

УДК 551.491.4

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СТОКОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В. П. ВАРДАНЯН \*

*Кафедра геофизики ЕГУ, Армения*

В вулканических регионах подземные воды в основном не получают непосредственное отражение на материалах дистанционных съемок. Одними из основных диагностических критериев при дешифровании аэрокосмофотоснимков в таких районах являются особенности рельефа. Использование материалов аэрофотосъемок позволяет выявить вулканогенно-аккумулятивные погребенные долины, с которыми могут быть связаны внутрилавовые и подлавовые водотоки.

**Keywords:** aerospace, photography, interpretation, underground water, volcanic plateau, buried valley, structure of the relief, regional aquiclude, display, remote.

**Введение.** Дешифрирование аэро- и космических снимков с целью выявления подземных вод основано на использовании разнообразных связей между глубиной залегания подземных вод, их минерализацией с растительностью, формами рельефа и современной гидрографической сетью, которые непосредственно отражаются на аэрокосмических снимках (АКС).

Целесообразность применения АКС при поисках подземных вод рассмотрена во многих работах. Большинство исследователей считают, что применение этих снимков дает значительный эффект, особенно на стадии общих поисков подземных вод. Обобщение опыта использования аэрокосмических методов при поисках разных типов месторождений подземных вод приведено в работах А.В. Садова, С.В. Викторова и др. [1–4]. В этих работах рассмотрены возможности применения материалов дистанционных съемок при поисках месторождений подземных вод в речных долинах, песчаных массивах, разрывных нарушениях, конусах выноса, областях развития карста и артезианских бассейнах. Обычно выявление этих связей осуществляется с помощью ландшафтно-индикационного анализа.

**Результаты аэрокосмической съемки.** В вулканических регионах подземные воды в основном не получают непосредственное отражение на материалах дистанционных съемок. Одними из основных диагностических критериев при дешифровании АКС в вулканических районах являются особенности рельефа: генетический тип, абсолютные отметки, глубина и густота

---

\* E-mail: [v.vardanyan@ysu.am](mailto:v.vardanyan@ysu.am)

расчленения, рисунок гидрографической и эрозионной сети, а также литология обнажающихся на поверхность лавовых пород. При больших глубинах залегания уровня подземных вод роль растительности сводится к минимуму. Она может быть использована как верный индикатор мест разгрузки подземных вод. Поэтому при использовании общих принципов ландшафтно-индикационного анализа наибольшее значение приобретает его морфоструктурный и литоморфный аспекты, т.е. анализируются формы рельефа в сопоставлении с геологическим строением. Разница между морфоструктурным и литоморфным анализом заключается в том, что при индикации в первом случае ведущую роль играет структурно-тектонический аспект геологического строения, а во втором – литологический. Эти положения позволяют применять морфоструктурный и литоморфный анализы в качестве высокоэффективных признаков дешифрования АКС при поисках подземных вод вулканических областей Армянского нагорья [3]. Так как тектоно-вулканические погребенные долины обычно не выражены в современном рельефе как линейные понижения, то они при обычных съемочных работах визуально не наблюдаются. Выявляются они с помощью совместного анализа – установлением морфоструктурных особенностей современного и погребенного рельефов. На АКС морфоструктуры опознаются стереоскопически по индикационным признакам, которые являются скульптурными особенностями рельефа, т.е. его экзогенной формой, особенностями гидрографической и эрозионной сети. Это – ярусность рельефа, характерные генетические формы, поперечный и продольный профили долин, наличие порогов и перегибов русел. На АКС разломы как водоконтролирующие структуры имеют различные индикационные признаки в зависимости от геологических условий и особенностей рельефа. Продольные разрывные нарушения выявляются по смене форм рельефа и по наличию вдоль них различных по знаку тектонических движений. Поперечные разрывные нарушения уверенно трассируются по цепочкам пересекающих хребет долин, гребней боковых хребтов и др. линейных форм рельефа. Ниже, сравнительно подробно рассмотрены признаки дешифрирования АКС тектоно-вулканических погребенных долин (Торосян Г.А., табл. 1). Анализируя таблицу индикационных и дешифровочных признаков, легко заметить, что объекты индикации имеют два порядка:

а) объекты индикации первого порядка представляют собой погребенные долины, приуроченные к тектоническим депрессиям подлавого регионального водоупорного рельефа, заполненные эффузивными образованиями, чередующимися с озеро-речными;

б) объекты индикации второго порядка имеют более мелкие размеры, развиваются внутри объекта индикации первого порядка и представляют собой различно устроенные участки погребенных долин.

