

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱՐԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՄԱԿԱՐՅԱՆ ԽԱՉԱՏՈՒՐ ՎԱՐԴԱՆԻ

ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ԶՐԻԿԱՅՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ.
ՆՈՐ ՏՎՅԱԼՆԵՐ ՍԱՐԴԱՐԱՊԱՏԻ ԿԱՌՈՒՅՑԻ, ՓԱՄԲԱԿ-
ՍԵՎԱՆ-ՍՅՈՒՆԻԻՔ ԱԿՏԻՎ ԽՁՎԱԾՔԻ ԵՎ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ
ԱՎԱԶԱՆԻ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

ԻԴ.01.01- «Ընդհանուր երկրաբանություն» մասնագիտությամբ երկրաբանական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության
ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան – 2018

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

МАКАРЯН ХАЧАТУР ВАРДАНОВИЧ

АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА: НОВЫЕ ДАННЫЕ О
СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ САРДАРАПАТСКОЙ
СТРУКТУРЫ, ПАМБАК-СЕВАН-СЮНИКСКОГО РАЗЛОМА И
БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук
по специальности 24.01.01 Общая геология

Ереван – 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական
Գիտությունների Ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ երկրաբ. գիտ. դոկտոր Կարախանյան Ա.Ս. (ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ)
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ երկրաբանա-հան. գիտ. դոկտոր Տրիֆոնով Վ. Գ.
(Ե. Ի. ՌԳԱ.)

երկրաբ. գիտ. թեկնածու Սահակյան Լ. Հ. (ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ)
Առաջատար կազմակերպություն՝ Ա. Նազարովի անվան Երկրաֆիզիկայի և
ինժեներային սեյսմաբանության ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018 թ. հունիսի 20- ին, ժամը 12: 00, ՀՀ ԳԱԱ
Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում գործող թ. 054
«Երկրաբանություն»

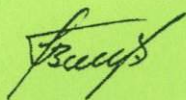
Մասնագիտական խորհրդում:

Հասցեն՝ 0019, Մարշալ Բաղրամյան պող., 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 19.05.2018թ.

Թիվ 054 մասնագիտական խորհրդի գիտքարտուղար,
երկր.-հանք. գիտ. թեկնածու



Շախնազյան Լ.Վ.

Тема диссертации утверждена в Институте геологических наук НАН РА
Научный руководитель: доктор геол. наук Караханян А.С. (ИГН НАН РА)
Официальные оппоненты: доктор геолого-мин. наук Трифонов В. Г. (Геол. Ин. РАН)
кандидат геол. наук Саакян Л. Г. (ИГН НАН РА)

Ведущая организация: Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова
НАН РА

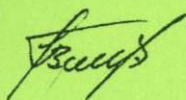
Защита диссертации состоится 20-ого июня 2018г., в 12:00 на заседании
Специализированного совета 054 “Геология” при Институте геологических наук НАН
РА.

Адресс: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан 19.05.2018г.

Ученый секретарь Специализированного совета 054,
кандидат геол.-мин. наук



Шагинян Г. В.

Введение

До сегодняшнего времени не теряется актуальность исследований в области архео- и палеотектоники. Одним из возможных направлений развития этой научной области является изучение феномена разжижения грунта.

Актуальность работы:

Исследования феномена разжижения грунта как вторичного эффекта, вызванного сильными землетрясениями, имеют высокий приоритет на территории Армении. Актуальность изучения этого феномена в следующем:

- Находясь в сейсмически активной зоне, Армения подвержена угрозе землетрясений с $M > 6$, и вероятность возникновения разжижения грунта здесь велика.
- Ряд населенных пунктов находится в непосредственной близости от мест задокументированных свидетельств феномена разжижения грунта. В случае повторения данного явления, возможны разрушения и жертвы среди населения.
- Эффективного инженерного решения для предотвращения разрушений от эффекта разжижения грунта не существует.
- Феномен разжижения грунта, как маркер палеосейсмичности, является очень интересным и важным объектом для будущих исследований. Большой объем работ, выполненных иностранными коллегами по изучению данного явления, и разработанные методики дают возможность не только выявить и задокументировать новое, ранее неизвестное, сейсмическое событие, но и в полевых условиях оценить его предположительную интенсивность. Дополненные каталоги землетрясений существенно повысят качество оценки сейсмической опасности и риска.
- Исследования феномена разжижения грунта и его последствия помогут пролить дополнительный свет на различные исторические сейсмические события.

Цель работы и решаемые задачи:

Основной целью диссертационной работы является выявление и изучение феномена разжижения грунта с целью уточнения оценки опасности некоторых регионов территории Армении. Основные решаемые задачи данного исследования:

- Повторный анализ имеющихся данных о ранее задокументированных структурах с целью выделения возможных свидетельств разжижения грунта.
- Макросейсмические исследования зафиксированных нецунуических даек, образованных в результате разжижения грунта, выявление новых таких объектов, оценка на их основе интенсивности и магнитуды землетрясений.
- Отбор образцов грунта, деформированного феноменом разжижения грунта, для изотопного анализа с целью определения относительного возраста событий, вызвавших феномен разжижения грунта.

- Интерпретация полученных геологических и лабораторных данных и их сравнение с имеющимися каталогами исторических землетрясений.
- Создание базы данных по пространственному распределению выявленных последствий разжижения грунта для определения направлений будущих исследований.

Защищаемые положения:

- Сардарapatская структура является активным разломом со взбросовым механизмом подвижки и со следами поверхностного разрыва и разжижения грунта от сильного землетрясения, произошедшего после VII века до н.э.
- Многочисленные следы разжижения грунта на окраине села Норатус связаны с землетрясением, произошедшим более 6000 лет назад с интенсивностью около IX-X по шкале MSK 64.
- Феномен разжижения грунта, задокументированный в четвертичных обнажениях возле г. Сисиан, является свидетельством сильного землетрясения с интенсивностью X-XI (INQUA, MSK-64), произошедшим между 878 - 1013 cal AD и 1485 - 1650 cal AD. Этот феномен, как и обнаруженное угловое несогласие в позднечетвертичных слоях стали результатом подвижки по разлому при сильном землетрясении.
- Выявленные автором в Армении явления разжижения грунта при сильных исторических и доисторических землетрясениях позволили уточнить параметры этих землетрясений и сейсмический потенциал активных разломов, с которыми такие землетрясения связаны.

