ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 550.2
DOI: 10.46698/VNC.2026.28.97.001

Оригинальная статья

Использование космической информации в комплексе с наземными геологическими исследованиями на территории Восточного Кавказа

О.А. Маммаев[1,2], А.С. Мамаев[1], Р.А. Магомедов[1]

[1] Институт геологии ДФИЦ РАН, Россия, 367030,
г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: ramag@yandex.ru;

[2] Институт проблем геотермии ВЭ ИВТ РАН, Россия,
367030, г. Махачкала, ул. И. Шамиля, 39а,
e-mail: o_mammaev@rambler.ru

Статья поступила: 24.04.2026, доработана: 07.09.2026, принята к публикации: 11.09.2026

Резюме: Актуальность работы. Использование космической информации в разведочной геологии значительно повышает эффективность наземных геологических методов поиска месторождений различных полезных ископаемых. Особую роль и значимость приобретает использование космической информации на труднодоступных участках земной поверхности, таких как восточно-кавказский сегмент сооружения Большого Кавказа. **Цель исследования**. Анализ использования космической информации в выявлении и прослеживании дизъюнктивных нарушений и шовных зон в фундаменте и осадочном чехле региона, кольцевых структур, линеаментов и тектонических блоков различного уровня. **Методы исследования**. Основными методами исследования являются дешифрирование космических снимков, морфотектонический анализ, структурно-геоморфологический анализ, использование результатов тепловой съемки, а также анализ материалов геофизических исследований и бурения. **Результаты исследования.** В результате проведенных исследований дешифрированы крупные кольцевые структуры, такие как Терско-Кумская, Сулакская, морфоструктуры центрального типа (Верхнеандийская, Цурибская и Аргунская), которые в современный период являются активными, а также Хадумский купол, Талгинский свод и малые кольцевые структуры – Акушинская, Мекегинская. Применение космической информации совместно с наземными геологическими методами позволило выявить сеть дизъюнктивных нарушений, детализировать представления о тектоническом строении региона. Выделены крупные тектонические структуры, в том числе кольцевые структуры центрального типа, сдвиги и линеаменты.

Ключевые слова: космическая съемка, геологические структуры, тектонические нарушения, кольцевые структуры, структурно-геоморфологический анализ, тепловой поток.

Для цитирования: Маммаев О.А., Мамаев А.С., Магомедов Р.А. Использование космической информации в комплексе с наземными геологическими исследованиями на территории Восточного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(3): 276–287. DOI: 10.46698/VNC.2026.28.97.001

GEOINFORMATICS

DOI: 10.46698/VNC.2026.28.97.001

Original paper

The use of space-based information in conjunction with ground-based geological surveys in the Eastern Caucasus

O.A. Mammaev[1,2], **A.S. Mamaev**[1], **R.A. Magomedov**[1]

[1] Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskogo Str., Makhachkala 367030, Russian Federation, e-mail: ra-mag@yandex.ru;

[2] Institute of Problems of Geothermal Renewable Energy at the Institute of High temperatures, Russian Academy of Sciences, 39a I. Shamil Str., Makhachkala 367030, Russian Federation, e-mail: o_mammaev@rambler.ru

Received: 24.04.2026, revised: 07.09.2026, accepted: 11.09.2026

Abstract: Relevance. The use of space-based information in exploration geology significantly increases the efficiency of ground-based geological methods for searching for deposits of various minerals. The use of space-based information in hard-to-reach areas of the Earth's surface, such as the Eastern Caucasus segment of the Greater Caucasus structure, plays a particularly important role. **Aim**. Analysis of the use of space-based information in identifying and tracing disjunctive faults and suture zones in the basement and sedimentary cover of the region, circular structures, lineaments, and tectonic blocks of various levels. **Methods**. The main research methods include interpretation of satellite images, morphotectonic analysis, structural-geomorphological analysis, the use of thermal survey data, and the analysis of geophysical and drilling data. **Results.** As a result of the conducted research, large ring structures such as the Tersko-Kumskaya, Sulakskaya, and central-type morph structures such as the Verkhneandiyskaya, Tsuribskaya, and Argunskaya, which are active in the modern period, as well as the Khadumsky dome, the Talginsky vault, and small ring structures such as the Akushinskaya and Mekeginskaya, have been identified. The use of space-based information in conjunction with ground-based geological methods has made it possible to identify a network of disjunctive faults and to detail the tectonic structure of the region. Major tectonic structures have been identified, including central-type ring structures, strike-slip faults, and lineamen.

Keywords: space imagery, geological structures, tectonic disturbances, ring structures, structural-geomorphological analysis, and heat flow.

For citation: Mammaev O.A., Mamaev A.S., Magomedov R.A. The use of space-based information in conjunction with ground-based geological surveys in the Eastern Caucasus. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(3): 276–287. DOI: 10.46698/VNC.2026.28.97.001

Введение

В настоящее время в практику геолого-разведочных исследований прочно вошло использование космической информации в комплексе с наземными геологическими методами. Особую роль и значимость приобретает использование космической информации на труднодоступных участках земной поверхности, таких как Восточно-Кавказский сегмент сооружения Большого Кавказа и др. Глубинное строение докембрийского фундамента Восточного Кавказа под осадочным мезо-кайнозойским чехлом пока еще остается слабоизученным. Использование космической информации в комплексе с наземными геологическими методами способствует решению практических задач по освоению минерально-сырьевой базы региона.

