

Предишна сеизмичност на разлома активиран при земетресението на 18 април 1928 г. по данни от канава до Поповица, южна България

Александър Радулов¹, Крис Ванесте², Кун Вербек², Стефан Шанов¹, Тиери Камелбек²,
Марлена Янева¹

¹ *Геологически институт при БАН*

² *Кралска обсерватория на Белгия*

Past Seismicity of the Fault Activated during the April 18, 1928 Earthquake according to Data from a Trench near Popovitsa, Southern Bulgaria

Summary

The Upper Thracian Depression is one of the most seismically active areas, and a precise seismic hazard assessment needs paleoseismological investigations. Almost entirely lack of studies on active faults in Bulgaria controverts our concept based mainly on indications for neotectonic activity. In a frame of cooperation between the Royal Observatory of Belgium and the Bulgarian Academy of Sciences, a trench has been excavated across the fault activated during the Popovitsa M 7.1 earthquake on April 18, 1928. This paper describes the geological record for past fault activity recognized in the trench near Popovitsa. Four events have been established. We found the same value of 1928 offset as it is known by leveling survey before and after the earthquake. The offsets of penultimate and antepenultimate events are close to the 1928 offset. Although absolute ages of the samples from different units are not available yet, we can suppose that the return periods for the last three events are long enough for development of soil profile. A pottery finding suggests that the penultimate event occurred in Roman time.

Established in the trench past activity characterizes only very short section of the fault. More trenches need being done on the fault, and especially, across the sections not activated in 1928 that seem to have different behavior.

Увод

Горнотракийската депресия е една от най-активните в сеизмично отношение зони и по-точната оценка на земетръсната опасност налага провеждането на палеосеизмоложки проучвания. Редица разломи контролират седиментацията и ерозията през неотектонския етап, но от значение в наши дни са само разломите с активност през последните няколко десетки или стотици хиляди години. Определянето на тяхното положение, геометрия, поведение и сеизмична история е необходимо условие за оценка на сеизмичната опасност. Почти пълната липса на специализирани проучвания на активните разломи в България поставя под въпрос адекватността на сегашната ни представа, основаваща се на индикации за неотектонска активизация.

На практика разломите, които могат да се обвържат с известни земетресения в Горнотракийската депресия, са само два. Единствено при Чирпанското земетресение М 6,8 от 14 април 1928 г. и Поповишкото земетресение М 7,1 от 18 април 1928 г. са описани повърхностни деформации. С изучаването на тези два разлома стартираха палеосеизмоложките проучвания в България в рамките на двустранно сътрудничество между Геологическия институт при БАН и Кралската обсерватория на Белгия. През 2002 г. беше изкопана канава в района на село Черна гора, където установихме холоценската активност на Чирпанския разлом, активиран при земетресението на 14 април. През април-юни 2004 г. беше отворена и описана канава на разлома, активиран при земетресението на 18 април. Проучването е част от проектите „Активни разломи и

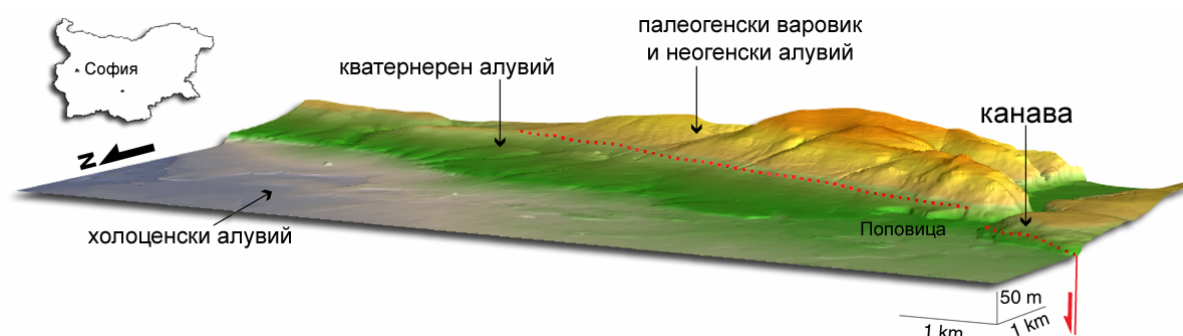
силни палеоземетресения в Тракийската низина”, финансиран от Кралската обсерватория на Белгия и БАН, и „Палеосейсмоложки проучвания в България: район Чирпан-Поповица”, финансиран от НФНИ при МОН. В настоящата статия се дава първа информация за установените в канавата катастрофални земетресения. Цялостното проучване изисква допълнителни анализи и най-вече датиране на събитията.

