

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

Теория и практика



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

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

## Теория и практика

*Допущено методическим советом  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета в качестве  
учебно-методического пособия для студентов,  
обучающихся по специальности «Прикладная геология»*



Пермь 2022

УДК 528.8+550.8  
ББК 26.3  
А992

Составитель:  
д-р геол.-минерал. наук, доцент **И.С. Копылов**

**Аэрокосмические** методы в геологии. Теория и практика  
А992 [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / составитель И.С. Копылов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2022. – 22,8 Мб; 115 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/kopylov-aerokosmicheskie-metody-v-geologii.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3786-7

Учебно-методическое пособие содержит теоретико-методические основы аэрокосмогеологических исследований и практические задания по дисциплине «Аэрокосмические методы в геологии», направленные на формирование у студентов комплекса профессиональных компетенций по изучению геологической среды аэрокосмическими методами. Цель дисциплины – ознакомление студентов с теоретическими и методическими аспектами аэрокосмогеологических исследований и регионального аэрокосмогеологического анализа; применение их для решения задач геологического картирования, прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые, нефть и газ, а также при проведении специализированных структурно-геоморфологических, неотектонических, геоэкологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других исследований.

Предназначено для студентов геологического факультета, обучающихся по специальности «Прикладная геология» (специализации «Геология», «Геохимия», «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых», «Геология нефти и газа»).

УДК 528.8+550.8  
ББК 26.3

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

**Рецензенты:** Научно-исследовательское, проектное и производственное предприятие по природоохранной деятельности «Недра» (генеральный директор – д-р геол.-минерал. наук, профессор **В.В. Середин**);  
главный инженер ООО НПК «ГеоТРИКС», канд. геол.-минерал. наук, доцент **Ю.А. Килин**

ISBN 978-5-7944-3786-7

© ПГНИУ, 2022

© Копылов И. С., составление, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	6
1.1. Методология аэрокосмогеологических исследований, ландшафтно- геодинамического и линеаментно-геодинамического анализа .....	6
1.2. Методика дешифрирования КС и АФС, анализ геоиндикационных дешифрировочных признаков, линеаментно-блоковой тектоники, кольцевых структур и ландшафтных аномалий .....	7
1.3. Комплектация материалов аэро- и космических съемок .....	13
1.4. Компьютерное космогеологическое (структурно-геологическое) дешифрирование .....	15
1.5. Основные виды анализов данных АКГИ и результирующих карт .....	18
2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА .....	21
2.1. Последовательность работы .....	21
2.2. Основные требования к составлению отчета в виде научной статьи и презентации .....	21
3. ТИПОВЫЕ СТАТЬИ ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ, ПОДГОТОВЛЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ .....	23
<b>Комплексный аэрокосмогеологический анализ листов государственной геологической съемки масштаба 1:200 000</b>	
Комплексный геолого-геофизический и аэрокосмогеологический анализ листа Q-60-XVII, XVIII госгеолкарты-200 / <i>Г.В. Курнаков</i> .....	23
<b>Анализ района месторождения бадделеит-апатит-магнетитовых руд</b>	
Аэрокосмогеологический анализ района Ковдорского месторождения бадделеит-апатит-магнетитовых руд / <i>А.С. Курдюмова, К.В. Федосеев</i> .....	28
<b>Поиски золота разных типов</b>	
Изучение месторождения золота р. Маракан с применением аэрокосмических методов / <i>Д.Ю. Бельтюкова, А.В. Рзянина,     Д.Г. Путин, Д.Г. Чирков</i> .....	37
Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, XVI) / <i>И.С. Копылов, Д.И. Шкляев, Р.Н. Трофимов</i> ...	46
Аэрокосмогеологический анализ золоторудных месторождений разных типов / <i>А.О. Устинов</i> .....	60

Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района / <i>М.В. Фефелов, Д.С. Кирин</i> .....	70
<b>Поиски нефти и газа (зональный и локальный анализы)</b>	
Применение аэрокосмических методов при поисках перспективных на нефть и газ структур на западе Соликамской депрессии / <i>А.В. Альметова</i> .....	76
<b>Поиски нефти и газа (региональный анализ)</b>	
Aerospace analysis of East Africa and Northern Somalia (for geodynamic assessment and searching for oil and gas) / <i>I.S. Kopylov, M.D. Ali</i> .....	82
<b>Инженерная геология (карст)</b>	
Поверхностные карстовые формы в зонах проявления линеаментов на примере Красноясыльского участка / <i>Е.Ю. Килина</i> .....	95
<b>Инженерная геология (трассы нефтепровода)</b>	
Инженерно-геологические условия трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет (северный участок) по аэрокосмическим данным / <i>К.С. Порозков</i> .....	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	111

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие «Аэрокосмические методы в геологии. Теория и практика» составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Аэрокосмические методы» (УМК 54582), разработанной кафедрой «Поиски и разведка полезных ископаемых» ФГАОУ ВО ПГНИУ.

Целью дисциплины являются ознакомление студентов с теоретическими и методическими аспектами аэрокосмогеологических исследований и регионального аэрокосмогеологического анализа и применение их для решения задач геологического картирования, прогнозных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые, нефть и газ, а также при проведении специализированных структурно-геоморфологических, неотектонических, геоэкологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других исследований; формирование у студентов комплекса профессиональных компетенций по изучению геологической среды аэрокосмическими методами.

Содержащиеся в учебно-методическом издании комплексные практические задания максимально приближены к реальным задачам, решаемым геологами в профессиональной деятельности. Выполнение практических заданий по компьютерному дешифрированию, обработке данных дистанционного зондирования, аэрокосмических съемок и другой информации позволяет сформировать у студентов умение проводить комплексный аэрокосмогеологический анализ, системно характеризовать изучаемый район по природным и геологическим условиям, определить потенциально перспективные участки на поиски и прогноз полезных ископаемых, выявить по аэрокосмогеологическим критериям опасные участки для разработки месторождений или инженерных сооружений. Отчетные материалы студентов в виде научных статей и защита их презентаций способствуют развитию аналитических способностей, необходимых современному специалисту – геологу.

Учебное-методическое пособие содержит теоретические и методические основы аэрокосмогеологических исследований, практические задания, порядок проведения регионального аэрокосмогеологического анализа, требования к составлению отчетов в виде научных статей и типовые статьи, подготовленные студентами по разным направлениям геологии.

# **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

## **1.1. Методология аэрокосмогеологических исследований, ландшафтно-геодинамического и линеаментно-геодинамического анализа**

**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.) [21]. АКГИ являются одним из важнейших видов исследований недр для обнаружения месторождений полезных ископаемых на любых стадиях работ, особенно – поисковой.

Главная цель аэрокосмогеологических исследований: изучение геологического строения осадочного чехла, выявление погребенных локальных структур, позволяющих контролировать месторождения рудных и других полезных ископаемых, служить ловушками нефти и газа и выделение разрывных нарушений, влияющих на их строение и пространственное положение.

Важнейшими методическими задачами являются:

– 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 рудо- и нефтегазоносностью;

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

Основные объекты изучения: линеаменты в литосфере – индикаторы тектонических нарушений и ландшафтные аномалии (кольцевые структуры, морфоструктуры или морфоаномалии) – индикаторы погребенных рудных тел и локальных нефтегазоперспективных структур.

Основной предмет изучения: закономерности размещения линеаментов, ландшафтных аномалий, неотектонических структур, зон геодинамической активности и их связи с рудо- и нефтегазоносностью.

В современной практике проведения АКГИ сложились следующие стадии (уровни) геологического изучения: обзорные, региональные, зонально-региональные, зональные, детальные исследования. Масштабы дешифрирования

МАКС, размеры выделяемых объектов (при использовании современных технологий компьютерного дешифрирования) при их проведении представлены в таблице [14, 21].

Таблица

Виды и размеры картируемых объектов на разных стадиях  
аэрокосмогеологических исследований

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

Как правило, АКГИ организационно проводятся в 3 этапа: подготовительный (комплектация МАКС, предварительное дешифрирование), основной (дешифрирование МАКС, полевые заверочные работы), заключительный (обработка данных, анализ, картография).

Общая методика АКГИ базируется на основных методах: дешифрирование аэрокосмоснимков (АКС); ландшафтно-геодинамический, морфонеотектонический, линеаментный, линеаментно-блоковый, линеаментно-геодинамический анализы, геоинформационное картографирование [2, 3, 14, 20, 39].

## 1.2. Методика дешифрирования КС и АФС, анализ геоиндикационных дешифрировочных признаков, линеаментно-блоковой тектоники, кольцевых структур и ландшафтных аномалий

В основу методики аэрокосмогеологических исследований положено комплексное дешифрирование материалов дистанционных съёмок земной поверхности, включающее в себя структурное, геоморфологическое и геологическое дешифрирование космических снимков (КС) и аэрофотоснимков (АФС), структурно-геоморфологический анализ топографических карт и комплексная

интерпретация результатов дешифрирования на основе имеющегося геолого-геофизического материала.

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

При структурном дешифрировании на снимках выделяются линейные и кольцевые образования [3].

Для обозначения линейных объектов, выделенных по снимкам закрытых территорий, обычно используется термин «линеамент» – линейные неоднородности земной коры и литосферы разного ранга, протяженности, глубины и возраста заложения. Существует более ста его понятий и определений. Принципы линеаментного анализа рассматриваются во многих работах. Обширная литература посвящена закономерностям размещения тектонических линеаментов в литосфере, тектонической и планетарной трещиноватости. В практике пермской школы аэрокосмогеологов [25] термин «линеамент» понимается как прямолинейный индикатор тектонических нарушений, проявленный на земной поверхности прямо (разрывами) или опосредованно геологическими и ландшафтными аномалиями [14].

По условиям дешифрирования территория исследований (на примере Пермского края) расположена в платформенной равнинной части Приуралья и низкогорной, холмисто-увалистой с субмеридиональными хребтами части передовых складок Западного Урала. Характеризуется повсеместным развитием четвертичных отложений и относительно слабой обнаженностью коренных пород [11, 31, 35]. В этих условиях применение дешифрирования снимков при изучении трещинно-разрывных нарушений скрытого типа, блоковых и погребенных нефтегазоносных структур, новейших тектонических структур и других геологических объектов является эффективным методом.

#### Дешифрировочные признаки кольцевых структур и ландшафтных аномалий

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

Были установлены основные геоиндикационные признаки ландшафтных аномалий:

– локальное усиление эрозионной и денудационной расчленённости земной поверхности;

– кольцевое концентрическое закономерное расположение водораздельных гряд, их отрогов и осложняющих их поверхности явных остаточных высот;

– не всегда отчётливый, но присущий каждой аномалии, кольцевой концентрический рисунок, образованный эрозионными и денудационными микроформами рельефа;

– появление и локальное увеличение количества фрагментов надпойменных террас, обрамляющих поймы на склонах долин.

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

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

В Пермском Приуралье, вследствие геоморфологической и неотектонической ситуации, наиболее отчётливо прослеживаются дугообразные системы линеаментов денудационно-эрозионных форм рельефа.

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

Среди эрозионных форм рельефа на ландшафтные аномалии указывают дугообразные отрезки русел и днищ долин разных порядков, тальвегов небольших оврагов, логов и ложбин стока, а также дугообразные отрезки бровок и пойменных тыловых швов, следов миграции русла рек. Одним из признаков выявления ландшафтных аномалий при структурном дешифрировании является концентрический рисунок фототона, обусловленный различием растительных сообществ и увлажнённости рыхлых отложений. Иногда этот признак прослеживается в струйчатом рисунке течения болотных масс, а также в дугообразных отрезках границ развития различных генетических типов четвертичных отложений. Подобные геоиндикаторы ландшафтных аномалий широко развиты в днище долины р. Камы [14].

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

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

#### Дешифрировочные признаки прямолинейных линеаментов и неотектонических блоковых структур

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

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

К геоморфологическим геоиндикаторам прямолинейных линеаментов, которые развиты наиболее широко, относятся:

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

- эрозионные формы рельефа в виде прямолинейных отрезков русел, тальвегов ложков и ложбин стока, тыловых швов и бортов речных долин; резких коленообразных изгибов временных и постоянных водотоков; встречных притоков и др. Эта группа геоиндикаторов, как наиболее часто встречающаяся и легко распознаваемая на фотоснимках, является одним из главных признаков выявления прямолинейных линеаментов;

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

Ландшафтные (почвенно-геоботанические) признаки прямолинейных линеаментов отражаются в растительном и почвенном покровах в виде тонких прямолинейных фототональных полос и штрихов на фотоизображении, обусловленных изменением характера растительности в более обводнённой или дренированной зоне над линеаментами. На участках выровненного и интенсивно заболоченного ландшафта основными геоиндикационными признаками пря-

молинейных линеаментов явились линейно-вытянутые аккумулятивные гряды флювиогляциальных и аллювиальных песков, спрямлённые ограничения участков распространения различных генетических типов четвертичных отложений, а также фототональные полосы на открытых пространствах болот.

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

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

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

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

Если в области денудации линеаментам присущи достаточно резкие черты рельефа, то на аккумулятивных участках они нередко представляют собой довольно расплывчатые, без резких ограничений полосы, для выявления которых требуются изображения с более высокой генерализацией. Кроме того, поскольку в этом случае значительную роль играет структура почвенно-растительного покрова, отражающаяся в фототоне изображения, при дешифри-

ровании линеаментов большое значение приобретают спектрозональные (многозональные) съёмки, позволяющие в определённых зонах спектра как бы экстрагировать искомые объекты.

Главной задачей изучения прямолинейных линеаментов, как отражающих линейные структуры осадочного чехла, является выяснение их природы. Для её решения необходим всесторонний совместный анализ результатов дистанционных исследований и данных, полученных традиционными геолого-геофизическими методами. С этой целью изучались и сопоставлялись с результатами дешифрирования карты строения поверхности фундамента, геологические, геоморфологические, четвертичных отложений и другие карты. (Лидер и др., 1965 ф; Жуков и др., 1983 ф; Бабак, Николаев, 1984; Кассин и др., 1985 ф; Шитин и др., 1983 ф; Сигов, Шуб, 1976 ф; Копылов, 2004 ф, 2006 ф, Копылов, Хурсик, 2010ф, Копылов, Коноплев, 2012) [7, 11, 31]. Подобный всесторонний анализ результатов дешифрирования позволяет предполагать отражение прямолинейными линеаментами трещинно-разрывных деформаций осадочного чехла и взаимосвязь линеаментов с напряжёнными зонами земной коры и зонами повышенной трещиноватости и проницаемости в породах осадочного чехла, известными как геодинамические зоны.

Общепризнанно, что дизъюнктивные деформации глубоких слоёв литосферы, распространяясь вверх, преобразуются в соответствии со структурными и литолого-петрографическими неоднородностями более высоких слоёв и достигают поверхности в виде более или менее широких ореолов, отвечающих зонам увеличенной трещиноватости и проницаемости пород. При прочих равных условиях, т. е. чем больше будет глубина заложения деформации, тем в более рассеянном виде и более широким ореолом она проявлена на поверхности [40].

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

Линеаменты всех таксономических рангов представлены на поверхности линейно вытянутыми формами рельефа, их границами, элементами гидрографической сети, геологически обусловленными зонами почвенного и растительного контраста, аномалиями структурного рисунка поверхности. Линеаментам

соответствуют полосы повышенной однообразно ориентированной трещиноватости и новейших деформаций рельефа, границы структурно-фациальных зон. Нередко протяжённые линеаменты совпадают с зонами аномального поглощения сейсмических волн, зонами линейно вытянутых гравитационных и магнитных аномалий, а также с границами, разделяющими области с разными сейсмическими скоростными разрезами, с различным характером гравитационного и магнитного полей [7, 10, 12, 14, 22, 24, 36].

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

Блоковые структуры, выявленные на КС, подобно прямолинейным линеаментам отражаются в орогидрографии и других элементах ландшафта. Наиболее эффективно применение дешифрирования КС и АФС при изучении погребённых структур и трещинно-разрывных нарушений скрытого типа в равнинных областях с широким развитием осадочного чехла [11, 15].

Некоторые исследователи отмечают принципиальную возможность распознавания глубинных погребённых структур на фотоизображениях на основании того, что в сложном геохимическом спектре и интегральном спектре гравитационных, магнитных, электрических, радиационных, геотермальных и других полей того или иного участка земной поверхности заключена информация, которую восходящие флюиды и интегральные геофизические поля несут как о своих материальных средах, так и о слоях земной коры, сквозь которые они прошли на своём пути к поверхности, и которая так или иначе проявлена в особенностях почвенно-растительного покрова и характеристиках электромагнитного излучения, фиксируемых на снимках [40].

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

Дешифрирование линеаментов включает в себя следующую последовательность этапов: 1) выделение линейных объектов и составление схем линеаментов; 2) обработка схем линеаментов; 3) установление закономерностей в распределении линеаментов.

### **1.3. Комплектация материалов аэро- и космических съёмок**

Комплексное дешифрирование при аэрокосмогеологических исследованиях на территории Пермского Урала и Приуралья проводится с использованием различных материалов дистанционных съёмок поверхности Земли.

Из картографических материалов используются топографические карты разных масштабов 1:25 000-50 000, 1:100 000-1:200 000, а также цифровые топокарты масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000, разработанные «Роскартографией».

Территория Пермского края обеспечена полностью аэрофотоснимками (АФС) 70–80-х гг. XX в. масштабов 1:200 000, 1:130 000, 1:100 000 и частично – масштаба 1:25 000–50 000. Материалы высотных аэрофотосъёмок масштаба 1:200 000 в целом пригодны для инструментального дешифрирования. Снимки имеют удовлетворительную проработку контуров и деталей фотоизображения. К недостаткам можно отнести их недостаточную контрастность и неравномерную плотность фототона. АФС масштаба 1:100 000 – слабоконтрастные с неравномерной фототональностью, участками, покрытых дымкой. В целом, несмотря на отмеченные недостатки, они были пригодны для инструментального дешифрирования. АФС масштаба 1:50 000 (применяются в качестве дополнительных для уточнения отдельных участков) характеризуются достаточной геологической информативностью, удовлетворяющей решению поставленных задач.

Из современных материалов космической съёмки на всю территорию имеются космические снимки (КС) среднего разрешения (14–30 м) со спутников Landsat 7,8 масштаба 1:100 000. Снимки высокого качества позволяют достаточно четко выделять объекты, соответствующие масштабам 1:100 000–1:50 000 и детальнее (рис. 1.1, 1.2).

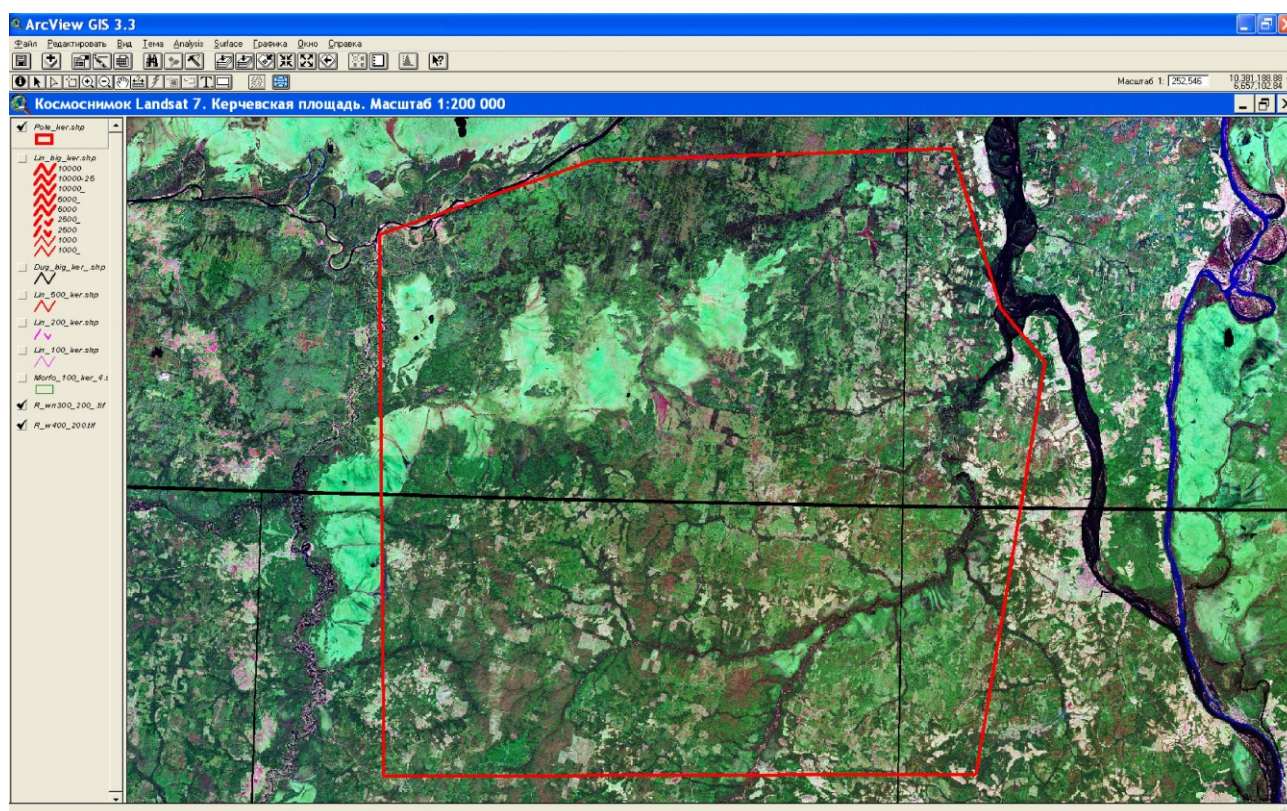


Рис. 1.1. Космоснимок Landsat 7 (Керчевская площадь)



Рис. 1.2. Космоснимок Landsat 7. Верхнеашапская ландшафтная аномалия

Космические снимки характеризуются высокой геологической информативностью; достаточно контрастные с отчётливо проработанными деталями фотоизображения и цветных полутонов. Отчётливо дешифрируются прямолинейные линеаменты, хорошо выделяются площадные цветотональные и разнотекстурные участки ландшафтов, разграниченные линеаменами.

С помощью КС производится основной объем комплексного дешифрирования на региональном и зональном уровнях. На отдельные участки для решения специальных задач существуют космические снимки SPOT-5 высокого разрешения 2 м и высокого качества, позволяющие четко выделять объекты, соответствующие масштабу 1:10 000. С их помощью производится дешифрирование для выполнения исследований детального уровня. Кроме этого, в работах могут быть использованы материалы мелкомасштабной радарной топографической космосъемки Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM).

#### **1.4. Компьютерное космогеологическое (структурно-геологическое) дешифрирование**

При проведении АКГИ в настоящее время осуществляется компьютерное космогеологическое дешифрирование по разработанной методике (Копылов, 2004 ф; 2006 ф; Копылов, Хурсик, 2010 ф) [13–19, 22, 26]. Данная методика дешифрирования заключается в выявлении исходя из характера фотоизображения различно ориентированных линеаментов, картировании неотектонических бло-

[illegible]

В последние годы проекты реализуются на платформе ESRI Arc GIS 10.\* (расширения Arc GIS Spatial Analyst, Arc GIS Geostatistical Analyst, Arc GIS 3D Analyst).

Дешифрование проводится в следующей стадийной последовательности:

- 16

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

Для количественного анализа оценки геодинамической активности выполняется построение поля плотности тектонических линеаментов (определенных рангов). Задача выполняется в программном обеспечении ArcGIS ArcMap через модуль Spatial Analyst, инструмент Line Density (рис. 1.4).

Рассчитывается плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного растра. Плотность вычисляется в единицах длины на единицу площади. 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 с учетом баллов статистического распределения по их интенсивности: 1-й балл  $< (\bar{x}-s)$ ; 2-й балл  $(\bar{x}-s) - \bar{x}$ ; 3-й балл  $\bar{x} - (\bar{x}+s)$ ; 4-й балл  $(\bar{x}+s) - (\bar{x}+2s)$ ; 5-й балл  $(\bar{x}+2s) - (\bar{x}+3s)$ ; 6-й балл  $> (\bar{x}+3s)$ . Вполне уверенно предполагается, что они отражают соответственно различную степень геодинамической активности (от условно стабильной до условно очень высокоактивной) [27].

В методических целях выполняется дешифрирование на эталонных участках известных структур, в т.ч. – нефтегазовых месторождений (рис. 1.5).

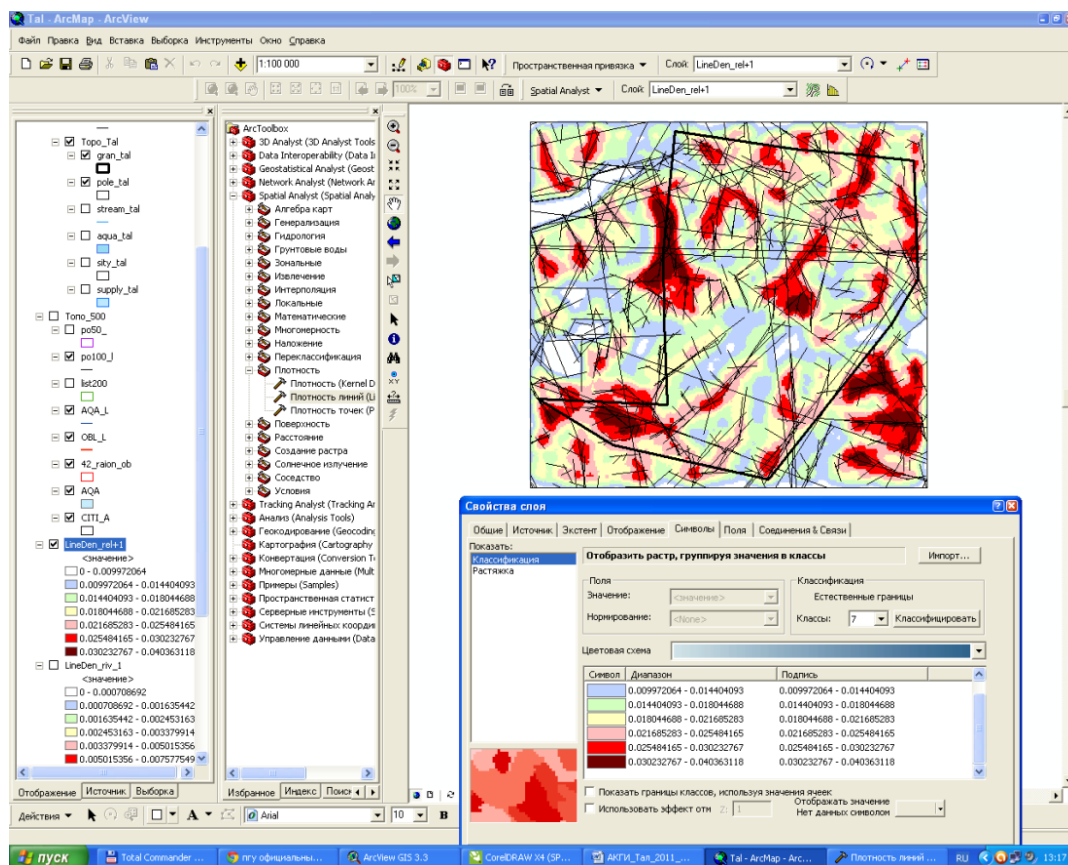


Рис. 1.4. Рабочее окно программы по проведению морфонеотектонического анализа (ArcGIS Spatial Analyst)

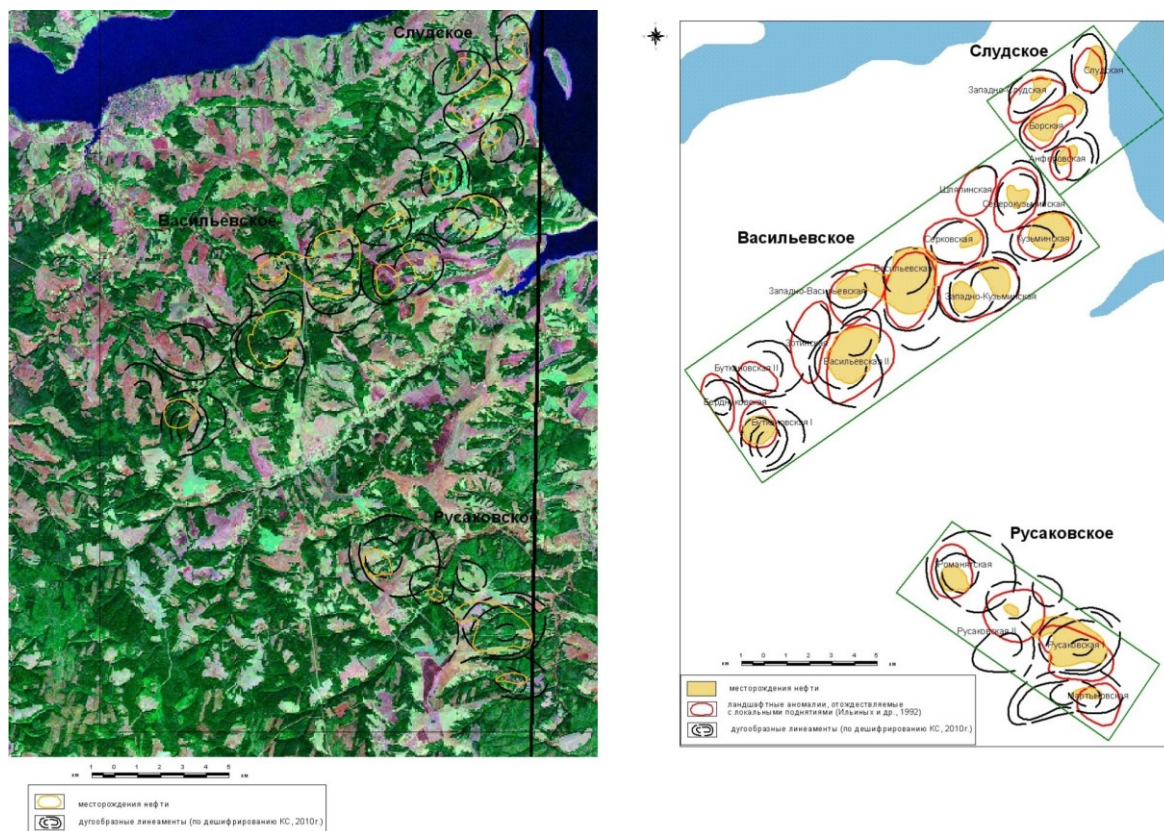


Рис. 1.5. Пример дешифрирования ландшафтных аномалий на эталонных месторождениях нефти

Установлено, что все они достаточно уверенно отражены на космоснимках кольцевыми линеаментами и закартированы ландшафтными аномалиями (как правило, с небольшими смещениями в плане или большего размера). Лишь менее 5 % известных структур в виду плохого качества отдельных участков фотоснимков не отражены на космоснимках. По неотектоническим (геодинамическим) показателям нефтегазоносные структуры в отдельных ландшафтно-тектонических районах, как правило, характеризуются специфическим набором показателей повышенной геодинамической активности [14, 19, 22].

