

УДК 550.34

## АНДИЙСКИЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ В ДАГЕСТАНЕ: ОПЫТ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2012 Овсяченко А. Н., к.г.-м.н., Рогожин Е. А., д.г.-м.н., проф.,  
Зайцева Н. В., Лукашова Р. Н., к.г.-м.н.

ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН Москва, ул.  
Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: ovs@ifz.ru

При дистанционных исследованиях, в Дагестане на юго-восточном склоне Андийского хребта, были выявлены масштабные палеосейсмодислокации представленные разрывами, оползнями и обвалами. Самый крупный из оползней-обвалов образовал озеро Казеной-Ам. Параметры разрывов не оставляют сомнений в их сейсмодислокационном происхождении. Кинематика разрывов (левосторонний сбросо-сдвиг) согласуется с геологическими данными о новейших смещениях в зоне Андийского глубинного разлома. Собранные материалы, позволяют уверенно рассматривать этот глубинный разлом в качестве крупной сейсмогенерирующей структуры. Наличие выделенного ранее потенциального очага в зоне Андийского разлома с  $M_{max}=7.0$  подтвердилось собранными палеосейсмогеологическими данными.

**Ключевые слова:** сейсмодислокации, сейсмодислокационное районирование, дистанционное зондирование

### Введение

В связи с работой над темой «Разработка детальной карты нового поколения оценки сейсмических рисков территории Северо-Кавказского федерального округа» в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» возникла необходимость в обобщении накопленных к настоящему времени данных о сейсмической опасности региона. Первый шаг в этом направлении связан с картированием сейсмоактивных тектонических структур по сейсмогеологическим данным. При детальном картировании сейсмической опасности всегда возникают вопросы об определении точного местоположения сейсмогенерирующих структур, их пространственных характеристиках и месте в геологическом строении региона. Используя только сейсмологические каталоги на эти вопросы далеко не всегда можно получить адекватные ответы. Это связано с неполнотой каталогов для доинструментального периода сейсмической истории, и большим периодом повторяемости сильных землетрясений, достигающим сотен и тысяч лет. Такие пробелы можно восполнить с использованием палеосейсмогеологического подхода, основанного на том, что сильнейшие землетрясения далекого прошлого оставляют на поверхности следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1973].

По инструментальным данным Восточный Кавказ отличается высокой и умеренной сейсмической активностью. За период инструментальных сейсмических наблюдений здесь неоднократно происходили разрушительные землетрясения. Самые сильные произошли в 1970 г. (Дагестанское,  $M=6.6$ , интенсивность в эпицен-

тре – до 9 баллов) и в 1992 г. (Барисахское,  $M=6.6$ , интенсивность в эпицентре – до 8 баллов). При этом детальные палеосейсмогеологические исследования проводились лишь на южном склоне Восточного Кавказа, в Шемахинской эпицентральной зоне [Хромовских и др., 1979; Агамирзоев, 1987 и др.].

Первая попытка детального сейсмического районирования Горного Дагестана с использованием данных о развитии обвальных и оползневых процессов была проведена в начале 70-х гг. XX века [Левкович, Тагиров, 1978]. Однако, в качестве примера полноценного применения палеосейсмогеологического метода для восстановления сейсмической истории и оценки сейсмического потенциала можно привести лишь исследования в районе г. Избербаш на побережье Каспия, где была обнаружена серия крупных сейсмогенных оползней [Бунин, 1985]. Здесь же был выявлен обновленный в голоцене молодой разлом длиной не менее 3 км [Куприн, 1959]. Сила последнего землетрясения приблизительно оценена Г. Б. Буниным [1985] магнитудой в 6.5-7; интенсивность – не менее 9 баллов по шкале MSK-64. Это событие находит отражение в летописных источниках и результатах археологических исследований и связано с гибелью древнего г. Урцеки в 650 г.; магнитуда землетрясения оценена как  $M=6.1$  [Общий каталог..., 2007].

Таким образом, Восточный Кавказ в сеймотектоническом отношении изучен явно не достаточно. В связи с этим, при составлении сеймотектонической основы для карты сейсмической опасности Северо-Кавказского федерального округа, возникла необходимость проведения новых исследований. Исследования проводились с использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Использование материалов ДЗЗ в современных условиях является мощным инструментом, позволяющим выполнить на камеральной стадии работ весьма значительный объем исследований. В настоящей статье приводятся результаты изучения самой яркой структуры, наиболее уверенно квалифицируемой в качестве сейсмогенной (рис. 1).