Материал и методы исследования

Основой для проведения исследований послужили геологические фонды Института геологии и Территориальные геологические фонды Республики Дагестан (РД), материалы ранее проведенных нами исследований и др. Методы исследования включали дешифрирование космоснимков разного уровня генерализации, структурно-геоморфологический и морфотектонический анализы, анализ материалов тепловой съемки, а также материалов геофизических исследований и бурения. Результаты анализа проведенных исследований показывают, что на территории Восточного Кавказа обнаружено множество локальных структур, отражающих строение доюрского фундамента с блоковой структурой и сложно дислоцированным осадочным чехлом. Северный склон Сулакского выступа Нараттюбинской зоны изучен бурением [Буторин, Галин, 1972], которое подтвердило наличие разломной зоны, уходящей в палеозойский фундамент (рис. 1).

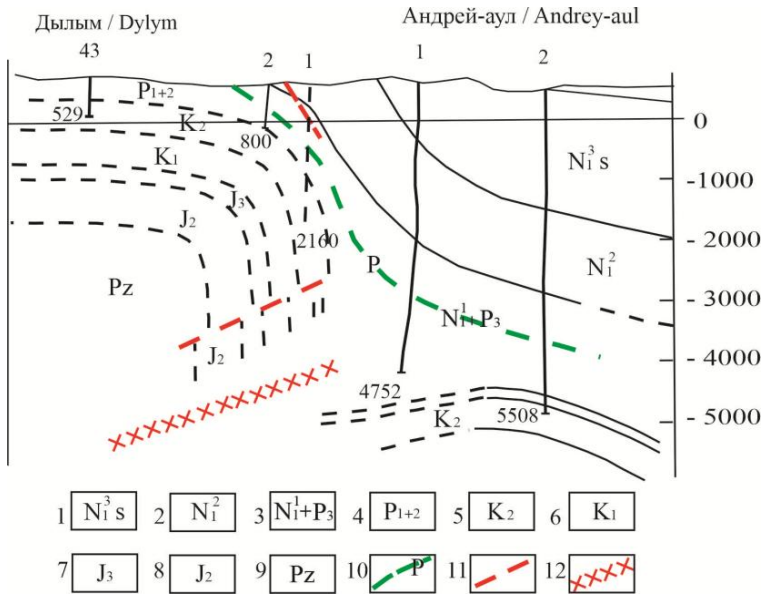

Рис. 1. Геологический разрез «Дылым – Андрей-аул».
1 – сарматский ярус; 2 – средний миоцен; 3 – майкопская серия; 4 – фораминиферовая серия; 5 – верхний мел; 6 – нижний мел; 7 – верхняя юра; 8 – средняя юра; 9 – палеозой; 10 – реперный пласт в кровле миатлинского горизонта; 11 – разломы; 12 – зона главного надвига /

Fig. 1. Geological profile "Dylym-Andrey-aul".
1 – Sarmatian stage; 2 – Middle Miocene; 3 – Maikopian series; 4 – Foraminiferal series; 5 – Upper Cretaceous; 6 – Lower Cretaceous; 7 – Upper Jurassic; 8 – Middle Jurassic; 9 – Paleozoic; 10 – reference layer in the roof of the Miattinsky horizon; 11 – faults; 12 – main thrust zone

В регионе выделяется несколько меридиональных и субмеридиональных глубинных сейсмогенных разломов, которые пересекаются с разломами субширотного простирания и дробят фундамент на линеаментные зоны и блоки [Рогожин и др., 2015; Магомедов, 2021; Магомедов, 2024 и др.]. Их наличие и размещение в геосфере региона определяются в основном особенностями напряженного состояния литосферы, литологическими и физико-механическими свойствами горных пород, тектоническим режимом и зависят, в первую очередь, от планетарных причин — ротационно-пульсационного режима.

Основным материалом для выяснения особенностей разломно-блоковой тектоники, кольцевых структур и линеаментов, скрытых под осадочным чехлом, являлись результаты гравиразведки, дешифрирования космоснимков разного уровня генерализации,

структурно-геоморфологического анализа, тепловой съемки, а также материалы геофизических исследований и бурения.

Особенности строения фундамента проявляются через линеаментные зоны и блоки, развивающиеся унаследованно в новейшее время. Кавказские геологи указывали на тесную связь рельефа, новейших структур и глубинной тектоники (И.О. Брод, А.Ф. Якушева, А.А. Чистяков, О.К. Леонтьев, Д.А. Мирзоев, Г.Г. Бунин, В.Д. Скарятин, М.Ю. Никитин, Д.В. Несмеянов, К.О. Соборнов и др.).

Решению принципиальных вопросов глубинного геологического строения способствовало применение космической информации и структурно-геоморфологического анализа с использованием геофизических методов разведки, преимущественно сейсморазведки [Геология и нефтегазоносность..., 1958; Скарятин, 1973, 1976; Мирзоев, Шарафутдинов, 1986; Соборнов, 1996; Gorbatikov et al., 2015; Рогожин и др., 2015; Заалишвили, Чотчаев, 2016; Zabelina et al., 2016; Ismail-Zadeh et al., 2020; Yakovlev, 2012; Горбатиков и др., 2023; Kuznetsov, Romanyuk, 2025; Стогний и др., 2026 и др.]. Выявлены тектонические элементы, которые находят отражение как на космических снимках (КС), так и в строении (фации, мощности) четвертичных отложений [Мирзоев, Шарафутдинов, 1986; Скарятин, 1973, 1976 и др.].