## 1.5. Основные виды анализов данных АКГИ и результирующих карт

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

Основные виды анализов:

– **ландшафтно-геодинамический анализ** представляет собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов), проводимый в соответствии с принципами геоиндикационного и ландшафтно-индикационного дешифрирования с целью выделения локальных объектов перспективных на различные полезные ископаемые (нефть и газ, золото, алмазы и др.) – ландшафтных аномалий (кольцевых структур) и установление их закономерностей [13, 14, 19, 29];

– **линеamentно-блоковый анализ** в соответствии с принципами линеamentной тектоники [4] с целью составления карты неотектонических блоковых структур. Оценка степени активности неотектонических блоковых структур производится с учетом интенсивности неотектонических движений и энергии рельефа [15];

– **морфонеотектонический (морфоструктурный) анализ** по методике автора способом равнозначных градаций комплекса неотектонических показателей с целью составления карты интегральной неотектонической (геодинамической) активности [20]. Необходимо отметить, что в морфоструктурном анализе (часть структурно-геоморфологических исследований) и морфонеотектоническом анализе применяются во многом однотипные методы и технологии, но цели у них разные: в первом случае – для изучения и картирования тектонических структур, во втором – для изучения неотектонической (геодинамической активности) территорий [8-12, 23, 27];

– **линеamentно-геодинамический анализ** представляет собой комплексный метод (геологических, геоморфологических, дистанционных и других методов) картирования полей тектонической трещиноватости и геодинамической активности с целью районирования геодинамической активности по критериям плотности тектонической трещиноватости (линеamentов) и составления карты геодинамических активных зон. Анализ по методике автора (Копылов, 2011, 2014) [21, 28] заключается в получении исходной модели линеamentного поля путем дешифрирования МАКС, далее – в аппроксимации расчетных данных, ранжировании территории по степени геодинамической активности, построении ее картографических моделей разного уровня детальности [12, 16, 17, 22, 27, 32];

– **региональный аэрокосмогеологический анализ** – комплексный пространственный анализ полученных результатов АКГИ на основе материалов геолого-геофизических, геохимических, гидрогеологических и других исследований с целью установления их возможных связей, пространственных и статистических закономерностей, уточнения геологического строения, прогноза полезных ископаемых и их геологической безопасности условий разработки [29-34, 37, 38, 43, 44, 48–50].

По результатам АКГИ составляются основные результирующие карты с разработкой их легенд в масштабах, соответствующих задачам исследований:

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

Все перечисленные карты составляются в цифровом формате в Arc View GIS и находятся на электронных носителях (рис. 1.6).

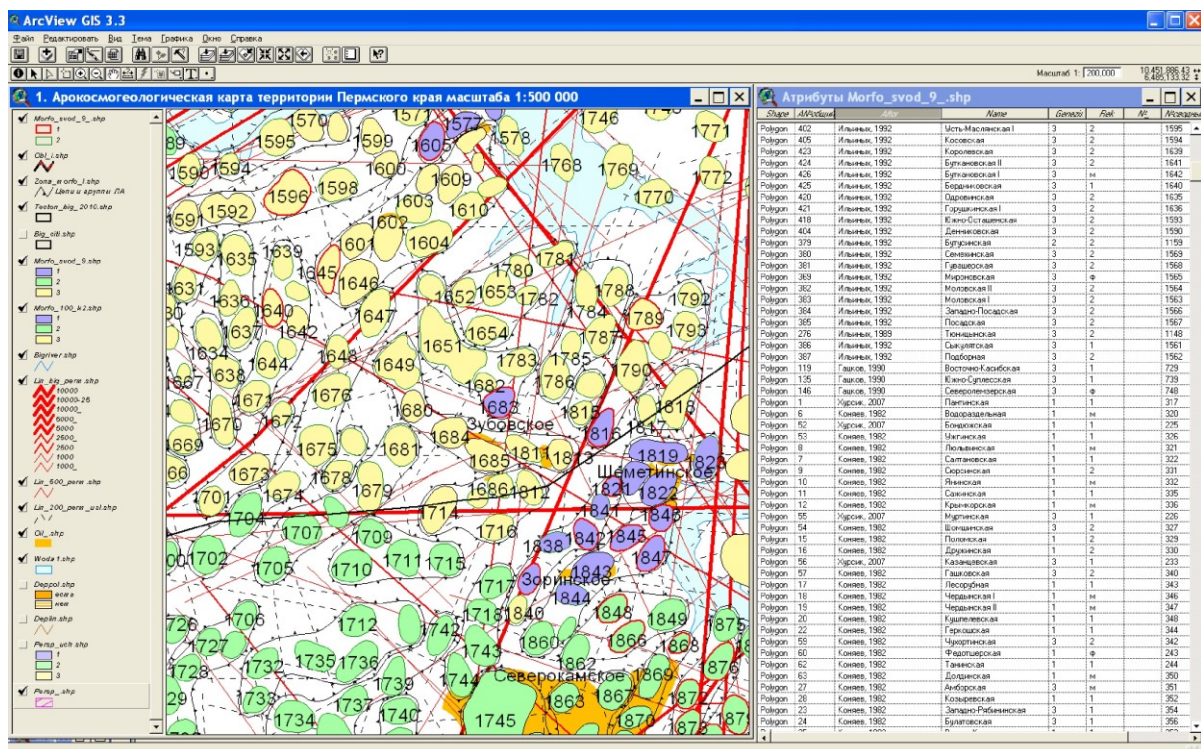


Рис. 1.6. Фрагмент аэрокосмогеологической ГИС-карты Пермского края и атрибутивной таблицы БД с перспективными участками на поиски нефти и газа

## **2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Порядок проведения регионального аэрокосмогеологического анализа регламентирует выполнение практического задания по 5-й контрольной точке (УМК 54582).

Цель работы – применение на практике теоретических знаний по дисциплине «Аэрокосмические методы в геологии».

### **2.1. Последовательность работы**

1. Выбрать район исследований, где располагаются изучаемые месторождения. Изучить тополисты М. 1:1 000 000, 1:200 000 (<https://satmaps.info/genshtab.php>). Согласовать район с преподавателем.

2. Провести геологический анализ (анализ карт – геологической, тектонической, полезных ископаемых и др.) и анализ природно-техногенных условий. Рекомендуются использовать современные карты геологического содержания (информационные ресурсы ВСЕГЕИ) <http://vsegei.com/ru/info/>

3. Подобрать цифровые космоснимки (из Google Earth или др. ресурсов), сделать географическую привязку.

4. Провести компьютерное (в ГИС-технологиях ArcGIS или Arc View GIS) геологическое дешифрирование, выделить основные линейные и кольцевые структуры (2 уровня детальности: региональное дешифрирование масштаба 1:1 000 000-1:500 000 с охватом тополистов и зональное – масштаба 1:200 000-1:100 000 и крупнее по участку месторождения).

5. Провести комплексный аэрокосмогеологический анализ (с целью уточнения геологического строения; выделить перспективные по прогнозам полезных ископаемых объекты или зоны; определить опасные геодинамические зоны на объектах).

6. Составить краткий отчет в виде статьи в электронном виде (5–8 с.).

7. Составить презентацию доклада (12–15 слайдов).

### **2.2. Основные требования к составлению отчета в виде научной статьи и презентации**

Электронный вариант текста статьи должен быть набран в текстовом редакторе Word (шрифт – Times New Roman, размер – 14) с одинарным межстрочным интервалом; формат бумаги А4; все поля по 2 см; отступ абзаца 1,25 см, выравнивание по ширине.

Рисунки (должны быть четкими с разрешением не менее 300 dpi) с подписями внизу по центру должны быть представлены в электронном виде и сгруппированы. Располагаются в тексте после ссылки на рисунок.

Таблицы (с подписями сверху, по центру) должны быть представлены на листе формата А4, по ширине текста, вертикально. Располагаются в тексте после ссылки на таблицу.

Файлы именуются по фамилии первого автора (например: Ivanov.doc). Название статьи, фамилии авторов, аннотация (3–5 предложений), ключевые слова (3–5 слов), указываются на русском и английском языках. Объем 5–8 с.

#### **Порядок оформления:**

- 1) УДК (вверху слева);
- 2) инициалы, фамилия автора (авторов), e-mail, полное название организации, город, страна (справа);
- 3) название статьи (полужирный – по центру);
- 4) аннотация и ключевые слова (курсив);
- 5) инициалы, фамилия автора (авторов), организация – на английском языке (курсив по центру);
- 6) название статьи на английском языке (полужирный по центру);
- 7) аннотация и ключевые слова на английском языке (курсив);
- 8) текст с иллюстрациями;
- 9) библиографический список (курсив) (5–10 наименований). Ссылки на источник в тексте цифровые, в квадратных скобках по алфавиту [1–2]). Ссылки указывать по ГОСТу, но по правилам РИНЦ (по последним данным <http://elibrary.ru>).

#### **Содержание статьи включает в себя:**

- введение (актуальность, описание проблемы);
- геологическую изученность;
- физико-географические и геологические условия;
- методику исследований;
- результаты исследований (дешифрирование космоснимков): выделение – линеаментов разных рангов (30–50 и более), кольцевых структур (20–30);
- пространственный анализ, сопоставление линеаментов и кольцевых структур с геологическими структурами и месторождениями;
- заключение;
- библиографический список.

#### **Содержание презентации включает в себя:**

- титульный лист;
- слайды: порядок аналогичный содержанию статьи. Иллюстрации сопровождаются кратким текстом или пояснением.

### 3. ТИПОВЫЕ СТАТЬИ ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ, ПОДГОТОВЛЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ

УДК 550.814

**Г.В. Курнаков**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

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

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 164–168

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

*Ключевые слова: геодинамические активные зоны, дешифрирование, линеamentы.*

**G.V. Kurnakov**

Perm State University, Perm, Russia

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

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

*Keywords: geodynamic active areas, decoding, lineaments.*

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

Объектом исследований является лист Госгеолкарты-200 Q-60-XVII, XVIII. Площадь листа расположена в Амгуэмской зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), а также в Искатеньской подзоне Чаун-

Чукотской зоны Чукотской складчатой системы и относится к Иультинскому и Анадырскому районам Чукотского автономного округа Российской Федерации.

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

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

### **Методика исследований**

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

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

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

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

Оценка перспективности территории производится с помощью комплексирования данных линеаментно-геодинамического анализа с данными гравиразведки (рис. 3), шлихогеохимического опробования (рис. 4) и данных геохимического опробования по вторичным ореолам (рис. 5).

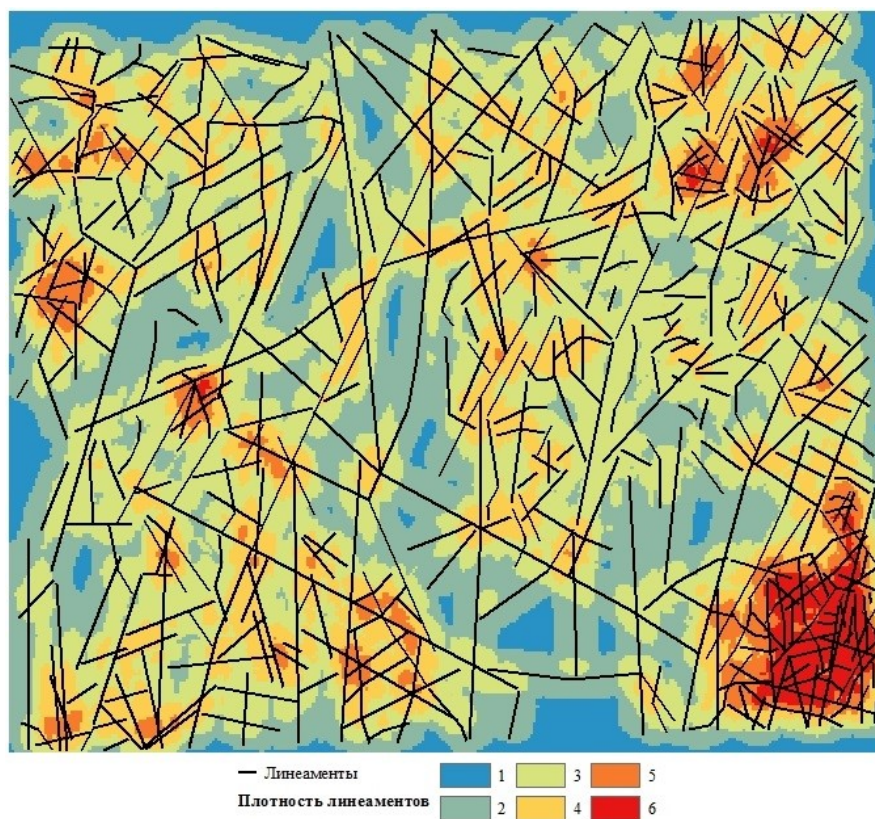


Рис. 1. Выделенные линеаменты и поле их плотности

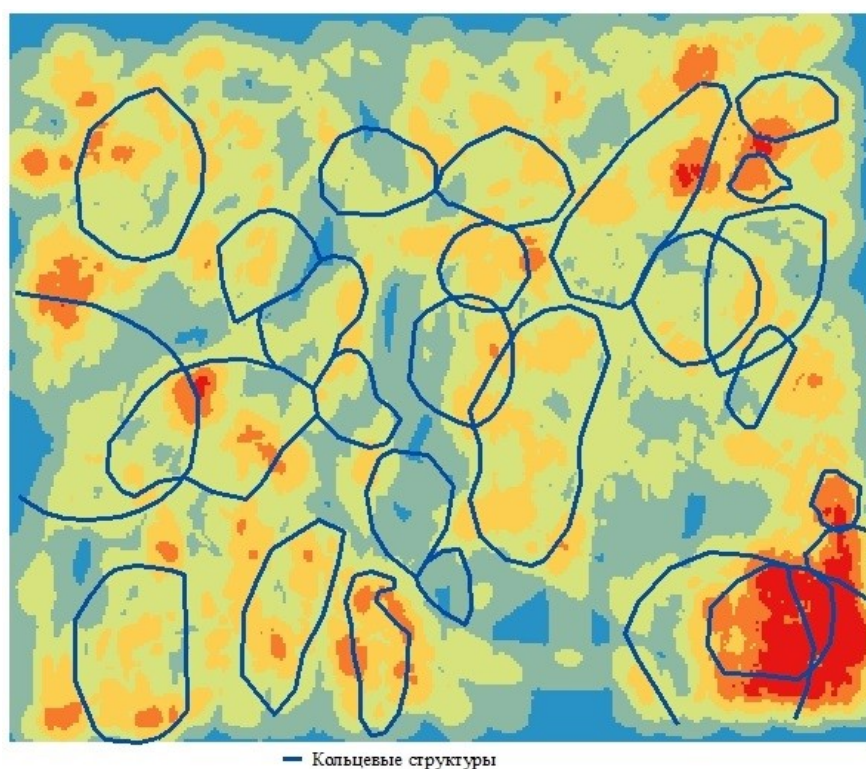


Рис. 2. Кольцевые структуры

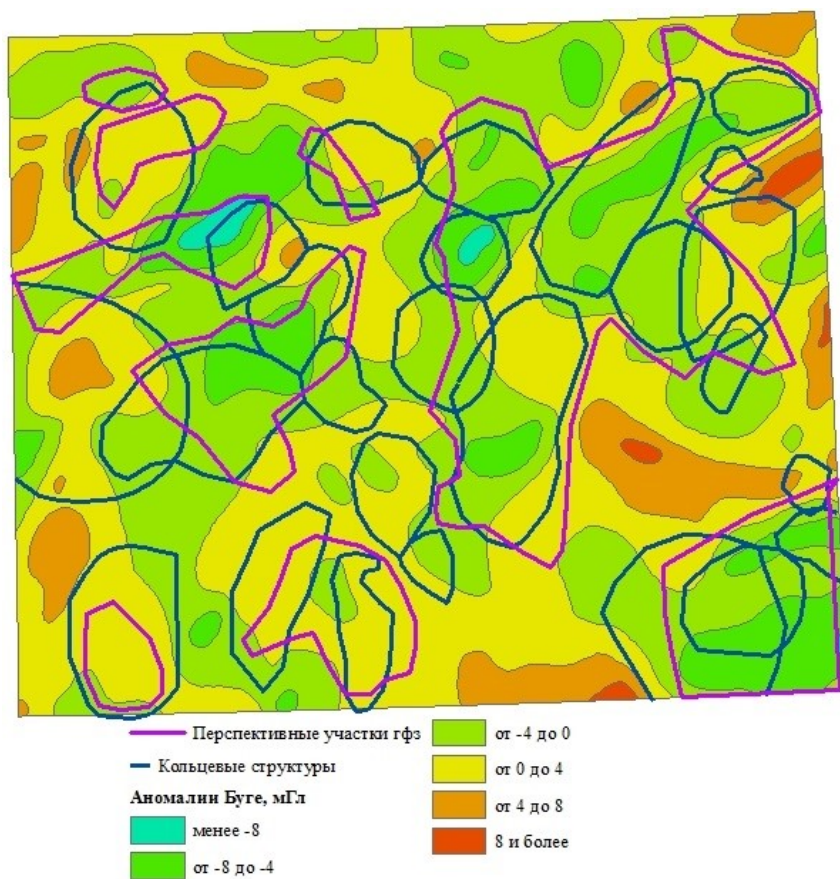


Рис. 3. Сопоставление ГАЗ с данными гравirazведки

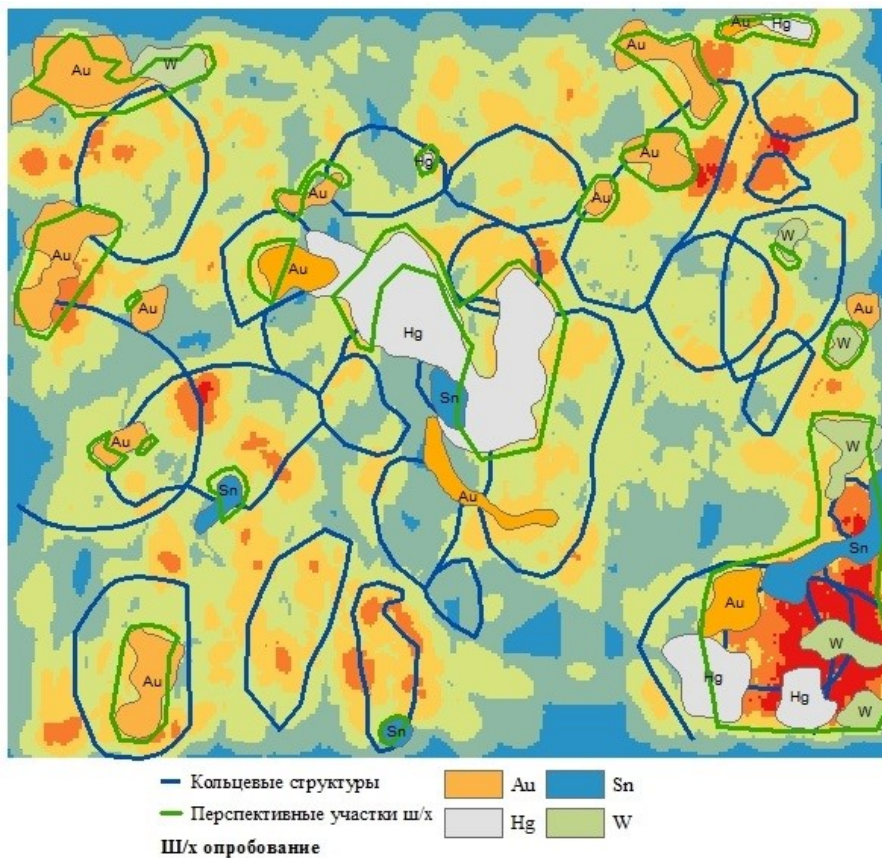


Рис. 4. Сопоставление ГАЗ с данными шлихогеохимического опробования

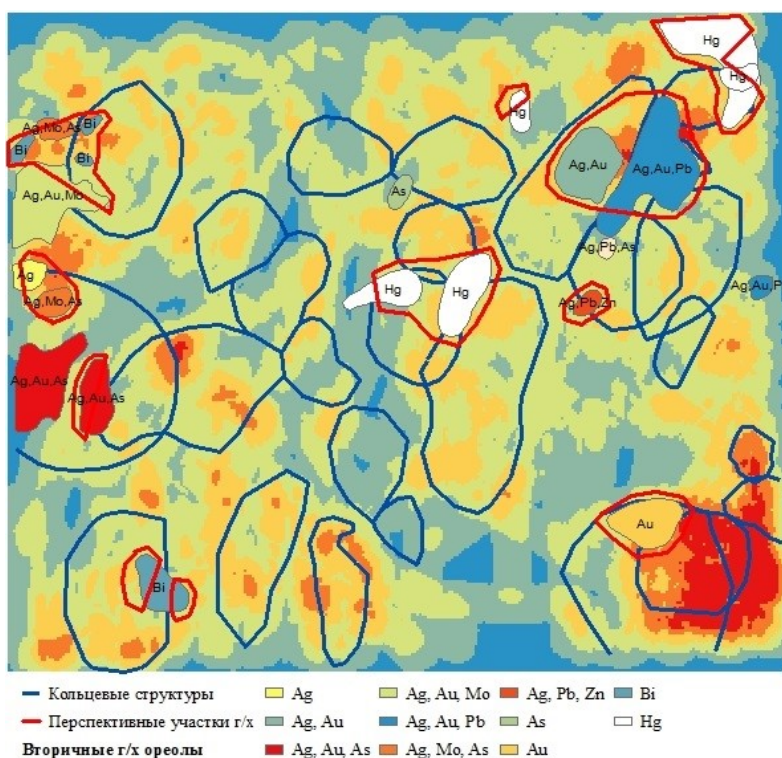


Рис. 5. Сопоставление ГАЗ с геохимическими поисками по вторичным ореолам

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

### **Библиографический список**

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

### **Источник**

Курнаков Г.В. Комплексный геолого-геофизический и аэрокосмогеологический анализ листа Q-60-XVII, XVIII госгеолкарты-200 // *Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст.* / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 164–168.

## **АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЙОНА КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАДДЕЛЕИТ-АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД**

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей* / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. С. 176–184

*В статье рассмотрены геологические условия в районе Ковдорского месторождения комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд. Проведено изучение геологических условий района аэрокосмическими методами. Проведено дешифрирование космических снимков. Выявлено 118 неотектонических линеаментов, 20 кольцевых и дугообразных структур. Выделено 5 перспективных зон на поиски бадделеит-апатит-магнетитовых руд.*

*Ключевые слова: комплексная бадделеит-апатит-магнетитовая руда, аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаменты, кольцевые структуры, Ковдор, Мурманская область.*

**A.S. Kurdyumova, K.V. Fedoseev**

Perm State University, Perm, Russia

## **AEROSPACE AND GEOLOGICAL ANALYSIS OF THE KOVDOR DEPOSIT AREA OF BADDELEYITE-APATITE-MAGNETITE ORES**

*The article considers the geological conditions in the area of the Kovdorsky Deposit of complex baddeleyite-Apatite-magnetite ores. The geological conditions of the area were studied using aerospace methods. Carried out interpretation of satellite images. 118 neotectonic lineaments, 20 ring and arc-shaped structures were identified. There are 5 promising zones for searching for baddeleyite-Apatite-magnetite ores.*

*Keywords: complex baddeleyite-Apatite-magnetite ore, aerospace methods, decoding, lineaments, ring structures, Kovdor, Murmansk region.*

### **Введение**

Аэрокосмические методы давно используются при поисках полезных ископаемых, выявляя косвенные признаки их месторождений. На данный момент при геологическом картировании широко применяются дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) в комплексе с другими методами и дают положительные результаты

Актуальны эти методы и при повторном изучении известных горнорудных районов, так как они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубокозалегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. При поисках полезных ископаемых одним из основных объектов дешифрирования являются линеаменты и линеаментные зоны. Также важным объектом современных прогнозно-минерагенических исследований являются кольцевые структуры. Ко многим из них приурочены различные виды полезных ископаемых.

Большое значение имеют протяженные сквозные системы дислокаций. Эти сквозные системы часто бывают рудоконцентрирующими и способствуют концентрации оруденения, главным образом, в узлах пересечения меридиональных и широтных сквозных систем. В них расположены крупные месторождения руд. Такие узлы нередко сопровождаются кольцевыми разломами. Выявление связи рудного объекта с определенными линеаментами и линеаментными зонами позволяет расширить площади поиска в пределах всей этой зоны. Обнаружение конкретного рудного объекта в его пределах не дает повода для суждения о рудной специализации всего линеамента или линеаментной зоны, так как один и тот же линеамент по всей своей длине обычно имеет различную глубину заложения и пересекает разные структурные зоны поэтому взаимодействие с геологической средой разные на протяжении всего линеамента [1].

Ковдорский рудный узел, рассматриваемый в данной работе, является перспективной территорией для поиска комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд (БАМР) и входит в Ковдорско-Ловозерскую минерагеническую зону.

Целью работы является аэрокосмогеологический анализ территории Ковдорского района и прогноз перспективных зон бадделеит-апатит-магнетитовых руд. Поставлены следующие задачи: анализ геологических материалов территории; полевые исследования; дешифрирование космических снимков и выделение линеаментов, кольцевых и дуговых структур; комплексный анализ территории и выделение перспективных зон.

Полевое обследование Ковдорского района с изучением бадделеит-апатит-магнетитовых руд проведено авторами в 2019 году.

### Природные и геологические условия

Ковдорский район расположен на Кольском полуострове, в 30 км от границы с Финляндией (67°33' с.ш., 30°31' в.д.), в бассейне р. Ковдоры (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема района исследований на физической карте Кольского полуострова [2]

Рельеф района слаборасчленённый, низкогорный (рис. 2). Долины ручьёв и рек сменяются высотами с пологими склонами. В районе Ковдорского массива картину рельефа можно охарактеризовать как депрессию, совмещённую с выходом на поверхность щелочных пород массива, окружённую кольцом плоских возвышенностей (Мого-вид на севере и северо-востоке, Уци-вид и Воцу-вара на западе, Низка-вара на юге и Пилькома-сельга на юго-западе), приходящихся на контактовые зоны массива.



Рис. 2. Рельеф Ковдорского района (фото автора)

Территория характеризуется достаточно густой и хорошо развитой речной сетью, принадлежащей бассейну Белого моря. Главными реками района являются р. Ена и её левые притоки реки Ковдора и Лейпи. Реки имеют горный или полугорный характер. На территории Ковдорского района имеется около 100 озёр. Более половины их приурочено к долине р. Ены и низовьям её главных притоков.

Климат Ковдорского района типичен для большей части Кольского полуострова. Зима продолжительная, снежная, со среднемесячной температурой в феврале  $-14,2^{\circ}\text{C}$ , лето длится 2–2,5 месяца (средняя температура июля  $+13,6^{\circ}\text{C}$ ), иногда сухое и жаркое, но нередко и дождливое. Холмы и горы покрыты смешанным лесом (ель, сосна, берёза), заболоченные территории зарослями берёзы и ивы [6].

Ковдорский массив ультраосновных щелочных пород расположен на северо-восточном крыле Енско-Лоухского синклинория, сложенного биотитовыми гнейсами и гнейсо-гранитами беломорской серии архея (рис. 3). Массив представляет собой многофазный интрузив центрального типа площадью  $40\text{ км}^2$  с концентрически-зональным строением. Концентрация рудных полезных ископаемых в Ковдорском районе приурочена к массиву ультраосновных и основных пород и к активизируемым участкам платформы.



Рис. 3. Тектоническая схема Кольского полуострова [9]

Тектонические структуры: I – Мурманский блок; II – Кольский мегасинклиний – 1 – Кольско-Кейвский синклиний, 2 – Центральнокольский антиклинорий, 3 – Печенгско-Варзугский синклиний; III – Беломорский мегантиклинорий – 4 – Тереке-Нотозерский антиклинорий, 5 – Сальнотундрово-Колвицкий синклиний, 6 – Кандалакшский антиклинорий, 7 – Енско-Лоухский синклиний.

В структурно-тектоническом отношении Ковдорский массив приурочен к пересечению двух систем глубинных «сквозьструктурных» разломов. Наиболее крупный и протяженный глубинный разлом ориентирован в северо-западном направлении. Он проходит южнее главного тела Ковдорского массива. Вторым региональным разломом является разлом северо-восточного простираия.

Ковдорский массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов представляет собой многофазную интрузию центрального типа, прорвавшую биотитовые, амфибол-биотитовые гнейсы и гранито-гнейсы Беломорской серии пород верхнеархейского возраста ( $AR_2$ ) Балтийского щита. Абсолютный возраст пород массива, определенный аргоновым и гелиевым методами, составляет 338–426 млн. лет. Гнейсы в районе массива образуют крупную моноклиналичную структуру с общим падением на северо-восток, осложненную в юго-восточной части района складчатостью более мелкого порядка. Площадь выхода массива на поверхность – 40,5 км<sup>2</sup>. Массив окружен ореолом фенитизации во вмещающих гнейсах. В плане массив образует овальное тело размером 6–8 км в поперечнике.

Гипербазиты, залегающие в ядре массива, представлены оливинитами с небольшим содержанием титаномагнетита. Среди более поздних по возрасту пироксенитов известны как интрузивные разновидности (южный фланг массива), так и слюдяно-пироксеновые породы, возникшие при метасоматической переработке оливинитов, сопровождавшей формирование щелочной (ийолитовой) интрузии. Формирование турьяитов также сопровождалось метасоматической переработкой гипербазитов, что привело к появлению мелилит-оливиновых, мелилит-пироксеновых пород, мелилититов и монтичеллитизированных оливинитов. Формирование турьяитов завершилось появлением скарноподобных образований, состоящих из андрадита, монтичеллита, флогопита,

амфибола, диопсида, волластонита, везувиана, кальцита. При внедрении щелочной магмы вмещающие породы экзоконтакта были превращены в пироксен-полевошпатовые сиенитоподобные породы (фениты), иногда с реликтовым кварцем, местами с нефелином.

Карбонатитовый этап начался с возникновения по фенитам и ийолитам метасоматических эгирин-флогопит-кальцитовых карбонатитов со сфеном, приуроченных к контактам южной части массива. В следующую стадию карбонатитового этапа, весьма длительную по времени, сформировался сложный комплекс пород с устойчивым минеральным парагенезисом: форстерит (оливин) + диопсид + зеленый флогопит + магнетит + апатит + кальцит + бадделейт. На юго-западе массива в эту стадию образовалось апатит-магнетитовое месторождение, а в северной половине у массива – флогопитовое месторождение. Чуть позже возникли форстерит-кальцитовые карбонатиты, слагающие крупные тела в фенитах вблизи апатит-магнетитового штока, а также протяженные дугообразные жилы с резкими секущими контактами в северной половине массива, падающие к его центру. Карбонатитовый этап завершился появлением доломитовых жил и зон доломитизации, локализованных преимущественно внутри и вблизи апатит-магнетитового штока [10].

Неотектонические условия рассматриваемого района изучены недостаточно, в основном на региональном уровне. В конце XX – начале XXI вв. на территорию Кольского полуострова было составлено несколько карт и схем неотектонического районирования (Бабак В.И. и др., 1980; Кудлаева А.Л., 1983; Николаев Н.И., 1988; Введенская А.Я., Дертев А.К., 2007 и др.). В 2018 г. И.С. Копыловым и М.М. Санкло составлена линеаментно-геодинамическая карта масштаба 1:500 000 Кольского полуострова [11].

### **Методика и результаты исследований**

Основными направлениями геологических исследований при прогнозно-поисковых работах на рудные полезные ископаемые с помощью аэрокосмогеологических методов являются: линеаментный анализ (изучение распределения и характера протяженности линеаментов разных рангов при изучении и уточнении геологических границ геологических структур, тектоники); анализ кольцевых и дугообразных структур, оценка геодинамической активности с помощью линеаментно-геодинамического анализа [3–8].