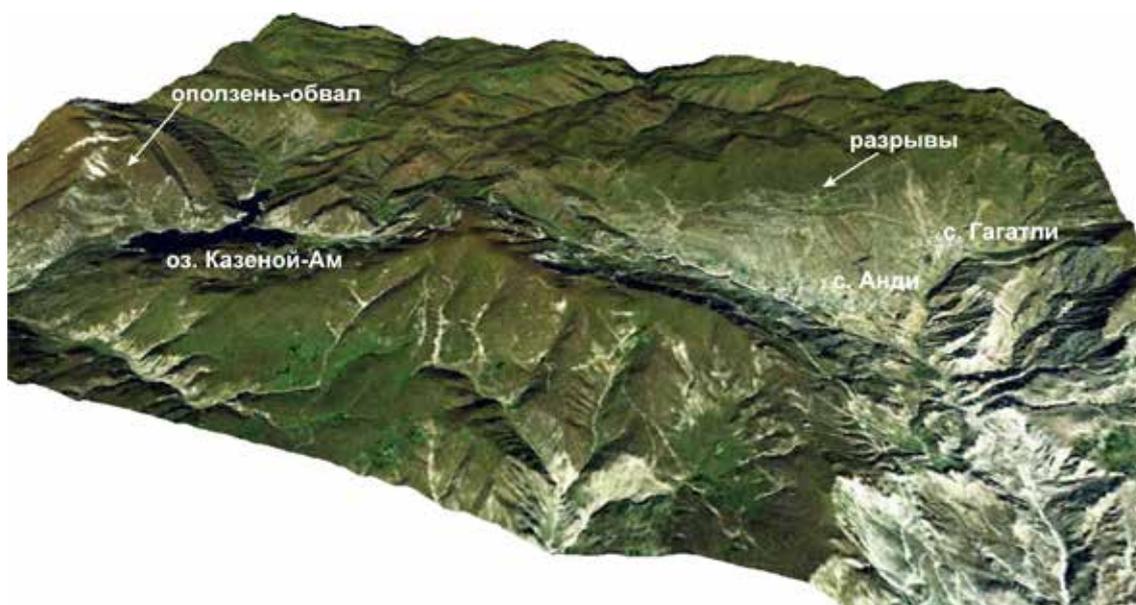


Рис. 1. Общий вид Андийских сейсмодислокаций. Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка IKONOS.

## Методические основы исследований

Палеосейсмогеологические (или палеосейсмологические) исследования дают возможность выявить следы сильных сейсмических событий и оценить период их повторяемости. В. П. Солоненко подразделил сейсмодислокации на сеймотектонические, гравитационно-сеймотектонические и сейсмогравитационные (отседания склонов гор, обвальные, оползне-обвальные, оползневые образования, каменные и земляные лавины, селевые потоки и т.п.) [Солоненко, 1973]. К сеймотектоническим дислокациям относятся разрывы представляющие собой выход очага землетрясения на поверхность (сейсморазрывы). Их тип, размер и сама возможность выхода на поверхность зависят не только от энергии землетрясений, но и от механизма очага, его глубины, сейсмогеологических и инженерно-геологических условий плейстосейстовых областей и ряда других факторов.

Детальный геолого-геоморфологический анализ условий возникновения сильных землетрясений Северной Евразии, произошедших за последние 30-40 лет, позволил составить представление о морфотектонической позиции очагов этих событий [Рогожин, 2012]. Очаги сильных и сильнейших землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде (активные разломы) положение которых обусловлено особым сочетанием геолого-геофизических условий, причем кинематика подвижки от раза к разу может изменяться. Сейсморазрывы обнаруживают специфические структурные рисунки, свойственные всем тектоническим деформациям и приуроченность к определенным геологическим структурам и формам рельефа, сформированным предыдущими сейсмическими подвижками.

Первичное выявление сеймотектонических нарушений (активных разломов) основано на морфологических методах с использованием материалов ДЗЗ [Трифонов и др., 1993]. В общем случае в качестве активных выделяются нарушения, отчетливо выраженные в рельефе в виде прямолинейных, дугообразных или эшелонированных уступов, ложбин и валов различной протяженности, которые пересекают и смещают различные формы рельефа позднечетвертичного возраста (долины водотоков, речные или морские террасы, конусы выноса, поверхности выравнивания и др.), а также синхронные им отложения. При выявлении таких форм рельефа с использованием материалов ДЗЗ чрезвычайно эффективным является построение трехмерных моделей рельефа.