Активният разлом

Косеизмичното нарушение на земетресението на 18 април с регистрирани пропадания на северния блок представлява повърхностната изява на разсед от Маришкия шев (Бончев, 1961). Мнозина автори на базата на геоложки, геоморфоложки и геофизични проучвания в района отбелязват наличието на разсед. Специализирани проучвания на кватернерната активност на разлома не са известни.

Поповица е едно от най-засегнатите от земетресението села. В него са описани много субпаралелни пукнатини на повърхността, но към разлома следва да се отнесат само тези от тях, които са с преместване. Положението на разлома е посочено в два основни източника: Бончев и Бакалов (1928) и ДИПОЗЕ (1931). Известната със сигурност част на разлома е с дължина около 9-10 km и посока 116° (фиг. 1). Трасето в западна и източна посока не е изяснено поради противоречие в източниците и липса на морфоложка изява в заливната тераса на Марица.

В района на Поповица разломът следва основата на склон със височина 50-55 m (фиг. 1). Положението му се маркира от промяна в наклона на повърхността в двете му крила. Разломният откос не е изразителен или отсъства. Кватернерната разломна активност контролира алувиалната седиментация във висящото крило и ерозията на лежащото крило. В издигнатия блок се разкриват неогенски алувиални седименти и палеогенски варовик. Кватернерни алувиални седименти на Марица покриват понижения блок. Най-младата, включително и холоценска, активност се доказва от промяна в морфоложките особености на заливната тераса на река Черкезица при Поповица, наличие на ерозионни дерета в лежащото крило, млади пролувиални конуси и колувий. Отместване на откоса на заливната тераса на Черкезица и на осите на няколко дерета по дължината на разлома могат да намерят обяснение с дясноотседно движение.



Фиг.1. Триизмерен модел на релефа в района на с. Поповица по карти в М 1:5 000. Трасето на разлома е показано с пунктирна линия.

Задачи и методи

Взаимодействието между разломната активност и екзогенните процеси оставя следи в съвременния релеф и в най-младите седименти. Изучаването на тези следи дава възможност за регистриране на по-стари земетресения. В общия случай задачите на едно палеосейсмоложко проучване са установяване на минали земетресения, амплитудата на движение при всяко от събитията, събитийните хоризонти (повърхността в момента на събитието), датиране на земетресенията и скоростта на движение на разлома за даден период от младата му история. От многобройните наблюдения върху документираните катастрофални земетресения са изведени зависимости между характеристиките на земетресението и деформациите. Силата на дадено палеоземетресение подлежи на оценка чрез тези зависимости. Палеосейсмоложкото проучване отговоря на въпросите за броя на земетресенията, тяхната сила и време за конкретна част от разлом.

За установяването на миналата активност на разлома при Поповица бяха използвани наложени в световната практика палеосейсмоложки методи. Изработката на канавата и подходът при интерпретацията на разкрития геоложки запис са съобразени с конкретната специфика на мястото, тип седименти и знанията за проявата на разлома при земетресението на 18 април. Предварителните проучвания с геофизични методи и плитки сондажи позволиха точното трасиране на разлома в участъка между реките Черкезица и Марица. Ориентировката и размерите на канавата са проектирани за изучаване на разсед. Канавата е перпендикулярна на посоката на разлома. Размерите са: дължина 36 m, дълбочина от 2,50 m в краищата до 4,80 m в разломната зона и ширина около 4 m. За оценка на общата величина на преместванията при земетресенията и разкриване на приразломни колувиални клинове $2/3$ от дължината е разположена във висящото крило, а $1/3$ - в лежащото крило.