В качестве основного метода исследования Ковдорского района было выбрано структурное дешифрирование. Для обозначения линейных объектов, выделенных по снимкам закрытых территорий, обычно проводится линеаментный анализ, выделяются прямолинейные линеаменты, предположительно отождествляемые с тектоническими нарушениями осадочного чехла и фундамента. Все построения проводились в программе ArcMap.

Для исследования были взяты современные космические снимки (сервис Google Earth, 2019) в растровом виде (Landsat), дата залета 29.8.2016 (рис. 4).

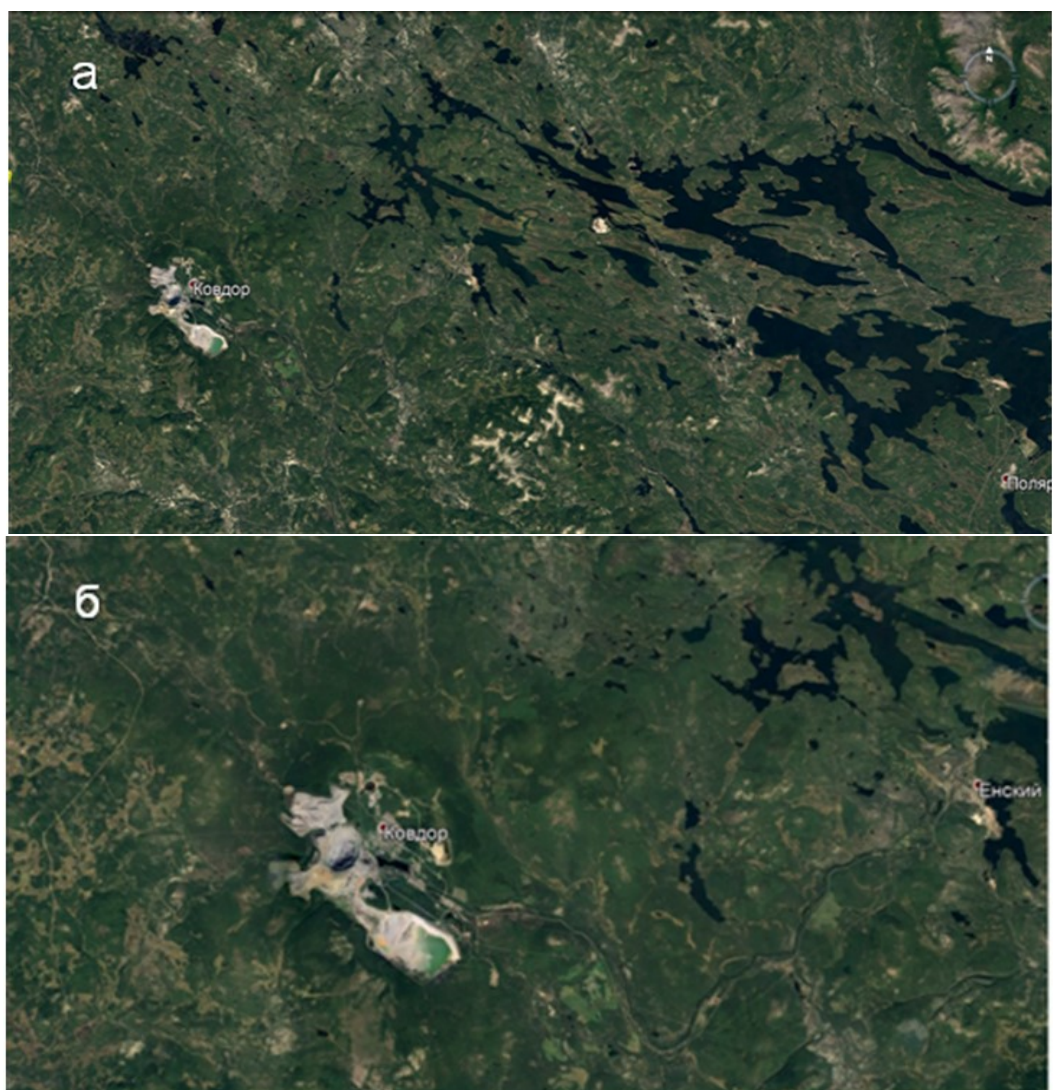


Рис. 4. Космоснимок Ковдорского района (Масштаб: а – 1:8000, б – 1:4000)

На первом этапе исследований проводилась пространственная координатная привязка космического снимка к топографической основе масштаба 1:2500000 (ВСЕГЕИ, <https://vsegei.ru/ru/info/topo>) и 1:1 000 000 в программе ArcMap (рис. 5)

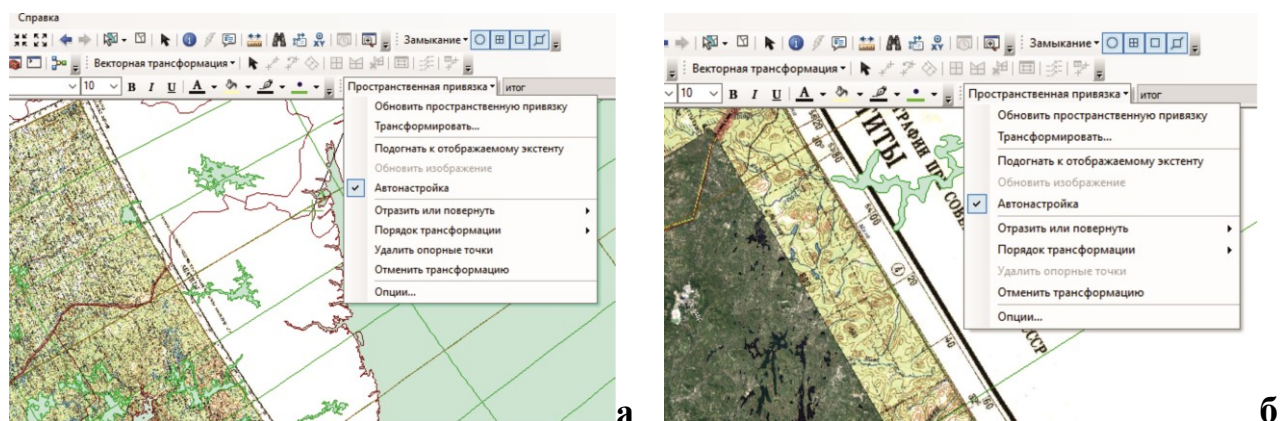


Рис. 5. Пространственная привязка: а – карты; б – космоснимка

При структурном дешифрировании на снимках выделялись линейные, кольцевые и дугообразные образования, соответствующие разным стадиям аэрокосмогеологических исследований (обзорная, региональная, зонально-региональная, детальная) (рис 6, табл. 1).

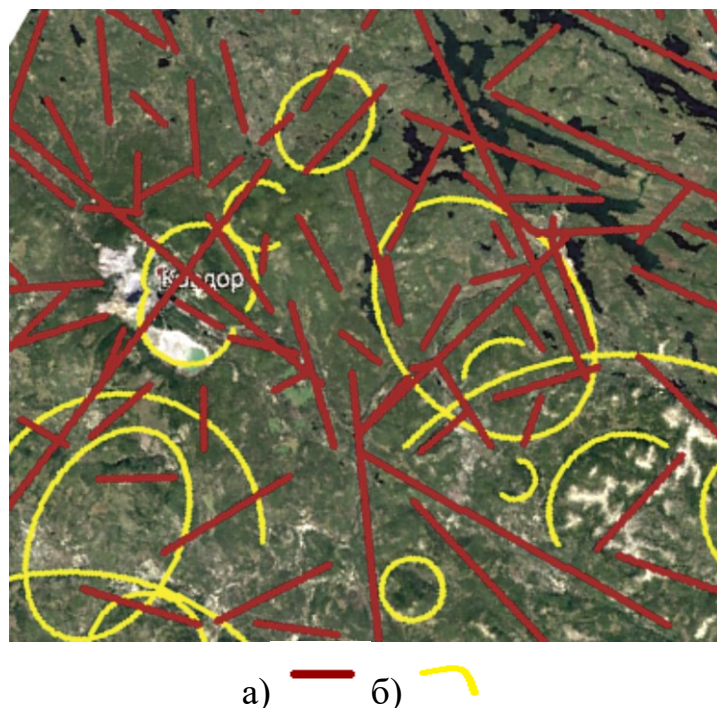


Рис. 6. Космоснимок с выделенными линеаментами (а), кольцевыми и дуговыми структурами (б) (Масштаб 1:4000)

Таблица 1

#### Результаты дешифрирования космоснимков Ковдорского района

Ранги линеаментов	Протяженность линеаментов, км	Количество линеаментов	Кольцевые и дугообразные структуры
Региональные	50–100	2	–
Зональные	15–50	15	15x20
Локальные	5–15	70	5x8–10x15
Короткие	1,5–5	31	–
Итого		118	20

Обработка данных, построение карт осуществлялись с использованием программы ArcMap и инструмента ArcToolbox модуль Spatial Analyst (расчёт плотности линеаментов) (рис. 7).

Проведен пространственный аэрокосмогеологический анализ района Ковдорского месторождения по сопоставлению геологических условий (геологическая карта) и результатов структурно-тектонического дешифрирования (неотектонические линеаменты, кольцевые и дуговые структуры, участки повышенной плотности линеаментов, узлы пересечения линеаментов).



Рис. 7. Поле плотности линеаментов (масштаб 1:10 000)

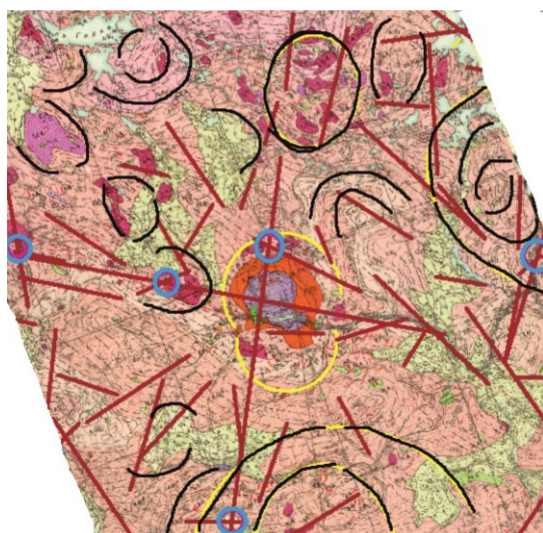
Выделено 5 участков с близкими геологическими и структурными условиями. На этих участках отмечается концентрация узлов пересечения меридиональных и широтных сквозных тектонических систем, которые контролируются кольцевыми структурами. На месте узлов выявлен выход на поверхность ультраосновных и основных пород архейского возраста с рудопроявлениями. Поэтому предполагается на этих участках выделение перспективных зон формирования комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд (рис. 8).

### **Заключение**

При изучении Ковдорского рудного узла применялись аэрокосмические методы для изучения геолого-геоморфологических, неотектонических и структурно-тектонических условий формирования БАМР. Основное внимание при проведении дешифрирования КС уделялось разломам и локальным структурам.

Сопоставление результатов дешифрирования с геологическими данными, полученных в результате анализа и полевых исследований в пределах Ковдорского месторождения, позволяет выделить 5 перспективных зон поисков комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд.

Полученные результаты по изучению Ковдорского рудного узла свидетельствуют о хороших перспективах поиска рудных полезных ископаемых с применением аэрокосмических методов.



Перспективные зоны формирования комплексных бадделейт-апатит-магнетитовых руд

Рис. 8. Сопоставление линеаментов и кольцевых структур с геологическими условиями и выделение перспективных зон БАМР (Масштаб 1:15 000)

### Библиографический список

1. Ануфриев А.М. *Аэрокосмометоды в геологии*. Казань: КазГУ, 2007. 82 с.
2. Дуров А.Г. *Атлас Мурманской области*. Издательство: ГУГК, 1971. 44 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. *Геодинамические активные зоны Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и их влияние на инженерно-геологические условия* // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 5.
5. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов* / автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
6. Копылов И.С. *Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований* // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2012. № 6. С. 341–351.
7. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах* // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
8. Корчуганова Н.И. *Аэрокосмические методы в геологии*. М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.
9. Раковская Э.М., Давыдова М.И. *Физическая география России*: М: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. 288 с.
10. Римская-Корсакова О.М., Краснова Н.И. *Геология месторождений Ковдорского массива* / под ред. Г.Ф. Анастасенко: Изд-во: С.-Петербургского ун-та, 2002. 143 с.
11. Санкло М.М., Копылов И.С. *Влияние неотектоники на инженерно-геологические и гидрогеологические условия вод в пределах восточной части Балтийского щита* // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию профессора И. А. Печеркина* / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 219–231.

### Источник

Курдюмова А.С., Федосеев К.В. *Аэрокосмогеологический анализ района Ковдорского месторождения бадделейт-апатит-магнетитовых руд* // *Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. С. 176–184.*

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

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА Р. МАРАКАН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 112–122

*Проведено изучение территории долины р. Маракан с помощью аэрокосмических методов. Показана актуальность данных исследований и методика проведения работ. По результатам проведённых работ доказана эффективность данного метода при исследовании россыпных месторождений.*

*Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, р. Маракан, Бодайбинский район, россыпное золото.*

**D.Yu. Beltyukova, A.V. Rzyanina, D.G. Putin, D.G. Teal**  
Perm State University, Perm, Russia

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

*In this work the interpretation of the Marakan valley is carried out using the aerospace method. The relevance of these studies and the methodology of the work are shown. The effectiveness of this method in the investigation of alluvial deposits is proved.*

*Keywords: aerospace methods, interpretation, lineament analysis, Marakan River, Bodaibo District, placer gold.*

### **Введение**

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

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

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

## Природно-геологические условия

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

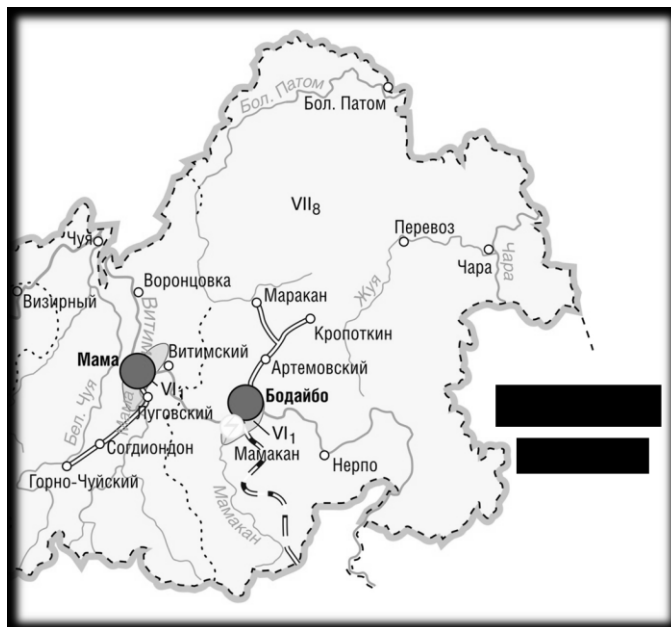


Рис. 1. Карта административного деления Иркутской области  
(Отдел геологии и лицензирования по Иркутской области, 2016 г.)

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

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

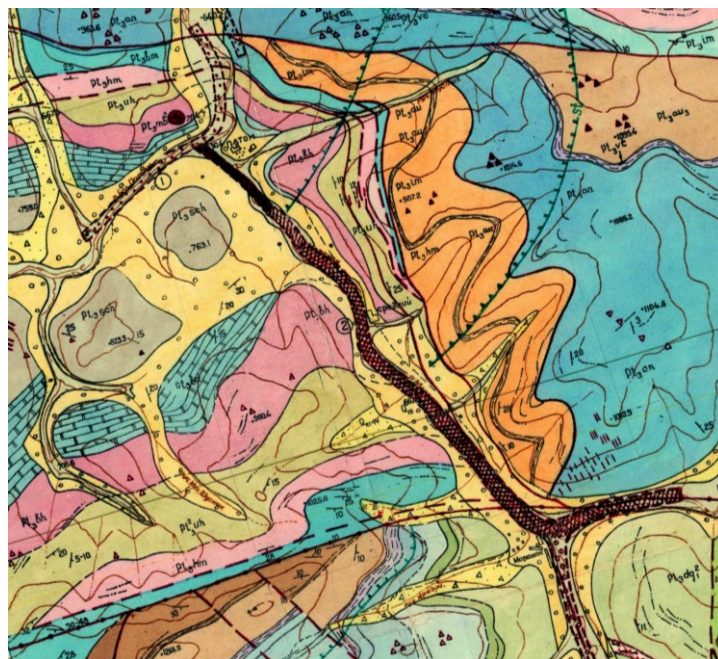


Рис. 2. Геологическая карта (масштаб 1: 100 000)



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

### Методика и результаты исследований

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

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

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

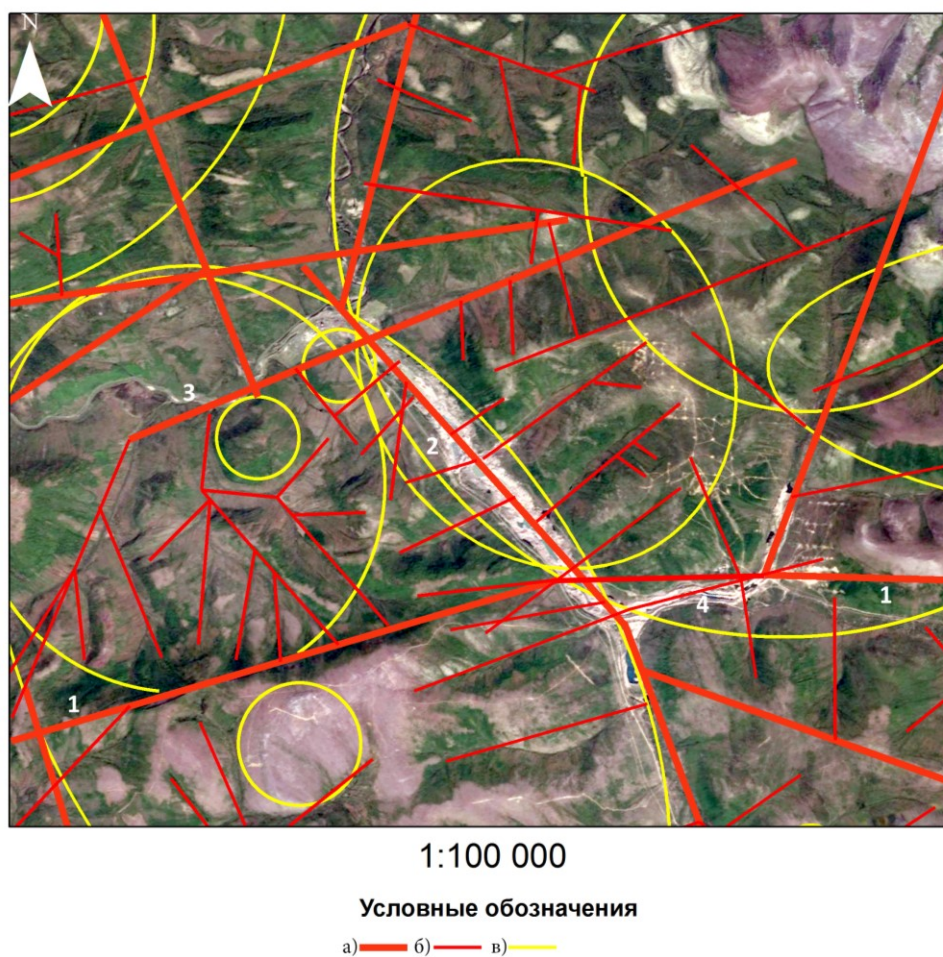


Рис. 4. Космоснимок исследуемой территории р. Маракан (масштаб 1:100 000)

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

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

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



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

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

Таблица

### Результаты дешифрирования космоснимков долины р. Маракан

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

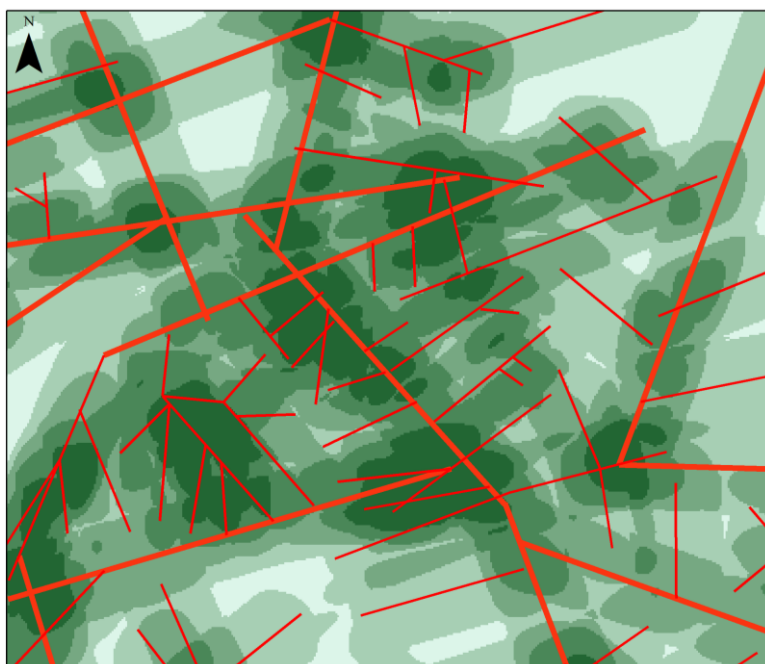


Рис. 6. Поле плотности линеаментов (масштаб 1: 100 000)

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

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

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

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

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

На космоснимке с визуально выделенными линеаменами (рис. 5, 6) явно выражена разнонаправленность тектонических движений, за счет чего создавались условия для разрушения и размыва коренных источников, консервации

древних россыпей, многократного переотложения материала, накопления материала в ловушках. По преобладанию рангов линеаментов можно судить, что данная россыпная группа месторождений находится в долине унаследованного развития. При поднятии территории россыпи занимали современные днища долин, при чередовании эпох врезания и аккумуляции – оказывались погребенными под современным днищем.

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

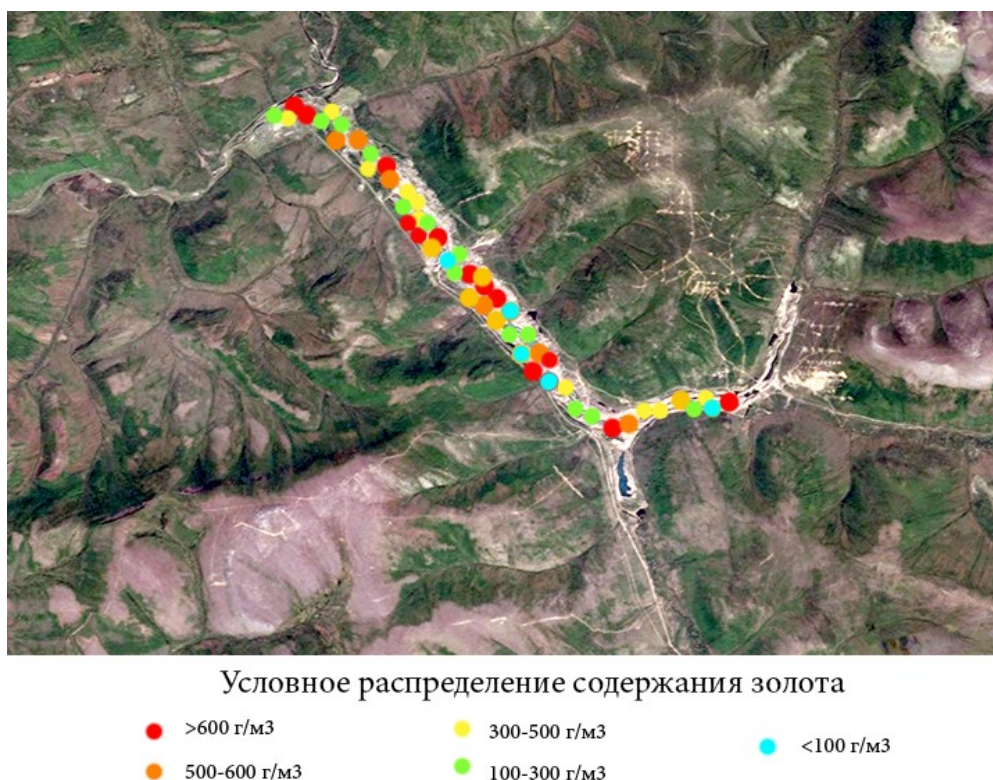


Рис. 7. Схема распределения среднего содержания золота

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



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

## Заключение

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

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

## Библиографический список

1. Будилин Ю.С. и др. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. М.: ЦНИГРИ, 1992.
2. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского // [www.vsegei.ru](http://www.vsegei.ru)

3. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
4. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Пермь, 2014. 48 с.
5. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2014. № 1 (22). С. 78–88.
6. Копылов И.С., Ликutow Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9–3. С. 602–606.
7. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 130 с.
8. Коробейников А.Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 2-е издание, исправленное и дополненное. 253 с.
9. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования. Учебник. Москва, 2009. 288 с.
10. Ликutow Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // *Вестник Тюменского государственного университета*. 2013. №4. С. 125–133.
11. Фёфелов М.В., Кириh Д.С. Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность*. Пермь, 2016. С. 243–248.

#### **Источник**

Бельтюкова Д.Ю., Рзянина А.В., Путин Д.Г., Чирков Д.Г. Изучение месторождения золота р. Маракан с применением аэрокосмических методов // *Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т*. Пермь, 2019. С. 112–122.

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

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 145–158

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

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

**I.S. Kopylov, D.I. Shklyayev, R.N. Trofimov**

Perm State University, Perm, Russia

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

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

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

### **Введение**

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

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

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

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

### **Аэрокосмическая изученность**

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

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

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

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

### **Геологические условия и золотоносность**

Рассматриваемый район (листы О-40-Х, ХVI) находится в пределах трех крупных структур – Предуральского краевого прогиба (ПКП), Западно-Уральской зоны складчатости (ЗУС) и Центрально-Уральского поднятия (ЦУП). ПКП представлен Уфимско-Соликамской мегавпадиной, которая включает Косвинско-Чусовскую седловину (КЧС), северную часть Сылвинской впадины (СЛВ)

и южную часть Соликамской впадины (СВ). ЗУС включает Кизеловско-Дружининскую структуру (КДС). ЦУП представлен Кваркушско-Каменногорским мегантиклинорием. Эти крупные структуры осложнены многочисленными структурами более мелких порядков, большим количеством разломов и других тектонических нарушений [8, 9, 17] (рис. 1).

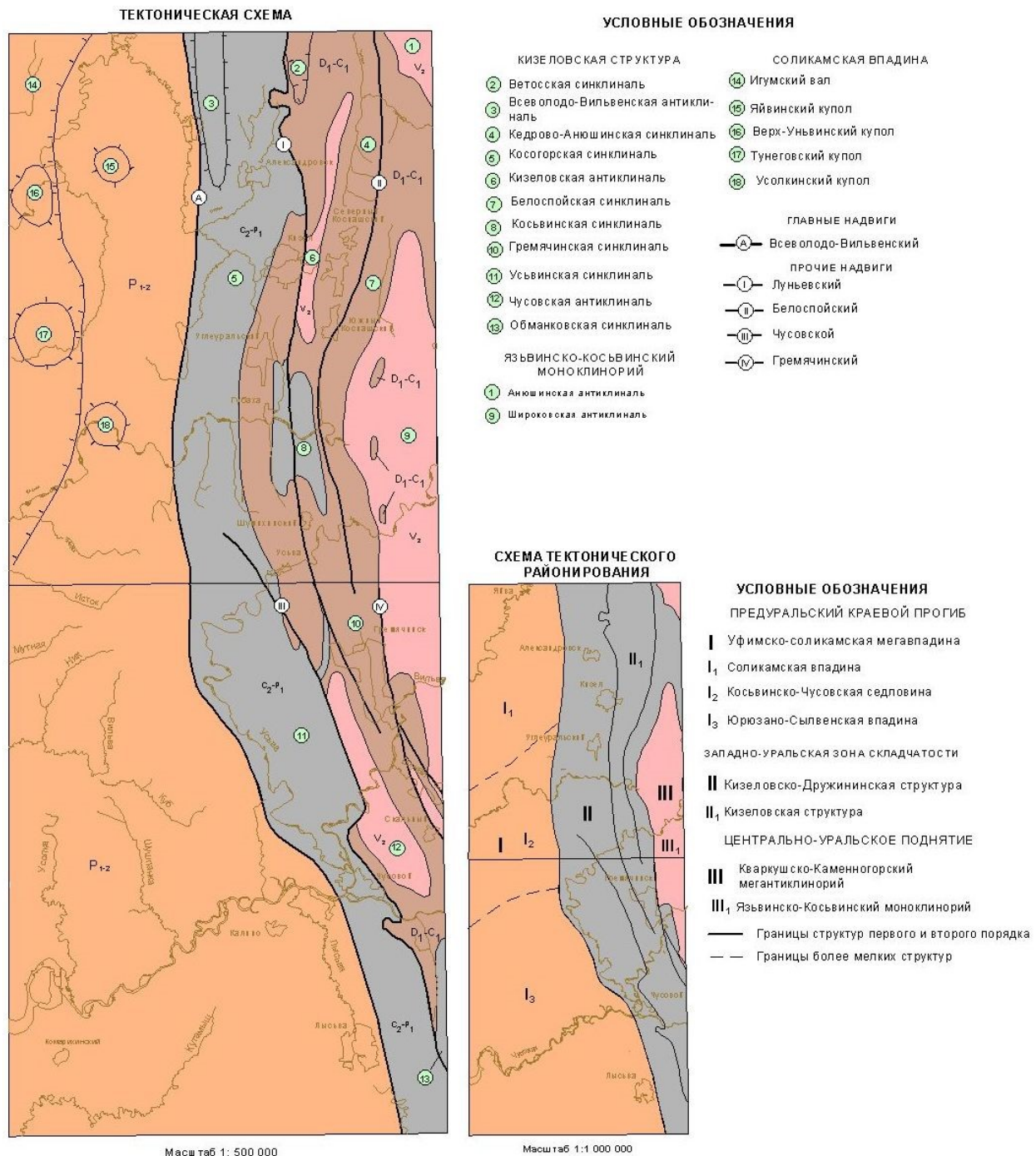


Рис. 1. Тектоническая схема листов О-40-Х, О-40-ХVI [13, 15]

На площади распространены стратифицированные толщи широкого возрастного диапазона — от верхневендских до квартала, которые по литолого-стратиграфическим характеристикам подразделяются на 3 структурно-формационных комплекса: 1) рифейско-вендский, сложенный преимущественно тер-

ригенными отложениями венда. Отвечает Западно-Уральской зоне, Кваркушско-Каменногорской подзоне; 2) кембрийско-пермский, представленный преимущественно карбонатными отложениями; 3) мезозойско-кайнозойский.