Научная новизна исследования:

- Макросейсмические исследования в районе Сардарapatской структуры позволили задокументировать поверхностный разрыв от сильного землетрясения, а также следы феномена разжижения грунта. Полученные результаты позволили сделать вывод об активности Сардарapatской структуры, её кинематике и о приблизительной дате сейсмического события.
- Геологические исследования вблизи села Норатус (Севанский бассейн) выявили следы сильного землетрясения в виде дайки песка, видимой мощностью более 30 см., внедренной в верхние слои. Гранулометрический анализ подтвердил выводы макросейсмических данных – дайка внедренного песка является эффектом разжижения грунта. Результаты изотопного анализа связали данный эффект с землетрясением, произошедшим до VI-ого тысячелетия до н.э. Задокументированные обнажения и их анализ позволили определить интенсивность сейсмического события значениями IX-X по шкале MSK64.
- Новые задокументированные свидетельства феномена разжижения грунта в нескольких километрах от города Сисиан, и их анализ показал наличие сильного землетрясения. Внедренная дайка песка соответствовала землетрясению с интенсивностью X-XI по шкале MSK64. Датировка образцов почвенного слоя ограничила дату события между IX и XVI веками нашей эры. Сравнение полученных данных с имеющимся историческим каталогом позволили связать данный феномен с землетрясением 1406 года.
- Задокументированное недалеко от города Сисиан угловое несогласие слоев четвертичных грунта явилось результатом подвижки по разлому при сильном

землетрясении. На основе выполненных исследований намечена структурная связь Памбак-Севан-Сюникского разлома с Хуступ-Гиратахским разломом. Для более полного обоснования которой необходимо проведение дополнительных работ.

Методология:

- Перекрестный анализ геологических, геофизических и археологических данных с целью выявления наиболее перспективных участков для проведения полевых работ;
- Макросейсмические исследования и, как следствие, отбор проб для лабораторных анализов (C14, гранулометрия);
- Использование современных компьютерных программ (ArcGIS, Global Mapper, Adobe Photoshop, CorelDRAW) с целью создания базы данных и её последующего анализа.

Практическая новизна исследования:

- Результаты диссертационной работы позволяют уточнить сеймотектоническую модель исследуемых территорий.
- Результаты диссертационной работы расширяют и уточняют сведения о некоторых событиях исторического периода как в сейсмологическом, так и в археологическом отношениях.
- Результаты диссертационной работы позволяют наметить направления дальнейших исследований по уточнению расположения некоторых известных и, возможно, выявлению новых тектонических структур.

Апробация работы:

Часть исследований, проведенных в рамках диссертационной работы были представлены на III международной конференции молодых ученых «Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства» (ноябрь, 2017), на семинарах в Институте геологии при НАН РА, Организованный Тбилисский государственный университет и Государственный университет Ильи Международный форум «Моделирование активной деформации коры», Абастумани, Грузия 28.08.2015-01.09.2015..

По тематике данной работы были опубликованы 3 статьи в рецензируемых научных журналах.

Структура и объем диссертационного исследования:

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, насчитывающего 71-наименований. Работа изложена на 101-ти страницах, содержит 52 рисунков. (Общий объем текста - 99 страниц, включая 2 рисунков).

Благодарности:

Данная работа была выполнена в рамках базовых и тематических программ ИГН НАН Армении, проектов LIA (Laboratoires Internationaux Associés) “Природные опасности и стратегии адаптации в Армении, начиная с 10 000 г до н.э.”, “Крупные высокогорные озера как ключевые компоненты локальной экологии: изучение природных и антропогенных воздействий” МНТЦ (Международный научно-технический центр), и “Active Geodynamics of the Caucasus Region” PEER (Partnerships for Enhanced Engagement in Research). Автор благодарит Ч. Коннора и полевую группу Университета Южной Флориды за предоставленные материалы полевых работ 2002 года, Е. Ж. Абгарян за её помощь в процессе подготовки рукописи, а также С. Р. Аракеляна за помощь в составлении GIS базы данных для её дальнейшего анализа. За поддержку и помощь при проведении полевых работ, анализе результатов и оформлении диссертационного исследования выражаю большую благодарность сотрудникам ИГН и НИК “Геориск”: Бабалян Г., Геворкян М., Игитян А., и т. д.. Особая благодарность адресована научному руководителю А. С. Караханяну, который внес большой вклад в понимание геологических и геофизических контекстов исследуемых регионов, за ценные советы и правильную мотивацию. Автор выражает глубокую признательность директору ИГН Меликсетяну Х. и ученому секретарю института Шагиняну Г. за твердую поддержку и понимание, проявленную ими на всех стадиях выполнения и подготовке к оформлению и защите диссертационной работы.

ГЛАВА 1. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИИ И АКТИВНАЯ ТЕКТНИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Общая характеристика активной тектоники Армении

Республика Армения находится в центральной части зоны континентальной коллизии Аравийской и Евразийской литосферных плит; область испытывает меридианальное сжатие и широтное растяжение, сопровождаемые интенсивным разломообразованием, сильными землетрясениями и активным вулканизмом.

1.2. Основные характеристики исследуемых участков

Для исследования феномена разжижения грунта на территории РА после перекрестного анализа геологических, геофизических и археологических данных были выбраны несколько регионов: бассейн озера Севан, Сардарapatская структура и PSSF-3. На территории исследований ранее были зафиксированы обнажения, свидетельствующие о сейсмической активности, которые впоследствии были изучены в рамках диссертационной работы. Краткий обзор исследований регионов представлен в данном подразделе главы.

1.3 Памбак – Севан – Сюникский разлом (PSSF)

Памбак-Севан-Сюникский разлом (PSSF) - наиболее крупная система активных разломов Армении. Система разломов со всеми сегментами имеет длину 470 км и несет морфологические признаки голоценовых правосторонних сдвиговых движений с переменной взбросо/надвиговой или сбросовой вертикальной компонентой. Памбак – Севан – Сюникский разлом хорошо прослеживается на всем своем протяжении многочисленными молодыми деформациями рельефа и характеризуется, в основном, правосторонней кинематикой с переменной вертикальной составляющей; наклон плоскости разлома субвертикальный или крутой с падением на СВ и демонстрирует отчетливый геликоидальный характер.

Сильные исторические землетрясения на PSSF происходили в 915 г с $M \sim 6.0$, 1407 г. с $M \sim 7.0$, в 1187 и 1853 гг с $M \sim 6.0$. Самое крупное историческое землетрясение на PSSF произошло на сегменте PSSF-3 в 1139 г с $M \sim 7.5-7.7$; оно сопровождалось гигантскими оползнями, большими разрушениями и человеческими жертвами.

1.4. Предшествовавшие исследования феномена разжижения грунта на территории Армении

Сейсмогеологи неоднократно отмечали явления, связанные с разжижением грунта при сильных землетрясениях. Этим явлениям отводится важная роль природных феноменов, являющихся индикаторами сейсмических сотрясений определенной интенсивности в шкале INQUA EEE (Earthquake environmental effects).

Наиболее распространенные и опасные явления при разжижении грунта таковы (рис. 1):

1. Потеря несущей силы - при этом земля может разжижаться и терять способность поддерживать конструкции.
2. Песчаные кратеры - вода с песком выбрасывается из расположенного глубже сжиженного слоя и извергается на поверхность с образованием песчаных вулканов. Окружающий грунт часто разрушается и оседает (рис. 1). Нередко в «кратерах» остаются обломки слоев, деформированных разжижением грунта. Это является веским доводом при идентификации данного феномена.
3. Горизонтальное перемещение (spreading) грунта. При этом поверхностный слой, двигаясь на погруженном разжиженном слое, отбрасывается назад и вперед при встряхивании и может быть сильно деформирован и поделён на блоки. Блоки могут отдаляться и приближаться к друг другу. Из-за деформации поверхностный слой может скользить вниз по пологим склонам (рис. 1)
4. Также во время землетрясений могут образоваться «сейсмилы». Этот термин используется для структур, сформированных в рыхлых песчаных осадках вследствие сейсмических толчков (рис. 1).