Стените на канавата са зарисувни в мащаб 1:20. Документацията включва и фотографиране на всеки квадратен метър. Седиментните тела са обособени в единици на базата на техните седиментоложки и почвени характеристики. Единиците се възприемат като тектоностратиграфски, защото техният фациес и пространствен и времеви обхват са обусловени от активната тектоника. Единиците са отбелязани с буквите A, B, C, D, G, H, I, J, K, M, N, O, P и Q от най-младата към по-старите. Някои от единиците имат вътрешни подразделения и тогава се прибавя цифров индекс към буквата. Събитийните хоризонти са означени с E1, E2 и E3 в ред, обратен на образуването им. Събрани са подходящи образци за абсолютно датиране. За достигане на по-долните седиментни единици от лежащото крило във висящото крило бяха заложили два сондажа с дълбочина 4,80 m.

Местоположение на канавата

Канавата е заложила върху кватернерна алувиална тераса на относителна височина спрямо р. Марица около 15 m (фиг. 1 и 2). Точната възраст на терасата, необходима за установяване на дългосрочната скорост на движение на разлома, не е известна. Мястото на канавата се намира в непосредствена близост до Цариградското шосе (сега главен път Е-80), което е било пресечено от повърхностното нарушение при земетресението (фиг. 3). Нарушенията на пътя са заснети веднага след събитието. Повърхностната изява на разлома представлява зона със стъпаловидно развити нарушения с максимална амплитуда на пропадане по най-северното (най-близкото на снимката на фиг. 3). При нашите предварителни проучвания с плитките сондажи се установи наличието на пясъци със стари почвени хоризонти, което свидетелства за цикличност на седиментацията, обусловена от по-ранна активност. Върху

електротомографски разрез на мястото на очаквания разлом се откроява тясна 6-8 m, вертикална зона с ниски електрични съпротивления. Разломната активност се доказва от разместване на пластове с по-високи съпротивления.



Фиг. 2. Канавата при село Поповица.



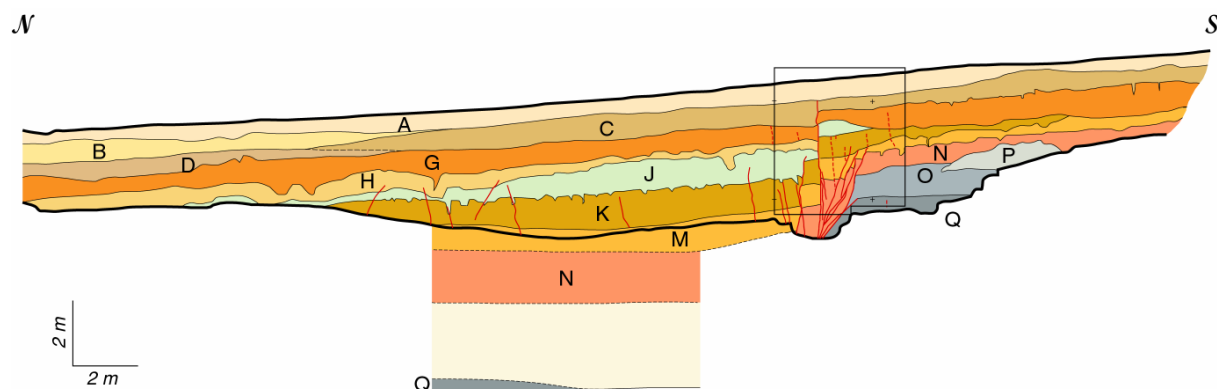
Фиг. 3. Нарушенията на Цариградското шосе (сега главен път Е-80) близо до Поповица показват повърхностната изява на разлома при земетресението на 18 април 1928 г. (ДИПОЗЕ, 1931).

Седименти

Стените на канавата разкриват алувиални пясъчливи седименти, претърпели значителни промени от почвообразователни процеси. Първичните седиментационни структури и тектури са запазени най-ясно в единици D, J, O и Q (фиг. 4). Единици J, O и Q са изградени от едро- и грубозърнести, на места гравийни и чакълни, пясъци в руслов фациес. Единици O и Q се разкриват само в лежащото крило. В един от сондажите във висящото крило са достигнати аналогични на единици O или Q седименти, но корелацията следва да се потвърди след седиментоложки анализи. Единица D представлява редуване на слоеве с глинесто-алевритов и по-пясъчлив състав с дебелина на отделните слоеве от 5-10 cm. Седиментите ѝ са предимно във фациес на заливна тераса.