Использование космической информации с анализом фондового материала позволило выделить участки вероятного расположения погребенных поднятий (Русский Хутор, Южно-Сухокумск, Равнинное, Адильотарское, Бабаюртовское, Кизлярское и др.), т.е. участки целесообразного размещения разведочных сейсмометрических работ. Впоследствии выделенные участки расположения погребенных поднятий были подтверждены геофизическими и буровыми работами, на многих из которых были открыты месторождения нефти и газа [Геология и нефтегазоносность…, 1958; Мирзоев, Шарафутдинов, 1986 и др.].

При дешифрировании как кольцевые структуры (рис. 2, 3) выделены крупные неотектонические структуры — Хадумский и Кукуртауский (Талгинский) своды.

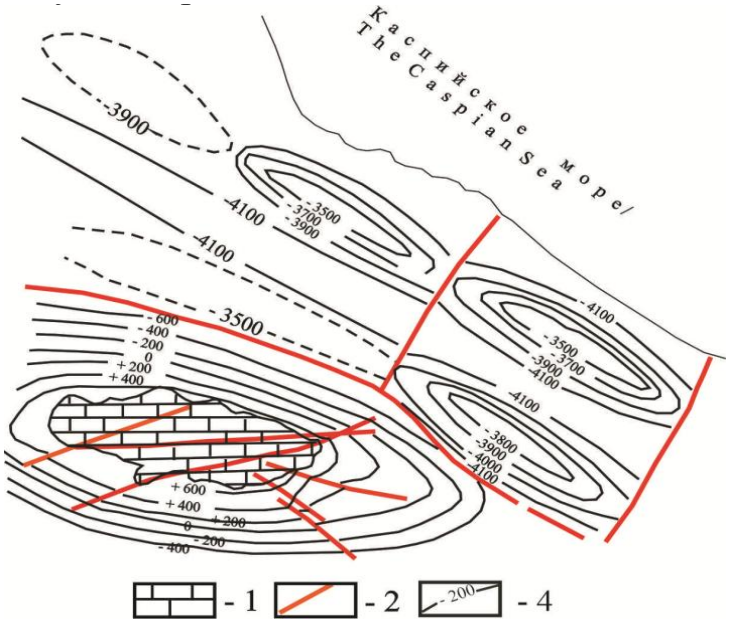

Рис. 2. Талгинский свод на структурной карте по кровле верхнего мела.
1 – выходы отложений верхнего мела на дневную поверхность; 2 – разрывные нарушения;
3 – изогипсы по кровле верхнемеловых отложений /

Fig. 2. Talginsky Arch on the structural map of the Upper Cretaceous roof.
1 – upper Cretaceous deposits exposed on the surface; 2 – faults;
3 – isohypses of the Upper Cretaceous deposits

Дешифрирование космоснимка (рис. 3) подтверждает и наше предположение о наличии активной глубинной структуры (*Сулакского штока*). В настоящее время в его купол активно врезаются долины рек Аварское и Андийское Койсу и река Сулак, которые отделяют друг от друга Гимринский и Салатауский хребты.

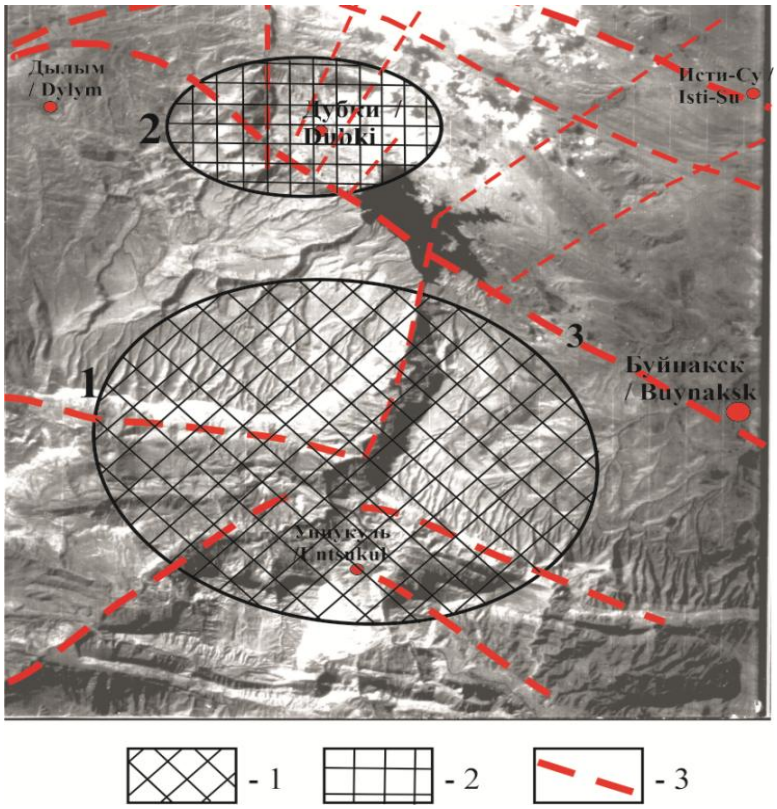

Рис. 3. Фрагмент космического снимка Дагестанского выступа.
1 – Сулакский шток; 2 – Хадумский купол; 3 – дешифрированные зоны разломов /
Fig. 3. Fragment of a space image of the Dagestan Upland.
1 – Sulak stock; 2 – Khadum dome; 3 – deciphered fault zones

Эта структура приурочена к высокомобильной зоне тектоносферы и является одним из косвенных индикаторов активных глубинных деформаций земной коры. Разная степень подъема и скорость Сулакского штока и Хадумского купола послужили причиной того, что разница уровней одновозрастных, литологически однородных геологических образований достигает от первых сотен метров до 1,5 км.

