

більшість з тих елементів геологічної будови та будови земної поверхні з високим ступенем достовірності можуть виділятися на матеріалах космічної та аерофотозйомок. Крім того, проведення детальних дистанційних досліджень дозволяє не тільки виявити місця можливого скупчення вуглеводнів, але й простежити динаміку їхнього розвитку, принаймні з часу формування сучасного рельєфу. Класичними стали приклади співвідношення нафтогазоносних структур з долинами річок, з перетинами різнонаправлених лінеamentів, аресалами солових, карстових та інших форм рельєфу, зонами площинної ерозії ґрунтів. На нашу думку, настав час для теоретичного перегляду величезного

фактичного матеріалу, який був накопичений за довгу історію дистанційних методів і розробки нових теоретичних моделей взаємодії нафтогазоносних структур з ландшафтоутворюючими процесами. Це б дозволило значно розширити можливості практичного використання дистанційних методів.

1. Siever R. Earth. — Harvard University, 1980.
2. Пазинич В. Г. Умови саморозвитку геосистем осадової товщі та їх роль у формуванні покладів вуглеводнів // Актуальні проблеми геології України: Матер. конф., 2000.
3. Пазинич В. Г. Функціональні зв'язки геосистем, основані на явищі капілярного підйому, та їх роль у переміщенні мінеральних мас у ландшафтній сфері // Вісник Київ. ун-ту. Сер. Географія.—1999.—№ 45.

**Особенности применения материалов
дистанционных аэрокосмических съемок
при поисках азотных кремнистых терм**

**В. Н. Крат, Л. Д. Вульфсон, В. А. Гунченко,
В. С. Оголенко, А. И. Кудряшов, В. Г. Авраменко**

Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев

Азотные кремнистые термы широко распространены в пределах Альпийского Средиземноморского пояса [1], крупнейшего подвижного пояса Земли. Этот пояс протягивается от Испании до Индонезии и включает Пиренеи, Альпы, Балканы, Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Тянь-Шань, Памир, Гималаи, Тибет [2].

В состав альпийского пояса включены киммериды и герцениды, переработанные и активизированные в альпийскую эру и вошедшие в состав альпийских горных систем.

В пределах Памира альпийский тектогенез захватил южную часть территории и проявился в образовании складчатости и оживлении интрузивной деятельности в палеогене. В неоген-четвертичное время весь Памир вследствие горизонтального сжатия испытал исключительный по тектонической активности орогенез.

Орогенез многими исследователями объясняется столкновением Индостанской и Евразийской плит. Это представление подтверждается многими факторами и частными прямыми измерениями сближения Памира и Тянь-Шаня на Гармском полигоне. Существует и другая точка зрения [3], согласно которой воздымание горных вершин Сред-

ней Азии обязано подъему аномально разогретого мантийного вещества и растекания вещества астенолита в основании литосферных плит. Попытка объединить обе модели формирования орогена предпринята В. К. Кучаев [4]. Автор допускает, что по глубинным каналам из мантии происходит всплывание легких разогретых продуктов химико-плотностной дифференциации вещества вплоть до литосферы и земной коры. Эти массы, накапливаясь, создают астенولينзы, растекание которых обеспечивает горизонтальное перемещение плит. А. Л. Яншин и др. [5] также считают, что «сближение плит провоцировало не только их крупномасштабную деформацию, но и разогрев, который, в свою очередь, способствовал протеканию этой деформации».

В развитии Среднеазиатского орогена выделяется два этапа. В первый этап, когда преобладают силы растяжения, происходит прогрессивное увеличение тектонических депрессий. На втором этапе преобладают силы сжатия и интенсивно увеличивается высота и площадь поднятий. Первый этап Среднеазиатского орогена длился с конца нижнего мела до олигоцена. Второй этап — с неогена по настоящее время.

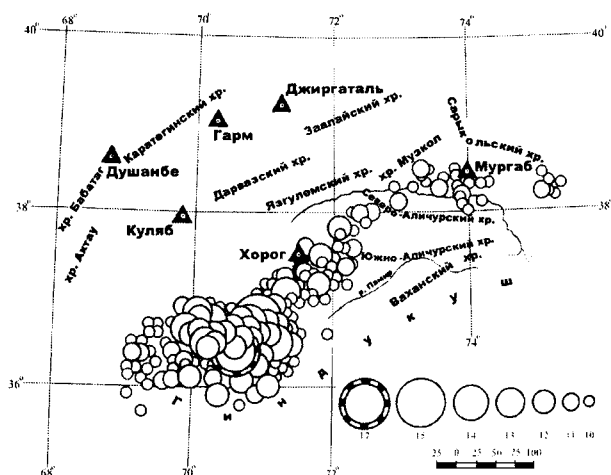


Рис. 3. Эпицентры мантийных Памиро-Гиндукушских землетрясений с $k \geq 10$ [8]

Юго-Западного Памира полосой шириной от 50 до 80 км (рис. 2).