Выявление вулканогенно-аккумулятивных погребенных долин и приуроченных к ним подземных водотоков на основании дешифрирования АКС является одной из важных задач гидрогеологии. При этом основным приемом дешифрирования для выделения такого типа погребенных долин является литоморфный анализ [2]. Это объясняется тем, что они заняты лавовыми потоками, еще не тронутыми тектоническими и эрозионными процессами. Известно, что определенное влияние на строение рельефа оказывают состав и

физико-механические свойства пород. Например, сильно пересеченный рельеф с высокими отвесными обрывами наблюдается в местах развития относительно плотных пород (интрузивные образования, известняки и др.), несколько более сглаженный рельеф приурочен к зонам развития осадочных, эффузивно-осадочных пород и др.

Таблица 1

Индикационные и дешифровочные признаки тектоно-вулканических погребенных долин (по материалам дешифрирования космofотоснимков)

Объекты индикации		Погребенные долины, приуроченные к тектоническим депрессиям	Расширенные участки погребенных долин	Узкие, антецедентные участки погребенных долин
Индикаторы	Морфоструктура	Грабенные ступени лавовых плато	Плоские слабоволнистые котловины	Перемычки – эрозионно-денудационные поднятия
Индикационные признаки	Глубина расчленения, м	80–110	70–90	210–240
	Густота расчленения, км/км <sup>2</sup>	0,12–0,33	0,12–0,30	0,26–0,51
	Особенности гидрографической сети в плане	Параллельный рисунок гидросети	Меандрирование, бифуркация русел, террасы, широкая пойма	Многочисленные русла временных водотоков
	Продольный и поперечный профили долин	Ущелья, V-образные и ящикообразные долины	Ящикообразные и корытообразные долины	Узкие и глубокие ущелья
	Специфические формы рельефа	Многочисленные обрывистые уступы; паразитические и шлаковые конусы	Слаборасчлененный рельеф, слабонаклонные, площадки с невысокими уступами	Высокие, пологосклонные бугры, холмы и четко очерченные глубокие промоины
Дешифровочные признаки	Специфические формы рельефа	Слаборасчлененный рельеф, слабонаклонные, площадки с невысокими уступами	Многочисленные обрывистые уступы; паразитические и шлаковые конусы	Высокие, пологосклонные бугры, холмы и четко очерченные глубокие промоины
	Структура изображения (рисунок)	От мелко до среднеозаичной формы с пятнами зернистой структуры	Неровномерно пятнистая, отдельные пятна прямоугольной формы	Пятнистые с точеным крапом, реже струйчато-пятнистые с короткими штрихами
	Степень стереоскопичности	Сильная	Средняя	Сильная

Рельеф и текстура потоков определяются физико-механическими свойствами затвердевшей лавовой массы и условиями ее течения. Очень важным свойством является вязкость лавы, которая зависит от химического состава и первоначальной температуры. Наблюдениями многих исследователей за действующими вулканами Исландии, Италии, Камчатки, Гавайских островов установлено, что лавы с относительно низкой вязкостью могут растекаться на большие расстояния [5, 6]. При течении лавовый поток стремиться в первую очередь заполнить пониженную часть рельефа (эрозионную долину, каньон, ущелье и т.д.). Жидкие лавовые потоки Гавайских вулканов распространились более чем на 55 км, на Камчатке – до 49 км. Некоторые потоки основных лав Армении прослежены на расстояния более 100 км.

Лавы более кислого (дацит-риолитового) состава, имеющие бóльшую вязкость, растекаются медленнее. Они образуют мощные потоки с относительно небольшой площадью распространения. Базальтовые лавы обладают очень низкой вязкостью, т.е. являются преимущественно легкоподвижными вследствие низкого содержания кремнекислоты и высоких температур на выходах.