Първичните седиментационни структури, текстури и цвят на останалите единици са променени в различна степен при почвообразуването. Характерът и степента на промяна зависи от положението на седиментите във вертикалния почвен профил. В седиментите, които са били на повърхността за продължителен период на тектонски покой, се е развил хумусният почвен хоризонт. Под него последователно се разполагат илувиалният и карбонатният хоризонти. Плътните вариации в дебелините на отделните синхронни хоризонти и в характера на промяна са нормално явление за местата в близост до активни разломи. Вариациите са обусловени от различните условия в двете крила на разлома. От една страна почвообразуването протича в различен изходен материал, а от друга, нарушенията в разломната зона увеличават водопроницаемостта. След всяко земетресение ерозията на лежащото крило редуцира дебелините на хумусния и илувиалния хоризонт и след достигане на профил на равновесие на повърхността започва образуването на нова почва, чийто профил започва от по-ниски нива на предишния почвен профил. Например, горната част на един стар илувиален хоризонт се трансформира в хумусен, а в долната му част продължава илувизацията. Новата седиментация във висящото крило след дадено земетресение погребва старата почва и след достигане на топографски профил на равновесие новата почва се развива в свежи седименти. Илувиалният хоризонт на предишния почвен

профил може да продължи развитието си като такъв, но долната му част преминава към карбонатния хоризонт.



Фиг. 4. Опростена скица на разкритите единици и структури на източната стена. Единиците под дъното на канавата са по сондажни данни. Рамката в разломната зона е показана на фиг. 5.

Единица А представлява обработен материал при аграрна дейност след 1928 г. Човешката дейност при заравняването на обработваемите площи в случая е ускорила естествените процеси на ерозия в лежащото крило и седиментация на колувий или алувий във висящото крило. Заравняването е и причината, поради която в съвременния релеф не се наблюдава разломен откос (фиг. 2). Горницата на единици В и С са топографската повърхност преди земетресението през 1928 г. (Е1 (1928) на фиг. 5 и 6). Единица С е изградена от пясъчливи седименти, по-груби в основата си. Латералният преход към единица D предполага алувиалния генезис на седиментите. В единица С са представени хумусният (C1) и част от илувиалният хоризонт на почвения профил преди 1928 г. Хумусният хоризонт е запазен само във висящото крило, а в лежащото крило той отсъства вследствие на ерозията веднага след събитието и на последвалото изкуствено заравняване. Следи от него откриваме в единица А (фиг. 5 и 6). Единица В е част от изходните седименти на единица С, но поради близостта на пътя, в нея не е представен хумусен хоризонт. Човешката намеса се потвърждава и от наличието на части от метални предмети.

Високото глинесто съдържание, призматичната текстура и високата степен на рубификация определят единици G и H като добре развит илувиален хоризонт. Единица H представлява Vt хоризонт със слойчета от железни оксиди и хидрооксиди. Горната граница на единица G е ерозионна. За съжаление почвообразователните процеси почти напълно са заличили изходния материал и отделянето на първични седиментни тела е затруднено. Индексът на рубификация на единиците G и H е 2-3 пъти по-висок отколкото на средната и долната част на единица С, което означава, че седиментите са подложени на илувиализация за значително по-дълъг период от тези на единица С. Ерозионната горна граница на единица G и високата степен на вторични промени спрямо тези в единица С предполагат, че тези единици са част от един по-стар почвен профил. Отсъствието на хумусен хоризонт на по-стария профил се обяснява с последвалата алувиалната седиментация.

Единица K е изградена от масивен сив глинест пясък. Във висящото крило и в близост до разлома в лежащото крило в нея се разполага карбонатният хоризонт. В единицата в лежащото крило е развит Vt почвен хоризонт, който ѝ придава облик, типичен за единица H.

Единица М е съставена от светлосив глинест пясък. В лежащото крило се характеризира с петниста окраска, получена в резултат от излужването на карбонатни конкреции. В съвременният почвен профил горната граница на карбонатния хоризонт в лежащото крило се намира по-ниско (точковата линия на фиг. 5). Във висящото крило единицата попада в пределите на съвременния карбонатен хоризонт.

Единица N е изградена от червен равномернозърнест пясък, на места в лежащото крило с петнист облик. Индексът на рубификация варира от 80 до 100 и е много по-висок в сравнение със средния индекс 50 на единиците в канавата. Високите стойности позволяват единицата да се интерпретира като стар илувиален почвен хоризонт, но различен от този на единици G и H, защото рубификацията на седиментите между двата илувиални хоризонта е по-ниска.