Под куполом Хадум предполагается криптолакколит, подтвержденный работами МОВ. Материалы докладов научно-практической конференции «Мониторинг и прогнозирование природных катастроф», посвященной юбилею Дагестанского землетрясения 1970 г., представленные ведущими специалистами ДО ЕГС РАН в 2010 году (Р.А. Левкович, З.А. Адилов и др.), также подтверждают наличие криптолакколита (рис. 4 а,б,в).

Кольцевой облик имеет также Эльдама-Иргартбашский выступ. С активизацией новейших тектонических движений связано образование структур региона. С предполагаемым центром верхнепалеозойского и мезокайнозойского вулканизма многие кавказские геологи связывают упомянутые кольцевые структуры. Область, контролируемая двумя кольцевыми структурами (Талгинским и Хадумским сводами), является наиболее сейсмоактивной. В исследование кольцевых структур и морфоструктур центрального типа (МЦТ) внесли определенный вклад В.В. Соловьев (1973, 1975, 1978, 1983),

Б.В. Ежов (1980, 1984, 1986), А.П. Кулаков (1986), Г.И. Худяков (1974, 1982), Г.Г. Бунин (1980, 1982, 1985, 1991) и др.

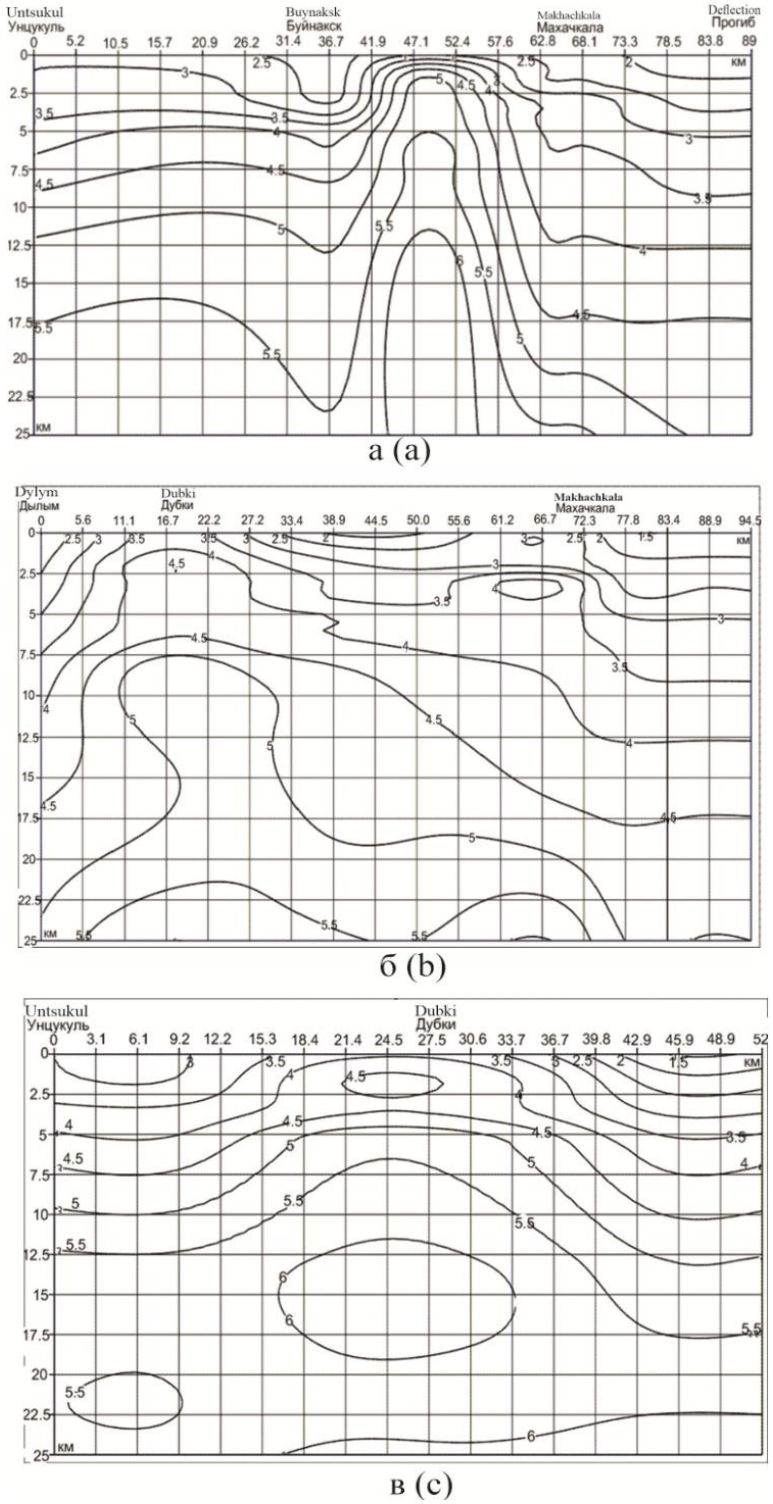

Рис. 4. Скоростные разрезы V_P по профилям:
***а** – Унцукуль-Буйнакск-Махачкала-прогиб;*
***б** – Дылым-Дубки-Махачкала-прогиб; **в** – Унцукуль-Дубки-прогиб /*