При этом были использованы панхроматические снимки QuickBird с разрешением на местности 0,6 м (<http://kkm.google.com>), IKONOS с разрешением 1 м (<http://maps.yimg.com>), а также материалы космической радарной съемки 1-секундного разрешения (ASTER GDEM: <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>). Снимки и материалы радарной съемки (цифровой рельеф) были нормализованы и трансформированы в картографическую проекцию Гаусса-Крюгера, в системе координат 1942 г., с представлением в виде как двух-, так и трехмерных космокарт.

## Результаты дистанционных исследований

Масштабные палеосейсмодислокации были выявлены на юго-восточном склоне Андийского хребта, в районе сел Анди и Гагатли (рис. 2). Сеймотектонические нарушения представлены системой грандиозных рвов (шириной до 140 м) и уступов (рис. 3). На центральном участке, где развито основное количество нарушений, разрывы пересекают крепкие, органогенно-обломочные известняки готеривского яруса нижнего мела (рис. 4, 5). Горизонт известняков мощностью 35-55 м брониру-

ет склон хребта, залегая согласно его поверхности [Маркус, 2001]. Такой хрупкий субстрат подчеркивает выразительность разрывов. Разрывы образуют здесь структуры растяжения – эшелонированные рвы и грабены глубиной 5-8 м. Опущенные участки заполнены обломками известняков вблизи стенок и застойными отложениями, покрытыми густой травянистой растительностью, что четко выделяет их на фоне окружающих склонов с маломощным почвенным покровом. При общем субширотном (ВСВ) простирании системы нарушений, грабены имеют северо-восточную ориентировку, что может указывать на левосдвиговую компоненту смещений.

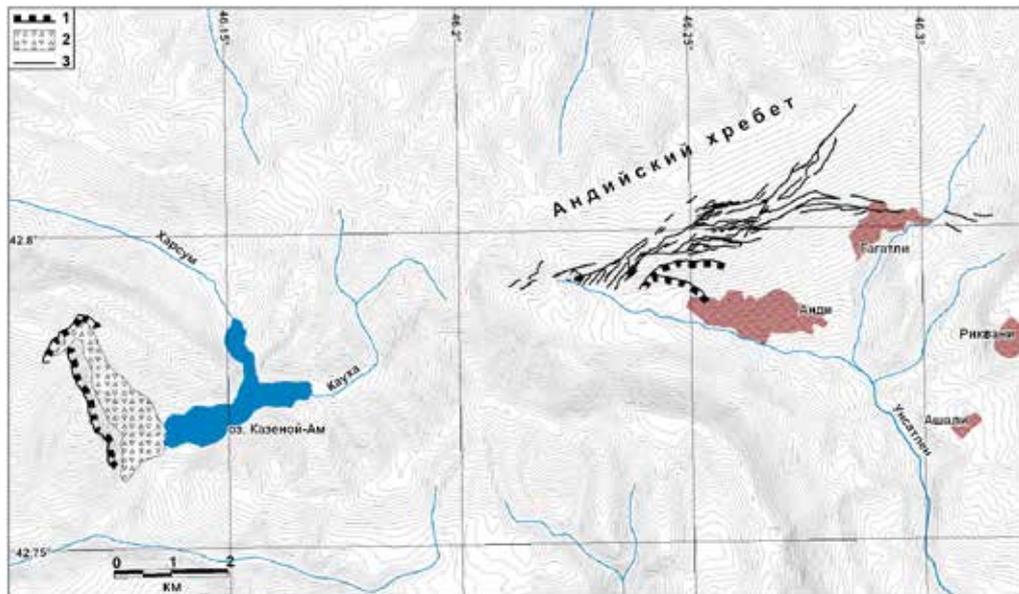


Рис. 2. Общая схема Андийских сейсмодислокаций. 1 – стенки отрыва оползней и обвалов; 2 – самый крупный оползень-обвал; 3 – разрывы.