С зоной разуплотненной мантии связаны активные проявления глубокофокусных землетрясений. В среднем за год в этой зоне происходит 1000—1500 землетрясений с $k \geq 9$ [8]. Землетрясение отмечается по всей глубине зоны, но самые сильные обычно происходят в ее нижней части. Плотность эпицентров землетрясений по площади неравномерна, наибольшее их количество концентрируется на северо-западе Гиндукуша и в юго-западной части Памира (рис. 3).

Коровые землетрясения контролируются зонами краевых и региональных разломов, проявляются на всей территории Памира и не увязываются с площадью распространения азотных кремнистых терм (рис. 4).

Таким образом, наличие разуплотненной мантии, активное сближение Памира и Тянь-Шаня, а также высокая сейсмичность определяет характер деформаций литосферы Памирского блока.

Теоретическими расчетами и экспериментальными данными о напряженном состоянии пород при деформации по механизму сдвига установлено, что область развития оперяющих разрывов зависит от механических свойств пород и располагается симметрично под углом меньше 45° к оси главных нормальных напряжений [9].

Оценка современных перемещений блоков и деформаций литосферы Памира по результатам исследований механизма очагов землетрясений проведена О. А. Кучай [10]. Средний азимут направления горизонтального движения Памира при праводвиговых смещениях составляет $320 \pm 11^\circ$, а скорость сближения Памира и Тянь-Шаня — 0.175 —

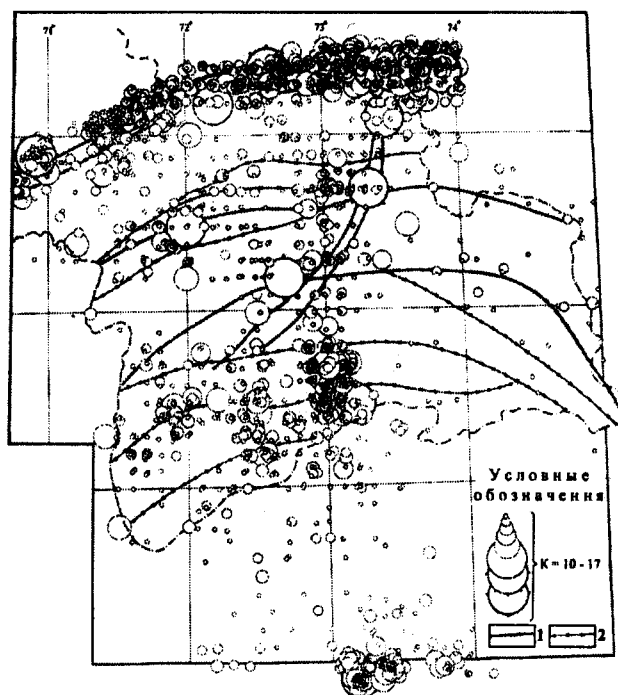


Рис. 4. Эпицентры коровых землетрясений Памира $k = 10$ — 17 : 1 — краевые тектонические разломы, 2 — региональные тектонические разломы

0.35 см/год. В условиях горизонтального сжатия Памирский блок испытывает общее выдавливание вверх со скоростью 0.1 — 0.3 мм/год, а из-за пониженной прочности зон глубинных региональных разломов — праводвиговые смещения со скоростью 0.1 — 1.55 см/год [4]. Деформации в зонах глубинных региональных разломов Памирского блока происходит как в виде вязкого течения, так и в виде оперяющих разрывных нарушений. Азимуты оперяющих разрывных нарушений совпадают с секторами преимущественного горизонтального растяжения, определенных по изучению механизмов землетрясений [8], и составляют $100 \pm 15^\circ$ и $280 \pm 15^\circ$.

