

Климат района по своим общим характеристикам классифицируется избыточно-влажным, с холодным летом и длительной, суровой снежной зимой. Участок исследования относится к I дорожно-климатической зоне, по характеру и степени увлажнения к первому, второму и третьему типу местности. По климатическому районированию России для строительства территория исследуемого района находится в 1 Д климатическом подрайоне, в северную строительную климатическую зону не входит. Характерна частая смена воздушных масс при прохождении циклонов со стороны Атлантики. С циклонами связана пасмурная с осадками погода, теплая и нередко с оттепелями зимой и прохладная летом. Циклоничность наиболее развита зимой и осенью, летом она ослабевает. Для климатического режима района характерны суровая продолжительная зима, крайне короткое прохладное лето и затяжные переходные сезоны – весна и осень, короткий безморозный период. Средние месячные температуры января составляют минус 17,6 °С в Ираёле, минус 16,7 °С в Ухте, летом от 15,6 °С в Ираёле и до 16,2 °С в Ухте.

Гидрография. Территория относится к бассейну юго-восточной части Баренцева моря и характеризуется наличием развитой гидрографической сети. Район находится в северной части Среднепечорского левобережного гидрологического района и пересекает водотоки, относящиеся к бассейнам рек – притоков р. Печоры (Лемью, Айювы, Ижмы). Гидрография территории представлена в основном малыми реками и временными водотоками, небольшим количеством озер. Самой большой рекой на участке являются реки Ижма и Айова. По гидрологическому режиму реки относятся к типу рек с преимущественным весенним половодьем. Рекам свойственны мощные ледоходы, которые проходят при наивысших уровнях. Практически все реки пойменные, затопление пойм происходит в большей части прохождения половодий. Густота речной сети в исследуемом районе от 0,5 до 0,8 км на 1 км².

Район расположен в зоне тайги, встречаются массивы северотаежных лесов.

По геокриологическому районированию, располагается в районе распространения талых пород с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) [1, 30].

Геологическое строение

В геоструктурном отношении район находится в пределах Печорской синеклизы, занимающей обширное пространство между Тиманом и Предуральским краевым прогибом. В геологическом строении принимают участие современные аллювиальные отложения, современные биогенные отложения, озерно-аллювиальные, флювиогляциальные, аллювиально-морские осадки средневерхнечетвертичного возраста, ледниковые, ледниково-морские среднечетвертичные отложения московского горизонта, а также коренные отложения верхнего девона. Отложения представлены песками от пылеватых до гравелистых,

суглинками, глинами различной консистенции, супесью пластичной и текучей, известняками средней прочности [2, 3, 38].

Территория находится в зоне сейсмичности 5 баллов по шкале MSK-64, категория опасности природных воздействий по землетрясению (интенсивность менее 6 баллов) оценивается как – умеренно опасная.

Гидрогеологические условия предопределены геоморфологическим и геологическим строением территории, а также приуроченностью рассматриваемого участка к зоне гумидного климата. В гидрогеологическом разрезе выделяются ризонты: безнапорный водоносный горизонт голоценовых биогенных отложений (bQIV). водоносный горизонт средне-верхнеплейстоценовых озерно-аллювиальных, флювиогляциальных и аллювиально-морских отложений (la,f,amQII–III). Режим стока подземных вод в годовом цикле может быть охарактеризован следующим образом: максимальный уровень первого от поверхности водоносного горизонта достигается в периоды обильного выпадения дождевых осадков (июль-октябрь), а минимальный уровень приходится на время – февраль, март, апрель, когда водоносный горизонт в отсутствии дождевого питания. Наряду с этим следует отметить, что вероятно образование сезонной верховодки во время оттаивания сезонно промерзших грунтов и образование надмерзлотных воды сезонноталого слоя, (май, июнь) [1].