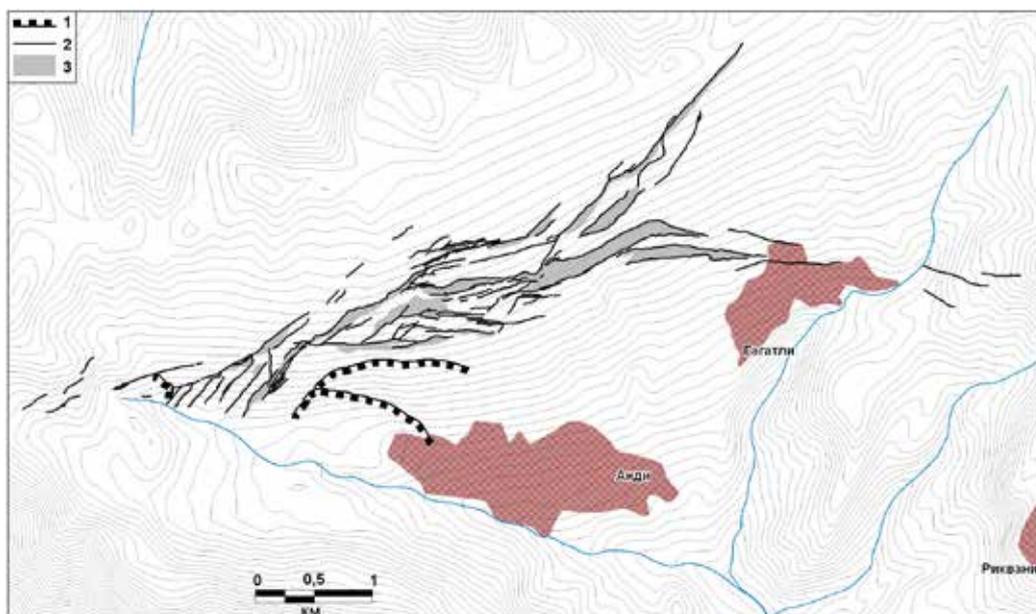
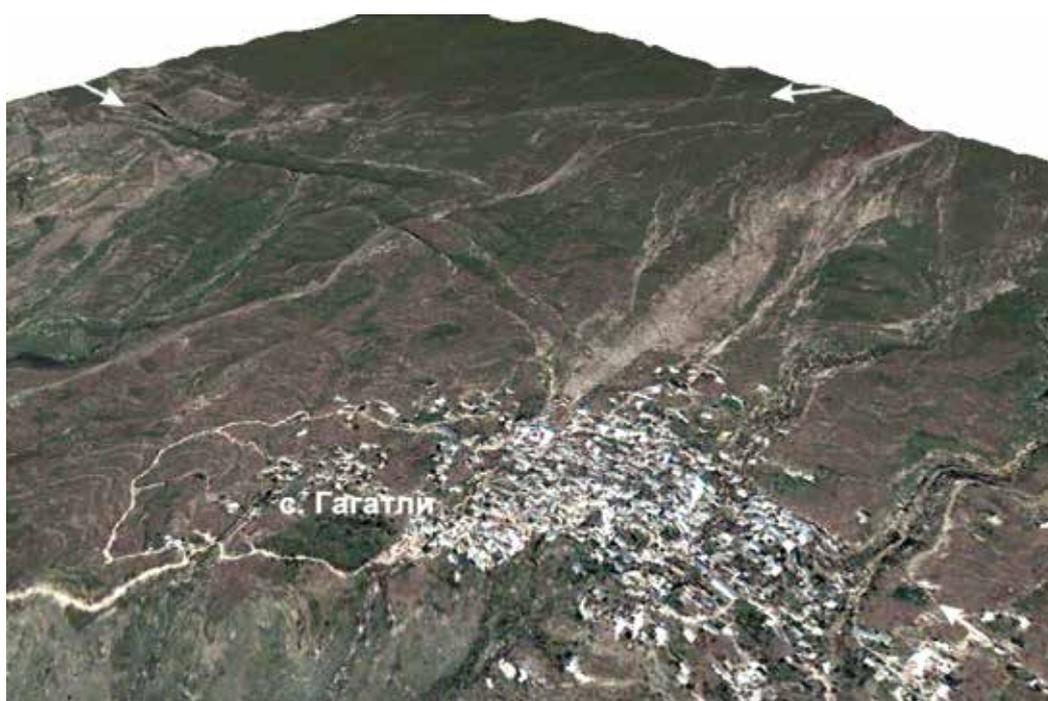
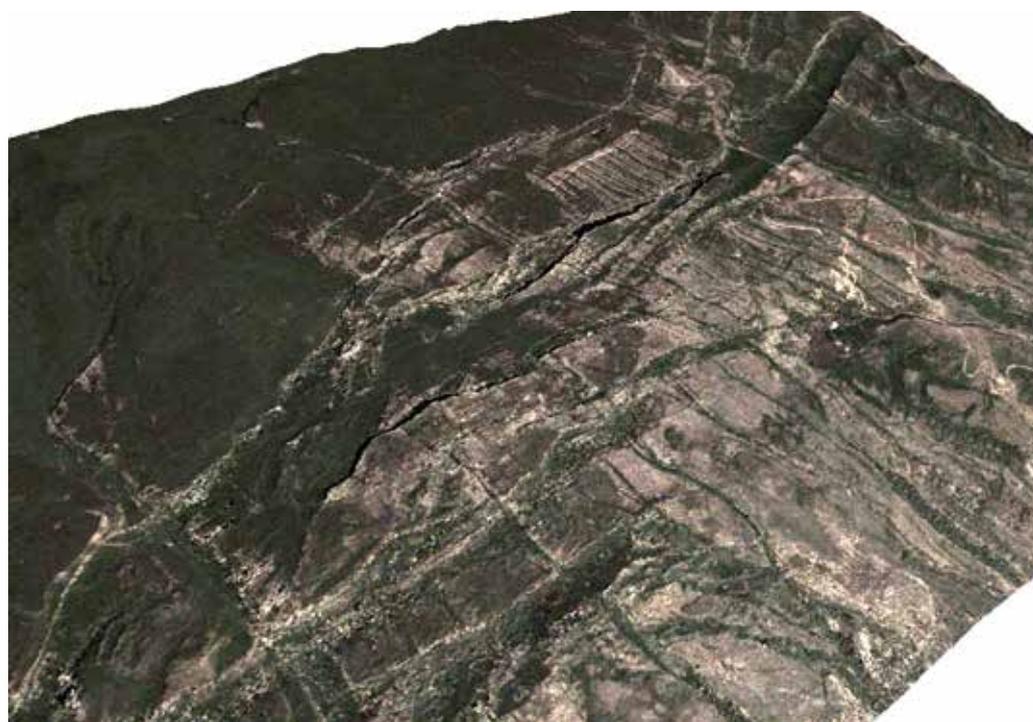