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

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

Россыпное золото на территории известно давно, еще в 50–60 гг. На основании шлихового опробования рек Усьвы, Вильвы, Вижай были получены положительные результаты по золотоносности русловых и надпойменных отложений (М.П. Бархатова, Г.А. Виллер, А.М. Зильберман). Все выявленные шлиховые потоки и россыпи находятся в пределах Западно-Уральской алмазо-золотороссыпной минерагенической зоны. Долинная россыпь р. Усьва приурочена в основном к песчано-гравийным отложениям. Протяженность ее на листе О-40-XVI составляет более 20 км. Содержание золота достаточно устойчивое и изменяется от 80 до 200 знаков на 1м<sup>3</sup>, в среднем около 100 зн/м<sup>3</sup>. Более высокие содержания золота до 500 зн/м<sup>3</sup> по отдельным пробам приурочены к аллювиальным отложениям, расположенным на закарстованных известняках верхнедевонско-каменноугольного возраста. Мощность продуктивной толщи изменяется от 1–2 м до 5–6 м. Основная часть выявленных россыпей располагается в восточной части площади в пределах распространения пород верхнего венда усть-сылвицкой свиты. Это россыпи по р. Вильва и р. Вижай. Областью для формирования этих россыпей, видимо, является гидротермально переработанные породы верхнего венда и нижнего и среднего девона вдоль Чикманско-Востоно-Гремячинского надвига, где выявлено значительное количество проявлений свинца и меди. Вторая площадь, где широко распространено россыпное золото, является бассейн р. Усьва. Все выявленные россыпи в бассейне р. Усьва пространственно приурочены к области распространения пород нижней перми кошелевской, мысовской свит и урминской серии [15].

## **Методика и результаты аэрокосмогеологических исследований**

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

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

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

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

В результате компьютерного структурно-геологического дешифрирования на рассматриваемой территории было выделено 849 линеаментов, ранжированных по протяженности на классы: 1) региональные (100–200 км) – 5; 2) зональные (15–100 км) – 24; 3) локальные (5–15 км) – 270; 5) короткие (менее 5 км) – 550 линеаментов. Крупные линеаменты имеют в основном северо-западное, северо-восточное и субмеридиональное простирание. Достаточно уверенно дешифрируются главные надвиги – Всеволодо-Вильвенский, Луньевско-Чусовской и Чикманско-Восточно-Гремячинский. Также фрагментарно выделяются Басковский, Мальцевский и Широковский надвиги.

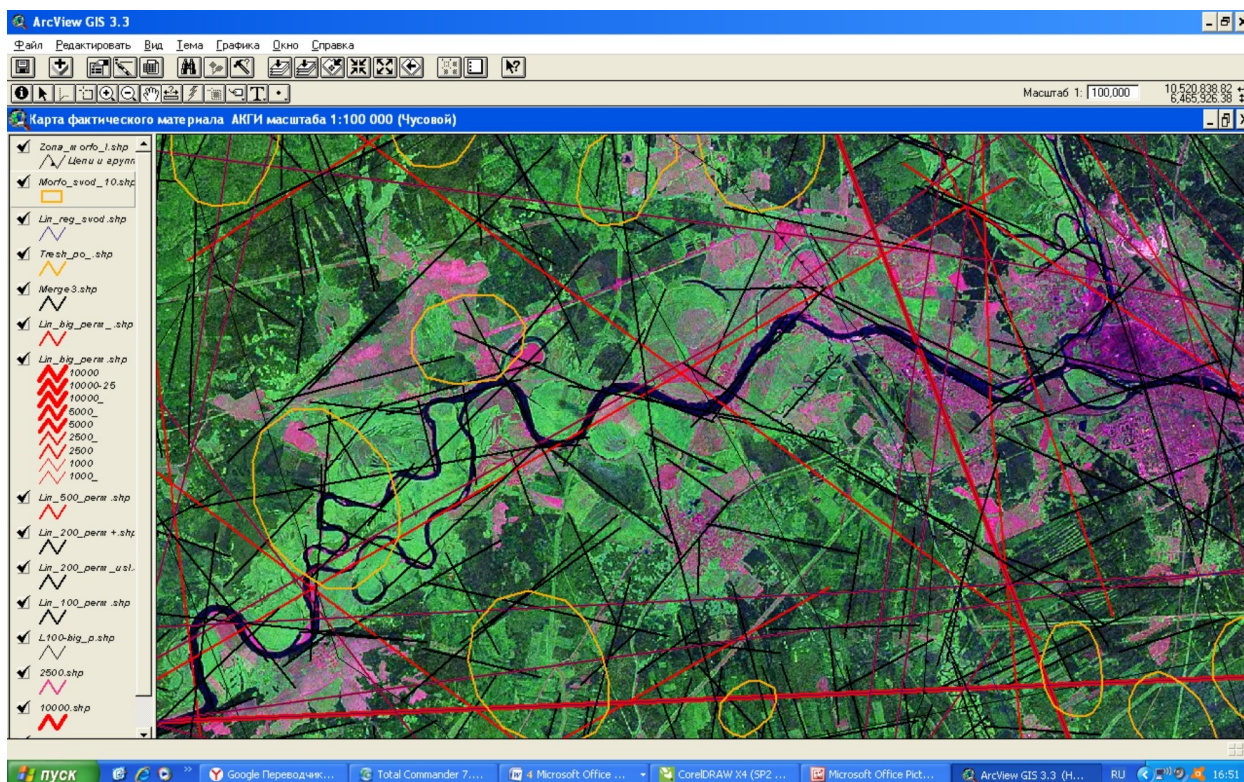


Рис. 1. Компьютерное структурно-геологическое дешифрирование (рабочее окно программы)

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

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

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

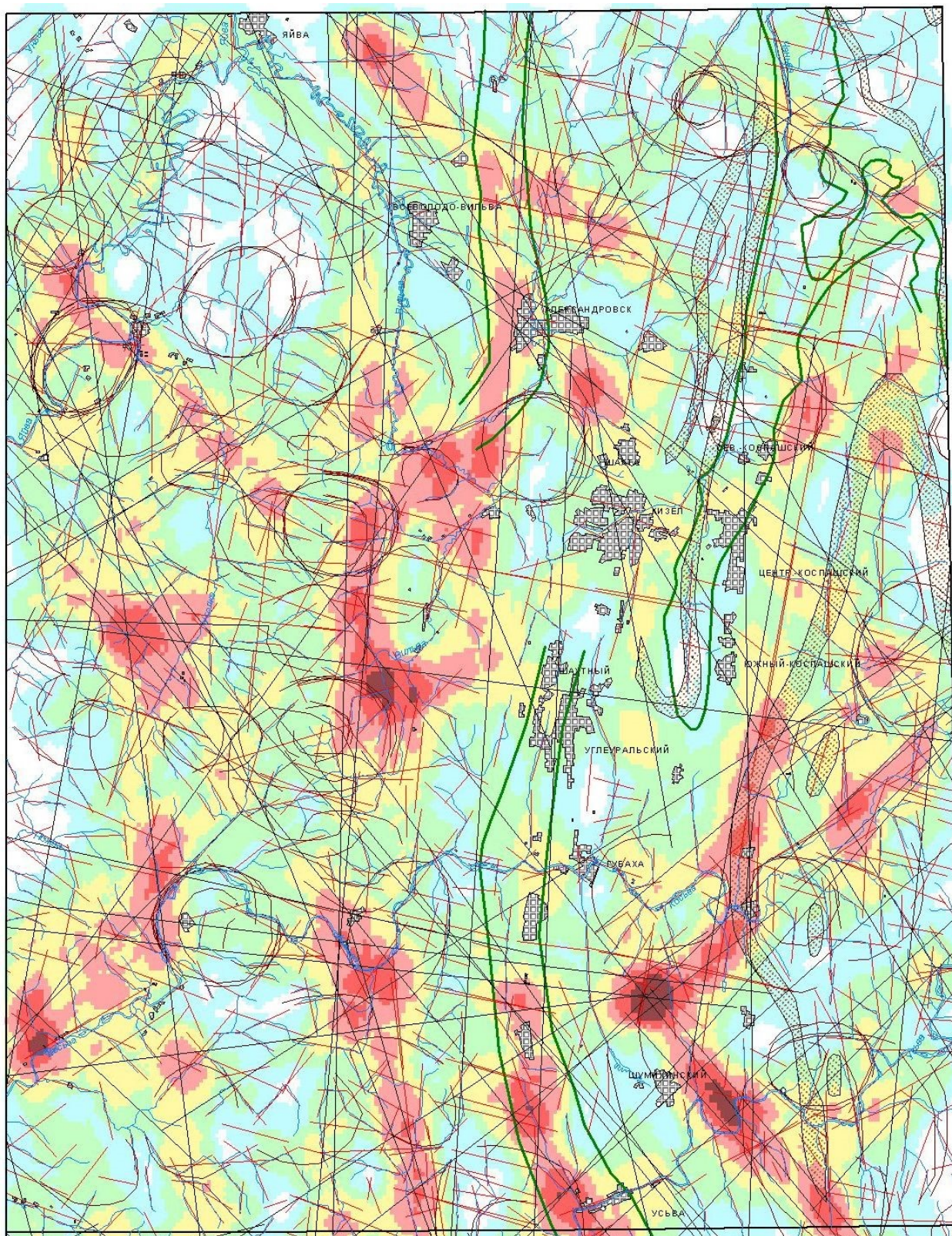


Рис. 3. Карта результатов дешифрования (лист О-40-Х)



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рис. 5. Условные обозначения к картам результатов дешифрирования

### Факторы и критерии золотоносности по материалам АКГИ

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

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

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

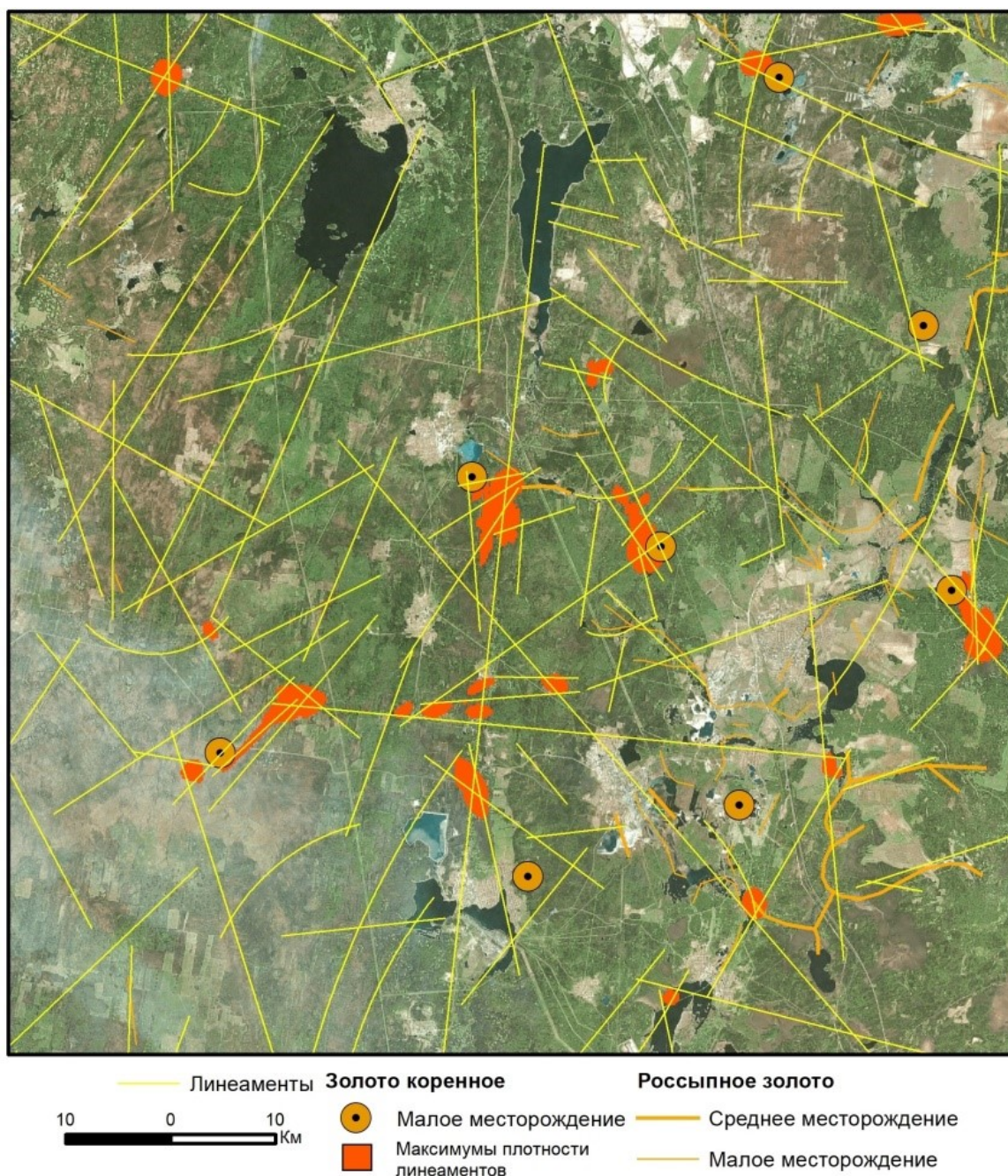


Рис. 6. Интегральная карта результатов дешифрирования района восточных склонов Среднего Урала

3) кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону;

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

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

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

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

3) кольцевые структуры, указывающие на возможную рудоконцентрирующую зону;

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

Для поисков россыпных месторождений факторами (критериями) золотоносности являются:

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

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

3) высокая плотность линеаментов;

4) локальные кольцевые структуры;

5) узлы пересечения крупных линеаментов.

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

### **Заключение**

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

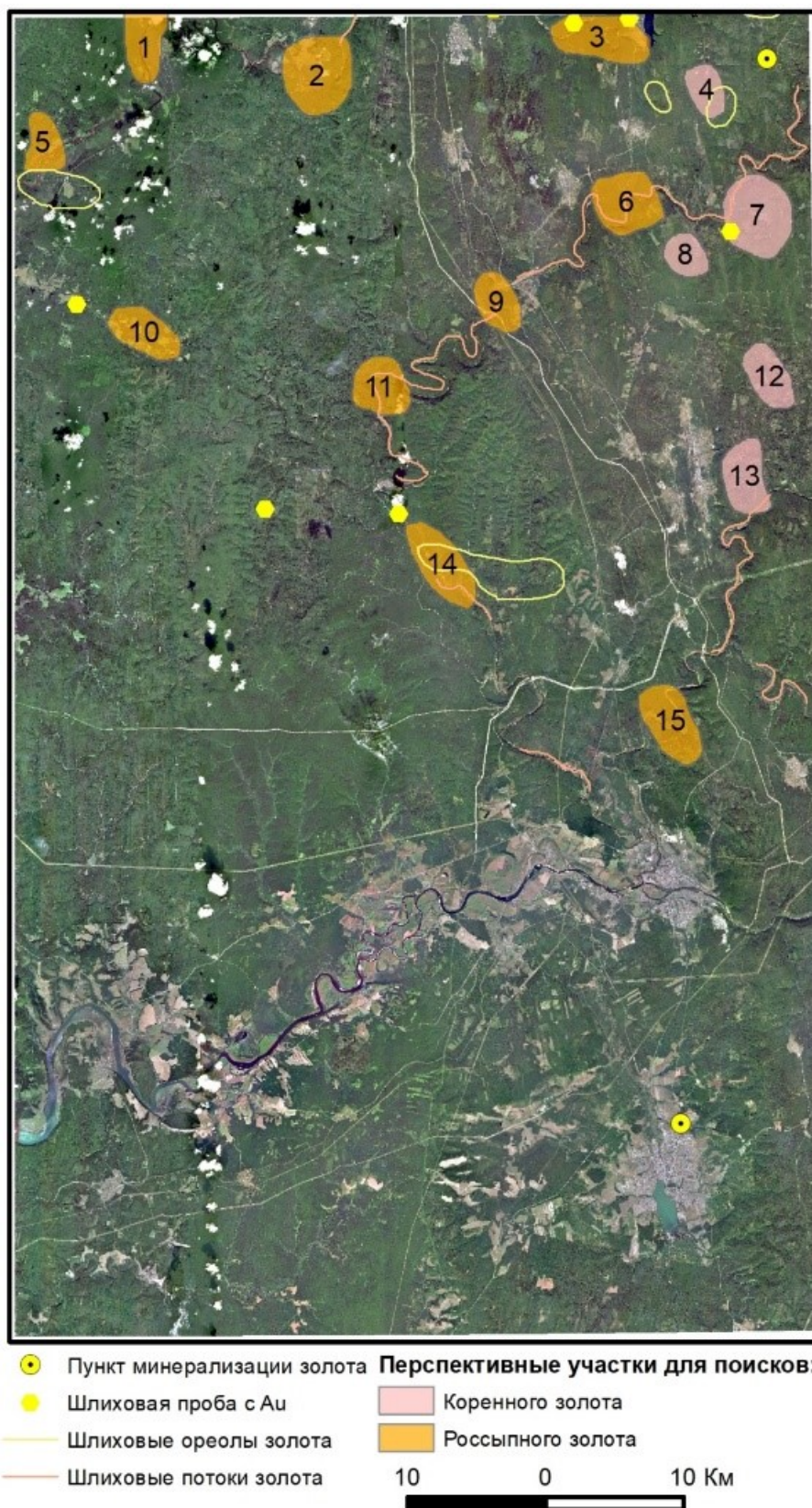


Рис. 7. Карта перспективных зон для поисков золота на западном склоне Среднего Урала

## Перспективные зоны на поиски золота по результатам АКГИ

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

### **Библиографический список**

1. *Аэрокосмические методы геологических исследований* / Под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000 316 с.
2. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2015. № 4 (29). С. 70–81.
3. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 6. С. 14–19.
4. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // *Вестник Пермского университета. Геология*. Пермь, 2011. № 3. С. 18–32.
5. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
6. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
7. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2014. № 1 (22). С. 78–88.
8. Копылов И.С., Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2013. №3(20). С.5–30.
9. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
10. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-10. С. 2196–2201.
11. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5.
12. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) на Ново-Губахинском лицензионном участке. Отчёт сектора комплексных геологических исследований ООО «ПермНИПИнефть» / Быков Н.Я. и др. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу», 2005. 128 с.
13. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное: утв. МПР России от 05.06.2007 М., 2007 27 с.
14. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения: утв. МПР России от 05.06.2007 М., 2007 66 с.
15. Отчет по геологическому доизучению масштаба 1:200 000 листов О-40-Х (Кизел) и О-40-ХVI (Лысьва), проведенному в 2006–2009 гг. / Г.П. Снитко Г.П., Т.В. Харитонов, И.С. Копылов и др. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу», 2009.
16. Региональные аэрогеологические исследования в северо-восточной части Пермской области в 1980–1983 гг.: Отчёт аэрогеологической партии № 1 / С.Т. Шитин и др. Фонд ООО «ПермНИПИнефть», 1983.
17. Тектоническая карта Урала масштаба 1:000 000. Объяснительная записка. / И.Д. Соболев и др. Екатеринбург: Уралгеология, 1983. 169 с.

### **Источник**

Копылов И.С., Шкляев Д.И., Трофимов Р.Н. Применение аэрокосмических методов для поисков золота на Среднем Урале (листы О-40-Х, ХVI) // *Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст.* / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 145–158.

## **АЭРОКОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗНЫХ ТИПОВ**

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. С. 194–203

*Проведен аэрокосмогеологический анализ в районах золоторудных месторождений различных типов (золото-порфирового, карлинского, в черносланцевых толщах). Рассмотрены опорные месторождения рудного золота, их природные условия, геологическое строение, факторы золотоносности. Проведено дешифрирование космических снимков. Сделан структурно-геологический анализ изучаемых районов.*

*Ключевые слова: аэрокосмогеологические методы, поиски золота, анализ структурно-геологических условий, карлин тип, золото-порфировый тип, черносланцевые толщи.*

**A.O. Ustinov**

Perm State University, Perm, Russia

## **AEROSMOGEOLOGICAL ANALYSIS OF GOLD DEPOSITS OF DIFFERENT TYPES**

*An aerospace geological analysis was carried out in the regions of various types of gold deposits (gold-porphyry, Karlinsky, in black shale strata). The reference deposits of ore gold, their natural conditions, geological structure are considered. factors of gold content. Deciphering of space images was carried out. Structural-geological analysis of the studied areas is made.*

*Keywords: aerospace geological methods, prospecting for gold, analysis of structural and geological conditions, carlin type, gold-porphyry type, black shale strata.*

### **Введение**

Поиски новых месторождений золота требуют больших затрат, поэтому оптимальным решением является применение аэрокосмогеологических методов в комплексе с другими (геологическими, геохимическими, геофизическими и пр.). Основным преимуществом дистанционных методов исследования является их относительная низкая стоимость при удовлетворительных результатах на поисковой стадии работ. Кроме того, они позволяют достаточно быстро получить первичную информацию о труднодоступных районах исследования. В настоящее время пока недостаточно методических исследований по изучению различных геолого-промышленных типов золота аэрокосмическими методами.

**Целью работы** является изучение и анализ структурно-геологических условий золоторудных месторождений разных типов с применением дистанционного зондирования для установления закономерностей при прогнозировании месторождений.

**Основные задачи:** выбор районов опорных месторождений золота различных типов: золото-порфирового, карлинского, в черносланцевых толщах; их природные условия, геологическое строение, факторы золотоносности; подготовка дистанционной основы для аэрокосмогеологического анализа, составления карт и моделей золоторудных месторождений; дешифрирование космических снимков (КС) и структурно-геологический анализ изучаемых районов; выделение перспективных участков для поисков золота в исследуемых районах.

Для исследования были выбраны районы: Невады, США (карлин тип); Полярного Урала, Россия (золото-порфировый тип); Западной Калбы, Казахстан (черносланцевые толщи);

Для написания работы были использованы: опубликованная литература, фондовые источники, а также материалы космических съемок из открытых источников.

### **Некоторые геологические особенности, благоприятные для поисков золота разных типов**

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 Невады (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) [3, 22–24].

Для месторождений *золото-порфирового типа* на Приполярном Урале установлено, что: перспективная площадь должна быть сложена толщей вулканогенно-осадочных интрузивных образований. Вулканизм должен сопровождаться внедрением интрузивных массивов габбро-диорит-тоналитовой и габбро-монзонитовой формаций, представленных, соответственно, порфировыми интрузивными образованиями: диоритовые порфириты, биотит-рогово-обманковые диориты, кварцевые моноциты, плагиогранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, реже гранит-порфиры и диоритовые порфириты и биотит-роговообманковые диориты. Вулканогенные породы должны образовывать вулканно-тектоническую депрессию (очаговую структуру) с диаметром около 10 км и иметь зональную структуру. Геологическое строение рудного узла должно определяться пересечением долгоживущих глубинных региональных разломов продольного и поперечного направлений (восток-северо-восточной и северо-западной ориентировок, соответственно). Гипабиссальные интрузии среднего состава должны быть представлены серией даек и штоков, обеспечивающих мобилизацию гидротермальной деятельности и формирование тел на

глубинах 1000–1500 м. Для того чтобы оруденение стало доступным для эксплуатации, протяженность вскрытых рудных тел должна составлять первые километры при ширине несколько десятков метров [5].

Для месторождений *золота в черносланцевых толщах* Западной Калбы, Казахстан характерны одиночные и системы кольцевых структур в сочетании с продольными региональными линейными структурами, дешифрируемые по данным дистанционных съемок континентального и регионального уровней генерализации. Кольцевые структуры, диаметром 160–10 км, фиксируемые так же глубинными зонами разуплотнения вещества, представляют собой разноглубинные участки распространения продуктов гранитизации нижних частей земной коры, магматизма и метасоматизма и распада глубинных термо-магмо-флюидных систем в верхней части земной коры. Блоки земной коры в пределах развития таких структур несут проявления разноформационной продуктивной, в том числе золотой, минерализации. В пределах золоторудных полей южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты гидротермально измененные породы представлены локальными и площадными формациями березит-лиственитов, пропилитов, кварцево-полевошпатовых и альбит-амфиболовых метасоматитов, магнезиальных и известковых скарнов, наличие которых свидетельствует о эволюции глубинных и коровых термо-магмо-флюидных систем в верхних частях земной коры [1, 2, 4].

#### **Методология, основные методы и результаты аэрокосмогеологических исследований**

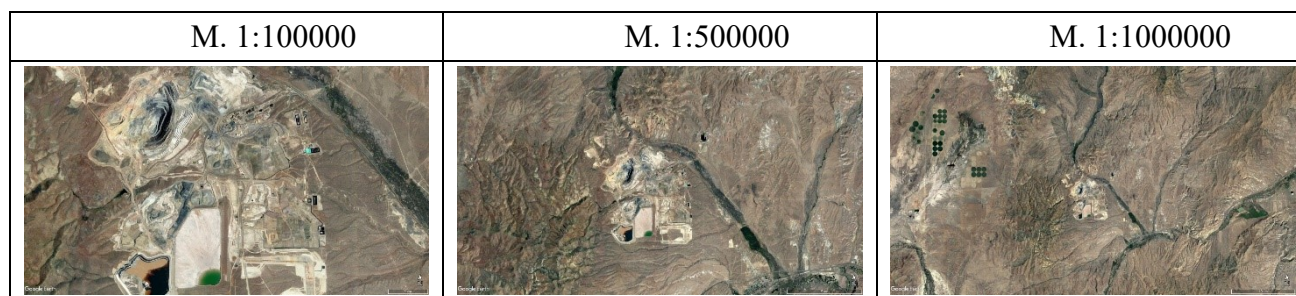
Методология включала: общие положения, принципы, последовательность исследований и решение основных геологических задач: подготовки дистанционной основы; дешифрирования КС, выявления сети прямолинейных и дугообразных линеаментов трещинно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента, установление их контролирующей и распределяющей роли в формировании рудных формаций, тел и месторождений, оценка геодинамической активности; построение результирующих карт в ГИС-технологиях (с использованием программных продуктов ArcGis) [6–21].

На начальном этапе была подготовлена дистанционная основа для составления карт и моделей золоторудных месторождений разных типов; рассматриваемых территориях. Использовались современные космоснимки (Landsat, 2019 г.), загруженные с помощью программного обеспечения Google Earth (табл. 1).

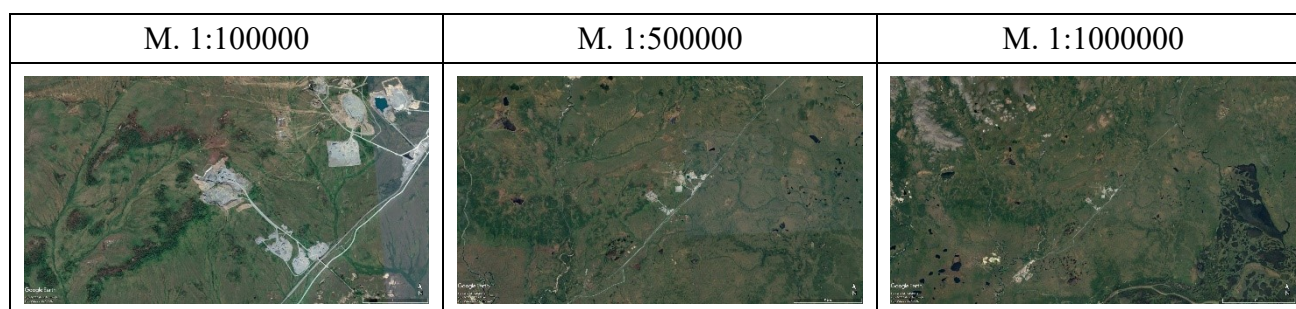
Таблица 1

## Подготовка дистанционной основы (фрагмент)

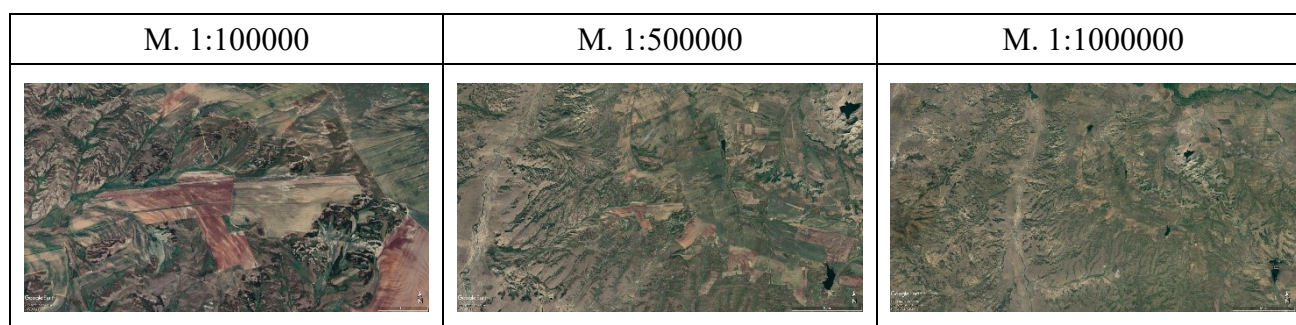
Золото-карлинский тип месторождений (месторождение Gold Quarry Mine)



Золото-порфировый тип (месторождение Петропавловское)



Черносланцевые толщи (месторождение Миалинское)

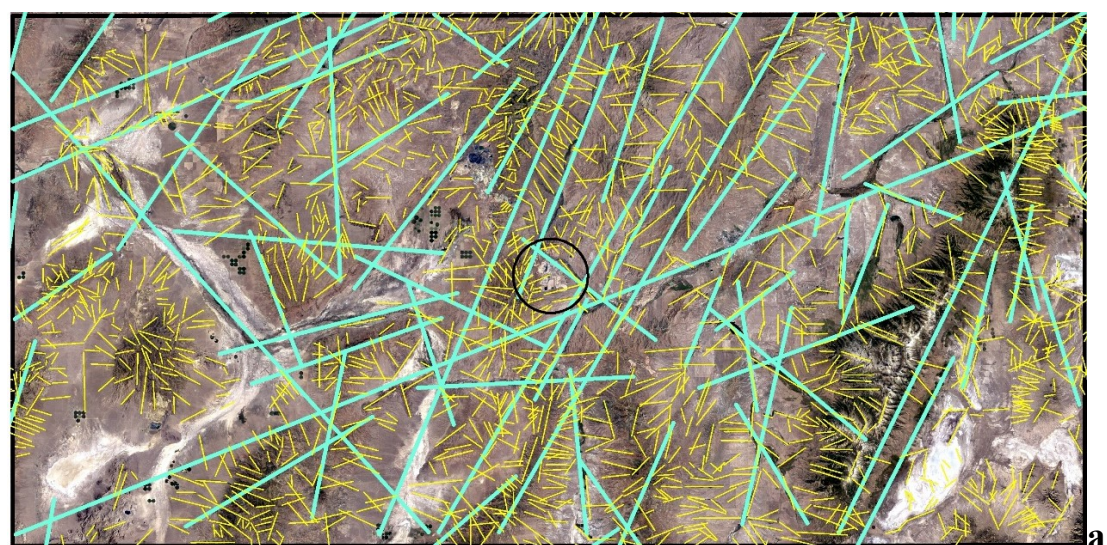


На последующем (основном) этапе выполнено космогеологическое дешифрирование КС разных масштабов, в соответствии со сложившимися стадиями аэрокосмогеологических исследований (обзорная, региональная, зональная, детальная) [9, 12]. Дешифрирование производилось в программе ArcGIS версии 10.4.1. Далее проводилась обработка данных, комплексный аэрокосмогеологический анализ, выделялись вероятные перспективные участки для поисков золота в исследуемых районах; построение результирующих цифровых карт.

В результате дешифрирования на территории штата Невада (месторождение Gold Quarry Mine) было выделено 2118 линеаментов, 156 кольцевых структур. На территории Полярного Урала месторождение Петропавловское) выделено (выделено 754 линеаментов, 121 кольцевых структур. На территории Западной Калбы (месторождение Миалинское) выделено 1770 линеаментов, 66 кольцевых структур. Результаты дешифрирования представлены в табл. 2 и на рис. 1–3.