Район характеризуется наличием сложных геологических, гидрогеологических, геоморфологических и климатических природных факторов, на фоне которых возможно развитие опасных экзогенных геологических процессов: Подтопление, заболачивание, плоскостная и овражная эрозия морозное пучение. По подтопляемости район относится: подтопленному в естественных условиях (I-A); к сезонно подтапливаемому в естественных условиях (I-A-2); к потенциально подтопляемому в результате ожидаемых техногенных воздействий (II-Б1-1,2); к подтопленному в техногенно измененных условиях (I-Б). Активизации карста и суффозионных процессов в естественных условиях отсутствует, а в измененных (нарушенных) условиях степень техногенной нагрузки оценивается, как высокая.

Методика и результаты исследований

Инженерно-геологические изыскания при проектировании трубопроводов регламентируются основными [34-37 и др.] нормативно-методическими документами.

Выделение линейных структур (линеаментов), транслирующих в рельефе элементы разломно-разрывной тектоники, производилось путем дешифрирования космических снимков. Под линеаментами понимаются 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. Дополнительная совокупность линеаментов выделена экспертным способом по комплексу геоморфологических индикаторов [5, 33].

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

а) 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.

б) 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.

в) Линейно-ориентированные отрицательные формы рельефа в виде цепочек карстовых воронок, суффозионных просянок и западин, линейные цепочки мочагин, старичных понижений, обводнённых заболоченных участков на аккумулятивных поверхностях террас и их прямолинейные ограничения.

В пределах исследуемой территории по анализу спутниковых изображений открытого доступа выделена сеть прямолинейных линеаментов, предположительно отражающих осевые части трещинно-разрывных структур осадочного чехла.

Для зон простирающихся установленных региональных тектонических разломов, как правило, характерно пространственное совмещение с зонами средней и повышенной плотности линеаментов. Для таких областей характерна несколько повышенная раздробленность, трещиноватость и проницаемость (пористость) пород осадочного чехла, как на больших глубинах, так и в приповерхностной части (0-200 м).

На территории исследований ранее проводились аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) обзорного и регионального уровня для поисков месторождений нефти и газа и инженерно-геологической оценки нефтегазоносных районов [20, 25].

Автором выполнены региональные и зональные АКГИ для выделения тектонических линеаментов по современным космическим снимкам (КС). Основными методами являлись: геологическое компьютерное дешифрирование и структурно-линеamentно-геодинамический анализ. В основе методологии и методики работ были разработки [13-18, 26, 27], примеры их применения приведены в работах [6, 12, 21-24, 28, 29].

При создании карты линеаментов использовались программы: ArcGIS Pro.

На космоснимках (Esri, HERE, Garmin, Foursquare, FAO, METI/NASA, USGS; Earthstar Geographics), в географической системе координат – World Geodetic System 1984 (WGS 1984) на территории всего исследуемого участка и прилегающим к нему территориям, были выделены линеаменты трех рангов:

- региональные линеаменты протяженностью 100 и более км (масштаб 1:1 000 000),

- зональные линейменты протяженностью 25-100 км (масштаб 1:500 000),
- локальные линейменты протяженностью 5-25 км (масштаб 1:200 000-1:100 000).

После выделения линейментов с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcGIS Pro была рассчитана плотность линейментов локального типа и плотность линейментов регионального и зонального типов. В результате анализа были построены карты фактического материала по региональным, зональным и локальным тектоническим линейментам (рис 1, 2).