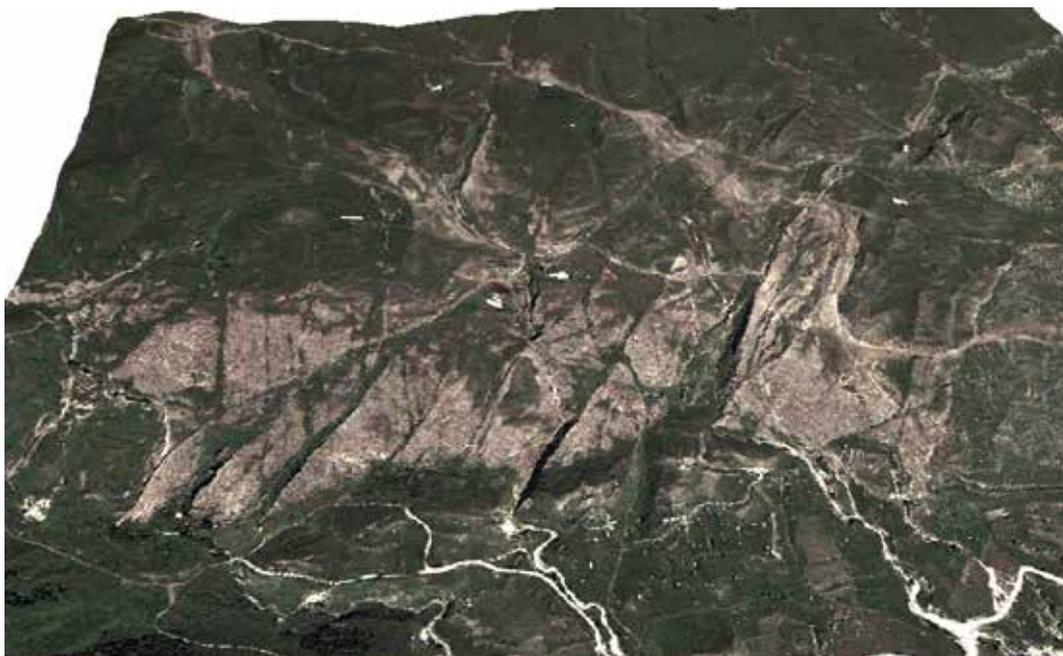
Рис. 3. Детальная схема сейсмотектонических разрывов. 1 – стенки отрыва оползней; 2 – разрывы; 3 – опущенные участки.