Разрывные нарушения, оперяющие глубинные разломы, служат подводными каналами для поступлений термоминеральных вод. Так, по данным В. К. Кучая [4] тектонически активный Махалинский разлом, оперяющий региональный глубинный Вахшский разлом, служил подводным каналом для термоминеральных вод. В местах выхода этих вод на дневную поверхность происходило отложение травертинов значительной мощности. Активная разгрузка термоминеральных вод происходила в среднем плейстоцене и прекратилась в среднем голоцене.

Изучение термальных вод Памира также показало, что их разгрузка приурочена к активным разрывным нарушениям, оперяющим глубинные разломы. Особенно отчетливо это картируется по выходам углекислых термальных вод, отлагающих травертины [11]. Так, источник Гарм-Чашма приурочен к активному тектоническому нарушению, оперяющему Гарм-Чашминский разлом. Места разгрузки термальных вод, картируемые по отложениям травертина, переместились в западном направлении на 700 м, и проявляются в виде фонтанирующих грифонов в нижней части травертинового конуса (рис. 5).

Травертины и низезалегающие коренные породы (гнейсы) разбиты разломом, который расширяется в восточном направлении до 15 см на удалении 10 м от фонтанирующих грифонов (рис. 7).

Скорость образования разломной зоны, определенная по травертинообразованию, составляет около 2 см/год, а скорость расширения разлома около 3 мм/год. Азимут простираания разлома 270°.

Водовыводящие разломы азотных кремнистых терм изучались при геологоразведочных работах на термальные воды. Так, на месторождении азотных кремнистых терм Джиланды, разгрузка термальных вод происходит по тектоническому нарушению, оперяющему Токузбулакский глубинный разлом [6]. Азимут простираания оперяющей разломной зоны — 265°. Ширина оперяющей разломной зоны 300 м, длина 900 м (рис. 6).

Приведенные данные показывают, что наблюдаемая в природных условиях ориентировка оперяющих разрывов (около 45°) по отношению к азимуту направления горизонтального движения и вектору смещения Памирского блока совпадает с теоретической и расчетной по сейсмическим данным схемой вторичного разрывообразования для областей сжатия со сдвиговыми смещениями.

Таким образом, для тектонически подвижных зон, находящихся в условиях тектонического сжатия с правосдвиговыми смещениями, выходы азотных кремнистых терм приурочены к активным современным тектоническим нарушениям, оперяющим глубинные тектонические разломы.

Формирование азотных кремнистых терм увязывается с дегазацией разуплотненной мантии и подъемом газообразных компонентов по активным тектоническим разломам. Газово-жидкие флюиды при подъеме к поверхности земли вследствие минералообразования обедняются рудными и другими компонентами. Конечным продуктом газово-жидких флюидов, восходящих в зоне распространения магматических пород, являются азотные кремнистые термы, а в метаморфических и осадочных породах — углекислые воды [11].

Особенности распространения и формирования

азотных кремнистых терм определяют специфику применения аэрокосмических методов при поисково-разведочных работах, заключающуюся в картировании глубинных региональных разломов и поисках активных оперяющих разломных зон, выводящих термальные воды.

Изучение тектонического строения, и в частности картирование глубинных региональных разломов в областях новейшего орогенеза, производится на основании дешифрирования мелкомасштабных космических снимков. Для картирования глубинных региональных разломов Южного Памира был использован космический снимок, сделанный МСУ-С 9 июля 1984 г. в 6 ч 40 мин (рис. 8). На космическом снимке продольные линеаменты, соответствующие глубинным региональным разломам, как правило, представлены либо уступами, либо резкими ландшафтными границами, а также более или менее протяженными долинообразными понижениями. В наиболее простом случае линеаменты состоят из коротких прямолинейных участков речных долин, явно приуроченных к единой линии и вытянутых вдоль нее. Такие линеаменты особенно многочисленны в пределах высокогорной сильно расчлененной территории Западного Памира. В большинстве случаев такие линеаменты отвечают глубинным разломам, активным на новейшем этапе развития территории. Преобладающая часть выходов азотных кремнистых терм контролируется линеаменентами, соответствующими Гунт-Аличурскому, Токузбулакскому, Гарм-Чашминскому, Истыкскому и Южно-Памирскому глубинным разломам (рис. 8). Данные региональные тектонические нарушения пересекают области с различным геологическим строением и контролируют выходы как азотных кремнистых терм, так и углекислых термальных вод.

Наряду с продольными линеаменентами на космическом снимке отчетливо картируются кольцевые структуры, имеющие тектоническое происхождение. Вероятно, кольцевые структуры связаны с прогибами поверхности Земли на Памире и Гиндукуше над участками распространения разуплотненной мантии [4]. Пересечение кольцевых структур с продольными линеаменентами, как правило, совпадают с оперяющими разломами, выводящими термальные воды, что картируется по выходам термальных источников (рис. 8).