Fig. 4. VP velocity cuts along profiles:
***a** – Untsukul-Buynaksk-Makhachkala-deflection;*
***b** – Dylym-Dubki-Makhachkala-deflection; **c** – Untsukul-Dubki-deflection*

Результаты и обсуждение

В пределах северо-восточного сегмента Восточного Кавказа и Предкавказья выделяются активные в настоящее время кольцевые структуры МЦТ – Цурибская и Верхнеандийская (рис. 5). На рисунке представлены выделенные кольцевые структуры СВ сегмента и Предкавказья, в том числе самые крупные кольцевые структуры размером от 100 до 160 км (Терско-Кумская и др.). Обнаружено также много мелких кольцевых структур размером от 10 до 60 км.

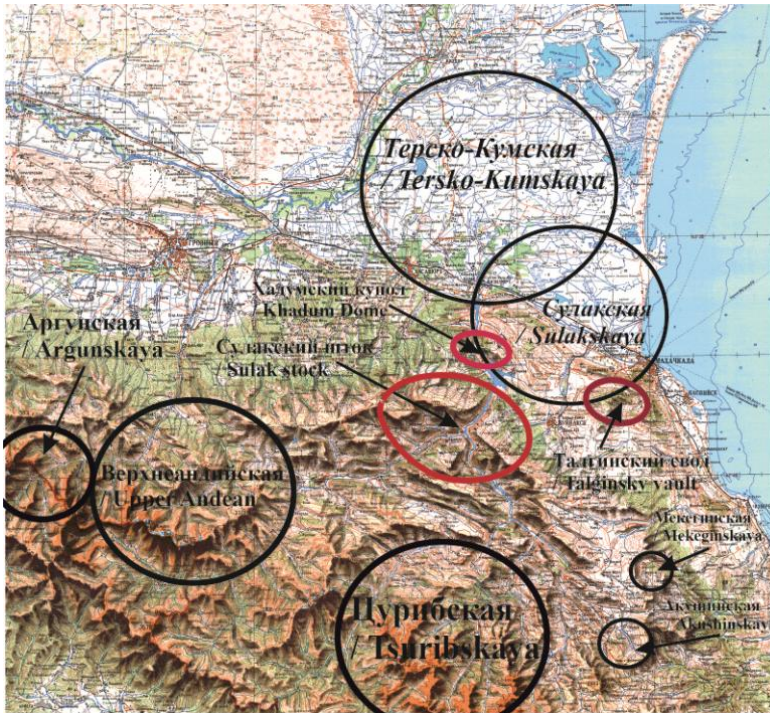

Рис. 5. Кольцевые структуры северо-восточного сегмента Восточного Кавказа и Предкавказья /

Fig. 5. Ring structures of the northeastern segment of the Eastern Caucasus and the Ciscaucasia

Качественные изменения информативности происходят при изменении масштаба снимков в 3–5 раз [Скарятин, 1973]. Речные долины являются благоприятным геоморфологическим объектом для выявления новейших и современных тектонических движений. Они особенно чувствительны к тектоническим перемещениям. Реки быстро меняют свое русло в зонах дезинтегрированных пород и по активным разломам. Проведенный анализ космических снимков с использованием структурно-геоморфологического метода позволил выделить крупные дизъюнктивные нарушения и тектонические структуры: кольцевые структуры, надвиги, линеаменты и др.

В регионе Восточного Кавказа широко развиты геотермальные ресурсы, связанные с палеовулканической деятельностью и повышенной прогретостью недр (тепловой поток – до $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ кал/см^2·с). Проведенные многолетние геотермические исследования и анализ процессов радиотеплогенерации в земной коре Восточного Предкавказья подтверждают относительно повышенные значения теплового потока в регионе [Амирханов и др., 1972; Маммаев и др., 2016]. Так, по данным В.В. Суетнова («Схематическая карта тепловых потоков Дагестана». Министерство геологии СССР, Институт геологии Даг. ФАН СССР. Составитель: Суетнов В.В. Махачкала, 1967 г.), тепловые поля в соот-

ветствии с пространственным положением дизъюнктивных нарушений, определенных геолого-геофизическими методами, образуют аномальные линейно вытянутые структуры (рис. 6).