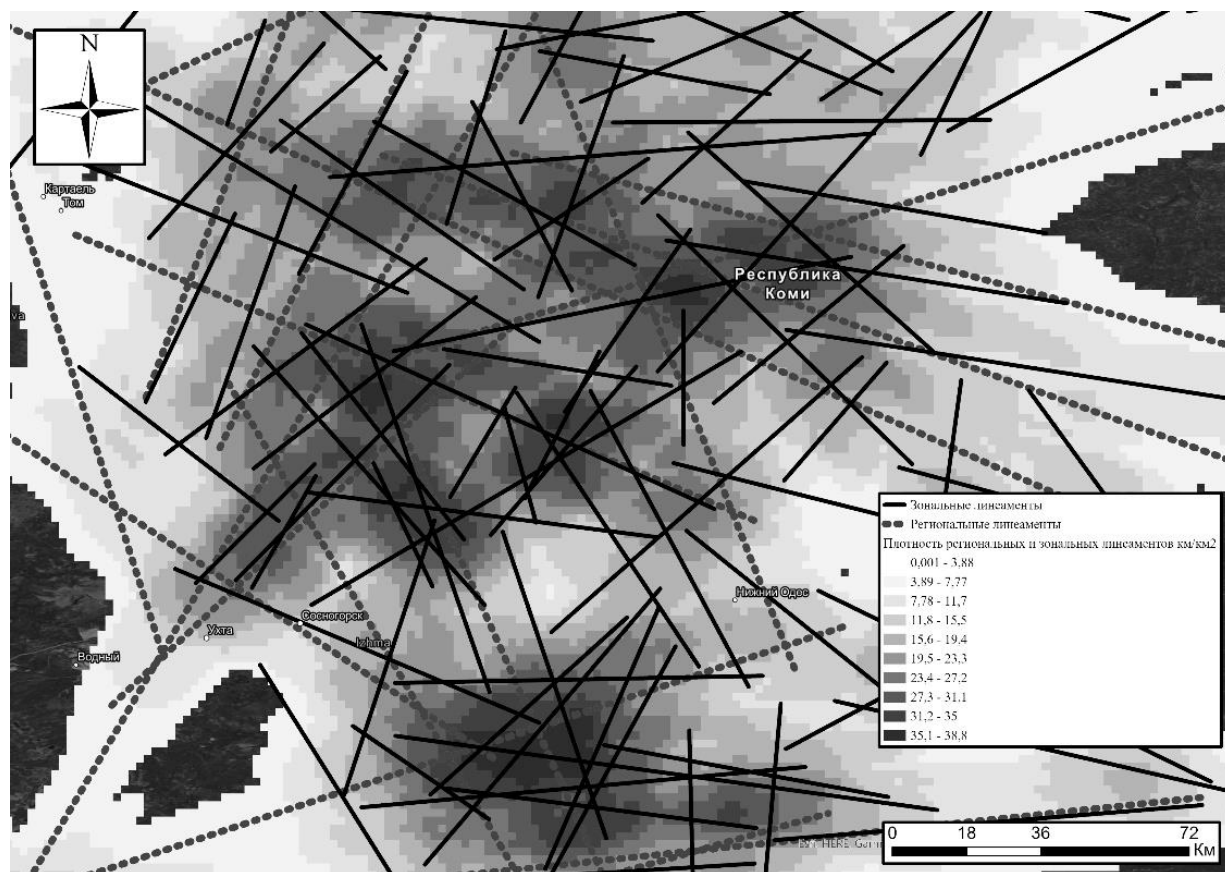


Рис 2. Плотность линейментов регионального и зонального ранга

В результате компьютерного дешифрирования на площади 200 x 270 км было закартировано 19 региональных и 111 зональных линейментов. На площади непосредственно исследуемой территории выделено 196 локальных линейментов. Анализ пространственной ориентации линейментов показывает, что большинство региональных и зональных линейментов имеют диагональную ориентировку, реже – меридиональную и субширотную ориентировку (рис 1). Локальные линейменты имеют различную ориентировку (рис. 2).