*Рис. 4. Восточный участок системы разрывов (указаны стрелками). Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка QuickBird.*



*Рис. 5. Центральный участок системы разрывов. Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка QuickBird.*



*Рис. 6. Западный участок системы разрывов. Трехмерная модель рельефа, построенная на основе цифровой модели рельефа ASTER GDEM и космоснимка QuickBird.*

На флангах системы разрывов нарушения развиты в менее прочных породах – аргиллитах с прослоями песчаников аптского яруса нижнего мела [Маркус, 2001]. Здесь они выглядят менее выразительно и завуалированы склоновыми процессами. Поэтому, по космоснимкам система нарушений, скорее всего, прослежена не на всю длину.

Кроме того, к описанным нарушениям пространственно тяготеют крупные скальные оползни и обвалы. Самый крупный из них перегородил рр. Харсум и Кауха, в результате чего образовалось знаменитое своей красотой озеро Казеной-Ам. Возраст озера оценивается в 400-500 лет [Идрисов, Исаков, 2010]. Свежий облик разрывов в районе сел Анди и Гагатли говорит об их одновозрастности с оползнем-обвалом возле озера Казеной-Ам.

Система нарушений сечет речные долины, пересекает водоразделы и имеет в плане дугообразную форму, характерную для сбросов. Кроме того, система грабенов имеет эшелонированное строение, указывающее на левостдвиговую компоненту смещений. Параметры нарушений не оставляют сомнений в их сейсмотектоническом происхождении. Характер смещений – левосторонний сбросо-сдвиг. Длина системы нарушений – примерно 8,8 км. Согласно глобальным статистическим соотношениям между магнитудой землетрясения и протяженностью разрыва [Wells, Coppersmith, 1994] магнитуда события составила  $M_w = 6.2-6.7$ . Так как система нарушений, скорее всего, прослежена не на всю длину, эти оценки являются минимальными. Интересно, что при исследованиях с применением внерегионального сейсмотектонического метода на базе кластерного анализа комплекса геолого-геофизических данных в рассматриваемом районе был выделен потенциальный очаг с  $M_{max} = 7.0$  [Рогожин и др., 2001], что соответствует собранным палеосейсмогеологическим данным.

## Положение Андийских сейсмодислокаций в новейшей структуре Восточного Кавказа

Рассмотренные сейсмодислокации расположены в зоне Андийского разлома северо-восточного простирания, отделяющего с запада структуры Дагестанского клина. Андийский разлом выделяется в качестве глубинного по геофизическим и геологическим данным как крупное нарушение фундамента с пликативно-дизъюнктивными осложнениями и фациальной изменчивостью осадков чехла [Маркус, 2001]. В складчатом чехле альпийского комплекса зона разлома не образует единого дизъюнктива, прослеживаясь в виде широкой зоны образованной отдельными разрывами длиной до 15 км. На северном фланге разломной зоны, М. Ю. Никитиным [1987] при детальном картировании речных террас и геоморфологическом анализе в предгорьях Дагестана (долина р. Акташ), был выявлен крупный левосторонний сбросо-сдвиг смещающий плейстоценовые осадки. На отдельных участках, например на северном окончании Андийского хребта, прослеживаются зоны левосдвиговых пликативных деформаций северо-восточного простирания, выраженные изгибами складчатых структур в мезозойских отложениях. Сбросо-сдвиги протягиваются по долинам рек Аксай, Ярыксу, Акташ, по юго-восточному склону Андийского хребта в Дагестане, до верховий долины р. Шароаргун в Чечне.

### Заключение

Кинематика разрывов в районе сел Анди и Гагатли (левосторонний сбросо-сдвиг) согласуется с геологическими данными о новейших смещениях в зоне Андийского глубинного разлома. Это также свидетельствует в пользу их сеймотектонического характера. Собранные материалы, позволяют уверенно рассматривать этот глубинный разлом в качестве крупной сейсмогенерирующей структуры. Наличие выделенного ранее потенциального очага в зоне Андийского разлома с  $M_{\max} = 7.0$  [Рогожин и др., 2001] подтверждается палеосейсмогеологическими данными.