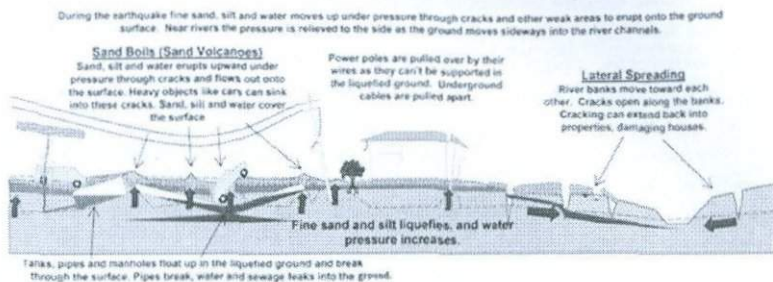


Рисунок 1. Феномен разжижения грунта и его последствия

Данные об исторических землетрясениях со всего мира позволяют утверждать, что феномен разжижения грунта в редких случаях происходит при землетрясении с магнитудой $M=5$, но нижней границей возникновения данного вторичного эффекта считается магнитуда $M=5,5-6$.

На территории Армении феномен разжижения грунта оставался неизученным вплоть до последних десятилетий. Примеры работ, проведенных по исследованию феномена разжижения грунта, представлены в работах Степаняна А., Корженкова А., Авагяна А.

ГЛАВА 2. ФЕНОМЕН РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА В РАЙОНЕ САРДАРАПАТСКОЙ СТРУКТУРЫ

2.1. Исследуемый участок: Сардарапатская структура

В разное время были выдвинуты множество предположений о происхождении и активности Сардарапатской структуры (Габриелян 1959, 1981; Асланян 1958, Караханян и др., 2004). Для оценки сейсмической опасности участка ААЭС были созданы разные сейсмические модели. В первый раз упоминание о Сардарапатской структуре, как о возможном активном разломе, встречается в сеймотектонической модели, разработанной компанией «Геориск» (Караханян и др., 2004). Сардарапатская структура в модели SM-Georisk получила потенциал $M=6.6$. При выполнении работы для ААЭС в 2010 году было принято решение учесть Сардарапатскую вулканотектоническую структуру при разработке сеймотектонической модели Армении и рассмотреть ее как линейную сейсмогенную зону, однако присвоить Сардарапатской структуре низкий ранг достоверности.

Новые данные о возможной тектонической активности Сардарапатской структуры появились в конце 2011 года, после катастрофического землетрясения в Ване в ноябре 2011 года ($M=7.1$). По просьбе наших коллег из университета Монпелье II

(Франция) были проведены сессионные наблюдения на 4 GPS пунктах в Араратской долине. Наблюдения проводились в ноябре-декабре 2011 года одновременно на территориях Турции, Ирана и Армении, в каждой стране силами национальных команд. Анализ результатов наблюдений свидетельствует о явной со-сейсмической (coseismic) подвижке вдоль северного и восточного фланга Сардарapatской структуры. Одновременно с со-сейсмическими подвижками в южной части Араратской долины сейсмическая сеть Института геологии НАН РА зафиксировала повышенную сейсмическую активность в виде роя землетрясений с магнитудой 2.0 - 3.7.

2.2. Феномен разжижения грунта на восточном и западном флангах Сардарapatской структуры.

В 2009 году недалеко от Аргистихинили (40° 937'N 43° 59.397' E) рабочей группой был задокументирован вертикальный контакт между аллювием отложений реки палео-Аракс и озерными отложениями (рис. 2). Вертикальная геометрия контакта не оставляет сомнений в том, что он является поверхностным разрывом от сильного землетрясения. Поверхностный разрыв сверху перекрыт небольшим слоем склоновых отложений.

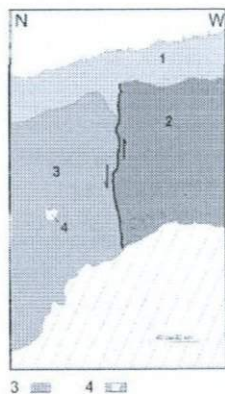


Рисунок 2. Поверхностный разрыв от сильного землетрясения. 1 - современный склоновый коллювий, 2 - аллювиальные отложения реки Аракс, 3 - озерные отложения, 4 - обломок керамического сосуда урартского возраста.

Важным обстоятельством является наличие керамики урартского возраста (VIII - VII века до РХ) в озерных отложениях, разорванных и смещенных поверхностным разрывом. Это обстоятельство позволяет установить, что период VIII-VII века до РХ является пред-датой сильного землетрясения на Сардарapatской структуре. На схематическом рисунке 2017 года (рис. 2) отчетливо выделяется смещение, видимая вертикальная амплитуда по которому составляет 1-1.2 м, что позволяет рассчитать ориентировочную магнитуду землетрясения по зависимости Wells and Coppersmith (1994) приблизительно в 6.5.

В 2017 году мной, при поддержке моего руководителя, на западном и восточном флангах Сардарapatской структуры обнаружены крупные дайки речного песка, внедренные в залегающие сверху озерные отложения (рис. 3).



Рисунок 3. Дайки речного песка и гальки, внедренные в озерные отложения

Чтобы проверить, могут ли дайки песка быть следствием разжижения грунта при сильном землетрясении, был проведен анализ их гранулометрического состава. Данные гранулометрического теста были использованы для построения графика на потенциальное разжижение грунта по методу Tsuchida и показали высокую вероятность возникновения феномена разжижения грунта.

Поперек западного фланга Сардарапатской структуры в местах развития поверхностных разрывов и разжижения грунта были проведены три профиля георадарной съемки с использованием георадара SIR 3000. Георадарная съемка зафиксировала отчетливые аномалии в озерных отложениях, характерные для близповерхностных разрывных нарушений.

Заключение:

Данные, полученные при изучении Сардарапатской структуры, свидетельствуют о том, что она является активным разломом со взбросовым механизмом подвижки и сейсмогенной зоной с потенциалом $M = 6.6-7.0$ и со следами поверхностного разрыва и разжижения грунта от сильного землетрясения, произошедшего в период между VIII веком и II веком до РХ.

На основе изложенного формулируется защищаемое положение диссертации:

Сардарапатская структура является активным разломом со взбросовым механизмом подвижки и со следами поверхностного разрыва и разжижения грунта от сильного землетрясения, произошедшего после VII века до н.э.

ГЛАВА 3. ФЕНОМЕН РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА В РАЙОНЕ БАСЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

3.1 Общие сведения о бассейне озера Севан

В районе бассейна озера Севан находится Гаварагетский разлом и два сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома. С этими разломами были связаны многочисленные

исторические и доисторические землетрясения. Также на линии разделения Малого Севана и Большого Севана находится Норатусский Вал (Норатусская перемычка).