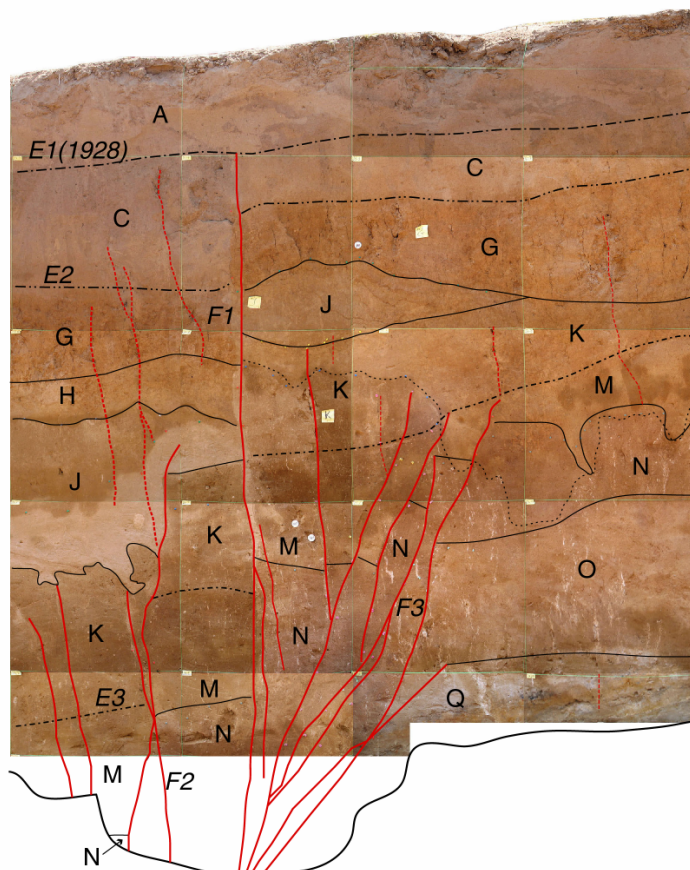
Единица P има ограничено разпространение и се разкрива само в лежащото крило. Тя е изградена от глинест карбонат върху алувиалните пясъци на единици O и Q. В един от сондажите във висящото крило са установени аналогични отложения на дълбочина 3,60-3,90 m.

Сондажите във висящото крило под единица N преминават през пясъци без аналог в разкритата част на лежащото крило.

Структури

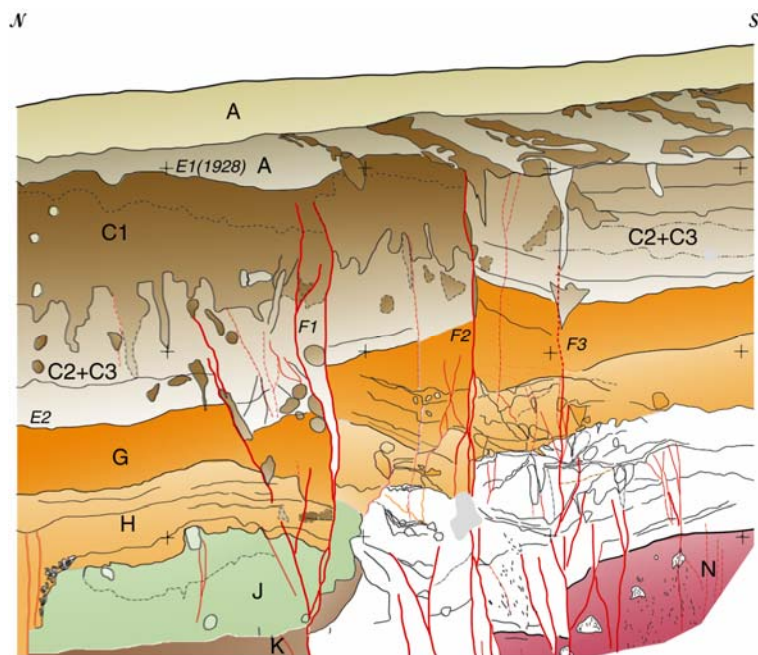
Основните деформации са концентрирани в около 8 m широка зона. Движенията по главните разломи е от разседно-отседен тип. За отседните движения се съди по различния характер на детайлите в самите единици и на границите между тях в блоковете между индивидуалните разломи. Канавата е проектирана и изработена за оценка на разседната компонента и не позволява оценка на отседната компонента.