По поводу надежности полученных результатов надо отметить следующее. Описанный случай для Большого Кавказа является уникальным. Как правило, остаточные нарушения от землетрясений здесь быстро уничтожаются или сильно искажаются интенсивными эрозионными, склоновыми или селевыми процессами. Использование дистанционных методов сильно затрудняется густыми лесами, покрывающими почти весь Большой Кавказ. Поэтому в большинстве случаев для выявления и детального изучения сейсмодислокаций, в сочетании с дистанционными методами, необходимы трудоемкие полевые работы – маршруты, приповерхностная геофизика и проходка горных выработок. Однако, в силу разных осложняющих факторов, даже такие детальные исследования иногда оказываются малоэффективными. В случае Андийских сейсмодислокаций, литологический фактор (хрупкие известняки, бронирующие склон хребта), а также отсутствие леса и постоянно ползущего склонового чехла, обусловили их чрезвычайно яркую выразительность. Это позволило сделать уверенные выводы, располагая только дистанционными материалами.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

в Российской Федерации до 2015 года», Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-92202а) и Программы Президиума РАН № 4 (проект 1.4).

### Литература

1. Агамирзоев Р.А. Сейсмоструктура Азербайджанской части Большого Кавказа. Баку: Элм, 1987, 123 с.
2. Бунин Г.Б. О сейсмогенном оползне на мысе Бойнак в приморской части Дагестана. // Сейсмичность и сейсмоструктура Восточного Предкавказья. Махачкала: Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1985. Вып. 33, с. 65-68.
3. Идрисов И. А., Исаков С. И. Распространение запрудных озер на Восточном Кавказе. // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Махачкала: ДИ-НЭМ, 2010. С. 136-138.
4. Куприн П. Н. Нефтегазоносность Восточной антиклинальной зоны Дагестана. // Геология и нефтегазоносность юга СССР. Дагестан. Л.: Гостоптехиздат, 1959, с. 149-323.
5. Левкович Р. А., Тагиров Б. Д. О некоторых особенностях детального сейсмического районирования Дагестана. // Сейсмичность и гидрогазогеохимия территории Дагестан. Махачкала: Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1978. Вып. 17, с. 59-66.
6. Маркус М. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия Кавказская. Лист К-38-ХІ (Хасавюрт). СПб: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2001.
7. Никитин М. Ю. Неотектоника Восточного Кавказа. // Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 62, вып. 3, 1987, с. 21-36.
8. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в н.э. до 2005 г. Махачкала: «Эпоха», 2007. 393 с.
9. Рогожин Е. А., Рейснер Г. И., Иогансон Л. И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами. // Геофизика и математика XXI в. Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН. 2001. с. 279-299.
10. Рогожин Е. А. Очерки региональной сейсмоструктуры. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
11. Солоненко В. П. Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. с. 3-16.
12. Трифонов В. Г., Кожурин А. И., Лукина Н. В. Изучение и картирование активных разломов // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Т 1. М.: ОИФЗ РАН. 1993. С.196-206.
13. Флоренсов Н. А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика, 1960. № 1. С. 74-90.
14. Хромовских В. С., Солоненко В. П., Семенов Р. М., Жилкин В. М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
15. Wells D.H., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seis. Soc. Am., 1994, vol. 84, No. 4, p. 974-1002.

---

---

## **ANDIAN SEISMODISLOCATIONS IN DAGESTAN: EXPERIENCE OF REMOTE INVESTIGATIONS IN SEISMOTECTONIC ZONING OF EAST CAUCASUS**

**Ovsyuchenko A. N., Sc. Candidate (Geol.), Rogozhin E. A., Sci. Doctor (Geol.),  
prof., Zaitseva N. V., Lukashova R. N., Sci. Candidate (Geol.)**

Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia, e-mail: ovs@ifz.ru

At remote researches, in Dagestan on southeast slope of Andian ridge, have been revealed ancient seismic disruptions presented by fault scarps, landslides and rock avalanches. Largest of landslides has formed lake Kazenoy-Am. Parameters of fault scarps do not leave doubts in their seismotectonic origin. The kinematics of fault scarps conforms to geological data about the newest displacements in a zone of Andian deep fault. Collected materials, allow to consider surely this deep fault as a large earthquake producing structure. Presence of allocated before the potential seismic source in a zone of Andian fault with  $M_{max}=7.0$  has proved to be true by collected paleoseismic data.

**Keywords:** seismodislocations, seismotectonic zoning, remote sensing