По этой причине они легко отдают содержащиеся в них газы и способны за короткое время распространиться на большие расстояния в виде потоков, скорость перемещения которых зависит от крутизны склонов вулканических построек или рельефа в окрестностях подводящего канала и формы долин.

Таблица 2

*Индикационные и дешифровочные признаки вулканогенно-аккумулятивных погребенных долин и подземных водотоков (по материалам дешифрирования аэрофотоснимков)*

Объекты индикации	Индикаторы (выходы подземных водотоков)	Индикационные признаки	Дешифровочные признаки
Погребенные долины, заполненные лавами и приуроченные к ним подлазовые и внутрилазовые водотоки.	Верхнечетвертичные и современные андезито-базальтовые потоки.	Линейное очертание лавового потока; борозды, гряды; боковые и фронтальные валы потока; лентообразное скопление каменных россыпей (чингилов). Концентрированные выходы подземных вод.	Гофрированный линейно-струйчатый, параллельный рисунок течения лавовых потоков. Темные пятна – родники, линейные очертания – каптажные сооружения. Стереоскопически четко выделяются на фоне соседних потоков.
Погребенные долины, заполненные однотипными лавами и приуроченные к ним подлазовые и внутрилазовые водотоки.	Среднечетвертичные базальтовые и андезитобазальтовые потоки.	Очертания лавового потока. Борозды, мелкие западины, узкие понижения, отдельные глыбы и ближе к центрам извержения чингилы. Рассеянные и концентрированные выходы подземных вод.	Ажурный рисунок, аморфный на относительно ровных участках, прямолинейно-ступенчатый в тыловых частях потоков и струйчато-пятнистый в центральных частях потока.
Погребенные долины и приуроченные к ним подземные водотоки.	Верхнеплиоценовые и нижнечетвертичные андезитобазальтовые потоки.	Многочисленные извилистые (в плане) уступы и обрывы, радиально расположенные ложбины стока, невысокие лавовые возвышенности; отдельные выходы подземных вод в фронтальных частях лавовых потоков.	Шагреновый, поперечно-струйчатый рисунок с крупными пятнами и полосами преимущественно светло-серых оттенков. Темные пятна – родники. Стереоскопически выделяется четко.

При просмотре фотоизображения лавовых покровов на их поверхности наблюдается большое разнообразие рисунков, которое зависит от конфигурации той долины по которой двигалась лава. В зависимости от формы долины (широкая или узкая, глубокая или неглубокая) лава течет по-разному и сохраняет после остывания своеобразный рисунок течения в виде специфической формы оврагов, эрозионных борозд, уступов, фронтальных и боковых валов и других форм микрорельефа. Относительное превышение этих форм рельефа достигает нередко 20–30 м, а в отдельных случаях – 40–50 м. Они отчетливо дешифрируются на среднемасштабных АКС. Следует отметить, что структура фотоизображения, создаваемая микроформами рельефа, является наиболее информативным и устойчивым признаком при дешифрировании вулканогенно-аккумулятивных погребенных долин. Она позволяет получить информацию

не только о наличии погребенных долин и ее конфигурации, но и о расположении подлавого тальвега, где концентрируется подземный сток лавового потока. Так, веерообразный или дендритообразный рисунок сгущающихся и соединяющихся в общую зону потоков соответствует V-образной симметричной долине, гофрированный дугообразный рисунок – корытообразной, перистый рисунок – ящикообразной, а параллельно-струйчатый рисунок – узкой каньонообразной долине [3].

Надежным и объективным признаком выявления погребенных долин и подземных водотоков являются источники, которые в виде концентрированных выходов приурочены к конечным частям лавовых потоков. Учитывая эти и другие особенности, по результатам дешифрирования АКС нами составлена таблица индикационных и дешифровочных признаков выявления вулканогенно-аккумулятивных погребенных долин и приуроченных к ним подземных водотоков вулканических областей (табл. 2). На основании этих данные можно констатировать, что при дешифрировании материалов АКС основное внимание при поисках погребенных долин должно быть сосредоточено на участки распространения базальтовых и андезито-базальтовых потоков. Так, например, на основании дешифрирования разномасштабных АКС вулканического массива Арагац с целью выявления погребенных долин и подземных водотоков все базальтовые и андезито-базальтовые лавы систематизированы по особенностям дешифрирования. В этой связи выделены три возрастные группы основных лав, которые отличаются друг от друга своим площадным развитием и степенью обводненности [3, 7].