N



S

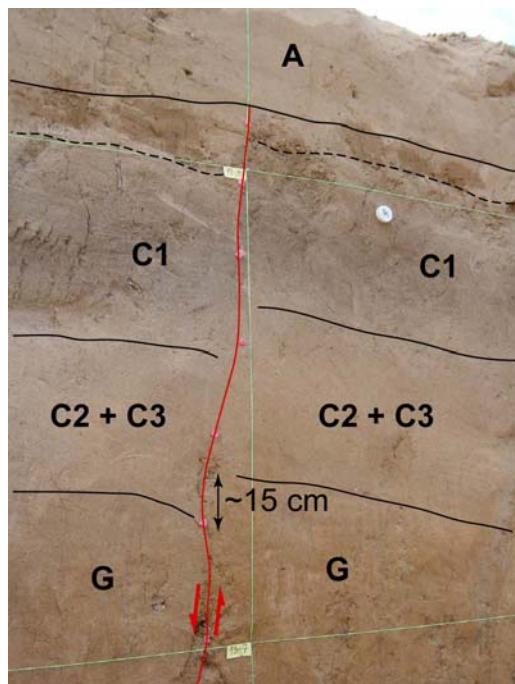
Фиг. 5. Разломна зона на източната стена. Единици – A, C, G, H, J, K, M, N, O и Q; разломи – F1, F2 и F3; събитийни хоризонти – E1(1928), E2 и E3. Мрежата е 1x1 m.



Фиг. 6. Разломна зона на западната стена. Единици – A, C1, C2+C3, G, H, J, K, и N; разломи – F1, F2 и F3; събитийни хоризонти – E1(1928) и E2. Мрежата е 1x1 m.

Разломите на двете стени на канавата се различават (фиг. 5 и 6), което се дължи на бърза смяна на разломната геометрия в рамките на ширината на канавата. На източната стена се разкриват три разлома, размествайки различни стратиграфски хоризонти. Разлом F1 е вертикален. Разлом F2 има наклон по-голям от 90° , което е често наблюдавана геометрия на разсед в приповърхностната зона. Разлом F3 е съставен от няколко субпаралелни повърхнини с наклон $65-70^\circ$. Трите разлома F1, F2 и F3 конвергират в дълбочина и на около 5 m под повърхността се събират. За разлика от източната стена, където величините на разместванията по трите разлома са съизмерими и регистрират разседните движения на три отделни събития, на западната стена са развити множество субвертикални разломи с по-малки амплитуди на разместване на съответните стратиграфски хоризонти. Разлом F1 на източната стена регистрира земетресението през 1928 г. с разместване на долнището на единица C с 0,70 m (фиг. 5), докато същото събитие на западната стена се установява при едновременно движение по разломи F1 и F2, чието общо преместване на същия стратиграфски хоризонт е отново 0,70 m (фиг. 6). Близкото разположение на разломите на западната стена и заличаването на първичните седиментоложки характеристики при почвообразователните процеси не позволява еднозначно определяне на седиментите под единица G (неоцветената част на фиг. 6). Означените като единица H на юг от разлом F1 фактически представляват Bt почвен хоризонт в изходни седименти, които се корелират с единица K. Осъзнавайки значението на резултатите от интерпретацията на геоложкия запис в канавата за използването им в бъдещи оценки на земетръсната опасност в Горнотракийската депресия, се ангажираме само с анализ на сигурни данни. На този етап взаимоотношенията на седиментите и нарушенията под единица G, разкрити на западната стена, не са интерпретирани по отношение на сеизмичната история.

Косеизмичните деформации извън разломната зона са представени главно в грабен с ширина около 10 m ограничен от антитетичен разлом във висящото крило (фиг. 7) и разседите от разломната зона. Те представляват нарушения с премествания от няколко сантиметра и пукнатини. На север от антитетичния разлом деформациите намаляват рязко и са представени само от къси пукнатини.



Фиг. 7. Антитетичен разлом във висящото крило.