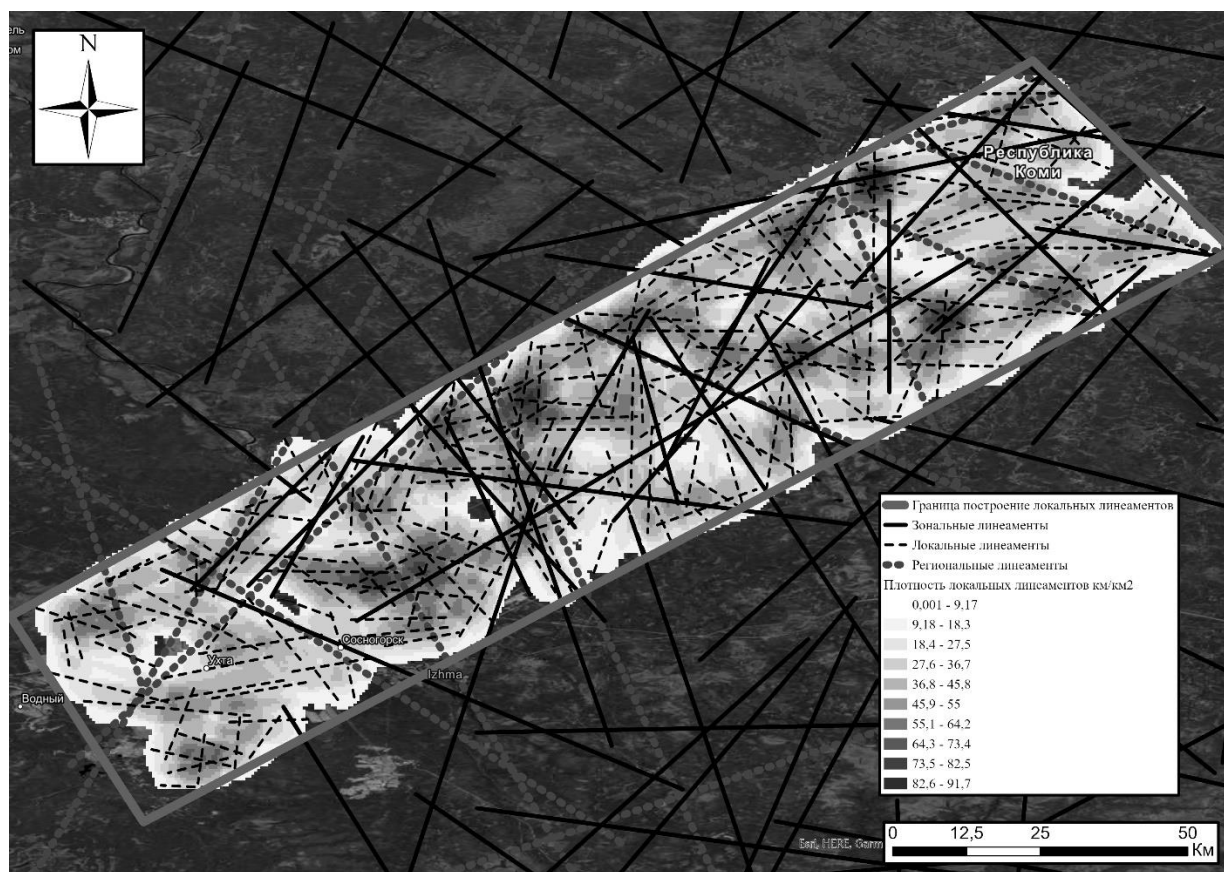


Рис 3. Плотность линеаментов локального ранга

Анализируя плотность и расположение линеаментов, отмечается концентрация региональных и зональных в центральной и в южной части. Распределение локальных линеаментов показывает, на более высокую их плотность западнее центральной части территории и северо-восточнее центральной части.

Заключение

В результате исследования изучаемой территории по дешифрированию современных цифровых КС с применением программы ArcGIS Pro были выделены линеаменты трех рангов: региональные линеаменты (масштаб 1:1 000 000), зональные линеаменты (масштаб 1:500 000) и локальные линеаменты (масштаб 1:200 000) в количестве 326 ед. Проведен линеаментно-геодинамический анализ на региональном уровне, выявлены участки территорий с наиболее активными геодинамическими зонами.

Детальный линеаментно-геодинамический анализ, с сопоставлением линеаментов и параметров экзогенных геологических процессов планируется на следующем этапе изучения.

Библиографический список

1. Гидрогеология СССР. Том 42. Коми АССР и Ненецкий национальный округ Архангельской области РСФСР / под ред. А.М. Сидоренко. М.: Недра, 1970. 288 с.