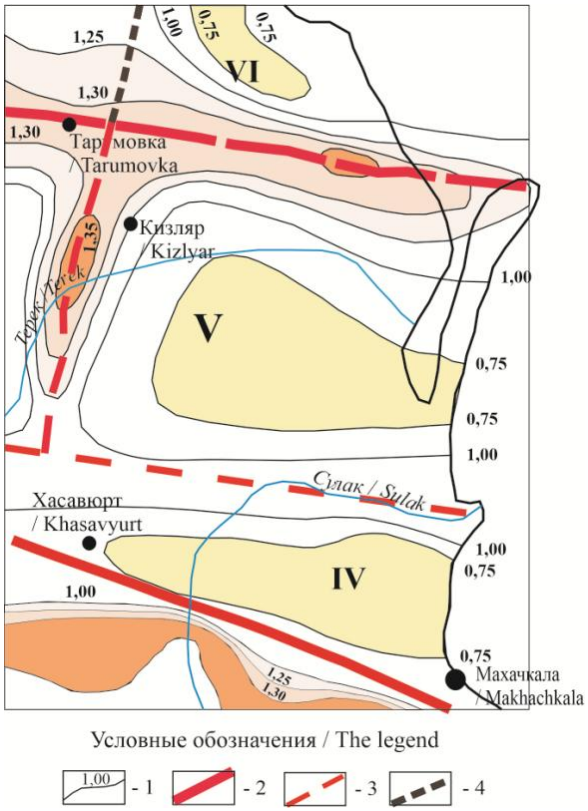

Рис. 6. Фрагмент карты тепловых потоков Дагестана (по В.В. Суетнову, 1967 г.).
1 – изолинии тепловых потоков, мк кал/см^2·сек;
2 – глубинный разлом; 3 – предполагаемый глубинный разлом;
4 – условная граница геотермических районов.
Геотермические районы: IV – Предгорный, V – Терско-Сулакский,
VI – Северо-Восточный /

Fig. 6. Fragment of the map of Dagestan's heat flows (according to V.V. Suetnov, 1967).
1 – isotherms of heat fluxes, μcal/cm2•s; 2 – deep fault; 3 – assumed deep fault;
4 – conditional boundary of geothermal areas.
Geothermal regions: IV – Foothill, V – Terek-Sulak,
VI – North-Eastern

Многочисленные аномалии в геофизических, геохимических, ландшафтных и других полях являются косвенными признаками (индикаторами) активности дизъюнктивных нарушений в регионе: цепочки эпицентров землетрясений, нефтегазопроявления, грязевые вулканы, а также термальные источники – Ахтынские (или Ахтынские бани), Берикейские, Белиджинские, Избербашские, Бежтинские источники, Зурамакентские (Кизилюртовский район, село Гельбах), Заузанбашские, источники колхоза Кардоновка (Кизлярский район), Талгинские, Махачкалинские, Каякентские, Манаскентские, Исти-Су и многие другие с температурой воды от 33 до 70 °С и более (рис. 7).

Все выявленные индикаторы тяготеют к дизъюнктивным нарушениям и их пересечениям. Аномальные проявления в геологических полях позволяют обнаружить скрытые под осадочным чехлом разломы.

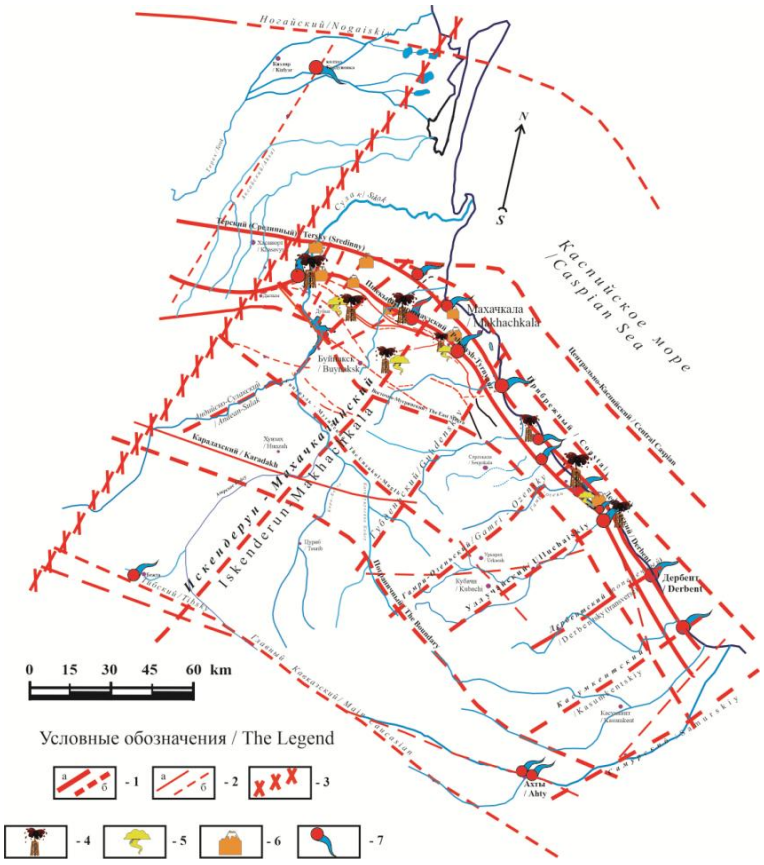

Рис. 7. Разломно-блоковая структура северо-восточного сектора Восточного Кавказа с нанесением поверхностных нефтегазопроявлений, грязевых вулканов и термальных источников.
1 – глубинные разломы (а – достоверные, б – предполагаемые);
2 – разрывные нарушения в осадочном чехле (а – достоверные, б – предполагаемые);
3 – фрагмент Аграхано-Тбилисско-Левантийской левосдвиговой зоны первого порядка;
4 – поверхностные нефтепроявления; 5 – приповерхностные газовые аномалии;
6 – проявления грязевого вулканизма; 7 – термальные источники /