На западном берегу озера, к востоку от Гегамского хребта, в направлении северо-юг вытянута Гаварагетская впадина (односторонний грабен), заполненная четвертичными отложениями. В центральной части впадины, вдоль ее оси, из-под современного аллювия выступает асимметричная гряда, сложенная верхнеплиоценовыми лавами (Милановский, 1968). Позднейшие исследования показали, что Гаварагетская впадина - это зона из трех ветвей сбросовых разломов, каждая из которых имеет длину около 50 км.

Памбак-Севан-Сюникский праводвиговой разлом (наиболее активный в Армении, впервые выделен в 1968 г. Милановским), являющийся наиболее активным в Армении, разветвляется у северного побережья озера Севан на два сегмента. Один из сегментов PSSF 2 протягивается по северо-восточному берегу озера, смещаясь к югу от надвигов офиолитовой сутуры или иногда обновляя их. Второй сегмент PSSF-3 протягивается через дно озера, появляясь вновь на его юго-восточном берегу. Западный берег озера сформирован зоной с простираем С-Ю системы сбросовых Гаварагетских разломов, образовавших грабеновые и горстовые структуры.

На дне Малого Севана выделяется отчетливая структура "pull-apart basin" образованная между сегментами PSSF-2 и PSSF-3. Длина структуры в разных частях составляет от 11 до 15 км, а ширина колеблется между 5 и 7 км. На западном фланге "pull-apart basin" находится округлая депрессия с максимальной для Севана глубиной 80 м; погружение склона в этом месте составляет 80 м на расстоянии 740 м.

Норатус – Канагехский разлом был впервые выделен Милановским. Впоследствии данный разлом многократно изучался геологами и в 2017 году, после повторного анализа данных и проведения многочисленных как наземных, так и подводных полевых работ группой А. Авагяна, был сделан вывод о том, что Норатус – Канагехский разлом имеет сбросовую кинематику, а его активность связана с вулканическими процессами.

С юго-востока впадина Малого Севана отделена от впадины Большого Севана асимметричной Норатусской перемычкой (Надеждинской перемычкой, согласно Милановскому), выраженной в рельефе подводной грядой между мысами Артаниш и Норатус. Сейчас Норатусская перемычка пересечена каньоном с приблизительной глубиной 8-10 метров. Пафенгольц К. Н., Милановский Е. Е., Асланян А. Т. считали каньон следствием эрозии реки, втекающей в Малый Севан из Большого. Э. Харазян (2005) и С. Пирูзян (1969), соединяя эпицентры Араратского землетрясения (1840), Двинских землетрясений (IX век), Гарнийского землетрясения (1679) и землетрясений 1905 года возле города Гавар, считали причиной образования Норатусской перемычки Азат – Севанский разлом (Пирูзян, 1969). В результате недавних исследований было уточнено расположение эпицентров для большинства этих землетрясений. К тому же концепция выделения разломов путем соединения эпицентров устарела. Выделение Азат – Севанского разлома на основе отмеченных выше последних данных не отвечает современным сеймотектоническим представлениям.

3.2 Магнитометрические исследования 2002 года.

Проведенная магнитометрическая съемка 2002 года и её интерпритация в 2015-2017 годах выявила разлом ССЗ простирания вдоль восточного борта Сарикаинской гряды. Азимут простирания выявленного разлома - СЗ 320-330°, что совпадает с азимутом простирания Норатус – Канагехского разлома. Никаких свидетельств других разломов профилями не было обнаружено.

Новая версия причины образования Норатусской перемычки была выдвинута исследовательской группой А. Караханяна в 2016 году, которая предположила, что Норатусская перемычка могла образоваться вследствие растяжения при образовании Севанской структуры бассейна “pull-apart”, а каньон в центре Норатусской перемычки точно совпадает с линией сегмента PSSF-3. Было высказано предположение, что он образован вследствие вертикальных смещений на этом сегменте Памбак – Севан – Сюникского разлома. Впоследствии этот каньон стал руслом реки, втекающей из Большого Севана в Малый Севан.

3.3 Феномен разжижения грунта в бассейне озера Севан

В 2002 году на окраине села Норатус были найдены структуры, которые впоследствии мной, при поддержке научного руководителя, были идентифицированы как следы разжижения грунта (liquefaction). Дайки песка, внедренного в верхние слои, соответствуют всем полевым критериям феномена разжижения грунта, описанным выше.

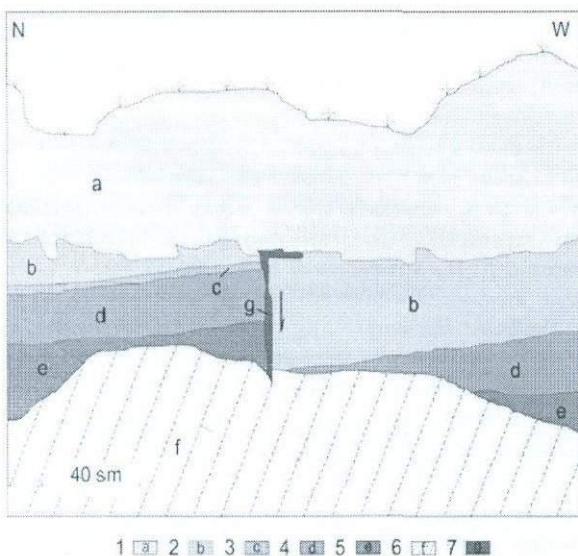


Рисунок 4.

Разжижение грунта на окраине села Норатус. 1. a - слой современной почвы; 2. b - слоистые вулканические отложения; 3. c - окатанная мелкая галька; 4. d - глинистые отложения Севана с тонкими прослоями тефры; 5. e - вулканические отложения с включением обломков различных пород из отложений Севана; 6. f - обвал современной почвы. 7. g - заполнитель трещины разжижения грунта из мелкозернистого песка и неокатанных обломков пород.

Обнажение 1 (рис. 4). На фотографии 2015 года ясно идентифицируется трещина в грунте, а также смещение по разлому от землетрясения. Амплитуда смещения

слоев в данном обнажении более 1 метра. Полевые критерии идентификации феномена разжижения грунта полностью соответствуют задокументированному обнажению. Это позволяет утверждать, что в данном районе сильное сейсмическое событие вызвало феномен разжижения грунта и смещение слоев за счет горизонтального перемещения грунта под влиянием силы тяжести.

Обнажение 2 (рис. 5). Из обнажения 2 были взяты пробы для гранулометрического анализа и для изотопного анализа C14 (рис. 3.10 б). Гранулометрический анализ был проведен в лаборатории Геологического факультета ЕГУ. Анализ фракций по методу Цусиды показал высокую вероятность возникновения эффекта разжижения грунта.

Изотопный анализ C14 был проведен в лаборатории университета Глазго, а затем был откалиброван мной при помощи Оксфордского калькулятора для C14 (OxCal 4.3). Взятые образцы помогли установить пред-дату и пост-дату события, повлекшего за собой феномен разжижения грунта. Землетрясение произошло в промежутке от 30959 $\pm$ 331 cal BP до 7288 $\pm$ 20 cal BP.