2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 / Издание второе Серия Тиманская Лист Р-39-VI (Ухта) / Объяснительная записка. М., 2013. 251 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 / Третье поколение Серия Мезенская Лист Р-39-Сыктывкар / Объяснительная записка. СПб., 2016. 384 с.
4. Кочарян Г.Г., Родионов В.И., Бенедик А.Л., Галицкий Ю.В., Моренков С.П. Влияние геодинамических факторов на механическую устойчивость протяжённых инженерных сооружений // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 6. С.489-500.
5. Копылов И.С. Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика. Учебно-методическое пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. 115 с.
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. Влияние геодинамики и техногенеза на геозкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.
8. Копылов И.С. Геозкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. 501 с.
9. Копылов И.С. Геозкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2013. 166 с.
10. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-3. С. 86-90.
11. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.
12. Копылов И.С. Картирование геодинамических активных зон Среднего Урала при проведении аэрокосмогеологических исследований территории трасс магистральных газопроводов // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург: УрОРАН, 2011. С.196-198.
13. Копылов И.С. К разработке теории о геодинамических активных зонах и эколого-геодинамическая оценка трасс линейных сооружений // Академический журнал Западной Сибири. 2013. Т. 9. № 4 (47). С. 17.
14. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
15. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмогеологические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25-37.
16. Копылов И.С. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических опасных зон на трассах магистральных нефтегазопроводов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021 С. 43-55.
17. 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.
18. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
19. Копылов И.С. Научно-методические основы геозкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Уральский государственный горный университет. 2014. 351 с.
20. 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.
21. Копылов И.С. Оценка эколого-инженерно-геокриологических условий и геодинамической активности Западной Сибири в районе конденсатопровода Уренгой – Сургут при проведении аэрокосмогеологических исследований // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 307-315.
22. Копылов И.С. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром Трансгаз

Чайковский» (Соликамск – Кизел – Усьва) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2021. С. 316-326.

23. Копылов И.С. Проведение аэрокосмогеологических исследований для выявления геодинамических активных зон территории трасс магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Чайковский» (Гремячинск – Чусовой – Кын) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2022. С. 205-216.

24. Копылов И.С. Проведение линеаментно-геодинамического анализа Горного Алтая и трассы проектируемого газопровода "Алтай" // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 8-3. С. 398.

25. Копылов И.С. Результаты детальных аэрокосмогеологических исследований в восточной части Тимано-Печорской плиты (Северо-Югидская площадь) // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 316-326.

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

27. 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.

28. Копылов И.С., Порозков К.С. Инженерно-аэрокосмический анализ территории трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 228-238.

29. Копылов И.С., Софронова К.И. Оценка инженерно-геологических условий при проектировании газопроводов в условиях распространения мёрзлых пород (на примере участка газопровода «Сила Сибири») // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность*. Печеркинские чтения. Пермь, 2023. С. 308-321.

30. Лаптева Е.М., Безносиков В.А., Шамрикова Е.В. Почвы и почвенные ресурсы Республики Коми: этапы исследований, итоги и перспективы // *Известия Коми научного центра УрО РАН. Биологические науки*. 2016 №3(27). С. 23-34.

31. 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.

32. 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.

33. Садов А.В., Ревзон А.Л. *Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии*. Москва, Недра, 1979. 223 с.

34. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.

35. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».

36. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

37. СП 86.13330.2014 «Магистральные трубопроводы» Актуализированная редакция СНиП III-42-80*

38. Ступакова А.В. Тимано-Печорский бассейн. Строение и основные этапы развития // *Георесурсы*. 2017. Спецвыпуск. Ч. 1. С. 56-64.

39. Султангареев Р.Х. Оценка влияния геодинамики на работоспособность магистральных газопроводов // *Нефтегазовое дело*. Уфа, 2006. Т.2. С. 60-63.

Научное издание

Аэрокосмические методы в геологии

Сборник научных статей

Выпуск 5

Под общей редакцией *И. С. Копылова*

Издается в авторской редакции
Техническая подготовка материалов: *И. С. Копылов*

Объем данных 40,6 Мб
Подписано к использованию 28.02.2025

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15