Fig. 7. Fault-block structure of the northeastern sector of the Eastern Caucasus with surface oil and gas manifestations, mud volcanoes, and thermal springs.
1 – deep faults (a – reliable, b – suspected); 2 – discontinuous faults in the sedimentary cover (a – reliable, b – suspected); 3 – fragment of the Agrachan-Tbilisi-Levantine left-thrust zone of the first order; 4 – surface oil manifestations; 5 – near-surface gas anomalies;
6 – manifestations of mud volcanism; 7 – thermal springs

Выводы

Результаты проведенных исследований с использованием космической информации, морфотектонического и структурно-геоморфологического анализа, тепловой съемки, а также анализа материалов геофизических исследований и бурения позволили установить, что земная кора СВ сегмента Восточного Кавказа благодаря тектонической раздробленности и выраженной разломно-блоковой структуре служит хорошей основой для поисково-разведочных работ и металлогенических построений.

Применение космической информации совместно с наземными геологическими методами позволило выявить сеть дизъюнктивных нарушений и детализировать представления о тектоническом строении региона.

Проведенные исследования позволили дешифрировать крупные кольцевые структуры, такие как Терско-Кумская, Сулакская, морфоструктуры центрального типа (Верхнеандийская, Цурибская и Аргунская) – структуры, активные в современный период развития региона, – а также Хадумский купол, Талгинский свод и малые кольцевые структуры: Акушинская, Мекегинская и др.

Использование космической информации в комплексе с наземными геологическими методами может значительно повысить эффективность дорогостоящих геофизических исследований и способствовать открытию новых месторождений полезных ископаемых.

Литература

1. Амирханов Х.И., Суетнов В.В., Левкович Р.А., Гаирбеков Х.А. Тепловой режим осадочных толщ. Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1972. – 230 с.

2. Буторин Г.Д., Галин В.Л. Тектоника передовой складчатой зоны Дагестанского выступа в связи с поисками залежей нефти и газа // Современная геология. – 1972. – № 9. – С. 127–133.

3. Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья. Труды КЮГЭ / под ред. И.О. Брода. – Вып. 1. Л.: Гостоптехиздат, 1958. – 622 с.

4. Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Харазова Ю.В., Степанова М.Ю., Милюков В.К., Миронов А.П., Хубаев Х.М., Мельков Д.А., Кануков А.С., Абаева З.В., Шманатов Г.В., Габараев А.Ф., Ревазов М.О. Глубинное строение, сейсмичность, тектоника северного фланга Большого Кавказа и Терско-Каспийского прогиба (Северная Осетия) в рамках единой кинематической модели на базе новых геофизических данных // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003.

5. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. Комплексный анализ геологических данных и скоростной модели ММЗ на разрезах Центрального Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №4. – С. 52–67. DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20899.

6. Магомедов Р.А. Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 1. – С. 69–80. DOI: 10.46698/VNC.2021.72.56.006.

7. Магомедов Р.А. Оценка геосейсмической опасности северо-восточного сегмента Восточного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 1. – С. 49–63. DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004.

8. Маммаев О.А., Маммаев Б.О., Магомедов Р.А. Оценка теплоэнергетического потенциала геотермальных ресурсов месторождения термальных вод // Труды Института Геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 66. – С. 287–290.

9. Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1986. – 311 с.

10. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсюченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. – 2015. – №2. – С. 36–49. DOI: 10.7868/S0016853X15020058.

11. Скарятин В.Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1973. – № 7. – С. 62–67.

12. Скарятин В.Д. Применение метода многоступенчатой генерализации при изучении геологических структур разного масштаба (на примере Северного Кавказа) // Исследование природной среды космическими средствами. Т. 5: Геология и геоморфология. – 1976. – С. 123–141.

13. Соборнов К.О. Структурная сегментация Восточно-Кавказского пояса надвигов // Геотектоника. – 1996. – № 5. – С. 76–88.

14. Стогний В.В., Стогний Г.А., Пономарева Н.Л. Реологическая стратификация земной коры Восточного сегмента Большого Кавказа по профилю ГСЗ Волгоград-Нахичевань // Геология и геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. № 2. – С. 8–19. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.56.001.

15. Gorbatikov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Y., Kharazova Y.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Dzeboev B.A., Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F. The pattern of

deep structure and recent tectonics of the greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2015. – Vol. 51. No. 1. – pp. 26–37. DOI: 10.1134/S1069351315010073.

16. Ismail-Zadeh A., Muller B., Schilling F., Gorshkov A., Soloviev A. et al. Geodynamics, seismicity, and seismic hazards of the Caucasus // Earth-Science Reviews. – 2020. – Vol. 207. Art. No. 103222.

17. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. On the onset time and mechanism of the Greater Caucasus uplift as well as genetic type and filling of the Ciscaucasia trougghs – traditional and modern interpretatios // Geodynamics and Tectonophysics. – 2025. – Vol. 16. Issue 3. DOI: 10.5800/GT-2025-16-3-0825.

18. Yakovlev F. Identification of geodynamic setting and of folding formation mechanisms using of strain ellipsoid concept for multi-scale structures of greater Caucasus // Tectonophysics. – 2012. – No. 581. – pp. 93–113.