Для картирования на космических снимках оперяющих разрывных нарушений, являющихся водовыводящими каналами для термальных вод, использовались крупномасштабные аэрокосмические снимки и тепловая съемка.

Крупномасштабные космические снимки для региональных трещиноватых зон Памира дешифрировались А. Алиевым [13]. Им выделено шесть основ-



Рис. 5. Геологическая карта участка Гарм-Чашма: 1 — травертины, 2 — современные аллювиальные и пролювиальные отложения, 3 — метаморфический комплекс докембрия (Гарм-Чашминская свита), 4 — Гарм-Чашминский разлом, 5 — современное активное тектоническое нарушение, 6 — минеральный источник Гарм-Чашма

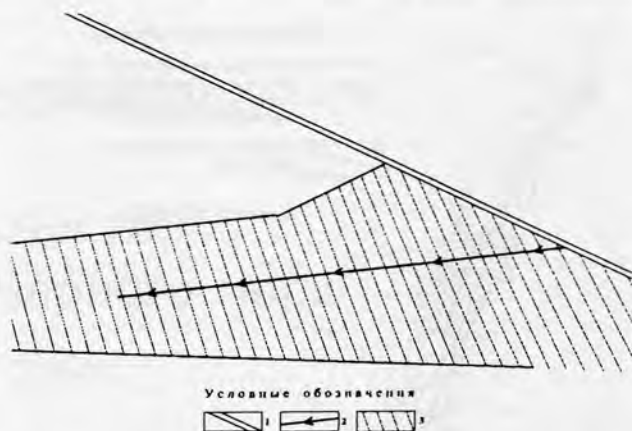


Рис. 6. Тектонического строения месторождения азотных кремнистых терм Джиланды: 1 — Токузбулакский глубинный разлом, 2 — оперяющий разлом, 3 — площадь трещинно-жильной водонапорной зоны на отметке 3400 м



Рис. 7. Современный активный разлом в травертинах источника Гарм-Чашма



Рис. 8. Дешифрованный космический снимок Южного Памира, сделанный с КА «Ресурс» (МСУ-С, 9 июля 1984 г., 6 ч 40 мин): 1 — продольные линейменты, 2 — кольцевые структуры, 3 — термальные углекислые источники, 4 — азотные кремнистые термы

ных систем трещиноватости, отображающих дизъюнктивные дислокации конкретных направлений. Преобладающими среди выделенных направлений являются меридиональные. Системы трещин широкого простирания распространены меньше, однако с такими системами трещин совпадают большинство крупных оруденений. В целом линейменты, дешифрируемые на крупномасштабных космических снимках, отражают планетарную трещиноватость земной коры. Такие линейменты сравнительно небольшие по протяженности, многочисленные и образуют закономерно ориентированную

сеть. Многие из таких линейментов совпадают с линиями разрывов и зон трещиноватости. Применение крупномасштабных космических снимков для картирования оперяющих разломов не дает однозначных результатов, требует заверки на местности и поэтому малоэффективно.

Для дистанционного картирования оперяющих разломов, являющихся водовыводящими каналами

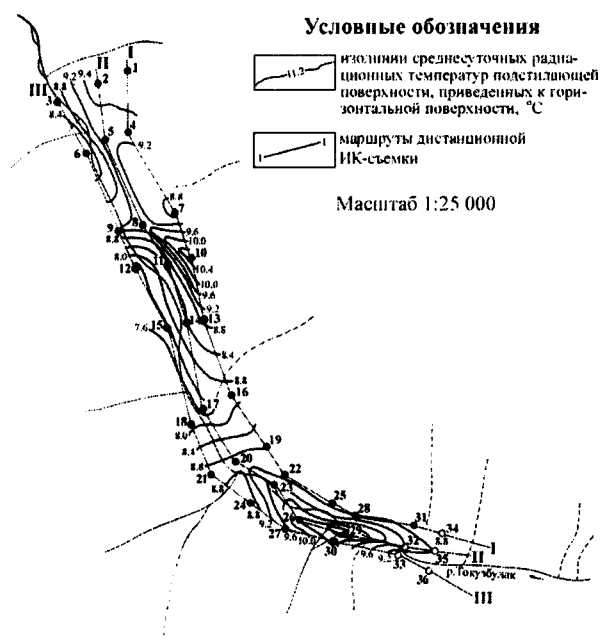


Рис. 9. Карта распределения среднесуточных радиационных температур подстилающей поверхности, приведенных к горизонтальной поверхности участка Джиланды

для термальных вод, наиболее перспективной является ИК-съемка [14]. Такая съемка проводилась в зоне Токузбулакского регионального разлома. Для дистанционного зондирования применялся комплекс оборудования, разработанный в Центре аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины [14, 15]. Он включает трассовый ИК-радиометр и телевизионную съемочную аппаратуру видимого диапазона (рис. 9).