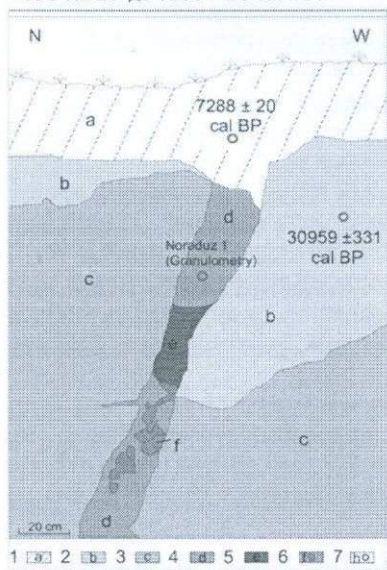


Рисунок 5. Разжижение грунта на окраине села Нурадус. 1. а - слой современной почвы; 2. b - слой вулканической тефры, перемешанные с озерными отложениями Севана прибрежной фации; 3. c - слой вулканической тефры; 4. d - крупнозернистая темная вулканическая тефра; 5. e - черная слоистая мелкозернистая вулканическая тефра; 6. f - обломки песчанника; 7. - места взятия образцов для анализов C14 и гранулометрии.

Подобного размера трещины от разжижения грунта возникают во время горизонтального спрединга грунта при сильных землетрясениях. Согласно международной шкале интенсивности INQUA (Michetti et al., 2004): “Часто имеет место разжижение и подъем воды; эффекты “кипения песка” диаметром до 3 м; явные эффекты фонтанирующей воды в стоячих водах; частый боковой спрединг и просадки (опускание на более чем около 30 см) с образованием трещин параллельно зонам береговых линий (берегам рек, озер, каналов, морским побережьям”. Возникают при интенсивности IX-X).

Заключение:

На окраине села Норатус фиксируются многочисленные следы разжижения грунта (liquefaction) от землетрясения с интенсивностью около IX-X баллов по шкале

MSK 64. Взятые образцы и их результаты свидетельствуют о том, что зафиксированное землетрясение произошло в промежутке времени от 30959 ± 331 cal BP до 7288 ± 20 cal BP.

На основе изложенного формулируется защищаемое положение диссертации:

Многочисленные следы разжижения грунта на окраине села Норатус связаны с землетрясением, произошедшим более 6000 лет назад с интенсивностью около IX-X баллов по шкале MSK 64.

ГЛАВА 4. ФЕНОМЕН РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА В РАЙОНЕ ГОРОДА СИСИАН

4.1 Сисианский участок исследований: общие сведения

Исследованный около города Сисиан участок находится на Сюникском нагорье, которое образует юго-восточную окраину вулканической зоны Республики Армения. Сюникское нагорье изучено многими авторами. Объектом их изучения, в частности, было Каркарское плато площадью около 40 км². Его абсолютная высота составляет 2650 – 3206 метров. В основном плато сложено четвертичными вулканическими породами. По Каркарскому плато протекает трасса третьего сегмента Памбак-Севан-Сюникского разлома (PSSF-3). Сегмент PSSF-3 Памбак-Севан-Сюникского разлома скрывается под водами у западного побережья Малого Севана и выходит на сушу через 65 км у юго-восточного берега Большого Севана. Разлом, пересекая вулкан Хонарасар, тянется к вулкану Порак и южнее образует структуру pull-apart. Разрывное нарушение распространяется по поверхности, сложенной четвертичными вулканическими образованиями и голоценовыми лавовыми потоками, извергнутыми вулканом Порак.

К югу от вулкана Порак наблюдаются два параллельных сегмента разлома, которые имеют сдвиговую кинематику со сбросовой компонентой. Высота эскарпов варьирует в среднем от 2 до 3 м, а южнее доходит до десятка метров. На данном участке PSSF разлом формирует структуру pull-apart.

Хуступ – Гиратахский разлом в данном регионе был прослежен от села Татев на северо – западе до реки Аракс на юго-востоке, на протяжении более 80 км. В северо-западном направлении разлом уходит под молодые лавы. Разлом имеет взбросовый характер с опущенным западным и приподнятым восточным крыльями. Амплитуда смещения более 1 км.

4.2 Феномен разжижения грунта недалеко от села Агиту

В 2002 году группой Ч. Коннора из университета Южной Флориды недалеко от села Агиту были обнаружены обнажения, на которых отчетливо была видна дайка песка, внедренная в верхние слои. Полученные данные не были проанализированы и опубликованы. В 2017 году данные обнажения были проанализированы автором совместно с А. Караханяном. Информация и фотографии 2002 года были интерпретированы как свидетельство феномена разжижения грунта.

Восстановить картину события, зафиксированного в 2002 году, по имеющимся данным не представлялось возможным. Поэтому, в 2017 году мной, в составе группы моего руководителя, были проведены полевые работы на этом обнажении. Была составлена схематическая зарисовка одного из обнажений (рис. 6).

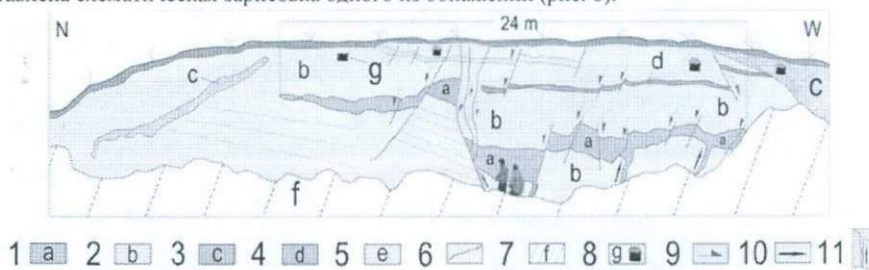


Рисунок 6. 1 – Дайка (силла) внедренного песка. 2 – Суглинок, 3 – Речные отложения в виде гальки, 4 – Смещенный слой, 5 – Смещенный слой вулканической тefры, 6 – Плоскость смещения, 7 – Обвалившийся почвенный слой, 8 – Курганы, 9 – Направление смещения, 10 – Направление внедрения песка, 11 – Канал внедрения песка

Полевые работы 2017 года и составленный схематический рисунок показали, что феномен разжижения грунта недалеко от города Сисиан имеет видимую ширину внедрения 24 метра, а высоту более 5 метров. Подобного размера дайки от разжижения грунта возникают во время горизонтального перемещения грунта при сильных землетрясениях. Согласно международной шкале интенсивности INQUA EEE.

В процессе полевых работ нами было задокументировано ещё несколько свидетельств разжижения грунта в районе города Сисиан. Из одного из обнажений, условно названного вторым, для изотопного анализа C14 нами был взят образец из палеопочвы над внедренным слоем песка. Образец был отправлен в американскую лабораторию Beta Analytic Inc. и в 2017 году была получена дата 1485 - 1650 cal AD для выбранного слоя. Это пост-дата землетрясения, вызвавшего разжижение грунта на обнажениях 1 и 2. Также был взят образец палеопочвы из-под обрушенного участка стены крепости Уйц. По данным полевых исследований разрушение стены произошло вследствие сильного землетрясения. Полученный результат дает пред-дату землетрясения - 878 - 1013 cal AD.