Анализ на събитията

В канавата бяха установени следите на четири събития и данни за по-ранна активност на разлома. Означаването на събитията е с числа в обратен на проявата ред. В текста по-долу земетресението преди това през 1928 г. се нарича още второ, по-предишното – трето и най-старото - четвърто събитие. Взаимоотношенията между седиментните единици и разломите позволяват характеризиране само на последните три земетресения.

Данни за земетресението от 18 април 1928 г. намираме в разместването на хумусния хоризонт на почвата преди земетресението и всички по-ниско разположени единици по разлом F1 (фиг. 5) на източната стена и разломи F1 и F2 на западната стена (фиг. 6). Долнището на единица J на източната стена е разместено по разлом F1 с 0,70 m. С оглед включване на отделните малки премествания по-всички нарушения, проявени по време на събитието, общата стойност на разседната компонента следва да се оценява на дълго разстояние. Събитийният хоризонт или повърхността по време на земетресението е горната граница на единица С във висящото крило (E1 (1928) на фиг. 5 и 6), а в лежащото крило поради ерозията и изкуствено заравняване на терена горната граница на С се явява на ниво, разположено под повърхността преди 18 април 1928 г. Поради тази причина общо преместване от 1,15 m, измерено на дълго разстояние в рамките на канавата, представлява минималното преместване при земетресението. Реалното преместване следва да се получи при прибавяне на дебелината на отнетата част от единица С в лежащото крило. Ако предположим, че дебелината на хумусния хоризонт в двете крила е била еднаква, то общото разместване е 1,35 m. Според данните от повторните нивелачни измервания на повърхността след земетресението общото пропадане по пътя от Асеновград до Поповица, който преминава 500 m източно от мястото на канавата е 1,30 m (Мирков, 1932). Установената при нашия анализ стойност показва добро съвпадане с реално пропадане, документирано след земетресението. Съвпадането има методологично значение за палеосейсмологията като доказателство за правилността на подхода при оценка на старите събития.

Горнището на единица G е денивелирана на дълго разстояние с 0,50 m, което е по-малко от пропадането по време на земетресението през 1928 г. Възможно обяснение на този на пръв поглед нелогичен факт е, че илувиалният хоризонт (единица G) е развит в различен изходен материал в двете крила или дебелините на почвените хоризонти се различават. Горнището на единица G не може да бъде използвано за оценка на общото пропадане.

Доказателство за предишно събитие е разместване на единица J и на по-долните единици основно по разлом F2 на източната стена (фиг. 5). Единица G и на двете стени е засегната от нарушения, които не продължават в единица C (фиг. 4, 5 и 6). Събитийният хоризонт или горнището на хумусния хоризонт на почвения профил преди второто събитие не се установява в разкритите седименти, защото границата G/C е ерозионна. Изолирани лещи от материал набогатен на органично вещество, се следят на нивото на единица H или непосредствено под нея. Тези лещи са привързани към нарушения и вероятно представляват части от хумусния хоризонт, които са проникнали от повърхността на известна дълбочина по отворени пукнатити на второто събитие. Аналогично проникване на хумусен материал в по-долни нива може да се наблюдава и при земетресението през 1928 г. (долната граница на C1 на фиг. 6). Разместването на долнището на единица J на източната стена по разлом F2 е 0,60 m. Същото долнище е разместено с още 0,05 m по разлом в близост до главния. За оценка на общото пропадане при второто събитие използваме горнището на единица K. След изваждане на ефекта от земетресението през 1928 г. от общата стойност на разместването, измерена на дълго разстояние, за второто събитие получаваме пропадане от $1,20 \pm 0,35$ m.

Разместване на единици M и N по разлом F3 на източната стена доказва едно по-предишно събитие (фиг. 5). Горнището на единица M е събитийният хоризонт на третото събитие (E3 на фиг. 5). Той е запазен само във висящото крило, а в лежащото е еродирен. Близостта на разломи F3 и F1 налага оценка на разместването по разлома/ите чрез сравняване на границата M/N от висящото крило на F1 с нивото в лежащото крило на F3 и изваждане на преместването при събитието през 1928 г. по разлом F1. Към получената стойност 0,90 m следва да се извади разместване от 0,10 m на единица K, резултат от реактивиране на разлом F3 при първото или второто събитие. Разместването по основните разломи при третото събитие е 0,80 m. Границата M/N е разместена от разлом F2 с 0,75 m, докато движението при второто събитие по същия разлом е 0,60 m, което означава, че разлом F2 също е бил активиран при третото събитие и пропадането е било 0,15 m. Общото пропадане измерено на дълго разстояние за границата на единици M/N с изваждане на ефектите от първото и второто събитие е $1,10 + 0,25/-0,15$ m.