## Результаты дешифрирования линеаментов в исследованных районах

Класс / протяженность линеаментов, км	Масштаб дешифрирования КС	Количество линеаментов		
		Невада	Полярный Урал	Западная Калба
Региональные и зональные 25–100	1:1 000 000 1:500 000	34	34	30
Короткие, <5	1:100 000	720	720	1740



**Линеаменты**

0 5 10 20 30 40 Км

— Месторождение  
— Детальные  
— Зональные

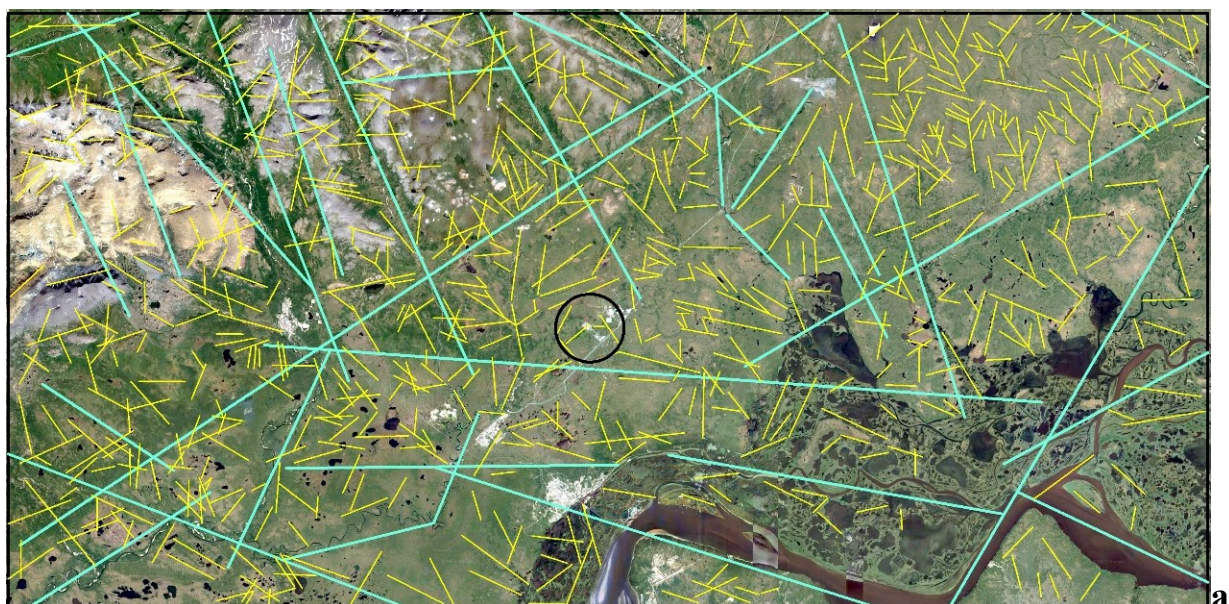


**Кольцевые структуры**

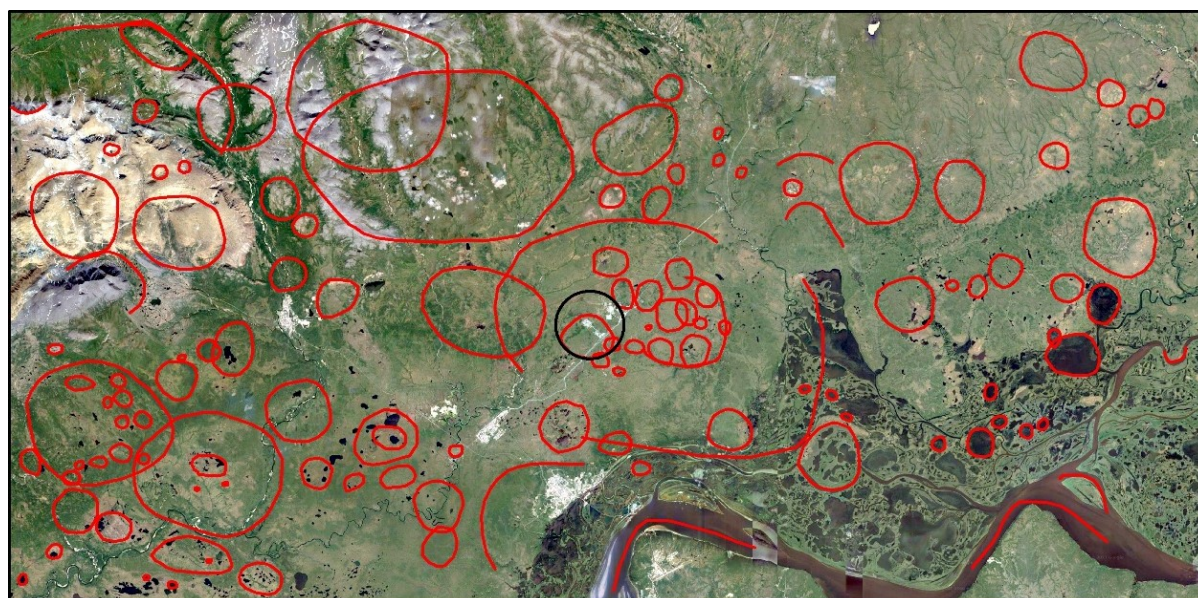
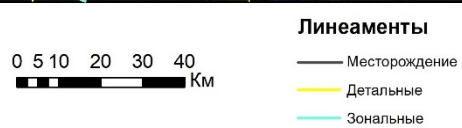
0 5 10 20 30 40 Км

— Месторождение  
— Кольцевые

Рис. 1. Дешифрирование линеаментов (а) и кольцевых структур.  
Месторождение Карлин



а



б



Рис. 2. Дешифрирование линеаментов (а) и кольцевых структур.  
Петропавловское месторождение

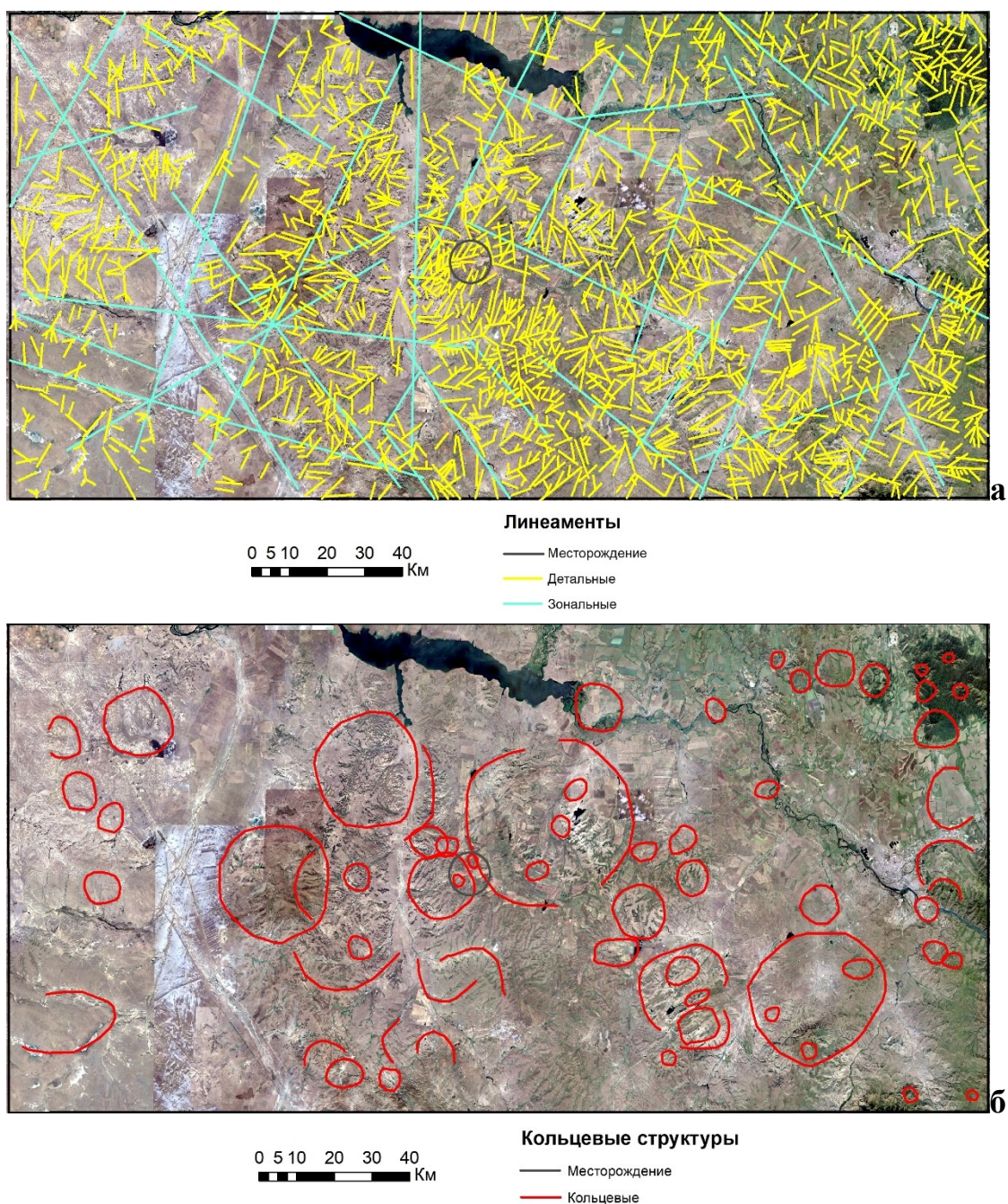


Рис. 3. Дешифрирование линеаментов (а) и кольцевых структур.  
Миалинское месторождение

По результатам дешифрирования были построены карты плотности линеаментов исследуемых районов (рис. 4).

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.

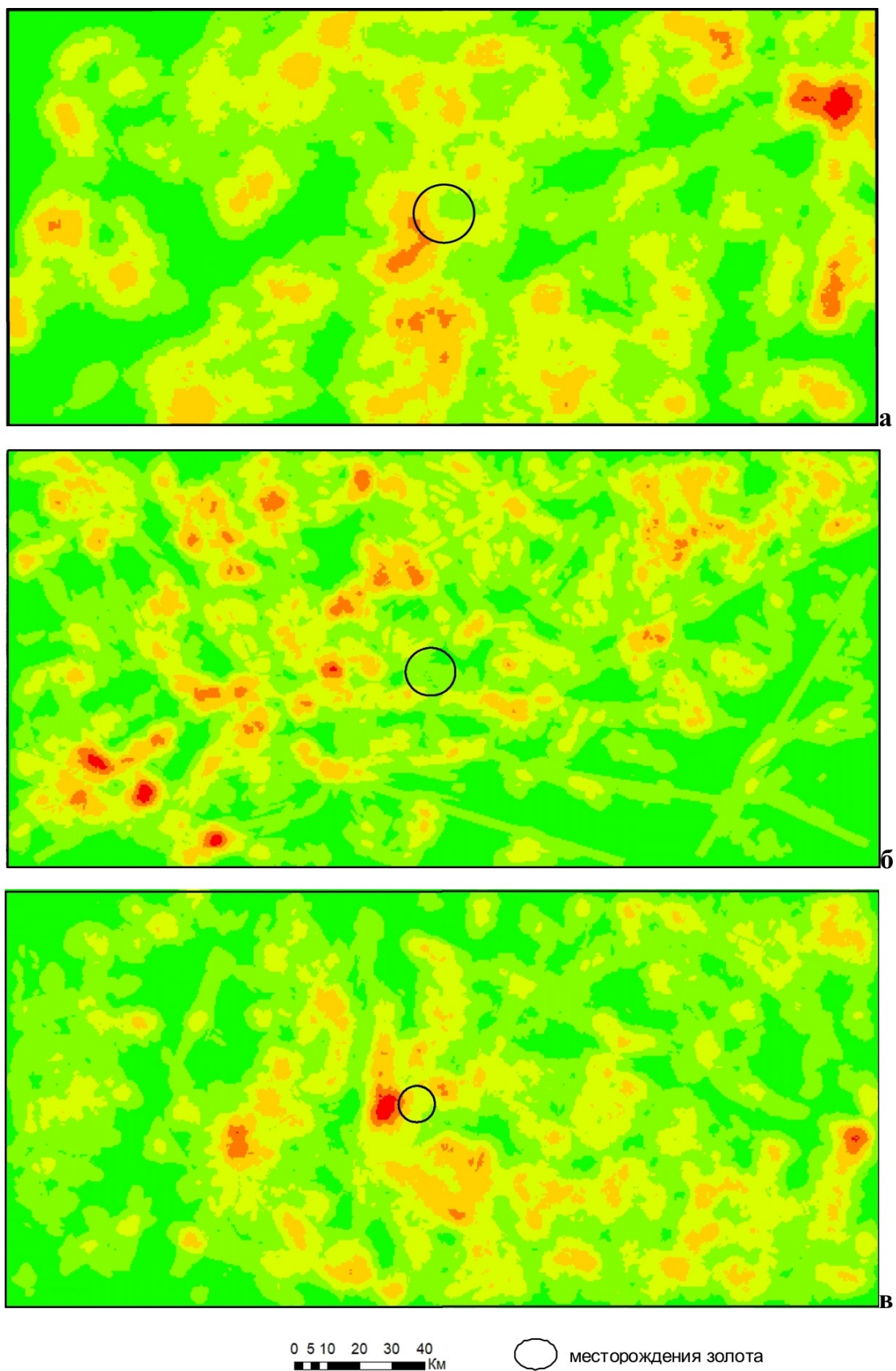


Рис. 4. Карта плотности линеаментов районов золоторудных месторождений:  
а – Карлин, б – Петропавловского, в – Миалинского  
(плотность увеличивается от зеленого к красному)

*Невада, месторождение Карлин.* 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.

*Полярный Урал, Петропавловское месторождение.* Район характеризуется хорошей геологической дешифрируемостью. Неблагоприятных условий для геологического дешифрирования в данном районе практически нет, за исключением слабой обнаженности некоторых территорий. Отмечается неравномерная плотность линеаментов, выделяются комплексы зон с повышенной плотностью в западной части, а также в северо-восточной части карты. Выделенные в процессе дешифрирования крупные линеаменты имеют в основном северо-западное и северо-восточное простирание.

*Западная Калба, Миалинское месторождение.* Район характеризуется хорошей геологической дешифрируемостью. Отмечается неравномерная плотность линеаментов, выделяются комплексы зон с повышенной плотностью в центральной части, а также в восточной и в западной частях карты. Выделенные в процессе дешифрирования крупные линеаменты имеют в основном юго-западное простирание.

### **Заключение**

По результатам проведенного анализа установлено, что структурно-тектоническое положение золоторудных месторождений выражается определенным набором космогеологических характеристик: наличием крупных линеаментов с концентрацией мелких, наличием кольцевых структур разных порядков и как правило – повышенной плотностью линеаментов. Карлинский и золото-черносланцевый типы месторождений имеют сходные космогеологические характеристики: месторождения этих типов располагаются как правило, в контурах крупных кольцевых структур, в зонах повышенной плотности линеаментов. Месторождения золото-порфирового типа – на контакте крупных кольцевых структур. Вблизи золоторудных месторождений установлены магматические очаги.

### **Библиографический список**

1. Ананьев Ю.С., Поцелуев А.А., Житоков В.Г. Космоструктурные модели золоторудных объектов Западной Калбы // *Известия Томского политехнического университета*, 2010. Т. 317. № 1. С. 35–41.
2. Ананьев Ю.С. Золото-концентрирующие системы южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты (на примере Западной Калбы): дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2017.
3. Волков А.В., Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота карлинского типа // *Литосфера*, 2016, № 6. С. 145–165.
4. Глоба В.А. Некоторые тектонические черты структур золоторудных полей Западной Калбы // *Геология и геохимия месторождений благородных металлов Казахстана*. Алма-Ата, 1969. С. 64–67.
5. Иванова Ю.Н. Условия локализации и минералого – химические особенности Петропавловского золото – порфирового месторождения (Полярный Урал) // автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Москва, 2016. 21 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. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2013. 166 с.
8. Копылов И.С. Крупномасштабные аэрокосмогеологические исследования на Промысловской площади и Линевском участке (Средний Урал) для поисков рудного золота в черносланцевых толщах // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 148–158.
9. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. *Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing*, 2018. 210 с.
10. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 7–2. С. 241–246.
11. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
12. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Пермь, 2014. 48 с.
13. 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.
14. 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.
15. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
16. 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.
17. Копылов И.С., Бабеняшев В.М. Поиски полиметаллов и золота на приполярном Урале с применением аэрокосмических методов // *Аэрокосмические методы в геологии. Сборник научных статей. Под общей редакцией И.С. Копылова*. 2020. С. 159–166.
18. Копылов И.С., Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н. Методологический подход к проведению аэрокосмогеологических исследований для поисков рудного золота // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 95–100.
19. 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 // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 77–84.
20. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
21. 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.
22. 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 Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, US. *Mineral exploration and sustainable development*. Rotterdam: Millpress, 2, p. 965–968.
23. Dennis P. Cox, 1986, «Descriptive model of porphyry Cu», in *Mineral Deposit Models*, US Geological Survey, Bulletin 1693, p. 76, 79.
24. 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.

#### **Источник**

Устинов А.О. Аэрокосмогеологический анализ золоторудных месторождений разных типов // *Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2021. С. 194–203.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БОДАЙБИНСКОГО РАЙОНА**

Опубликовано в: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность:  
сборник научных статей / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 243–248

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

*Ключевые слова: аэрокосмические методы, дешифрирование, линеаментный анализ, золото, Бодайбинский район.*

**M.V. Fefelov, D.S. Kirin**

Perm State University, Perm, Russia

## **AEROSPACE RESEARCHES' APPLICATION IN FORECASTING AND PROSPECTING OF GOLD ORE DEPOSITS IN BODAYBO DISTRICT**

*The article presents information on the application of aerospace methods for forecasting and prospecting of gold ore deposits in Bodaybo district. The complex analysis including lineamental interpretation was made and on its basis perspective zones are allocated. The allocated zones territorially coincide with the existing commercial deposits of gold on the basis of what the conclusion is drawn on sufficient reliability of the chosen methods.*

*Keywords: aerospace methods, interpretation, lineamental analysis, gold, Bodaybo district.*

### **Введение**

В современном мире постепенно возрастает роль дистанционных методов зондирования Земли (ДЗЗ). При геологическом картировании методы ДЗЗ используются в комплексе с другими методами и дают хорошие результаты при сравнительно низких финансовых затратах.

Актуальны эти методы и при повторном изучении известных горнорудных районов, ведь они позволяют выявить скрытые рудные объекты – глубоко залегающие или перекрытые рыхлыми отложениями. Бодайбинский район, изучаемый в данной работе, является таким примером. Также рассмотрена Илигирская площадь [11].

Бодайбинский район географически расположен в пределах северо-восточной части Байкало-Патомского нагорья. Рельеф Бодайбинского района среднегорный, расчленённость умеренная. Проходимость территории чаще все-

го плохая (70%), из-за густой растительности и курумников. Байкало-Патомское нагорье представляет собой дугообразную в плане, северную и северо-западную часть Байкальской складчатой области, с юга глубоко вдающуюся в Сибирскую платформу и образующую входящий угол [4, 10].

Золотоносность Бодайбинского района контролируют 3 фактора: зональность осадконакопления, приуроченность к зонам продольных разломов фундамента и 3 этапа метаморфизма (синхронный линейной складчатости, региональный и сингранитный) [3].

### **Методика и материалы**

Методологией исследований и картирования зон тектонической трещиноватости является линеаментно-геодинамический анализ, методика которого изложена в работах И.С. Копылова [6–9]. В качестве основного метода исследования Бодайбинского района было выбрано структурное дешифрирование.

Как известно, месторождения рудного золота, как правило, приурочены к объектам, локализованным в областях тектонических нарушений и гидротермальных изменений. На аэрокосмических снимках такие области хорошо дешифрируются в виде линеаментов, реже в виде кольцевых и вихревых структур [1, 2]. Линеаменты – линейные элементы рельефа, имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре. Индикаторами линеаментов служат линейно вытянутые водоразделы, спрямленные участки русел рек, границ ландшафтных структур и пр. [10]. Кольцевые и вихревые структуры также указывают на наличие зоны высокой проницаемости. Кольцевые отражают чаще всего поднятия или опускания элементов ЗК, а вихревые – формируются за счёт вращательных сил [2]. Основными критериями неотектонической активности участков россыпей золота являются повышенная плотность линеаментов и эрозионная (горизонтальная и вертикальная) расчлененность рельефа [5, 7].

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

1) линеаментные и кольцевые (вихревые) структуры указывают на наличие зон высокой проницаемости земной коры;

2) при пересечении друг с другом линеаменты образуют узлы, чем больше линеаментов сходится в узле, тем перспективнее эта территория на поиски рудных месторождений полезных ископаемых, в т.ч. золота;

3) кольцевые (вихревые) структуры также указывают на возможность существования рудоконцентрирующей или рудоконтролирующей зоны;

4) особенно высока вероятность нахождения такой зоны, если кольцевая (вихревая) структура осложнена множеством линеаментов;

5) на территории Бодайбинского района следует обращать внимание на линейные складчатые и складчато-разрывные комплексы, «пришовные» комплексы.

Для исследования территории были взяты космоснимки и цифровые модели рельефа. Дешифрирование одной и той же территории по разным материалам даёт возможность более точно выделить линеаменты. Далее все 3 изображения были представлены в виде слоёв одной карты в программном

обеспечении ArcGIS. При дешифрировании эти слои включались попеременно, т.е. структурные элементы выделялись на космоснимке, затем на ЦМР №1, затем на ЦМР №2. Дешифрирование проводилось в нескольких масштабах в соответствии со сложившимися стадиями АКГИ [8]. Всего было выделено 3452 линеамента.

### Результаты и их обсуждение

Для количественного анализа было выполнено построение поля плотности линеаментов (рис. 1). По нему выделены максимумы плотности линеаментов – это зоны перспективные на поиски месторождений золота по результатам количественного анализа.

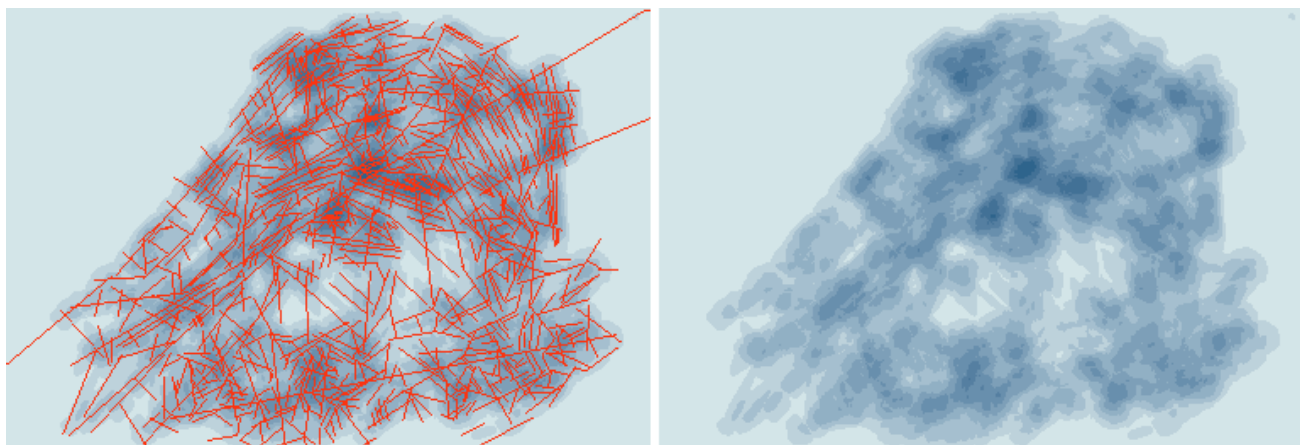


Рис. 1. Поле плотности с линеаментами (слева) и без них (справа)

Качественный анализ был проведён на основе космоснимков с дешифрированными вихревыми структурами. Визуально были выделены зоны, в которых происходит наибольшее «завихрение» структур и/или пересечение этих структур друг с другом (рис. 2).

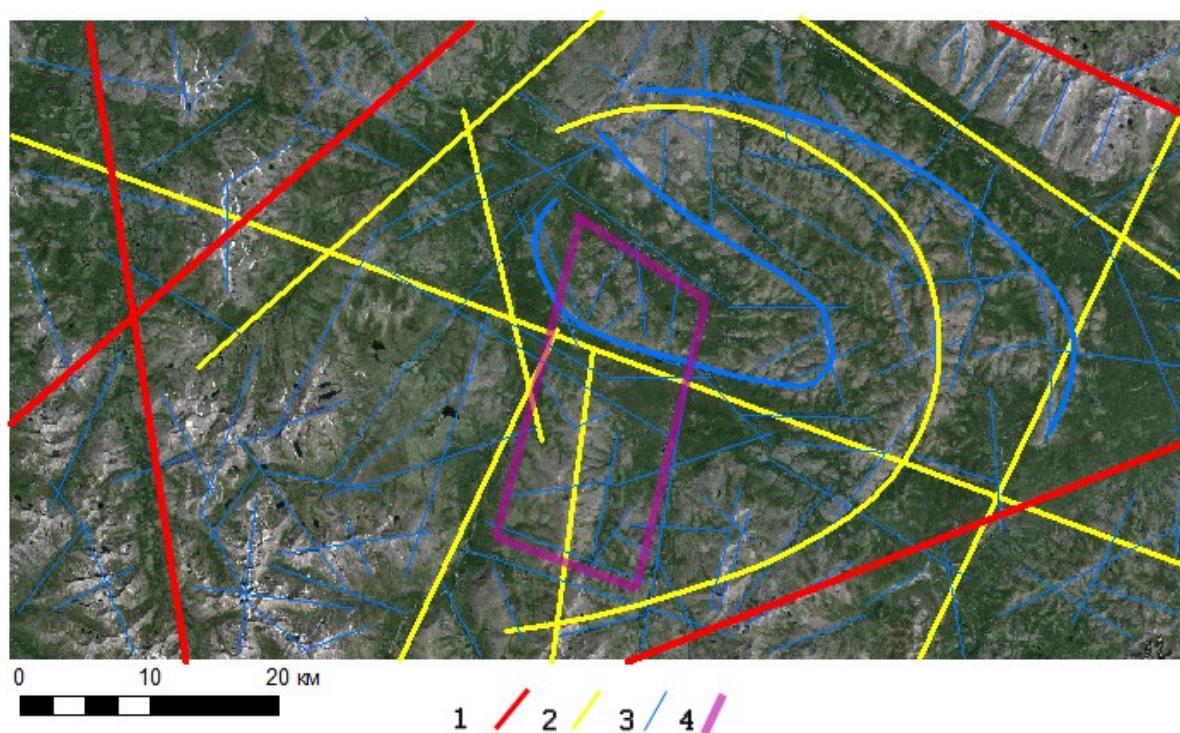
В ходе работы было отмечено, что на Илигирской площади вихревые структуры, судя по всему, имеют решающее значение. На прилегающих территориях плотность линеаментов выше, чем на самой площади. Однако Илигирская площадь находится внутри разветвляющейся вихревой структуры, что подтверждает важность анализа таких структур на всей остальной территории Бодайбинского района (рис. 3).

Также были проанализированы ранее выявленные факторы и условия золотоносности и сопоставлены со схемой геологического строения Байкальской складчатой области, на основе чего выделены перспективные зоны (рис. 4).



I – зоны наибольших завихрений структур и (или) множественных пересечений друг с другом, II – вихревые структуры.

Рис. 2. Вихревые структуры Бодайбинского района



1–3 – структуры, выделенные на разных стадиях дешифрирования:  
 1 – обзорной масштаб от 1:5 000 000 до 1:2 500 000, 2 – обзорной масштаб 1:1 000 000,  
 3 – зональной; 4 – примерные границы Илигирской площади.

Рис. 3. Дешифрирование Илигирской площади и прилегающих территорий

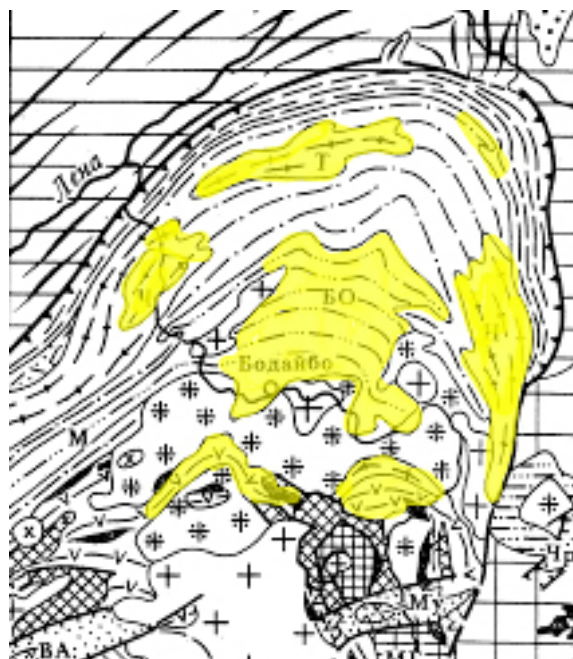
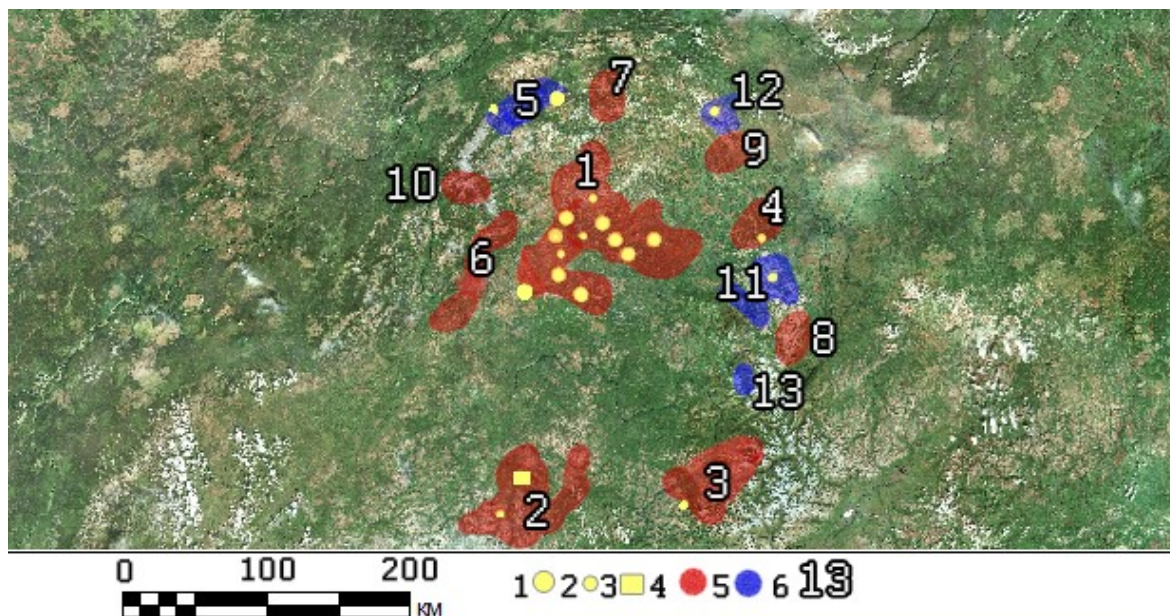


Рис. 4. Фрагмент схемы тектонического строения Байкальской складчатой области с перспективными зонами (выделены жёлтым цветом)

Окончательный результат работы заключался в сведении: 1) максимумов поля плотности линеаментов; 2) зон наибольших завихрений структур и / или множественных пересечений друг с другом; 3) зон, выделенных на основе факторов золотоносности, сформулированных для Бодайбинского района. Зоны, которые не пересекаются, друг с другом были исключены из карты. В результате была получена интегральная зон перспективных на поиски месторождений золота (рис. 5).