Во время полевых работ 2017 года было выделено также обнажение, условно обозначенное номером 3 (рис. 7). Здесь слои вулканических осадков и озерных отложений, представленных в виде гальки, под воздействием землетрясения сместились, изменив угол падения с горизонтального на почти вертикальный. В 10 метрах западнее была задокументирована дайка разжижения грунта. Внедренный слой песка образовал на поверхности «песчаный кратер». Из слоя палео-почвы над кратером была взята проба для C14. В 2017 году лаборатория Beta Analytic Inc. предоставила результаты изотопного анализа - 1726 - 1814 cal AD. Данный результат практически идентичен полученному на обнажении 1. По моему предположению, данных изотопного анализа C14 достаточно для

утверждения, что задокументированный на обнажениях феномен разжижения грунта является вторичным эффектом землетрясения 1406 года.

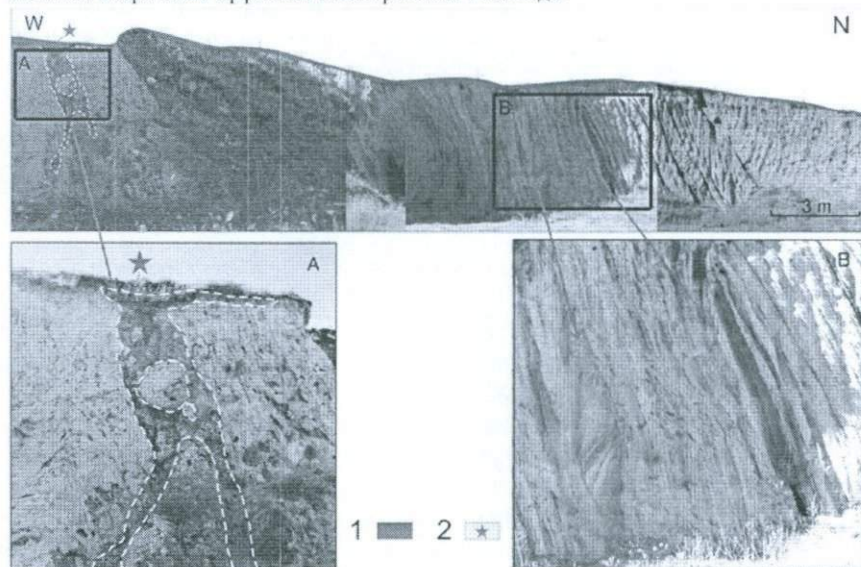


Рисунок 7. Обнажение 3. Слева - дайка разжижения грунта (выделена белым пунктиром) с обломками вмещающих пород. Место отбора пробы, взятой из палеопочвы для анализа C14, отмечено красной звездой. Справа - угловое несогласие слоев.

4.3 Выводы:

Феномен разжижения грунта, задокументированный на обнажениях возле города Сисиан, является явным свидетельством сильного землетрясения с интенсивностью X-XI (INQUA, MSK-64).

Обнаруженное недалеко от города Сисиан угловое несоответствие слоев свидетельствует о наличии скрытого разлома, являющегося источником сильного землетрясения. Причиной феномена разжижения грунта могло послужить землетрясение на данном разломе.

Изотопный анализ органики палеопочвы (C14) относит данное событие к периоду от 878 - 1013 cal AD до 1485 - 1650 cal AD. Согласно каталогу исторических землетрясений (Seismic, 2011) в данном регионе фиксируется землетрясение 1406 года магнитудой 7.0. Автор склонен приписывать задокументированные свидетельства феномена разжижения грунта землетрясению 1406 года. Дальнейшие макросейсмические исследования могут привести к уточнению эпицентра землетрясения 1406 года и фиксации его на выявленном разломе.

Считаю, что указанных данных достаточно для утверждения о предполагаемом продолжении Памбак-Севан-Сюникского разлома Хуступ-Гиратахским разломом.

На основе изложенного формулируются защищаемое положение диссертации:

Феномен разжижения грунта, задокументированный в четвертичных обнажениях возле г. Сисиан, является свидетельством сильного землетрясения с интенсивностью X-XI (INQUA, MSK-64), произошедшим между 878 - 1013 cal AD и 1485 - 1650 cal AD. Этот феномен, как и обнаруженное угловое несогласие в позднечетвертичных слоях стали результатом подвижки по разлому при сильном землетрясении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

5.1 Феномен разжижения грунтов и сейсмотектоника.

Сардарапатская структура, принимая во внимание открытый вопрос её возникновения и отсутствие задокументированных сильных землетрясений, многими учеными рассматривалась, как погребенный древний разлом. При оценке сейсмической опасности для ААЭС Сардарапатской структуре был присвоен низкий ранг достоверности. Новые данные, полученные при помощи геолого-геофизических и лабораторных работ доказали активность Сардарапатского разлома и позволили провести вероятную трассу данного разлома.

Сравнивая размеры внедрения задокументированных свидетельств феномена разжижения грунта, можно сделать вывод о потенциале Сардарапатского разлома. Дальнейшие исследования в данном регионе геолого-геофизическими методами поможет уточнить трассу разлома.

Выявленные на окраине села Норатус свидетельства феномена разжижения грунта говорят о наличии сильного землетрясения. Сейсмическая угроза для бассейна озера Севан является крайне важным вопросом. Прделанная работа улучшила понимание механизмов активных разломов бассейна. Автор считает необходимым продолжение исследований береговой линии озера Севан с целью обнаружения новых деформаций, вызванных разжижением грунта, а также из детального изучения.

Феномен разжижения грунта вблизи города Сисиан Сюникского автономного округа является свидетельством сильного землетрясения. Детальные полевые исследования и изотопный анализ C14 позволили дать приблизительную оценку интенсивности землетрясения и его датировку.

Сопоставив результаты изотопных анализов, взятых из обнажений недалеко от города Сисиан, с имеющимся историческим каталогом, автор пришел к выводу, что феномен разжижения грунта возникло как вторичный эффект землетрясения 1406 года (M=7.0). однако данную информацию необходимо удостоверить при помощи дальнейших исследований данного региона.

Суммируя результаты выполненных автором исследований проявлений сейсмического разжижения грунта на территории Армении, можно утверждать, что, во-первых, они позволили определить или более достоверно оценить мощность, и датировку некоторых сейсмических событий и уточнить сейсмический потенциал отдельных активных разломов и сейсмических зон. Во-вторых, работа автора наглядно показала, что изучение сейсмического разжижения грунта как источника дополнительных воздействий землетрясений на человека и среду его обитания, нуждается в дополнительных

исследованиях, которые должны охватывать не только сейсмотектонику, но и углублённое изучение четвертичных отложений и гидрогеологии.