19. Zabelina I., Koulakov I., Amanatashvili I., Khrepy S.E., Al-Arifi N. Seismic structure of the crust and uppermost mantle beneath Caucasus based on regional earthquake tomography // Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – Vol. 119. Issue 1. – pp. 87–99.

References

1. Amirkhanov Kh.I., Suetnov V.V., Levkovich R.A., Gairbekov Kh.A. Thermal regime of sedimentary strata. Makhachkala. Dagestan Book Publishing House. 1972. 230 p. (In Russ.)

2. Butorin G.D., Galin V.L. Tectonics of the Advanced Folded Zone of the Dagestan Upland in Connection with the Search for Oil and Gas Deposits. Modern Geology. 1972. No. 9. pp. 127–133. (In Russ.)

3. Geology and Oil and Gas Potential of the Eastern Ciscaucasia. Proceedings of the Integrated Southern Geological Expedition. Ed. I.O. Brod. Issue 1. Leningrad. Gostoptekhizdat. 1958. 622 p. (In Russ.)

4. Gorbatikov A.V., Zaalishvili V.B., Kharazova Yu.V., Stepanova M.Yu., Milyukov V.K., Mironov A.P., Khubaev Kh.M., Melkov D.A., Kanukov A.S., Abaeva Z.V., Shmanatov G.V., Gabaraev A.F., Revazov M.O. Deep structure, seismicity, tectonics of the northern flank of the Greater Caucasus and the Terek-Caspian trough (North Ossetia) within the framework of a unified kinematic model based on new geophysical data. Geology and Geophysics of Russian South. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 33–48. DOI: 10.46698/VNC.2023.44.73.003. (In Russ.)

5. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O. Complex analysis of geological data and of high-speed model MMS in the Central Caucasus sections. Geology and Geophysics of Russian South. 2016. No. 4. pp. 52–67. DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20899. (In Russ.)

6. Magomedov R.A. Features of the relationship between spatiotempora distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the Earth's crust blocks and fault-block tectonics of the Eastern Caucasus. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 69–80. DOI: 10.46698/VNC.2021.72.56.006. (In Russ.)

7. Magomedov R.A. Assessment of geoseismic hazard of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus. Geology and Geophysics of Russian South. 2024. Vol. 14. No. 1. pp. 49–63. DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004. (In Russ.)

8. Mammaev O.A., Mammaev B.O., Magomedov R.A. Assessment of the thermal energy potential of geothermal resources of the thermal water deposit. Geology, geodynamics and geo-ecology of the Caucasus. Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. No. 66. pp. 287–290. (In Russ.)

9. Mirzoev D.A., Sharafutdinov F.G. Geology of Oil and Gas Deposits in Dagestan. Makhachkala. Dagestan Book Publishing House. 1986. 311 p. (In Russ.)

10. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Ovsyuchenko A.N., Andreeva N.V., Kharazova Yu.V. The structural framework and recent geodynamics of the Greater Caucasus meganticlinorium in the light of new data on its deep structure. Geotectonics. 2015. No. 2. pp. 36–49. DOI: 10.7868/S0016853X15020058. (In Russ.)

11. Skaryatin V.D. On the study of discontinuous tectonics by a complex of multiscale space images of the Earth (the method of multi-stage generalization). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 1973. No. 7. pp. 62–67. (In Russ.)

12. Skaryatin V.D. Application of the Multistage Generalization Method in the Study of Geological Structures of Various Scales (Using the North Caucasus as an Example). Study of the Natural Environment Using Space-Based Instruments. Vol. 5. Geology and Geomorphology. 1976. pp. 123–141. (In Russ.)

13. Sobornov K.O. Structural segmentation of the East Caucasus thrust belt. Geotectonics. 1996. No. 5. pp. 76–88. (In Russ.)

14. Stogny V.V., Stogny G.A., Ponomareva N.L. Rheological stratification of the Earth's crust of the Eastern segment of the Greater Caucasus along the Volgograd Nakhichevan DSS profile. Geology and Geophysics of Russian South. 2026. Vol. 16. No. 2. pp. 8–19. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.56.001. (In Russ.)

15. Gorbatikov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Y., Kharazova Y.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Dzeboev B.A., Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F. The pattern of deep structure and recent tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2015. Vol. 51. No. 1. pp. 26–37. DOI: 10.1134/S1069351315010073.

16. Ismail-Zadeh A., Muller B., Schilling F., Gorshkov A., Soloviev A. et al. Geodynamics, seismicity, and seismic hazards of the Caucasus. Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 207. Art. No. 103222.

17. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. On the onset time and mechanism of the Greater Caucasus uplift as well as genetic type and filling of the Ciscaucasia troughs – traditional and modern interpretations. Geodynamics and Tectonophysics. 2025. Vol. 16. Issue 3. DOI: 10.5800/GT-2025-16-3-0825.

18. Yakovlev F. Identification of geodynamic setting and of folding formation mechanisms using of strain ellipsoid concept for multi-scale structures of Greater Caucasus. Tectonophysics. 2012. No. 581. pp. 93–113.

19. Zabelina I., Koulakov I., Amanatashvili I., Khrepy S.E., Al-Arifi N. Seismic structure of the crust and uppermost mantle beneath Caucasus based on regional earthquake tomography. Journal of Asian Earth Sciences. 2016. Vol. 119. Issue 1. pp. 87–99.