Дебелината на единица N във висящото крило е с 1 m по-голяма отколкото в лежащото крило (фиг. 4 и 5) и това свидетелства за едно събитие, по-старо от третото. Нарушенията на четвъртото събитие не се разпознаха в разкритието на канавата. Положението на събитийния хоризонт е неизвесно. Точната стойност на разместването също не подлежи на оценка, но разликата в дебелината на единица N в двете крила предполага разместване, съизмеримо с това при останалите земетресения.

Най-старите седименти в канавата са пясъците на единици O и Q. Достигането на същите седименти в един от сондажите позволи да се определи тяхното разместване. Стойността е $5,45 \pm 0,15$ m, което е повече от сумарното пропадане за установените от нас събития. След абсолютното датироване на пясъци от тези единици ще бъде извесна скоростта на движение на разлома за периода от седиментацията на единици O и Q до днес.

Заклучение

В канавата до Поповица се регистрираха следите от четири земетресения, включително това през 1928 г. Доброто съгласуване на установената в канавата величина на разседното отместване при земетресението през 1928 г. с данните за топографските промени от повторното нивелачно измерване (Мирков, 1932) доказва правилността на палеосеизмоложкия подход при изучаване на по-стари земетресения. Силата на предишното и по-предишното събитие е близка до силата на земетресението през 1928 г., защото преместването и силата на земетресението са в пряка зависимост. Силата на най-старото (четвъртото) събитие е от същия порядък.

Периодите на повтаряемост на регистрираните земетресения е достатъчно дълъг за образуването на почвен профил с обособени хоризонти. Почвен профил се образува за период от 1000 до 3000 години (Birkeland, 1999). Типът на керамика, намерена в основата на единица С, ни дава основание да предположим, че предишното земетресение е станало през историческо време. Абсолютните възрасти на индивидуалните земетресения ще станат известни след датиране на образци с радиовъглеродния метод и метода на оптичната стимулирана луминисценция.

Изложените данни за по-старите земетресения са валидни само за участъка от разлома между село Поповица и заливната тераса на Марица. Твърде вероятно разломът има същата активност за периода на последните два сеизмични цикъла по 10 километрова дължина източно от Марица. Разбира се, необходимостта от допълнителни разкопавания на разлома е безспорна с оглед потвърждаването на резултатите от това проучване и на проследяването на промените в неговото поведение. Но много по-важно за установяването на вероятността за бъдещи катастрофални земетресения е проучването на историята на активността в частта му извън визирания 10 километров участък. Липсата на описани косеизмични деформации в източна посока означава, че разломният участък там има различно поведение и то може да се установи единствено чрез палеосеизмоложки изследвания.

Благодарим за неоценимата помощ при изработката и описанието на канавата на екипа от специалисти от Геологическия институт, Централната лаборатория по висша геодезия и Института по ботаника при БАН. Изказваме благодарности на кметството на село Селци и жителите на село Поповица за подкрепата и съдействието.

Литература

- Бончев, Е., 1961. Бележки върху главните разломни структури в България. – *Трудове върху геологията на България, Серия Стратиграфия и тектоника*, 2, 5-29.
- Бончев, С., П. Бакалов. 1928. Земетресенията в Южна България на 14 и 18 април 1928 год. – *Списание на Българското геоложко дружество*, 1, 2, 51-63.
- ДИПОЗЕ, 1931. Отчет за извършеното от 25 април 1928 г. до 1 ноември 1931 г., автор К. Стоянов. – *Дирекция за подпомагане и възстановяване земетръсната област 1928 година – „ДИПОЗЕ”, София*, 421.
- Мирков, М. 1932. Прецизни нивелачни измервания в южнобългарската земетръсна област. – *Годишник на Държавния географски институт*, 34-51.
- Birkeland, P. W. 1999. Soil and Geomorphology. – *Oxford University Press*, 430.