1 – промышленные месторождения золота, 2 – золотоносные проявления, 3 – Илигирская площадь, 4 – высокоперспективные зоны на поиски месторождений золота (по 3 критериям), 5 – перспективные зоны (по 2 критериям); 6 – рекомендуемая очередность поисковых работ

Рис. 5. Интегральная карта зон перспективных на поиски месторождений золота по данным ДЗЗ

Всего было выявлено 13 зон, которым присвоен ранг рекомендуемой очередности изучения при поисках месторождений золота на территории Бодайбинского района.

### **Заключение**

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

### **Библиографический список**

1. 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. Иванов А.И. *Золотоносность Байкало-Патомской металлогенической провинции: автореф. ... дис. д-ра геол.-минерал. наук*. М., 2010. 348 с.
4. Информационный геологический отчет о результатах и объемах работ, выполненных в 2014 году по объекту «Поисковые работы на рудное золото на Илигирской площади (Иркутская область)». Иркутск: ЗАО «Сибирская геологическая компания», 2014. 12 с.
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. Копылов И.С. *Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах* // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
7. Копылов И.С. *Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья* // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
8. Копылов И.С. *Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов* // автореф. ... дис. д-ра геол.-минерал. наук. Пермь, 2014. 48 с.
9. Копылов И.С. *Анализ результатов и перспективы нефтегазопоисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья* // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). С. 70–81.
10. Корчуганова Н.И., Костенко Н.П., Межеловский И.Н. *Неотектонические методы поисков полезных ископаемых*. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 212 с.
11. Проект на выполнение работ по объекту: «Поисковые работы на рудное золото на Илигирской площади (Иркутская область)» в 2013–2015 гг. Иркутск: ЗАО «Сибирская геологическая компания», 2013. 81 с.

### **Источник**

Фефелов М.В., Киринов Д.С. *Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района* // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 243–248.

**А.В. Альметова**

Пермский государственный научный исследовательский университет, Пермь, Россия  
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Пермь

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

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
*Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 108–113*

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

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

**A.V. Almetova**

Perm State University, Perm, Russia  
PermNIPIneft Branch of LUKOIL-ENGINEERING LLC in Perm

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

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

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

Аэрокосмические методы приобрели в настоящее время большое значение в решении многих геологических задач, в т.ч. – нефтегазопроисковых. Отличительными особенностями этих методов являются: высокая информативность, оперативность получения информации, возможность получения изображения различной степени генерализации (от глобальной до детальной), использование цифровых средств получения информации и обработка данных в среде геоинформационных систем, а так же относительно низкая стоимость, которая позволяет сократить сроки и повысить результативность геологоразведочных работ [8, 13].

Целью данной работы является уточнение представлений о геологическом строении осадочного чехла в западной части Соликамской депрессии на Северо-Шершневской площади и выявление перспективных объектов для постановки поисковых работ на нефть и газ. Для этого был выполнен анализ и

обобщение накопленной геолого-геофизической информации (по фондовым источникам); проведено дешифрирование современных космических снимков (КС); проведен комплексный аэрокосмогеологический анализ территории; выделены перспективные структуры, сопоставленные с имеющимися месторождениями нефти и газа и локальными поднятиями, выявленными ранее геолого-геофизическими и аэрокосмогеологическими методами [1].

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

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

В 2010 г. И.С. Копыловым и В.З. Хурсиком было проведено обобщение всех АКГИ Пермского края с доизучением в слабоизученных районах [4], линеаментно-блоковый и линеаментно-геодинамический анализ, построена цифровая аэрокосмогеологическая карта масштаба 1:500 000-1:100 000 на основе дешифрирования современных (цифровых космических снимков).

Методологической основой выделения геодинамических активных зон является линеаментно-геодинамический анализ, методика которого изложена в работах И.С. Копылова [5–12], который проводился на основе изучения распределения плотности линеаментов по их протяженности на единицу площади. Линеаменты на КС выделялись по комплексу геологических, геоморфологических, гидрогеологических признаков: протяженные и спрямленные контакты пород, спрямленные участки русел рек и речных долин, коленообразные изги-

бы водотоков и овражно-балочной сети, цепочки родников, естественная смена растительности по прямой или близкой к ней линии, повышенная густота растительного покрова и т.д.

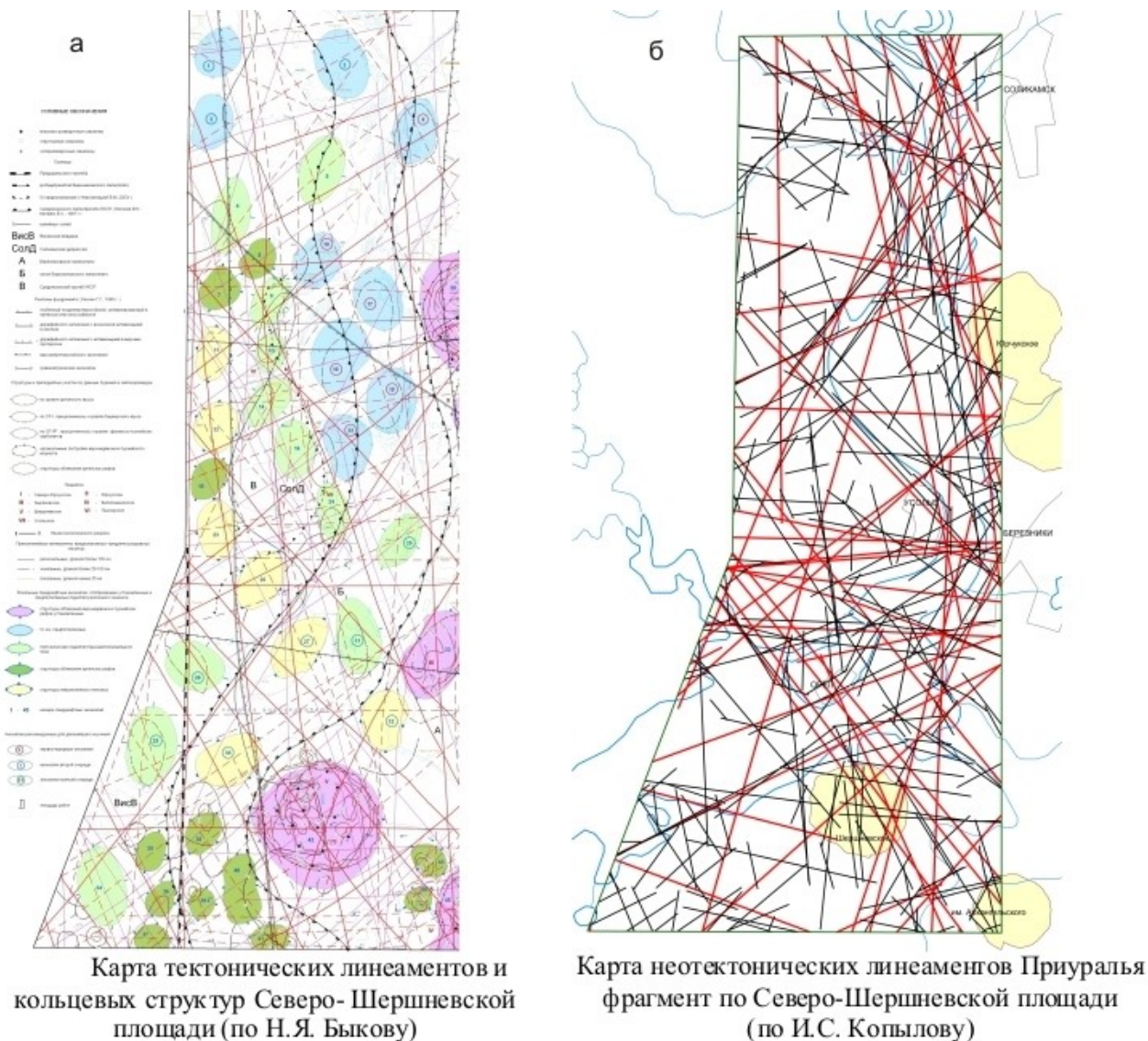


Рис. 1. Аэрокосмогеологическая изученность Северо-Шершневской площади

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

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

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

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

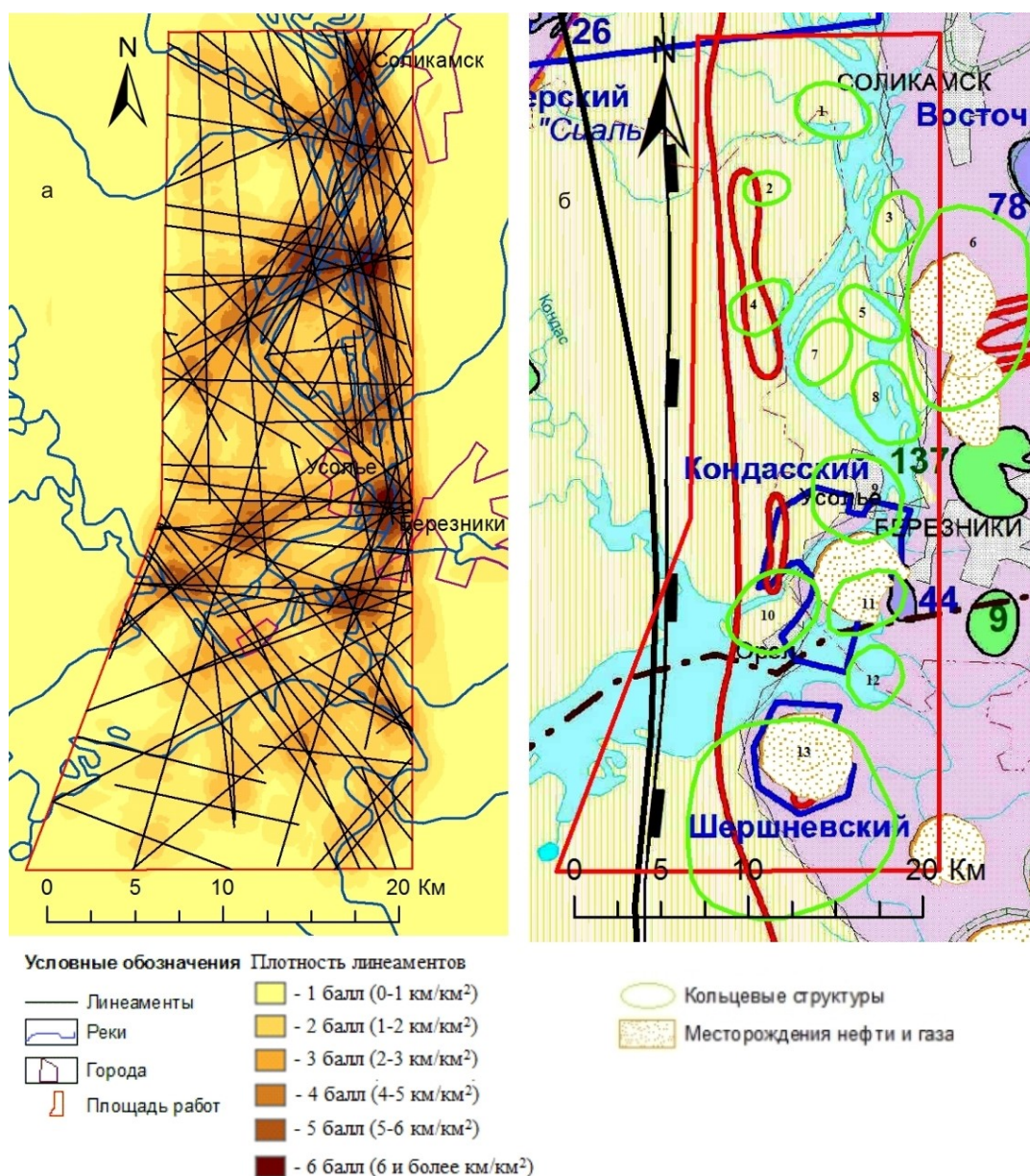


Рис. 2. Карта перспектив нефтегазоносности Северо-Шершнево́й площади по данным АКГИ (а – по плотности линеаментов, б – кольцевых структур, совмещенная со схемой расположения месторождений нефти [15])

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

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

**Оценка перспектив нефтегазоносности Северо-Шершневской площади  
по данным АКГИ**

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

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

**Библиографический список**

1. Альметова А.В. Аэрокосмический анализ Соликамской депрессии на Северо-Шершневской площади // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Вып. 38. Пермь, 2018. С. 106–109.
2. Козлов С.В., Копылов И.С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64–72.
3. Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Копылов И.С. Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности (Пермское Приуралье) // Геотектоника. 2008. № 6. С. 46–69.

4. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). С. 70–81.
5. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и их влияние на инженерно-геологические условия // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5.
6. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.
7. Копылов И.С. Линеamentно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
8. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
9. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
10. Копылов И.С., Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 3 (20). С. 5–30.
11. Копылов И.С., Коноплев А.В. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ // Геоинформатика. 2013. № 2. С. 20–23.
12. Копылов И.С., Ликутков Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. 2012. № 9–3. С. 602–606.
13. Космическая информация в геологии. Коллектив авторов. М.: Наука. 1985.
14. Ликутков Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 4. С. 125–133.
15. Схема расположения месторождений нефти и перспективных структур Пермского края по состоянию на 01.01.2018 г. Филиал «Лукойл-Инжиниринг» «ПермНИИ-ПИнефть» в городе Перми.

#### **Источник**

Альметова А.В. Применение аэрокосмических методов при поисках перспективных на нефть и газ структур на западе Соликамской депрессии // Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 108–113.

**I.S. Kopylov<sup>1</sup>, M.D. Ali<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup> Republic of Somalia

## **AEROSPACE ANALYSIS OF EAST AFRICA AND NORTHERN SOMALIA (FOR GEODYNAMIC ASSESSMENT AND SEARCHING FOR OIL AND GAS)**

**Published in:** Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherkinskie reading: Series of scientific article. Materials of V International sci.-pract. conf. Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2021. P. 406–418

*The study of geological conditions and modern geodynamics by aerospace methods of the Republic of Somalia has been carried out. Based on the interpretation of modern space images of the East Africa, 1153 lineaments were identified, which were divided into ranks in length: regional (100–400 km or more) – 143 lineaments, zonal (15–100 km) – 537 lineaments, local (5–15 or less) – 523 lineaments. Three areas with increased geodynamic activity, promising for prospecting for oil and gas, have been identified in the North Somalia.*

*Keywords:* geological conditions, aerospace methods, structural-tectonic interpretation of space images, lineaments, ring structures, prospecting for oil and gas, the Republic of Somalia.

**И.С. Копылов<sup>1</sup>, М.Д. Али<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup> Республика Сомали

## **АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ И СЕВЕРНОГО СОМАЛИ (ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И ПОИСКОВ НЕФТИ И ГАЗА)**

*Проведено изучение геологических условий и современной геодинамики аэрокосмическими методами Республики Сомали. На основе дешифрирования современных космических снимков в Восточной Африке были выделены 1153 линеаментов, которые разделены на ранги по протяженности: региональные (100–400 и более км) – 143 линеаментов, зональные (15–100 км) – 537 линеаментов, локальные (5–15 и менее) – 523 линеаментов. В Северном Сомали выделены 3 участка с повышенной геодинамической активностью перспективные на поиски нефти и газа.*

*Ключевые слова:* геологические условия, аэрокосмические методы, структурно-тектоническое дешифрирование космических снимков, линеаменты, кольцевые структуры, поиски нефти и газа, Республика Сомали.

## Introduction

Aerospace methods have long been used in the search for minerals (especially oil and gas, gold, diamonds, polymetals, etc.), revealing indirect signs of their deposits. In geological mapping, remote sensing methods of the Earth (ERS) are widely used, which, in combination with other methods, give positive results.

The study of the Earth from space plays a special role in the geodynamic assessment of territories, knowledge of which is necessary in engineering geology during the construction of various engineering structures.

Aerospace analysis is extremely relevant in the geological study of Africa, incl. – in the Republic of Somalia (a promising territory for oil and gas), since it allows, in conditions of poor geological knowledge, to identify promising objects for prospecting for oil and gas with the lowest economic costs.

***The aim of the work*** is aerospace geological analysis of the territory of the Republic of Somalia and forecast of oil and gas promising zones. The following tasks were set: analysis of geological materials of the territory; decoding of space images; highlighting lineaments, ring and arc structures; lineament geodynamic analysis; complex aerospace geological analysis of the territory and identification of oil and gas promising zones.

***The objects of research*** are the eastern part of Africa (at the overview-regional level), the northern part of Somalia (at the regional-zonal level).

## Geographic conditions

Somalia, officially the Federal Republic of Somalia, is a country located on the Horn of Africa in eastern Africa. It is bordered by Ethiopia in the west, Djibouti in the northwest and Kenya in the southwest, washed by the Gulf of Aden in the north and the Indian Ocean in the east. Somalia has the longest coastline on mainland Africa, with a coastline that stretches for 3,025 kilometers (1,880 miles). Area – 637.7 thousand km<sup>2</sup>, population 15 893 219 people. (2020) [26]. The capital is Mogadishu (900 thousand people) (Fig. 1).

***Relief of the Earth.*** Most of the territory of Somalia is occupied by the vast Ogaden plateau with a height of 500–1500 m with an average altitude of about 900 m above sea level. It gradually rises to the north, forming the waterless Houd Plateau. Along the northern coast of the country, from the city of Hargeisa to Cape Guardafui (Ras Aseir), stretches the raised edge of the plateau, which abruptly drops off in rocky ledges to the coastal plain. The highest point of the country is Mount Shimbiris (2407 m), located in the Surud Ad massif within the Sanag region. The southern provinces of Somalia are flat, arid plains. The coastal plains are composed mainly of limestones, the inner plateaus and plateaus are crystalline rocks (with a predominance of granites), in the northern mountains they are overlain by sandstones and limestones [27]. In the valleys of the Jubba and Webi-Shabelle rivers, alluvial, periodically flooded lowlands are developed.

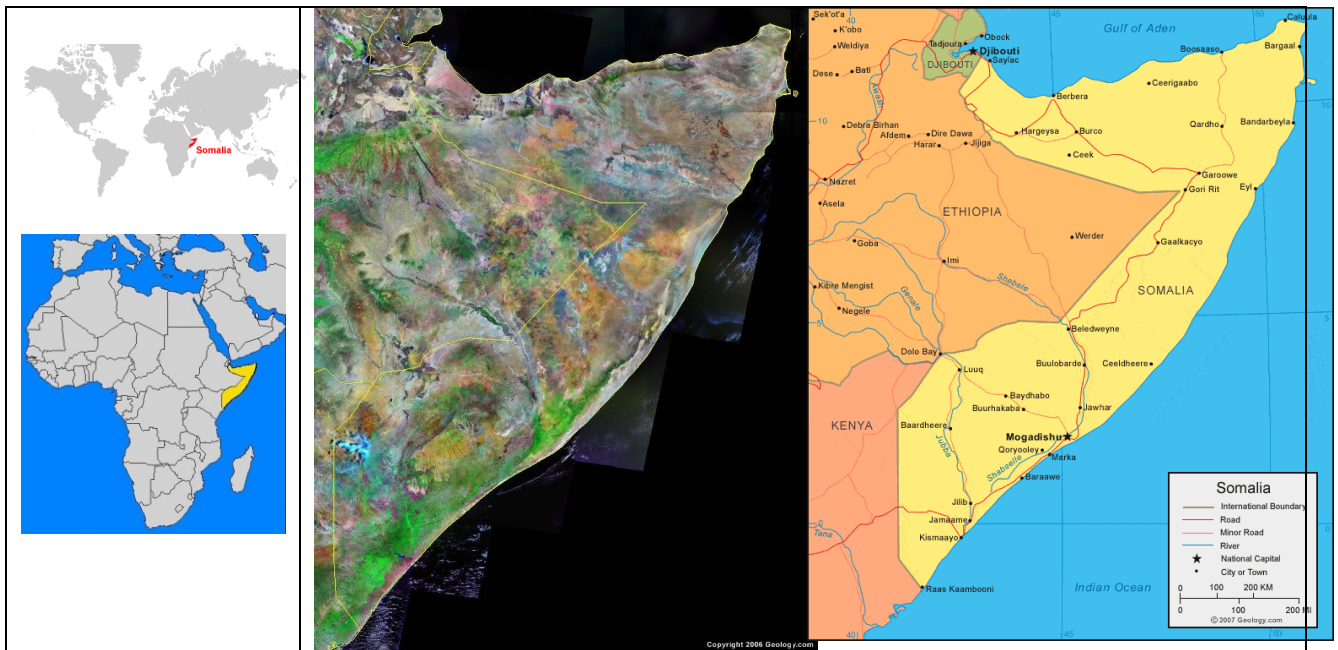


Fig. 1. Somalia Map and Satellite Image [25]

*The climate of Somalia* is subequatorial monsoon, in the north it is tropical desert and semi-desert. Average temperatures range from about 24 to 31 ° C. Precipitation ranges from 50 mm in the north and east to 600 mm per year in the south and west. Heavy rains in the Ethiopian Highlands often cause catastrophic flooding. The plain in the lower reaches of the Jubba is most severely affected.

*Hydrography.* Dry channels predominate, filling with water only during rainy periods. Two rivers have a constant flow – the Jubba and its tributary Uebi-Shabelle; 90% of their river flow is formed in the Ethiopian Highlands. The flow of the Uebi-Shabelle falls sharply downstream, and the river does not reach Jubba for most of the year, ending in the Sablaale swamps.

### **Regional geology and minerals**

Somalia is located in the eastern part of the Precambrian African Platform. The foundation of the platform protrudes to the surface along the Cenozoic rift in the Gulf of Aden and in the southern part of the country. It is formed mainly by the Early Precambrian complexes of the Mozambican granulite-gneiss belt – Archean gneisses, charnockites and other rocks, in places overlapped by Lower Proterozoic quartzites and marbles. The formations of the belt are broken through by Late Proterozoic granites, incl. – rare metal and crystal-bearing pegmatites; in the south of the country, Mesozoic alkaline intrusions have been introduced into them. The sedimentary cover is composed of Jurassic, Cretaceous, and Cenozoic shallow-water marine deposits of the vast shelf paleo-margin of Africa [2, 3, 24] (Fig. 2, 3).

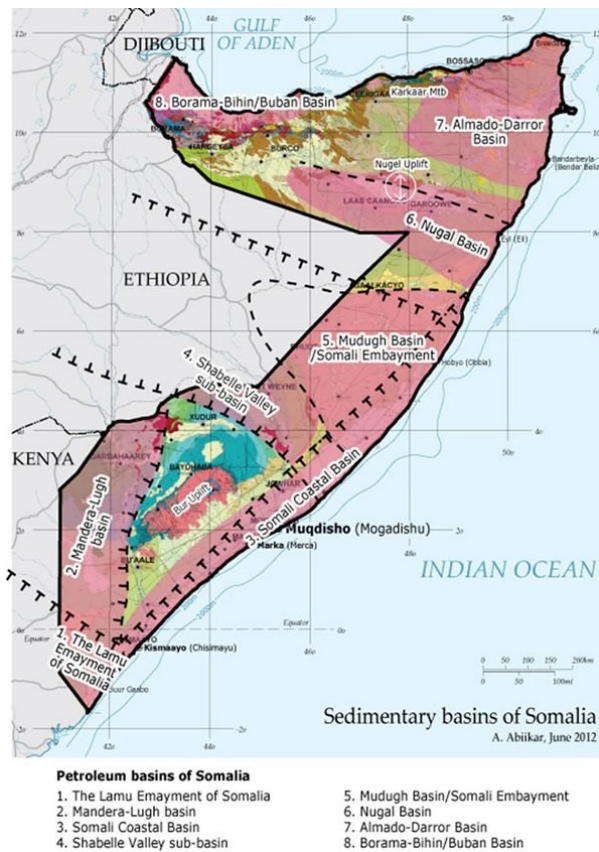
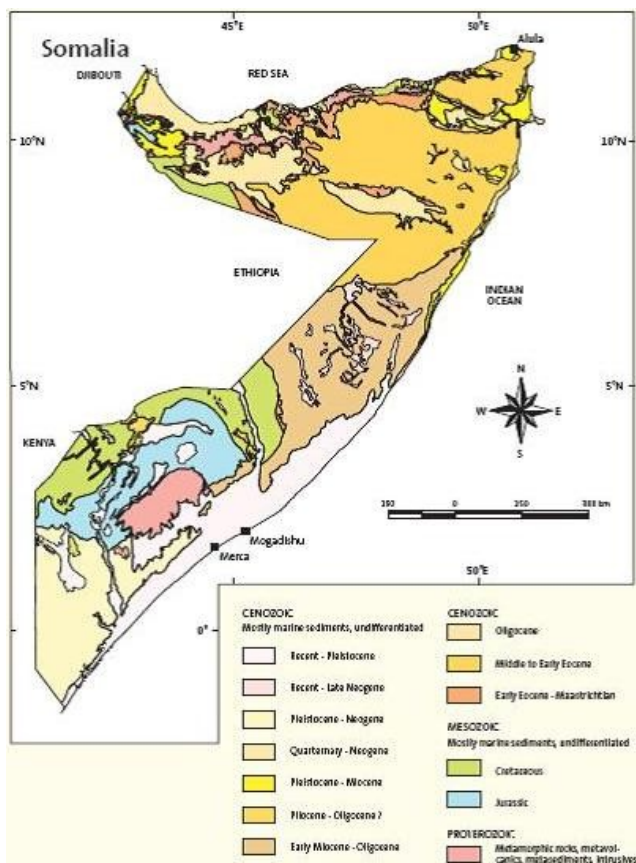


Fig. 2. Geological conditions of Somalia [24, 27]

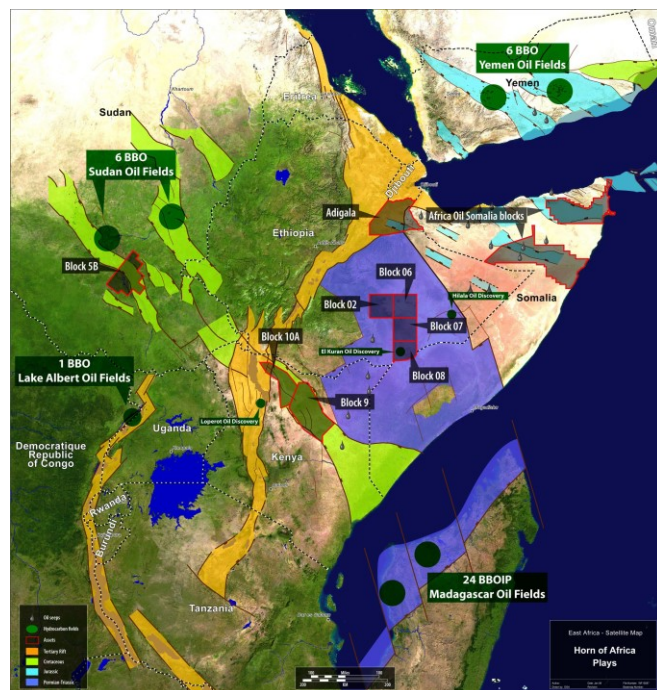
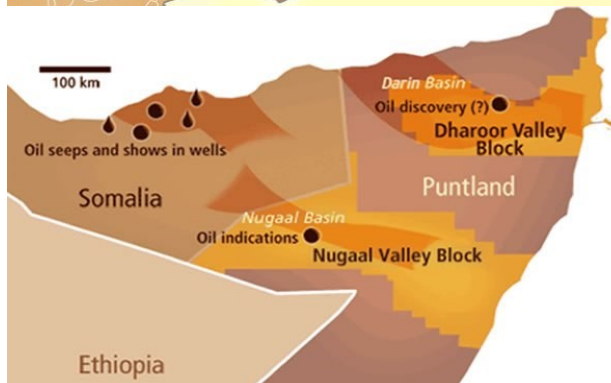
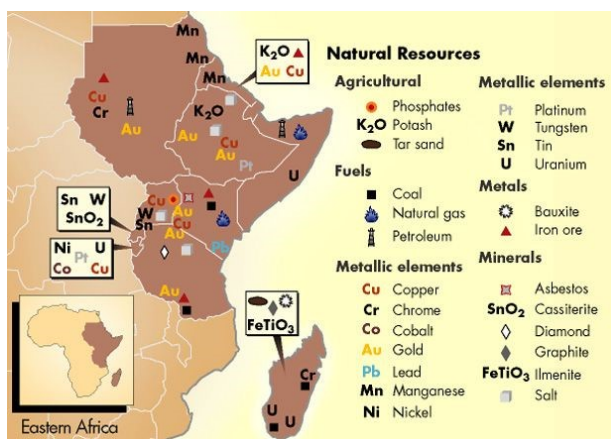


Fig. 3. Minerals of East Africa and Northern Somalia [2, 28]

On the territory of Somalia there are deposits of ores of iron, uranium, vanadium, thorium, tin, tantalum and niobium, titanium (offshore ilmenite placers); precious stones, granites, marbles, rock salt, gypsum, limestone, kaolin, quartz, feldspar, brown coal, etc. The territory of Somalia is highly promising in terms of oil and gas content, where oil and gas deposits are established in the southeast and north of the country (Fig. 3).

Somalia's geological formation bears important parallels to that of Yemen, which holds some 9 billion barrels of proven oil reserves. According to petroleum geologists, the South Yemeni Marib-Shabwa and Sayun-Masila basins are associated with the Nugaal and Dharoor blocks in northern Somalia respectively. Petroleum experts remain optimistic that both the Dharoor and Nugaal blocks, with acreages of 14,384 km<sup>2</sup> and 21,784 km<sup>2</sup> respectively, contain commercially viable hydrocarbon fields in the range of about 20 billion barrels of oil (Currie, 2012) [2].

### **Materials and methods**

Tectonic lineaments, ring structures and geodynamic active zones are one of the main objects of aerospace geological research in the course of geodynamic assessment and predictive-mineragenic research. Many of them are associated with various types of minerals, incl. – oil and gas. Extended through systems of dislocations are of great importance. These end-to-end systems are often oil and gas, mainly at the intersections of meridional and latitudinal end-to-end systems. They contain large oil and gas fields. Such nodes are often accompanied by ring faults. Revealing the connection of oil – gas of an object with certain lineaments and their zones allows expanding the search area within all these zones [8-10, 13, 19, 20, 22-24].

#### ***Sequence of work:***

1) Selection of satellite images for the territory of East Africa and Somalia. Landsat-8 satellite images (Google Earth service) were taken for the study (Fig. 4).

2) Interpretation of satellite images and their processing:

- highlighting lineaments, arc and ring structures,
- carrying out lineament-geodynamic analysis and identification of geodynamic active zones (with a high density of lineaments).

Computer structural interpretation was chosen as the main method for interpreting space images (Fig. 5), during which linear formations were identified on the images, identified with tectonic dislocations of the sedimentary cover, corresponding to different stages of aerospace geological studies (survey, regional, regional-zonal, etc.). Lineaments were indicated by linearly elongated watersheds, straightened sections of river channels, and boundaries of landscape structures [5, 11, 14–16, 18].