Как показали результаты проведенных здесь гидро-геофизических работ, выделенные по АКС потоки лав повторяют очертание погребенных долин, а приуроченные к ним подземные водотоки имеют внутрилавовый характер.

Среди одновозрастных лав более высокой отражательной способностью обладают кислые (дацитовые-реолитовые) разности, которые характеризуются более высоким коэффициентом яркости, чем основные породы. Разнообразный цвет лав зависит от степени кристаллизации породы, окраски стекла, количества темноцветных минералов. Вообще, внутренние части лавовых потоков в силу большой степени кристаллизации светлее наружных. В вершинном поясе вулканических массивов лавовые образования приобретают темные тона.

Среди лавовых пород наиболее четким дешифровочными признаками обладают верхнечетвертичные-голоценовые лавы. Это объясняется тем, что извержение последних происходило в сравнительно недавнем геологическом прошлом, поэтому в большинстве случаев их поверхность голая, лишена почвенного слоя, что и способствовало сохранению первичной формы течения на поверхности этих лав.

**Выводы.** Использование материалов АКС позволяет выявлять вулканогенно-аккумулятивные погребенные долины, с которыми могут быть связаны внутрилавовые и подлаговые водотоки. В целом, на АКС молодые лавы обладают более высокой отражательной способностью, чем древние. Это связано с тем, что поверхность древних лав более задернована, а молодые лавы вообще лишены почвенного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Викторов А.С.** Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М.: Недра, 1960.
2. **Минасян Р.С.** Изучение подземных вод вулканических областей геофизическими методами. М.: Недра, 1989.
3. **Минасян Р.С., Варданян В.П.** Палеорельеф и распределение подземного стока центрального вулканического нагорья Армении. Ер.: Асогик, 2003.
4. **Садов А.В.** и др. Аэрокосмические методы поисков подземных вод. М.: Недра, 1985.
5. **Valenciano S.** Hawaii Ground-Water Resources. // US Geol. Surv. Water Supply. Paper, 1984, v. 2275, p. 185–191.
6. **Koller J.C., Black R.A.** Determination of Thickness of a Basalt Flow by Electrical Resistivity Method on Buckboard Mesa. Nevada Test Site, Nye Country Nevada. Geological Survey Research, 1961.
7. **Садов А.В., Химичев Л.Г.** Опыт использования материалов космической съемки для гидрогеологических исследований в горных районах. // Изв. ВУЗ-ов. Геология и разведка, 1976, № 11.

Վ. Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՀՐԱԲԵԱՅԻՆ ԳՈՏԻՆԵՐՈՒՄ ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՀՈՍՔԵՐԻ  
ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՈՒՄՆ ՕԴԱՏԻԵՁԵՐԱԿԱՆ ՆԿԱՐԱՀԱՆՈՒՄՆԵՐԻ  
ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐՈՎ

Ամփոփում

Հրաբխային գոտիներում ստորերկրյա ջրերը հիմնականում անմիջականորեն չեն արտացոլվում հեռահար նկարահանումների նյութերում: Հրաբխային շրջաններում կանխագուշակման հիմնական չափանիշները՝ օդատիեզերական լուսանկարների վերլուծմամբ կազմում են ռելիեֆի հատկանիշները: Այսպիսով, օդալուսանկարչական նյութերի օգտագործումը թույլ է տալիս բացահայտել հրաբխասկումուլյատիվ թաղված հովիտները, որոնց հետ կարող են կապված լինեն միջլավային և լավատակ ջրհոսքերը:

V. P. VARDANYAN

REVEALING OF UNDERGROUND WATER FLOWS IN VOLCANIC  
AREAS USING AEROSPACE SHOOTING RESULTS

Summary

Underground waters in the volcanic zones are not directly reflected in the materials of long-range shooting. Analysis of aerospace photos shows that in volcanic regions the basic standards of prediction consist relief features. Thus, the use of aerospace materials let us reveal buried valleys, which can be associated with interlava and underlava water flows.