5.2 Выводы и рекомендации:

- Оценка сейсмической опасности остается актуальной для территории Армении по сей день. Новые методики, позволяющие пополнить каталог землетрясений, существенно повысят качество оценки сейсмического риска. Феномен разжижения грунта как маркер палеосейсмичности, является очень интересным и важным объектом для будущих исследований.
- Данные, полученные при изучении Сардарapatской структуры, однозначно свидетельствуют о том, что она является активным разломом со взбросовым механизмом подвижки и сейсмогенной зоной с потенциалом $M = 6.6-7.0$ и со следами поверхностного разрыва и разжижения грунта от сильного землетрясения, произошедшего в период между VIII веком и II веком до РХ (Участок Сардарapatской структуры).
- На окраине села Норатус фиксируются многочисленные следы разжижения грунта от землетрясения с интенсивностью около IX-X по шкале MSK 64 (Бассейн озера Севан).
- Результаты изотопного анализа отобранных проб свидетельствуют о том, что зафиксированное на окраинах села Норатус землетрясение произошло в промежутке от 30959 ± 331 cal BP до 7288 ± 20 cal BP (Бассейн озера Севан).
- Феномен разжижения грунта, задокументированный на обнажениях возле города Сисиан, является явным свидетельством сильного землетрясения с интенсивностью X-XI (INQUA, MSK-64) (PSSF-3).
- Обнаруженное недалеко от города Сисиан угловое несогласие слоев свидетельствует о наличии скрытого разлома, являющегося источником сильного землетрясения. Причиной образования феномена разжижения грунта может выступать землетрясение на данном разломе (PSSF-3).
- Изотопный анализ органики палеопочвы (C14) относит задокументированное в Сюнике событие к периоду от 878 - 1013 cal AD до 1485 - 1650 cal AD. Согласно каталогу исторических землетрясений в данном регионе фиксируется землетрясение 1406 года с магнитудой 7.0. Автор склонен приписывать задокументированные свидетельства феномена разжижения грунта землетрясению 1406 года. Дальнейшие макросейсмические исследования могут привести к уточнению эпицентра землетрясения 1406 года и фиксации его на выявленном разломе (PSSF-3).
- Прделанная работа и полученные данные позволяют предположить продолжение Памбак-Севан-Сюникского разлома Хустун-Гиратахским разломом. Дальнейшие исследования в данном регионе могут подтвердить или опровергнуть данную теорию (PSSF-3).

На основе изложенного формулируется защищаемое положение диссертации:

Выявленные автором в Армении явления разжижения грунта при сильных исторических и доисторических землетрясениях позволили уточнить параметры этих землетрясений и сейсмический потенциал активных разломов, с которыми такие землетрясения связаны.

Основные выводы диссертации были опубликованы в следующих научных журналах.

1. Караханян А., Баласанян С., **Макарян Х.**, Геворкян М. « Сардарапатская структура (Армения): новые данные о сейсмической активности ». Устойчивое развитие горных территорий. Россия, Республика Северная Осетия-Алания, 2017, стр 332-342.
2. **Макарян Х.В.** « Норадузская перемычка: гипотезы образования и их реанализ » Ереван. Изд. "Титутюн" НАН РА., Наука о Земле 2/2017, стр. 66-74.
3. Karakhanyan A., Badalyan R., Harutyunian A., Avagyan A., Philip H., Davtyan V., Alaverdyan G., **Makaryan K.**, Martirosyan M. « Archaeoseismological studies at the Pambak-Sevan-Syunik fault system, Armenia », in Sorkhabi, R., ed., Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper 525-15, 2016, p. 21.

Մակարյան Խաչատուր Վարդանի

ԳՐՈՒՆՏԻ ԶՐԻԿԱՅՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ. ՆՈՐ ՏՎՅԱԼՆԵՐ
ՍԱՐԴԱՐԱՊԱՏԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ, ՓԱՄԲԱԿ-ՍԵՎԱՆ-ՍՅՈՒՆԻՔ ԽՁՎԱԾՔԻ ԵՎ
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՄԵՅՄՍԻԿ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ամփոփագիր

Լինելով ուժեղ երկրաշարժի երկրորդական հետևանք, գրունտների ջրիկացման երևույթը գրանցվել է Հայաստանի տարածքի տարբեր շրջաններում: Այդ երևույթից շինարարական կառույցները պաշտպանելու ինժեներական միջոց դեռևս գոյություն չունի: Այդ երևույթի նոր հետազատությունները կարող են էապես բարելավել ինժեներական ենթակառուցվածքին սպառնացող ռիսկի աստիճանի գնահատմանը: Ներկայացվող աշխատանքի շրջանակներում գրունտի ջրիկացման երևույթը հետազոտվել է ՀՀ որոշ շրջանների համար, ինչը թույլ է տվել լրացնել երկրաշարժերի կատալոգը և զգալիորեն բարձրացնել սեյսմիկ ռիսկի գնահատման ճշգրտության աստիճանը: Երկրաբանական, երկրաֆիզիկական և հնագիտական տվյալների խաչաձև համեմատությունը ժամանակակից համակարգչային ծրագրերի կիրառմամբ թույլ է տվել ձևակերպել հետևյալ եզրակացություններն ու առաջարկությունները.

Պաշտպանվող դրույթները.

- Մարդարապատի կառուցվածքը հանդիսանում է ակտիվ խզվածք, տեղաշարժի վերնետրային մեխանիզմով և մ.թ.ա. VII դարից հետո տեղի ունեցած ուժեղ

երկրաշարժից առաջացած մակերևութային խզման և գրունտի ջրիկացման հետքերով:

- Նորատուս գյուղի ծայրամասում գրանցված գրունտի ջրիկացման բազմաթիվ նշանները կապակցված են մի երկրաշարժի հետ, որը տեղի է ունեցել ավելի քան 6000 տարի առաջ և ուժգնությամբ գնահատվել է մոտ IX-X MSK 64 սանդղակով:
- Միսիան քաղաքի մոտ չորրորդական նստվածքների մերկացումներում գրանցված և փաստագրված գրունտի ջրիկացման երևույթը վկայում է ուժեղ երկրաշարժի մասին (I=10-11 ըստ INQUA, MSK-64), որը տեղի է ունեցել մ.թ. 878 – 1013 թ. (թվագրված տարեթիվ)/ և մ.թ. 1485 – 1650 թ / թվագրված տարեթիվ/ միջև: Այդ երևույթը, ինչպես նաև ուշ չորրորդական հասակի շերտերում գրանցված անկյունային աններդաշնակությունը, պայմանավորված են եղել խզվածքի երկայնքով ուժեղ երկրաշարժի ժամանակ տեղի ունեցած տեղաշարժով:
- Հեղինակի կողմից Հայաստանում հայտնաբերված գրունտի ջրիկացման երևույթները, որոնք տեղի են ունեցել ուժեղ պատմական և նախապատմական երկրաշարժերի ժամանակ, թույլ են տվել ճշգրտել այդ երկրաշարժերի պարամետրերը և այն ակտիվ խզվածքների սեյսմիկ ներուժը, որոնց հետ նրանք կապակցված են եղել:

Եզրակացություններ և առաջարկություններ

- Սո այսօր սեյսմիկ վտանգի գնահատումը արդիական խնդիր է մնում Հայաստանի համար: Նոր մեթոդները, որոնք թույլ են տալիս լրացնել երկրաշարժերի կատալոգը, էապես բարելավելու են սեյսմիկ ռիսկի գնահատման որակը: Որպես պալեոսեյսմիկության մարկեր, գրունտի ջրիկացման երևույթը չափազանց հետաքրքիր և կարևոր առարա է հետագա ուսումնասիրությունների համար:
- Սարդարապատի կառուցվածքի ուսումնասիրման ընթացքում ստացված տվյալները միանշանակորեն վկայում են այն մասին, որ կառուցվածքը հանդիսանում է ակտիվ խզվածք՝ տեղաշարժի վերնետքային մեխանիզմով և սեյսմածին գոտի՝ $M = 6.6-7.0$ ներուժով և մ.թ.ա. VIII և II դարերի միջև տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժից առաջացած մակերևութային խզման և գրունտի ջրիկացման հետքերով (Սարդարապատի կառուցվածքի տեղամաս):
- Նորատուս գյուղի ծայրամասում գրանցվում են MSK 64 սանդղակով շուրջ IX-X ուժգնություն ունեցող երկրաշարժից առաջացած գրունտի ջրիկացման բազմաթիվ նշաններ (Սևանա լճի ավազան):
- Բզոտուպային հասակի որոշման համար վերցված նմուշների անալիզի արդյունքները վկայում են, որ Նորատուս գյուղի հյուսիս-արևելյան ծայրամասում գրանցված երկրաշարժը տեղի է ունեցել 30959 ± 331 (cal. BP) մինչև 7288 ± 20 (cal. BP) տարի առաջ (Սևանա լճի ավազան):
- Միսիան քաղաքի մոտակայքում մերկացումների մեջ փաստագրված գրունտի ջրիկացման երևույթը հանդիսանում է ուժեղ երկրաշարժի հստակ վկայություն, որն ունեցել է X-XI ուժգնություն ըստ INQUA, MSK-64 սանդղակների (PSSF-3):

- Միսիան քաղաքից ոչ հեռու հայտնաբերված շերտերի անկյունային աններդաշնակությունը վկայում է թաքնված խզվածքի առկայության մասին, որը ուժեղ երկրաշարժի աղբյուր է եղել: Այդ խզվածքի վրա տեղի ունեցած երկրաշարժը կարող է լինել գրունտի ջրիկացման երևույթի առաջացման պատճառը (PSSF-3):
- Հնահողի օրգանական նյութի իզոտոպային վերլուծությունը (C14) թույլ է տալիս վերագրել Սյունիքում գրանցված իրադարձությունը մ.թ. 878 – 1013 տարեթվից մինչև մ.թ. 1485 – 1650 տարեթիվն ընկած ժամանակաշրջանին: Հստ պատմական երկրաշարժերի կատալոգի, տվյալ տարածաշրջանում գրանցված է 1406թ. երկրաշարժը, որն ունեցել է 7.0 մագնիտուդ: Հեղինակը հակված է վերագրել գրունտի ջրիկացման փաստագրված վկայությունները 1406թ. երկրաշարժին: Հետագա մակրոսեյսմիկ հետազոտությունները կարող են թույլ տալ ճշգրտել 1406թ. երկրաշարժի էպիկենտրոնը և գրանցել նրա տեղադիրքը հայտնաբերված խզվածքի վրա (PSSF-3):
- Կատարված աշխատանքը և ստացված տվյալները թույլ են տալիս ենթադրել ստրուկտուրային կապի մասին Փամբակ-Սևան-Սյունքի և Խոստուտի-Գիրաթաղի խզվածքների միջև (PSSF-3):

Makaryan Khachatour Vardani

ANALYSIS OF SOIL LIQUEFACTION EFFECT: NEW EVIDENCE ON THE SEISMIC ACTIVITY OF THE SARDARAPAT STRUCTURE, PAMBAK-SEVAN-SYUNIK FAULT AND LAKE SEVAN BASIN

Abstract

As a secondary effect of strong earthquakes, soil liquefaction phenomenon has been recorded in different regions of Armenia. Until now, there has been no engineering solution to protect built structures against this effect. Presently, new studies of the phenomenon may enable considerably improved understanding of the risk for engineering infrastructure. Under this study, soil liquefaction effects were studied in some regions of the RA, which allowed supplementing the earthquake catalogue and improving the quality of seismic risk assessment considerably. By means of cross-correlation of geological, geophysical and archeological data, using advanced sets of computer software, it appeared possible to make the following conclusions and recommendations.

Defended Statements

- The Sardarapat structure is an active fault with reverse-fault slip mechanism and signs of surface rupture and soil liquefaction caused by a strong earthquake, which occurred after the 7th century BC.
- Many signs of soil liquefaction on the outskirts of the Noratous Village are related to an earthquake that occurred more than 6000 years ago and had intensity about IX-X on the MSK 64 scale.

- Soil liquefaction phenomenon documented in Quaternary exposures near Sissian Town bears evidence of a strong X-XI intensity earthquake (INQUA, MSK-64) between 878 - 1013 cal AD and 1485 - 1650 cal AD. This phenomenon, as well as the angular discordance of bedding recorded in Late Quaternary layers, was determined by a displacement along the fault during a strong earthquake.
- The soil liquefaction effects caused by strong historical and pre-historical earthquakes identified by the author in Armenia enabled an improved assessment of parameters of those earthquakes and of the seismic potential of the active faults they were associated with.

Conclusions and Recommendations

- Seismic hazard assessment has remained an urgent issue for Armenia up today. New techniques to enable supplementing of the earthquake catalogue may upgrade seismic risk assessment quality considerably. As a paleoseismicity marker, soil liquefaction phenomenon is an object of interest and high importance for future studies.
- The evidence produced in studying the Sardarapat structure bear clear evidence that it represents an active fault with reverse-fault sense of motion and a seismogenic zone with the seismic potential of $M=6.6-7.0$ and signs of surface rupture and soil liquefaction in an earthquake that occurred between the 7th century and the 2nd century BC (the Sardarapat Structure Site).
- On the margin of the Noratous Village, many signs of soil liquefaction caused by an IX-X intensity earthquake (MSK 64 scale) were recorded (Lake Sevan basin).
- The results of isotope analyses of the collected samples indicate that the earthquake identified on the Noratous Village outskirts occurred in the interval from 30959 ± 331 cal BP to 7288 ± 20 cal BP (Lake Sevan basin).
- Soil liquefaction phenomenon documented in the exposures located near Sissian Town bears clear evidence of a strong earthquake with intensity in the range of X-XI (INQUA, MSK-64) (PSSF-3).
- The angular discordance of strata identified not far from Sissian Town attests to the presence of a concealed fault that was the source of strong earthquake. Earthquake on this fault could have been responsible for the soil liquefaction phenomenon (PSSF-3).
- The isotope analysis of paleo-soil organics (C14) relates the seismic event documented in Syunik to the period between 878 - 1013 cal AD and 1485 - 1650 cal AD. According to the historical earthquake catalogue, a 7.0 magnitude earthquake in 1406 is recorded for this region. The author believes that the documented evidence of soil liquefaction effects could be ascribed to the earthquake of 1406. Further macroseismic studies may help to improve the localization of the 1406 earthquake epicenter and its localization along the identified fault (PSSF-3).
- The conducted study and the data produced suggest that the Pambak-Sevan-Syunik Fault could have its extension as the Khoustoup-Ghiratagh Fault. Continued investigation over the considered region might help to support or disprove this hypothesis (PSSF-3).