3) Comprehensive analysis and identification of promising areas for oil and gas prospecting.

Geoinformation mapping at all stages was carried out using Arc View GIS and Arc GIS software. The processing was carried out using the Spatial Analyst module (Fig. 5).



Fig. 4. Multi-scale satellite images of East Africa and North Somalia



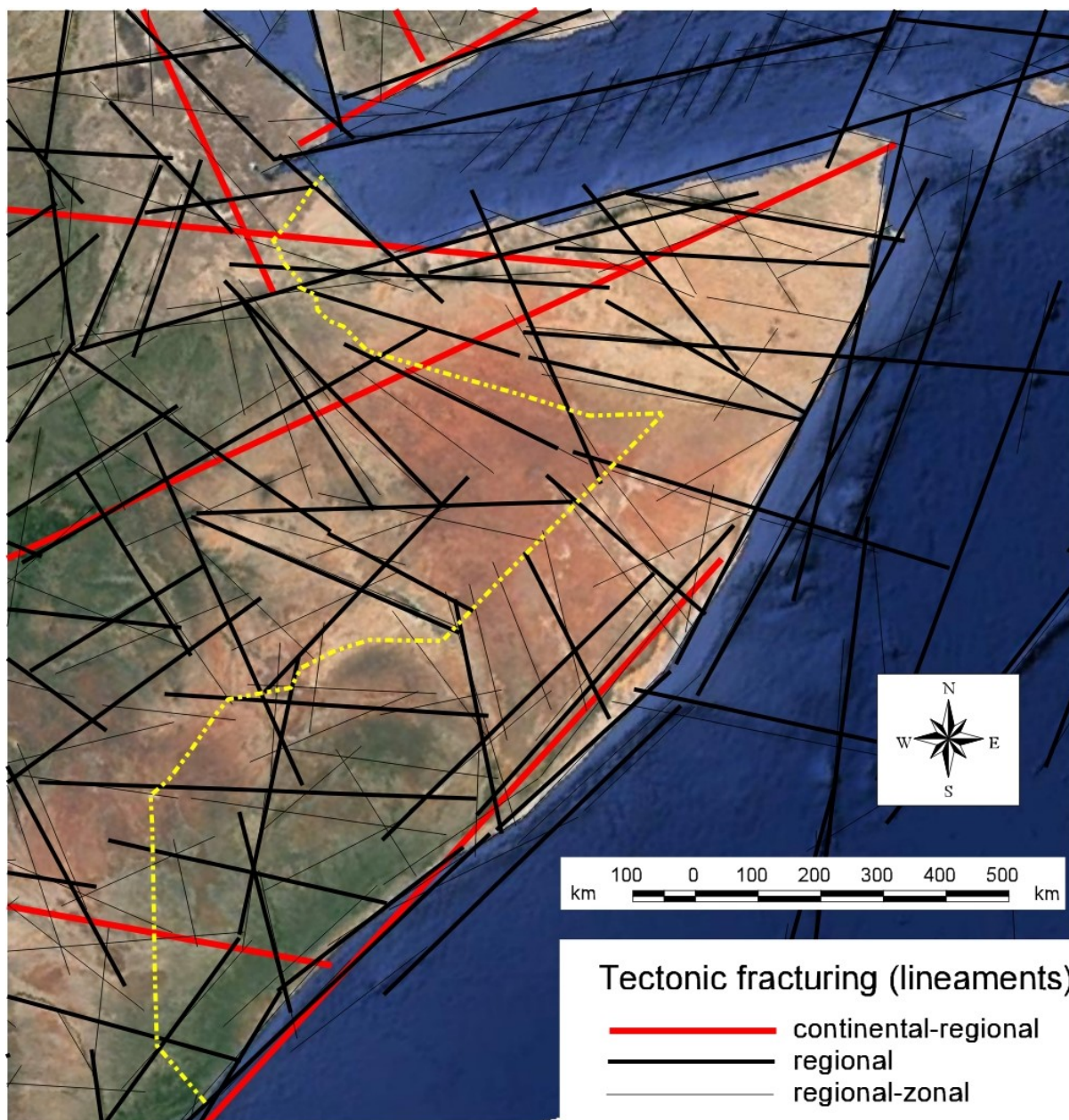


Fig. 6. Map of large lineaments for deciphering space images of the Somali Peninsula

### ***Lineament geodynamic analysis***

Lineament geodynamic analysis was carried out according to the methods [9–11, 13].

The most reliable indicator of geodynamic activity of territories is the density of lineaments (especially in combination with indicators of relief dissection). The density of lineaments (calculated in units of length per unit area) was calculated for the area of Northern Somalia by regional, zonal and local lineaments, varies widely.

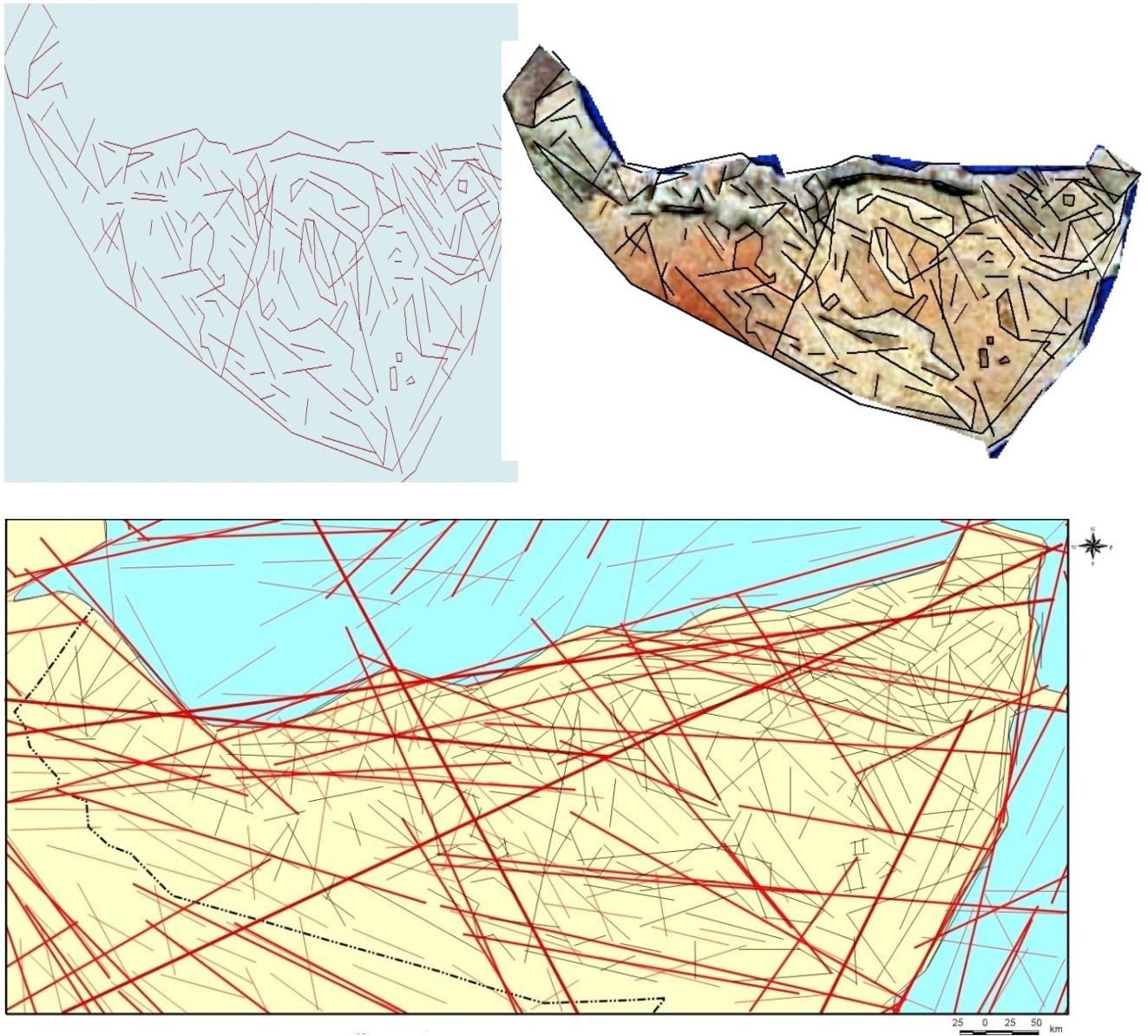


Fig. 7. Lineament field and lineament-geodynamic analysis of Northern Somalia

An assessment of the geodynamic activity of the region has been carried out. Areas were identified: with low and medium geodynamic activity (with low and medium density of lineaments), constituting the background of the region and areas with high, very high and extremely high geodynamic activity (with high, very high and extremely high density of lineaments), which prevail in the north Somalia. The highest values of geodynamic activity and lineament density were found in three areas (Fig. 8).

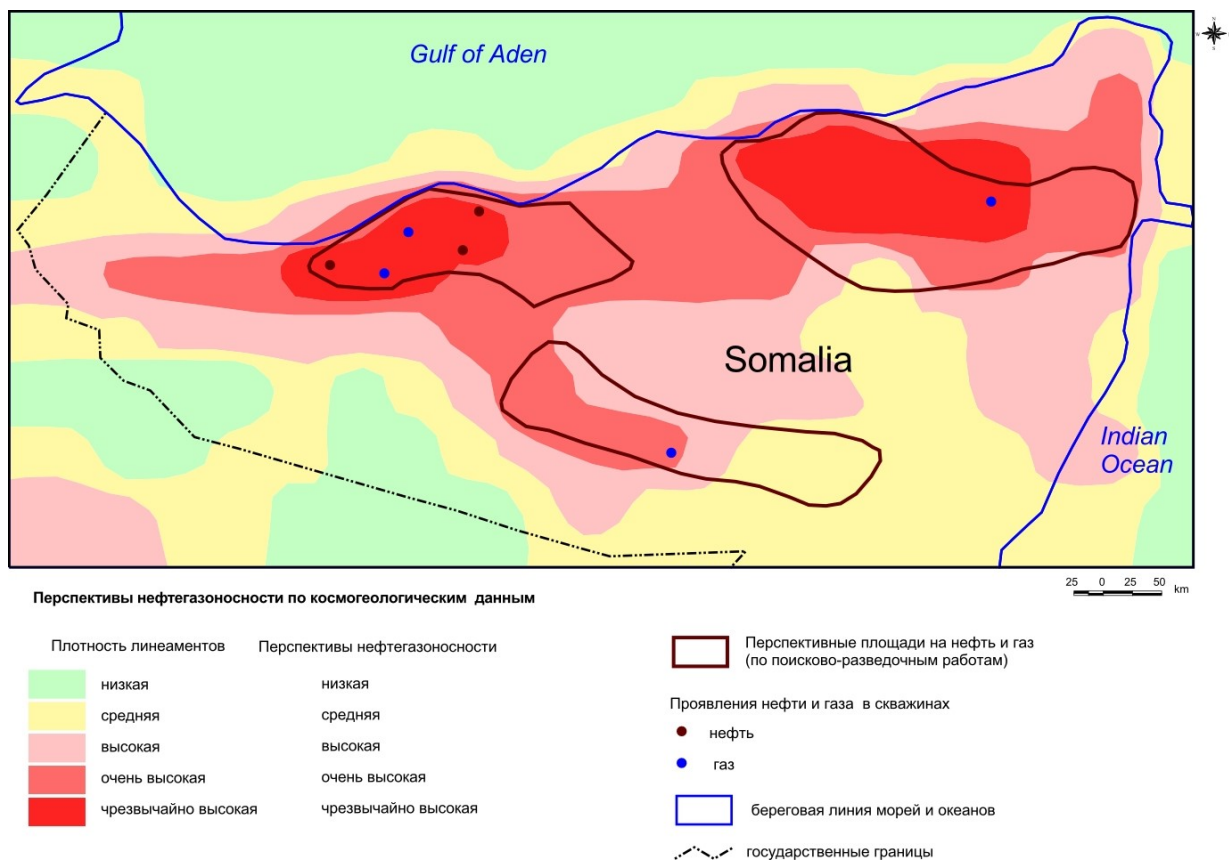


Fig. 8. Map of geodynamic activity with an assessment of the oil and gas potential of Northern Somalia

Areas with an increased density of lineaments form zones of increased geodynamic activity – geodynamic active zones. Earlier aerospace geological studies in various regions of the world have established that geodynamic active zones, as a rule, are well manifested in geophysical, geochemical, hydrogeological fields; such areas are characterized by an increase in the intensity of dangerous geological processes, a deterioration in the physical and mechanical properties of soils [7, 17, 21]; they are zones of engineering-geological and geocological risk. On the other hand, many mineral deposits are confined to them – incl. – oil and gas. [1, 4-6, 11, 23, 24].

Analysis of the data of oil and gas showings in boreholes in Northern Somalia showed that within all three areas, where very, extremely high geodynamic activity (in terms of lineament density) is established, there are oil or gas fields or facts about the presence of oil and gas showings in boreholes. Therefore, such areas may be promising for expanding oil and gas exploration.

### Conclusion

When studying the territory of Somalia and its northern part, aerospace methods were used to study the geological-geomorphological, neotectonic and structural-tectonic conditions for the formation of oil and gas fields. During the interpretation of space images, the main attention was paid to faults (lineaments) and geodynamic active zones. Highlighted areas with high, very high and extremely high density of lineaments, which prevail in the north of Somalia. The 3 most promising zones for pro-

specting and exploration of oil and gas have been identified (where there are established deposits or manifestations of oil or gas).

The results indicate that there are good prospects for prospecting and exploration for oil and gas using aerospace methods. The data obtained require clarification by detailed aerospace-geological methods and confirmation by additional studies using geophysical and geochemical methods.

### References

1. Bakytzhanova B.N., Kopylov I.S., Seytekov T.T. Prospects for oil and gas exploration in the Caspian oil and gas province of Kazakhstan using remote sensing methods // *Geology and minerals of the Western Urals*. 2017. № 17, pp. 75–79 (in Russian).
2. Бакытжанова Б.Н., Копылов И.С., Сейтеков Т.Т. Перспективы поисков нефти и газа в Прикаспийской нефтегазоносной провинции Казахстана с применением дистанционных методов // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2017. № 17. С. 75–79.
3. Balthasar D. Oil in Somalia Adding Fuel to the Fire? Heritage Institute for Policy Studies. Mogadishu, Somalia. URL: [https://heritageinstitute.org/wp-content/uploads/2014/06/HIPS-Oil\\_in\\_Somalia-ENGLISH.pdf](https://heritageinstitute.org/wp-content/uploads/2014/06/HIPS-Oil_in_Somalia-ENGLISH.pdf).
4. Kassim A.M., Carmignani L., Conti P., Fantozzi P.L. Geology of the Mesozoic-Tertiary sedimentary basins in southwestern Somalia // *Journal of African Earth Sciences*. V. 34, Is. 1–2, 2002, pp. 3–20.
5. Kozlov S.V., Kopylov I.S. Regularities of Occurrence of Unique and Large Oil and Gas Deposits in the Earth Crust. Deep Zones of Hydrocarbons Generation and Primary Asthenosphere Earthquakes as a Uniform Planetary Process // *Bulletin of Perm University. Geology*. 2019. Vol. 18. № 1, pp. 64–72 (in Russian).
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. Kopylov I.S. Analysis of the results and prospects of oil and gas exploration aerospace studies of the Perm Urals // *Bulletin of Perm University. Geology*. 2015. №. 4 (29), pp. 70–81
8. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисковых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2015. № 4 (29). С. 70–81.
9. Kopylov I.S. Geocology of oil and gas regions of the southwest Siberian platform. Perm, 2013. 166 p. (in Russian).
10. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.
11. Kopylov I.S. Engineering-geological role of geodynamic active zones // *Successes of modern natural science*. 2014. № 5–2. pp. 110–114 (in Russian).
12. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 5–2. С. 110–114.
13. Kopylov I.S. Landscape-geodynamic analysis in the search for oil and gas. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 p. (in Russian).
14. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 210 с.
15. Kopylov I.S. Methodological bases of aerospace and geological research when searching oil and gas // *Aerospace methods in geology*. Perm, 2019, pp. 25–37 (in Russian).
16. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии* Пермь, 2019. С. 25–37.

17. 10. Kopylov I.S. Methodology of landscape-geodynamic analysis and estimates of oil and gas perspectives by aero-space geological research (on the example of Grigorievskaya square) // *Aerospace methods in geology*. Perm, 2020, pp. 66–94 (in Russian).
18. 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.
19. 11. Kopylov I.S. Morphoneotectonic system for assessing geodynamic activity. Perm, 2019. 131 p. (in Russian).
20. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Пермь, 2019. 131 с.
21. Kopylov I.S. Results of detailed decoding of space images for assessment of geodynamic activity and identification of potentially hazardous karst areas of Kentau city (South Kazakhstan) // *Aerospace methods in geology*. Perm, 2020. pp. 284–291 (in Russian).
22. Копылов И.С. Результаты детального дешифрирования космических снимков для оценки геодинамической активности и выделения потенциально опасных карстовых участков города Кентау (Южный Казахстан) // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2020. С. 284–291.
23. 13. Kopylov I.S. Theoretical and applied aspects of the doctrine about geodynamic active zones // *Modern problems of science and education*. 2011. № 4. (in Russian).
24. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4.
25. Kopylov I.S., Bakytzhanova B.N., Dal L.I., Seytekov T.T. Prospects for application of aerospace methods for oil and gas search in Western Kazakhstan // *Aerospace methods in geology*. Perm, 2019. pp. 48–54 (in Russian).
26. Kopylov I.S., Bakytzhanova B.N., Dal L.I., Seytekov T.T. Prospects for application of aerospace methods for oil and gas search in Western Kazakhstan // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 48–54.
27. 15. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, [www.sgem.org](http://www.sgem.org), SGEM2015 Conference Proceedings, June 18–24, 2015, Book1 Vol. 3, pp. 305–312. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.
28. 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. pp. 55–62 (in Russian).
29. Kopylov I.S., Kovin O.N., Nahesbik S. Regional engineering-aerospace analysis for the design of large linear structures of Western China // *Аэрокосмические методы в геологии*. Пермь, 2019. С. 55–62.
30. Kopylov I.S., Konoplev A.V. Rating geodynamic state of Talitsky area of Upper Kama potassium salt deposit based on GIS and remote sensing data // *Geoinformatika*. 2013. № 2, pp. 20–23 (in Russian).
31. Копылов И.С., Коноплев А.В. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ // *Геоинформатика*. 2013. № 2. С. 20–23.
32. Kopylov I.S., Konoplev A.V., Iblaminov R.G. The latest tectonics and modern geodynamics of Western Kazakhstan at the Zhilyansk potash salt deposit // *Modern problems of science and education*. 2014. № 5. (in Russian).
33. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г. Новейшая тектоника и современная геодинамика Западного Казахстана на Жилинском месторождении калийных солей // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5.

34. Kopylov I.S., Kozlov S.V. Neotectonic model of formation of oil and gas fields and mineralogenic role of geodynamic active zones // *Bulletin of Perm University. Geology*. 2014. № 1 (22). pp. 78–88 (in Russian).
35. Копылов И.С., Козлов С.В. Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерогенная роль геодинамических активных зон // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2014. № 1 (22). С. 78–88.
36. Koronovskiy N.V., Bryantseva G.V., Goncharov M.A., Neymark A.A., Kopaev A.V. Lineaments, fractures and regmatic network: core and terminology. *Geotektonika. Geotectonics*. 2014, 2: 75–88. (in Russian).
37. Короновский Н.В., Брянцева Г.В., Гончаров М.А., Неймарк А.А., Копяев А.В. Линеаменты, планетарная трещиноватость и регматическая сеть: суть явлений и терминология // *Геотектоника*. 2014. № 2. С. 75–88.
38. Mikhalev V.V., Kopylov I.S., Bykov N.Ya. Assessment of geological risks and technological hazards in the development of oil and gas regions based on aero-cosmological studies // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2005. № 5–6. pp. 76–77 (in Russian).
39. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2005. № 5–6. С. 76–77.
40. Nechaev YU.V. Lineaments and tectonic break: Remote studying of internal structure of sial. Ed. by. academitian A.O. Gliko. Moscow: IFZ RAN, 2010: 215. (in Russian).
41. Нечаев Ю.В. Линеаменты и тектоническая раздробленность: Дистанционное изучение внутреннего строения литосферы / Под. ред. академика А.О. Глико. М.: ИФЗ РАН, 2010. 215 с.
42. Zverev A.T., Zverev A.V., Salimon E.A. Forecast of oil and gas deposits with the use of lineamental analysis of space images data. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka». Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2018, 62 (3): 337–345. (in Russian).
43. Зверев А.Т., Зверев А.В., Салимон Э.А. Прогноз нефтегазовых месторождений на основе линеаментного анализа космоснимков // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2018. Т. 62. № 3. С. 337–345.
44. Zverev A.V., Zverev A.T. Search of the gas- and oil deposits using lineament analysis of space images. *Sbornik statej po itogam nauchno-tekhnicheskikh konferencij*.
45. *Proceedings of science and practical conferences. In 2 parts*. 2014, Issue 7. 1: 160–163. (in Russian).
46. Зверев А.В., Зверев А.Т. Методика поиска нефтегазовых месторождений с использованием линеаментного анализа космических снимков // *Сб. статей по итогам научно-технических конференций. Вып. 7. В 2-х частях. Ч.1*. 2014. С.160-163.
47. 25. <https://geology.com/world/somalia-satellite-image.shtml>.
48. <https://wikichi.ru/wiki/Somalia>.
49. <https://tarantulas.su>.
50. <http://www.hornpetroleum.com>.

#### **Источник**

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: Series of scientific article. Materials of V International sci.-pract. conf.* Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2021. Pp. 406–418.

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ КАРСТОВЫЕ ФОРМЫ В ЗОНАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯСЫЛЬСКОГО УЧАСТКА

Опубликовано в: *Аэрокосмические методы в геологии: сборник научных статей /*  
Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 201–209

*Рассмотрены закономерности распределения поверхностных карстовых форм. Изучены неотектонические линеаменты в районе Красноясыльского участка Ординского района Пермского края.*

*Ключевые слова: линеаменты, карст, Пермский край.*

E.Y. Kilina

Perm State University, Perm, Russia

## SURFACE KARST FORMS IN ZONES OF LINEAMENTS MANIFESTATION BY THE EXAMPLE OF THE KRASNOYASYLSKY ARIA

*Regularities of distribution of superficial karst forms are considered. Neotectonic lineaments were studied in the Krasnoyasylyk area of the Ordinsky district of the Perm region.*

*Keywords: lineaments, karst, Perm Krai*

**Введение.** Основными факторами развития карстовых процессов (как подземных, так и поверхностных форм), по мнению многих исследователей и ученых, являются геоморфологические особенности территории, ее рельеф, геологические и гидрогеологические условия. Также одним из основных факторов является *новейшая тектоника и современная геодинамика*, и их проявления – повышенная трещиноватость пород в геодинамических активных зонах.

Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются *аэрокосмогеологические исследования* (АКГИ) [7–10]. Данные исследования выполняются на основе дистанционных методов.

Наряду со стандартными методами дешифрирования аэрокосмоматериалов, в состав дистанционных методов исследования можно также включить и тепловизионные с получением снимков в инфракрасном диапазоне спектра. На снимках фиксируются приповерхностные карстовые формы, обводнённые зоны, зоны дробления карстующихся пород приуроченные к тектоническим нарушениям и т.д. [6].

На аэрокосмических изображениях достаточно отчетливо видны полосы, проявляющиеся самостоятельными фотоаномалиями, в виде прямолинейных границ между различными ландшафтными зонами или геологическими образованиями. Они получили название линеаментов. Таким образом, под линеамен-

том в геологии принято понимать линейные или дугообразные элементы планетарного значения, связанные на начальном этапе, а иногда и на протяжении всей истории развития литосферы с глубинными расколами [5]. При этом была выяснена интересная особенность их проявления: количество их зависит от масштабов космических съемок. Чем он мельче, тем отчетливее выглядят линеаменты на аэрокосмических снимках.

Подавляющее большинство глубинных разломов проявляются на аэрокосмических снимках линеаментами, совпадающими с их осевыми линиями или трассирующимися параллельно им в непосредственной близости.

Основой методологии изучения геодинамических активных зон является линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных методов.

Системы линеаментов ограничивают блоки земной поверхности различающиеся гипсометрическими уровнями, интенсивностью эрозионной и денудационной расчлененности карстовых процессов, особенностями геологического строения. Часто разницы блоков различных порядков фрагментарно прослеживаются на всю глубину осадочного чехла в виде флексур, разрывных нарушений, узких линейно вытянутых прогибов. Комплекс этих признаков позволяет судить о тенденциях и унаследованности современных вертикальных и горизонтальных сдвижений соседних блоков земной коры вдоль пограничных систем линеаментов. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры [9].

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур.

В массивах, разделенных на блоки тектоническими разломами, относительно опущенные блоки наиболее раздроблены. Зоны трещиноватости (зоны растяжения) очень часто являются индикаторами опущенных блоков.

Распределение карстовых форм во многом определяется распределением внутриблоковых трещинных зон, образующих своеобразную трещино-карстовую структуру блока и массива в целом [1].

### **Геологическая характеристика рассматриваемого района**

В данной работе рассматривается участок магистрального газопровода Ужгородского коридора на 1646 – 1648 км участка Красный Ясыл Ординского района Пермского края.

Рассматриваемая территория по карстовому районированию Горбуновой К.А. [3, 11] относится к *Иренскому району преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста*.

Приподнятая денудационная равнина Уфимского плато имеет эрозионно-тектонический рельеф и представляет собой плитообразную поверхность с плоскими водоразделами и глубокими речными долинами.

Красноясыльское поле имеет площадь 19 км<sup>2</sup>, при средней плотности 133 формы на 1 км<sup>2</sup>. Детальной карстологической съемкой охвачена территория в 2,42 км<sup>2</sup>, южнее с. Красный Ясыл. На изученной площади описано 517 карстовых воронок. Они распространены неравномерно и приурочены к возвы-

шенной столообразной поверхности водораздела. На этой территории отмечена наибольшая плотность, достигающая 209 воронок на 1 км<sup>2</sup>. Чаще всего встречаются цепи воронок с азимутом 30° и 70° (рис. 1).



Рис. 1. Красноясыльское карстовое поле (по материалам карстомониторинга, института «Пермгипроводхоз» [2])

Размеры воронок самые разнообразные и часто достигают 15–25 м в поперечнике и 5–10 м в глубину. В плане они в основном округлые, реже овальные. На данной площади насчитывается 383 конусообразных, 192 чашеобразных и 12 блюдцеобразных воронок. Кроме того, зафиксировано 7 сложных воронок [2].

Характерной особенностью данной территории является то, что почти во всех воронках имеются выходы коренных пород. Самые древние породы, выходящие на поверхность, относятся к иренскому горизонту кунгурского яруса. Это гипсы буроватые, беловато-серые. В некоторых воронках есть входы в пещеры, поноры.

В неотектоническом отношении район работ расположен в пределах восточной окраины Русской плиты, Восточно-Европейской материковой платформы, в пределах Уфимского мегаблока Иреньского макроблока (рис. 2).

В целом территория характеризуется дизъюктивно-блоковым строением, что в конечном итоге определяет локализацию поверхностных и подземных вод, локализацию экзогенных процессов – эрозионных и карстовых.



Условные обозначения

Неотектонические таксоны: А- Восточно-Европейская материковая платформа: А- Русская плита: IV- Уфимский мегаблок: 18-Усинский макроблок; 19-Тулвинский макроблок; 20-Иреньский макроблок. В- Предсреднеуральская структурная зона (геоблок): V-Предсреднеуральский мегаблок: 26-Сылвинский макроблок.



Рис. 2. Карта неотектонических блоковых структур (по материалам ООО «ПермНИПИнефть, И.С. Копылов, 2006», с обновлением) [8, 10]

Породы тектонических блоков заключенные между логами разбиты сетью трещин расположение, которых субпараллельно границам тектоблоков. Трещины преимущественно вертикальные [1].

### Результаты исследований

По результатам структурного дешиффрирования аэрофотоснимков в районе исследования выявлена сеть прямолинейных геоморфологических линейментов, отображающих предполагаемые субвертикальные трещинно-разрывные структуры.

Вдоль них в осадочном чехле предполагается существование узких линейных зон усиленной тектонической трещиноватости. По вертикали и латера-

ли в этих полосах трещиноватости могут формироваться малоамплитудные разрывные нарушения типа сбросов.

На изучаемом участке выявлены системы линеаментов двух генераций, подчиненные взаимно перпендикулярным направлениям; меридионально-широтному и северо-восточно – северо-западному.

Меридиональные и широтные системы линеаментов достаточно тесно коррелируются с параллельными, иногда плавно близкими осями разломов фундамента позднерифейского заложения, активизированных в палеозое и мезозое. Протяженность некоторых систем меридиональных линеаментов в изученной полосе по данным дешифрирования космических снимков (КС) оценивается в десятки километров [4].

Широтные системы, как правило, менее отчетливы, прерывисты, их соответствие глубинным нарушениям осадочного чехла не всегда уверенно опознается.

Система линеаментов генерации северо-восточного и северо-западного простираний отчетливо выражена в закономерностях деталей линейных эрозионных денудационных и карстовых микро- и мезоформ рельефа, но не всегда находит отчетливое соответствие линейным структурам осадочного чехла.

В сети прямолинейных линеаментов отчетливо выделяются полосы их плотной параллельной группировки, пересекающие один или несколько блоков разных порядков.

Вдоль таких полос наблюдается интенсивное развитие карстовых и денудационно-эрозионных форм, что свидетельствует в пользу тектонической активизации трещинно-разрывных структур, отображенных линеаментами.

Среди наиболее активных систем линеаментов в районе коридора трасс магистрального газопровода выделяются меридиональные: Каменская и Западно-Опачевская; северо-восточного простирания: Южно-Губановская и Ясылская); северо-западного простирания: Средняясылская и Верхняясылская (рис. 3).

Вдоль Южно-Губановской и Ясылской систем линеаментов ограничивающих и осложняющих Красноясылский малый блок по результатам структурного дешифрирования предполагается вероятность левостороннего сдвига соседних блоков [4].

Наиболее отчетлив этот сдвиг в верховьях Ясылского лога, где западные границы слабоопущенных Губановского и Опачёвского малых блоков смещены вдоль Южно-Губановской системы линеаментов на расстояние около 2,5 км.

Оба блока характеризуются очень близкими геолого-геоморфологическим строением, особенностями карстового рельефа, высоким положением уровня подземных вод, благодаря чему в пределах этих структур широко распространены довольно крупные карстовые озёра.