Дистанционная съемка в долине р. Токузбулак проводилась с 20.09.79 по 22.09.79 г. восемь раз в сутки с вертолета и носила режимный характер. Маршруты съемки были проложены вдоль зоны Токузбулакского разлома по трем параллельным профилям. Расстояние между профилями изменялось от 150 до 600 м в зависимости от рельефа. Высота съемки 30 м, разрешение радиометра 5 м.

Результаты дистанционных ИК-съемок представлены в виде карты распределения среднесуточных приведенных к горизонтальной поверхности температур. На карте в восточной части Токузбулакского разлома (на южном блоке) отчетливо выделяется тепловая аномалия, связанная с разгрузкой термальных вод по оперяющему разлому.

В зоне оперяющего разлома Южной гидрогеологической экспедицией Управления геологии Таджикистана была проведена детальная разведка термальных вод месторождения Джиланды. Подсчитанные эксплуатационные запасы теплоэнергетических вод месторождения по категории «В» составляют 4853 м³/сут при средневзвешенной температуре 76.6 °С. Годовое производство тепла при эксплуатации месторождения азотных кремнистых терм Джиланды составляет 30940 Гкал/год.

1. Басков Е. А., Суриков С. Н. Гидротермы Земли. — Л.: Недра, 1989.—245 с.
2. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. — М.: Недра, 1984.—344 с.
3. Артюшков Е. В. Геодинамика. — М.: Наука, 1979.—328 с.
4. Кучай В. К. Современная динамика Земли и орогенез Памиро-Тянь-Шаня. — М.: Наука, 1983.—208 с.
5. Яншин А. Л. и др. Основные проблемы тектоники Азии. Тектоника Азии. 27 МГК. — М.: Наука, 1984.—Т. 5.—С. 3—10.
6. Крат В. Н. Минеральные лечебные, термальные и промышленные воды Таджикистана. — Душанбе: Дониш, 1985.—143 с.
7. Гольдвирт Э. А., Пак В. А., Таль-Вирский Б. Б. Результаты регистрации проходящих волн от Памиро-Гиндукушских глубокофокусных землетрясений // Памир-Гималаи. Глубинное строение земной коры. — М.: Наука, 1982.—С. 64—70.
8. Землетрясения Средней Азии и Казахстана (Каталог за 1983 г.). — Душанбе: Дониш, 1988.
9. Сафонов Ю. Г., Парфенов В. Д. Применение космических снимков в исследовании структур рудных полей и месторождений // Космическая информация в геологии. — М.: Наука, 1983.—С. 372—382.
10. Кучай О. А. Механизм очагов землетрясений и некоторые особенности тектонических движений земной коры Памира и южной части Таджикской депрессии // Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах. — М.: Наука, 1978.—С. 159—180.
11. Добровольский Е. В., Дорофей Е. Н., Воронин Е. В. и др. Исследование механизма и кинетики травертинообразования из углекислых источников // Геол. журн.—1987.—47, № 3.—С. 56—61.
12. Крат В. Н. Формирование минеральных вод Памира // Тез. 27 Междунар. геологического конгресса. — М., 1984.—Т. 9, ч. 2.—С. 353—354.
13. Алиев А. Региональная трещиноватость Памира и ее металлогеническое значение // Докл. АН СССР.—1980.—250, № 4.—С. 916—919.
14. Лялько В. И., Митник М. М., Вульфсон Л. Д. О возможности применения дистанционной ИК-съемки для выявления глубинных разломов // Геол. журн.—1988.—№ 3.—С. 71—75.
15. Лялько В. И., Митник М. М., Вульфсон Л. Д. Использование дистанционной тепловой и спектрометрической съемки для поисков нефтегазовых залежей и термальных вод. — Киев, 1981.—46 с.—(Препринт / АН УССР. ИГН; № 81-21).