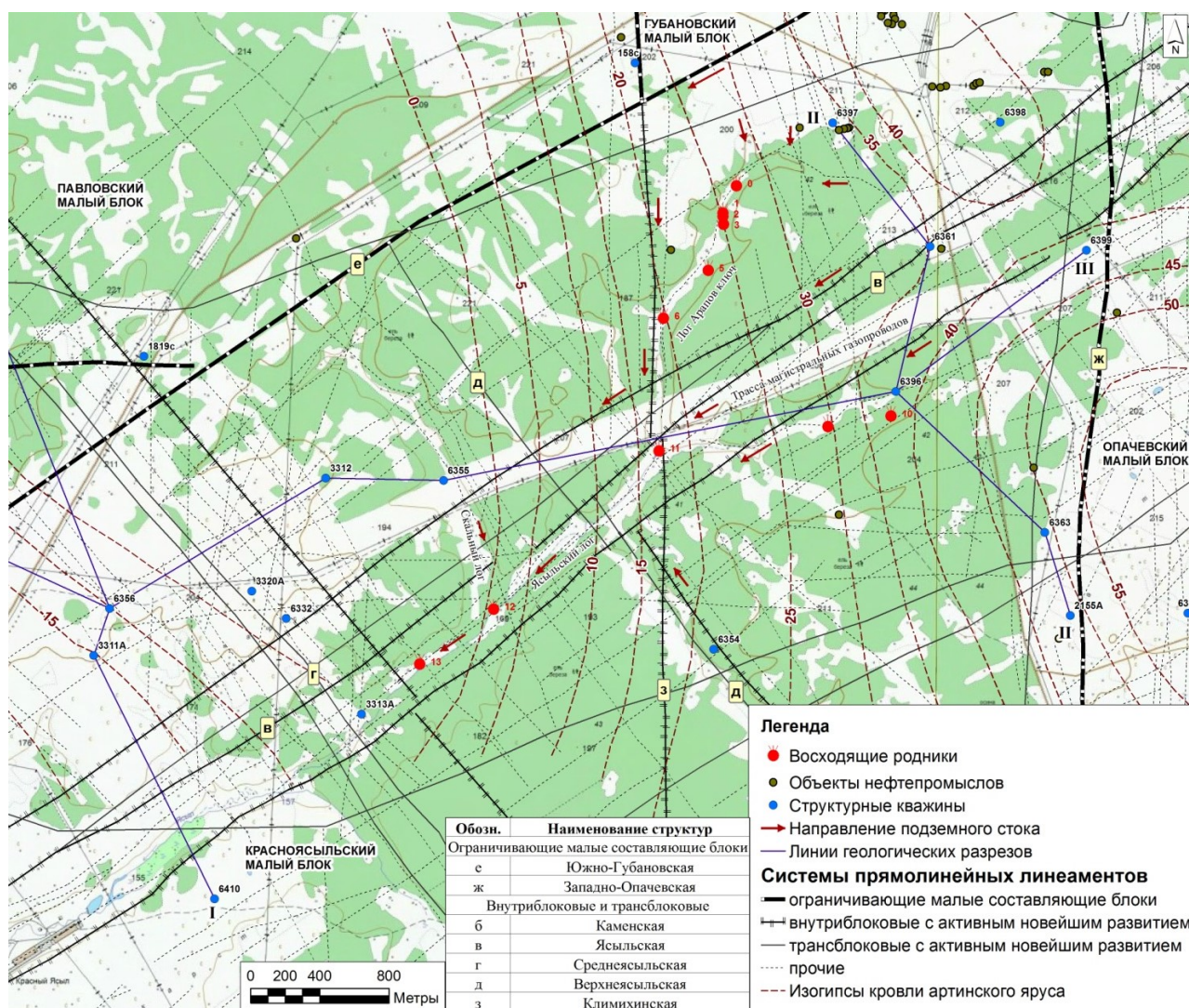
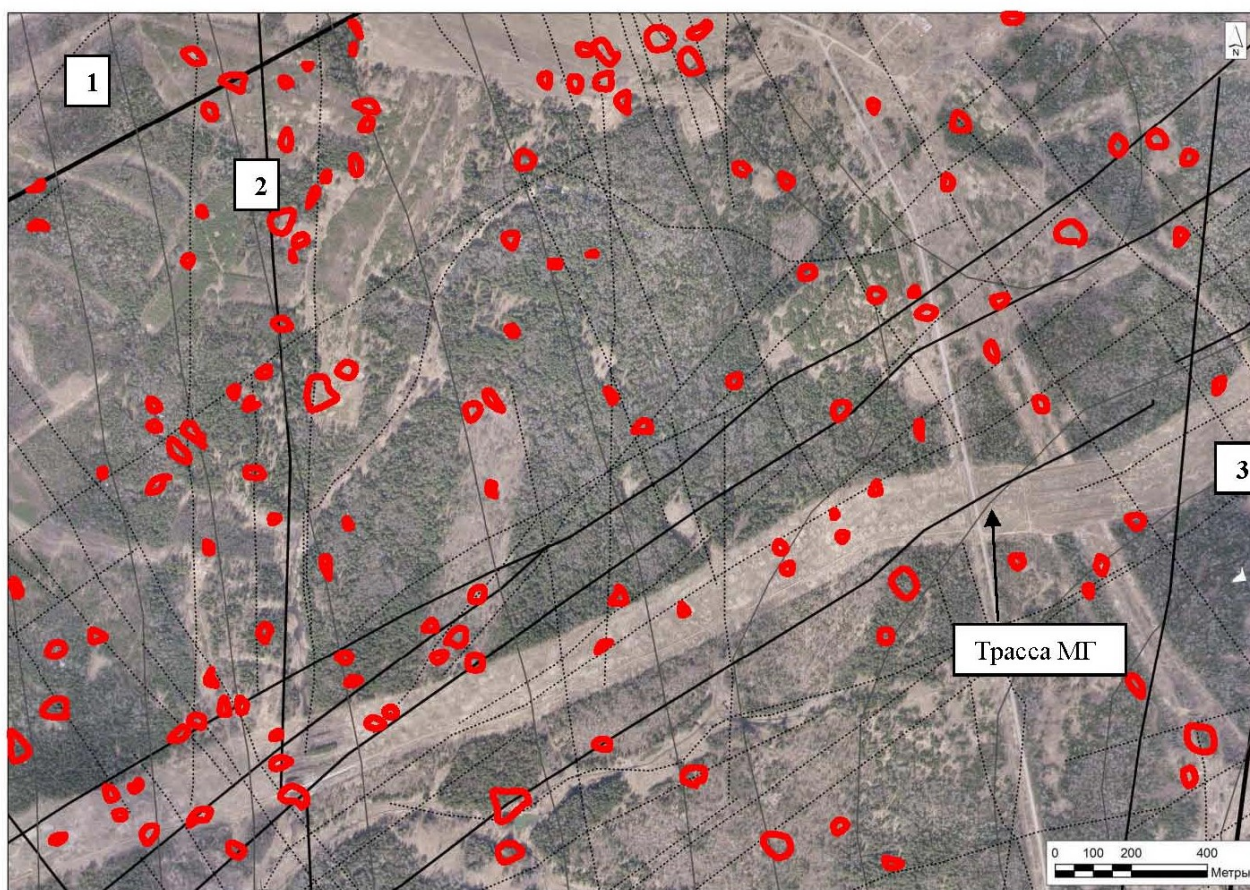


Рис. 3. Тектоническая схема исследуемого участка с линеаментами (составлено по материалам Ю.А. Ильиных [4])

Самым протяженным на исследуемой территории является Ясыльский блок, склоны которого осложнены эрозионно-карстовыми логами меньшей протяженности, с устьями выходящими в Ясыльский лог. Северо-западный правый борт Ясыльского лога наиболее крутой, по сравнению с противоположным, уклон поверхности ступенчатый; более опущенный лог является и более раздробленным.

Таким образом, район исследований характеризуется как район максимального проявления неотектоники в виде дифференцированных подвижек тектоблоков. Карстующиеся породы в составе осадочного чехла разорваны по границам блоков разноамплитудными нарушениями.

Как видно из рис. 4 наибольшая плотность поверхностных карстопроявлений сосредоточена на границах и в зонах контактов тектонических блоков. Таким образом, распределение поверхностных карстовых форм во многом определяется положением внутриблоковых трещинных зон, образующих трещино – карстовую структуру блока и массива в целом.



Условные обозначения:



— области с поверхностным карстопроявлением (карстовые воронки)



— границы линеаментов



1 – Павловский малый блок



2 – Красноясыльский малый блок



3 – Опачевский малый блок

Рис. 4. Аэрокосмический снимок Красноясыльского участка

При этом пространственно карстовые формы тяготеют к пограничным участкам между раздробленными и монолитными блоками или между опущенными и приподнятыми блоками со смещением вертикальных и субвертикальных полостей в сторону приподнятого.

Вдоль активизированных систем линеаментов наблюдается повышенная проницаемость недр, вследствие периодического раскрытия тектонических трещин под воздействием локальных растяжений земной коры, возникающих при микросмещениях соседних блоков. Эти растяжения как на водоразделах, так и в долинах способствуют преобладанию процессов инфляции и инфильтрации поверхностных и грунтовых вод в обвальнo-карстовый горизонт над процессами поверхностного стока [1].

Инфлюация поверхностных вод происходит через поноры и открытые трещины в днищах и стенках провальных воронок и на расчищенных скальных выходах. Поноры и крупные открытые трещины наблюдаются также в тальвегах оврагов и ложбин. Инфильтрация происходит на обширных пространствах через сеть тектонических микротрещин.

В свою очередь, проникающие в недра поверхностные и подземные грунтовые воды образуют в карстовых полостях системы подземного стока, активизирующие процессы выщелачивания и коррозионно-механического разрушения сульфатных и карбонатных пород. Эти потоки увеличивают объемы подземных полостей, способствуют гравитационной просадке и обрушению их кровли, усилению сети трещин, увеличению и углублению существующих форм поверхностного карста и образованию свежих просадок и провалов.

**Основной вывод**, следующий из анализа соотношения распределения линеаментов, трещинных зон, зон дробления пород и поверхностных карстопроявлений, заключается в том, что структурные особенности массива (характер залегания пород, ориентировка тещинных зон) оказывают влияние не только на направленность перемещения трещино-карстовых вод, являясь факторами, определяющими характер их гидродинамического режима, но и на пространственное распределение форм карста.

Следует также учитывать, что геодинамическая опасность на закарстованных территориях усиливается в условиях техногенеза (разработки месторождений полезных ископаемых; строительство и эксплуатация различных объектов, рудников, нефтяных промыслов, линейных сооружений, водохранилищ и др.). Синергетический эффект в системе «карст – техногенез – геодинамика» нарушает равновесие в природной системе (особенно гидрогеологических, инженерно-геологических условий) и приводит к образованию опасных геологических процессов, среди которых наибольшую опасность представляют техногенно-карстовые провалы на закарстованных урбанизированных территориях [7].

#### **Библиографический список**

1. Гаев А.Я., Катаев В.Н., Бельтюков Г.В., Маклашин А.В. и др. Экспертно-аналитическая оценка проектно-нормативных решений по созданию стационарного инженерно-геологического полигона на МГ Ужгородского коридора (1649-1653км). Научно-технический отчет. Пермь, 1997. Фонды Института карстоведения и спелеологии РГО, института «Пермгипроводхоз».
2. Гаев А.Я., Килин Ю.А. и др. Карстологические исследования аварийных участков трассы магистральных газопроводов ООО «Пермтрансгаз» в Добрянском, Кишертском, Ординском, Кунгурском районах Пермской области. Научно-технический отчет. Пермь, 2003. Фонды института «Пермгипроводхоз».
3. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, Изд-во Пермского университета. 1992.
4. Ильиных Ю.А., Волкогон С.П., Проваров Ю.А. и др. Результаты крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований в междуречье р. Сылва – Ирень (1593–1656 км магистральных газопроводов Ужгородского коридора). ОАО «ПермНИПИнефть», Пермь, 1998. Фонды Института Карстоведения и спелеологии РГО.
5. Кац Я.Г., Рябухин А.Г. Космическая геология. Москва, Просвещение. 1984.

6. Килин Ю.А., Килина Е.Ю. Методы карстологических исследований на трассах магистральных газопроводов // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры инженерной геологии и охраны недр Пермского университета. Пермь, 14–15 ноября 2017. Пермь, 2018. С. 188–198.

7. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14–19.

8. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5–2. С. 110–114.

9. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. №3(12). С. 18–32.

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

11. Копылов И.С., Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. №3(20). С. 5–30.

### **Источник**

Килина Е.Ю. Поверхностные карстовые формы в зонах проявления линеаментов на примере Красноясыльского участка // Аэрокосмические методы в геологии: сб. науч. ст. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 201–209.

**К.С. Порозков**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА КУЮМБА-ТАЙШЕТ (СЕВЕРНЫЙ УЧАСТОК) ПО АЭРОКОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ<sup>1</sup>**

Опубликовано в: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность.

Печеркинские чтения: сборник научных статей / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. С. 258–264

*Приводятся данные оценки инженерно-геологических и геокриологических условий района трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет. Выделены локальные активные геодинамические зоны, влияющие на эксплуатацию нефтепровода.*

*Ключевые слова: нефтепровод, инженерно-геологические и геокриологические условия, аэрокосмогеологические исследования, Восточная Сибирь.*

**K.S. Porozkov**

Perm State University, Perm, Russia

## **ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE KUYUMBA-TAYSHET OIL PIPELINE ROUTE (NORTHERN SECTION) ACCORDING TO AEROSPACE**

*The data of the assessment of the engineering-geological and geocryological conditions of the district of the Kuyumba-Tayshet pipeline are presented. Local active geodynamic zones are identified that affect the operation of the pipeline.*

*Key words: oil pipeline, geotechnical and geocryological conditions, aerospace geological research, Eastern Siberia.*

### **Введение**

Магистральный нефтепровод Куюмба – Тайшет в экономике Восточной Сибири и Дальнего Востока России имеет стратегическое значение. Он позволит подключить к трубопроводной системе Восточная Сибирь – Тихий океан крупные Юрубчено-Тохомское и Куюмбинское нефтегазовые месторождения, расположенные в центральной части Красноярского края. Протяженность нефтепровода составляет 719 км. В административном отношении исследуемый участок (протяженностью 200 км) расположен на территории Эвенкийского МР Красноярского края РФ. Начало трассы находится в 115 км ЮВ пос. Байкит, в 6 км СЗ пос. Усть-Камо, расположенного в устье р. Камо, левого притока р. Подкаменная Тунгуска (рис. 1а).

### **Природные и геологические условия**

Район расположен на Среднесибирском плоскогорье, на левобережье р. Подкаменная Тунгуска, в бассейнах рр. Камо, Терь и др. Характеризуется сложным, преимущественно горным рельефом и большим разнообразием кли-

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ  
КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ  
СХЕМА ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Условные обозначения

Населенные пункты

- Государственная граница Российской Федерации
- Границы субъектов Российской Федерации
- Границы районов Красноярского края
- Железные дороги
- Автомобильные дороги
- Границы: дороги
- Водоотвод, береговая линия
- Красноярский край
- Административный центр субъекта РФ
- Административные центры районов
- Прочие населенные пункты

Границы тектонических единиц

- Наслоившиеся
- Границы разломов (без указания ориентировки и геологической информации)
- Границы разломов
- Наслоившиеся
- Сдвиги
- Границы разломов (без указания ориентировки и геологической информации)
- Границы зон
- Геологические
- Разломные
- Контуры крупных изгибов

○ — Район изучаемой территории

6

Оформление: Сидорова Е.С., Мартынов В.А.

шкала высот

600  
400  
200  
0

1 2 3 4

Орографические границы:  
1 - областей, 2 - районов;  
3 - граница высот, 4 - граница Байkitской антеклизы.

А - Енисейский край, Б - Средне-Сибирское плоскогорье, Б1 - Заангарское плато, Б2 - Центрально-Тунгусское плато

Участок трассы нефтепровода Куйбышев-Тюмень

105

## Методика и результаты исследований

В комплексе инженерных изысканий были выполнены инженерно-аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) с использованием методик и материалов [2-15]. При подготовке полевых работ и в процессе рекогносцировочного обследования были использованы космические снимки, с помощью которых выявлялись участки, наиболее неблагоприятные с точки зрения развития опасных инженерно-геологических и геоэкологических процессов.

Дешифрирование проводилось в стадийной последовательности от мелкого масштаба – к крупному. При обработке данных дешифрирования применялись различные компьютерные технологии, одной из основных являлось определение плотности линеаментов. Обработка линеаментов, расчет их плотности производился в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density).

В результате дешифрирования космоснимков автором было выделено 243 прямолинейных тектонических линеаментов различных направлений (рис. 2).

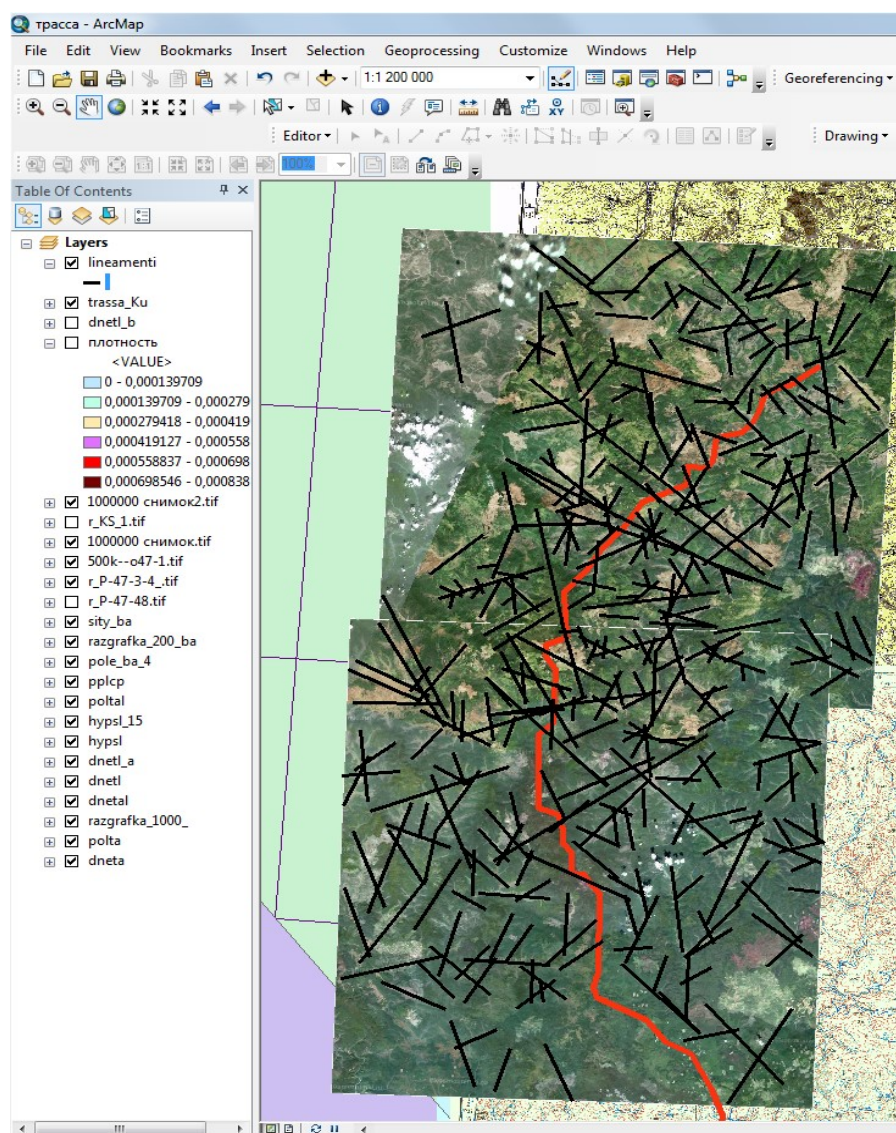


Рис. 2. Карта дешифрирования линеаментов исследуемого участка на левобережье р. Подкаменная Тунгуска (рабочее окно программы Arc Map)

По результатам региональных АКГИ построена карта оценки неотектонической активности и геодинамического риска трассы нефтепровода «Куюмба-Тайшет». На ней проведено геодинамическое (неотектоническое) районирование по степени неотектонической активности [12].

На основе критериев оценки геодинамической опасности и риска в коридоре трассы магистрального нефтепровода выделено 10 геодинамических активных зон. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки.

### **Районирование по степени сложности инженерно-геологических условий**

В результате анализа инженерно-геологических и геокриологических условий района трассы нефтепровода и комплексной оценки с учетом влияния современной геодинамики на грунтовые условия установлено, что по уровню ответственности характеризуемой экономическими, социальными и экологическими последствиями в случае отказов, проектируемый магистральный нефтепровод относится к I уровню ответственности (повышенный) (ГОСТ 27751-88).

При проведении инженерно-геологического районирования участка трассы нефтепровода с учетом балльной оценки факторных признаков инженерно-геологических условий по полученным данным можно выделить следующие таксоны:

I – таксон характеризуется благоприятными условиями. По территории участков не выявлено.

II – таксон характеризуется условно благоприятными условиями, по территории выявлено 22 участка. Рельеф – плоский, верхняя и средняя части склона и водораздел. Участки сложены глинистыми грунтами туго- и мягкопластичной консистенции. Наблюдается образование оврагов и заболачивание. Степень геодинамической активности от средней (2 балл) до высокой (4 балл) характеризующаяся отдельными короткими линеаментами.

III – таксон характеризуется условно неблагоприятными условиями, по территории выявлено 14 участков. Рельеф – нижняя часть склона и переходы через водотоки. Участки сложены преимущественно глинистыми грунтами текучепластичной консистенции и торфом. В непосредственной близости наблюдается образование оврагов, оползневые процессы, речная эрозия и заболачивание. Степень геодинамической активности – высокая (4 балл) и очень высокая (5 балл), так же в районе пикета №5 наблюдается чрезвычайно высокая степень геодинамической активности.

Таким образом, в результате инженерно-геологического районирования территория трассы нефтегазопровода Куюмба-Тайшет разделена на 9 инженерно-геологических участков, которые ранжированы на 3 класса по степени инженерно-геологической сложности (рис. 3, табл. 1).

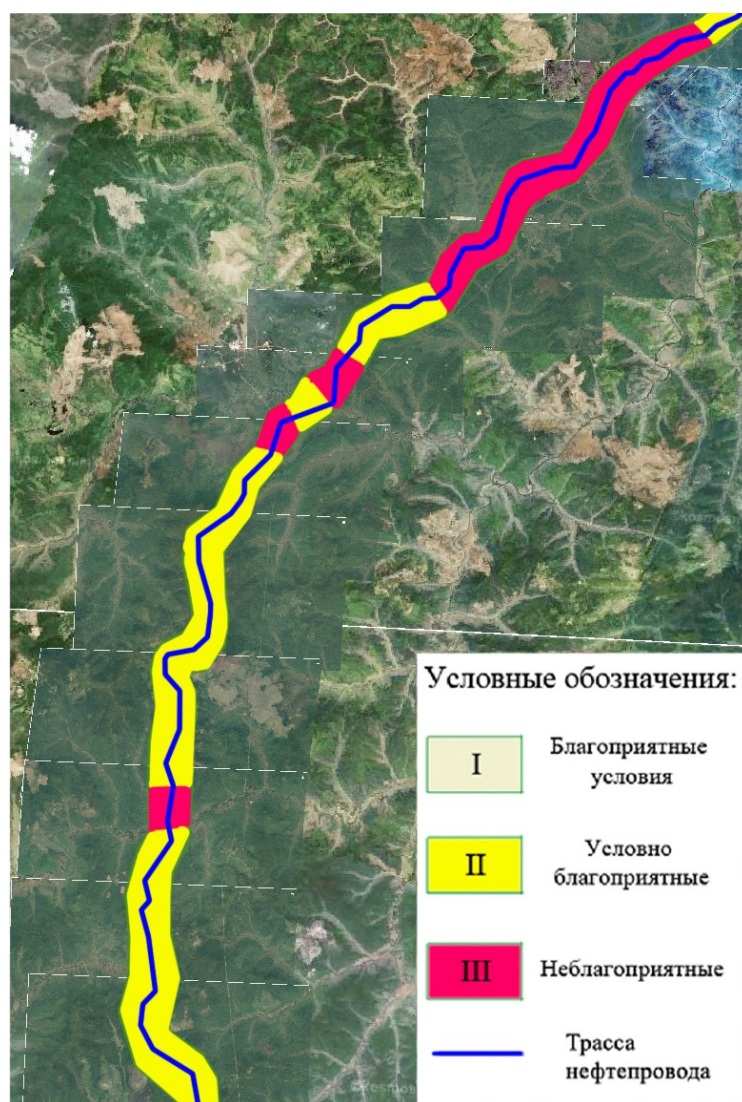


Рис. 3. Карта районирования трассы нефтепровода по степени инженерно-геологической сложности [12]

### Заключение

Установлено, что примерно 40% территории трассы нефтепровода находится в неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Наиболее опасные участки наблюдаются в местах переходов трассы нефтепровода через водотоки. Также в непосредственной близости наблюдается образование оврагов, что негативно влияет на нефтепровод.

Сделан вывод, что в результате техногенного освоения территории, строительства и эксплуатации сооружений в районах развития ММП, а также в результате глобальных климатических изменений происходит изменение теплового режима, что влечет за собой деградацию ММП: изменение площадей развития, глубины залегания кровли, изменение температуры грунтов и т.д. Поэтому, прокладку трубопроводов на болотах и обводненных участках рекомендуется производить преимущественно в зимнее время после замерзания верхнего торфяного покрова. Особое внимание при эксплуатации нефтепровода следует уделять участкам геоактивных зон.

## Инженерно-геологическая оценка трассы нефтепровода

№ участка	№ пикета	Инженерно-геологическая характеристика				Инженерно-геологическая оценка	
		Рельеф	Грунты	Плотность линеаментов	ЭГП	Кр	Таксон
1	1	Плоский	Глинистые тугопластичные, торф	Повышенная	Образование оврагов и заболачивание	17	II
2	2-12	Сильно-расчлененный	Торф, глинистые текучепластичные	Высокая	Образование оврагов и заболачивание	20-26	III
3	13-15	Слабо расчлененный	Глинистые тугопластичные	Высокая	Образование оврагов и заболачивание	14-17	II
4	16	Сильно-расчлененный	Глинистые грунты текучепластичные торф	Очень высокая	Образование оврагов и заболачивание	21	III
5	17	Сильно-расчлененный	Глинистые грунты тугопластичные	Высокая	Образование оврагов и заболачивание	14	II
6	18	Средне расчлененный	Глинистые грунты текучепластичные торф	Высокая	Образование оврагов, заболачивание, речная эрозия	19	III
7	19-28	Сильно-расчлененный	Глинистые грунты туго- и мягкопластичные	Повышенная	Образование оврагов	8-17	II
8	29	Слабо расчлененный	Глинистые грунты текучепластичные торф	Очень высокая	Образование оврагов, заболачивание, речная эрозия	21	III
9	30-36	Сильно-расчлененный	Глинистые грунты мягкопластичные	Высокая	Образование оврагов	14-17	II

**Библиографический список**

1. Инженерная геология СССР. Т. III. Восточная Сибирь. М.: МГУ, 1977.
2. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.
3. Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.
4. Копылов И.С. Закономерности формирования геоэкологических и инженерно-геологических условий Байкитского нефтегазоносного региона // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2014. № 14. С. 108–113.
5. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110–114.
6. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18–32.
7. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7-2. С. 241–246.
8. Копылов И.С. Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разработке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 38–43.

9. Копылов И.С. Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 8-1. С. 82–86.
10. 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.
11. 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.
12. Копылов И.С., Порозков К.С. Инженерно-аэрокосмический анализ территории трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет // В сборнике: *Аэрокосмические методы в геологии Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Главный редактор И.С. Копылов. 2019. С. 228–238.
13. 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.
14. 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.
15. Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V. Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*, [www.sgem.org](http://www.sgem.org), *SGEM2015 Conference Proceedings, Book 1. Vol. 3*, pp. 305–312. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.
16. <https://energybase.ru>
17. <https://vsegei.ru/ru/info/Информационные ресурсы ВСЕГЕИ>.

### **Источник**

Порозков К.С. Инженерно-геологические условия трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет (северный участок) по аэрокосмическим данным // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. С. 258–264.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альметова А.В. Применение аэрокосмических методов при поисках перспективных на нефть и газ структур на западе Соликамской депрессии // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 108–113.
2. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.
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. 159 с.
4. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.
5. Бельтюкова Д.Ю., Рзянина А.В., Путин Д.Г., Чирков Д.Г. Изучение месторождения золота р. Маракан с применением аэрокосмических методов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 112–122.
6. Килина Е.Ю. Поверхностные карстовые формы в зонах проявления линеаментов на примере Красноясыльского участка // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 201–209.
7. Копылов И.С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопроисловых аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. №4 (29). С. 70–81.
8. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14–19.
9. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и их влияние на инженерно-геологические условия // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5.
10. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69–74.
11. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
12. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.
13. 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.
14. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Lap Lambert Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
15. Копылов И.С. Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18–32.

16. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ на закарстованных территориях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7–2. С. 241–246.
17. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
18. Копылов И.С. Методологические основы аэрокосмогеологических исследований при поисках нефти и газа // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 25–37.
19. 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.
20. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
21. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Пермь, 2014. 48 с.
22. Копылов И.С. Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2012. № 6. С. 341–351.
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. 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. 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.
27. 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.
28. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.

29. 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.
30. 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.
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. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ // Геоинформатика. 2013. № 2. С. 20–23.
33. 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.
34. 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.
35. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
36. Копылов И.С., Оборин В.В. Изучение инженерно-геокриологических и геодинамических условий территории ПТБО г. Игарки на основе изысканий, аэрокосмических исследований и электроразведки // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 218–227.
37. 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.
38. 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.
39. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. М.: Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.
40. Космическая информация в геологии / Коллектив авторов. Гл. ред. А.В. Пейве, А.В. Сидоренко, А.Л. Яншин. М.: Наука, 1985. 536 с.
41. Курдюмова А.С., Федосеев К.В. Аэрокосмогеологический анализ района Ковдорского месторождения бадделеит-апатит-магнетитовых руд // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 176–184.
42. Курнаков Г.В. Комплексный геолого-геофизический и аэрокосмогеологический анализ листа Q-60-XVII, XVIII госгеолкарты-200 // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2019. С. 164–168.
43. Михалев В.В., Копылов И.С., Аристов Е.А., Коноплев А.В. Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на ма-

гистральных продуктопроводах Пермского Приуралья // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2005. № 1. С. 75.

44. Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я. Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 5–6. С. 76–78.

45. Порозков К.С. Инженерно-геологические условия трассы нефтепровода Куюмба-Тайшет (северный участок) по аэрокосмическим данным // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2020. С. 258–264.

46. Устинов А.О. Аэрокосмогеологический анализ золоторудных месторождений разных типов // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2021. С. 194–203.

47. Фефелов М.В., Кирин Д.С. Применение аэрокосмических исследований при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений на территории Бодайбинского района // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2016. С. 243–248.

48. 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: Series of scientific article. Materials of V International sci.-pract. conf. Ed. I.S. Kopylov, Perm State University, Perm, 2021, pp. 406–418.

49. 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](http://www.sgem.org), SGEM2015 Conference Proceedings, June 18–24, 2015, Book 1. Vol. 3, pp. 305–312. DOI: 10.5593/SGEM2015/B13/S3.040.

50. Kopylov I.S., Kovin O.N., Nahesbik S. Regional aerospace-geological analysis for the design of major linear engineering objects of Western China // Aerospace methods in geology. Perm, 2019, pp. 55–62.

*Учебное издание*

Составитель:  
**Копылов Игорь Сергеевич**

# **Аэрокосмические методы в геологии**

## **Теория и практика**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н. И. Стрекаловская*  
Корректор *А. В. Цветкова*  
Компьютерная верстка: *И. С. Копылов*

---

Объем данных 22,8 Мб  
Подписано к использованию 02.03.2022

---

Размещено в открытом доступе  
на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)  
в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15