

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

МОДЕЛЬ ГРУНТА РАЙОНА Г. НАРЫН И ИСТОЧНИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. В статье изложены результаты детального изучения инженерно-геологических, сейсмотектонических условий микрозон территории г. Нарын, на основе которых построены модели грунтов, изменяющиеся в пространстве и во времени. Определены резонансные частоты многослойных грунтов в пределах территории г. Нарын, а также вероятное время повторения сильных палеоземлетрясений в зоне Центрально-Нарынского активного разлома. Отмечено, что вероятными источниками сильных землетрясений являются активные разломы: Центрально-Нарынский, Преднуратоо, Преднарынтоо, Предаламышк.

Ключевые слова: землетрясение, активный разлом, грунт, резонансная частота.

НАРЫН ШААРЫНЫН АЙМАГЫНДАГЫ ЖЕРДИН (ГРУНТТУН) МОДЕЛИ ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИР ЭТҮҮНҮН БУЛАКТАРЫ

Кыскача мазмуну. Макалада Нарын шаарынын аймагындагы микрозоалардын инженердик-геологиялык, сейсмотектоникалык шарттарын деталдуу изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилген, алардын негизинде мейкиндикте жана убакытта өзгөрүп туруучу грунттун моделдери түзүлгөн. Нарын шаарынын аймагынын чектеринде көп катмарлуу грунттун резонанстык жыштыктары, ошондой эле Борбордук-Нарын активдүү жаракасынын зонасында күчтүү палео жер титирөөлөрдүн кайталанышынын ыктымалдуу убактысы аныкталган. Күчтүү жер титирөөлөрдүн ыктымалдуу булактары болуп Борбордук-Нарын, Преднуратоо, Преднарынтоо, Предаламышк активдүү жаракалары эсептелээри белгиленген.

Негизги сөздөр: жер титирөө, активдүү жарака, грунт, резонанстык жыштык.

SOIL MODEL OF THE NARYN CITY AREA AND SOURCES OF SEISMIC IMPACT

Abstract. The results of detailed study on the engineering-geological and seismotectonic conditions of microzones within Naryn city are presented in the paper, which were used to construct soil models that vary in space and time. Resonance frequencies of multilayered soils within the city were determined, as well as the probable recurrence times of strong paleoearthquakes in the Central Naryn active fault zone. It is noted that the following active faults are likely sources of strong earthquakes: Central Naryn, Prednuratoo, Prednaryntoo, and Predalamyshyk.

Keywords: earthquake, active fault, soil, resonant frequency.

Город Нарын является центром Нарынской области Кыргызской Республики. На начало 2023 года в городе проживало 61 988 человек. Площадь территории города 40.5 км². Город расположен в Нарынской впадине на высоте 2000 м над уровнем моря, на берегу южнее реки Нарын.

Данная впадина обрамлена с севера активным устойчивым поднятием Нуратоо (1), с юга устойчивым поднятием Нарынтоо (2) и инверсионным поднятием Аламышык (3) [1, 2] (рисунки 1).

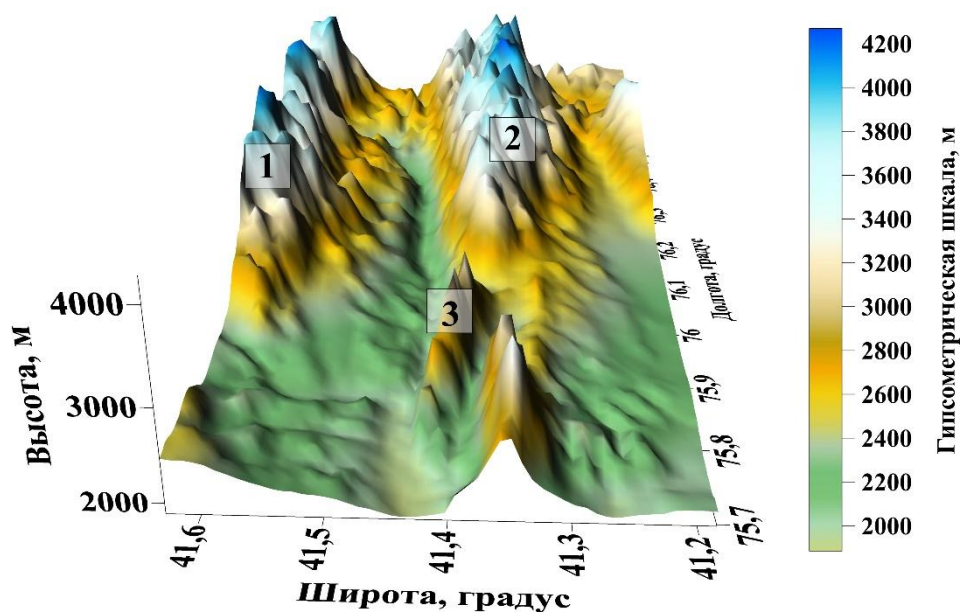
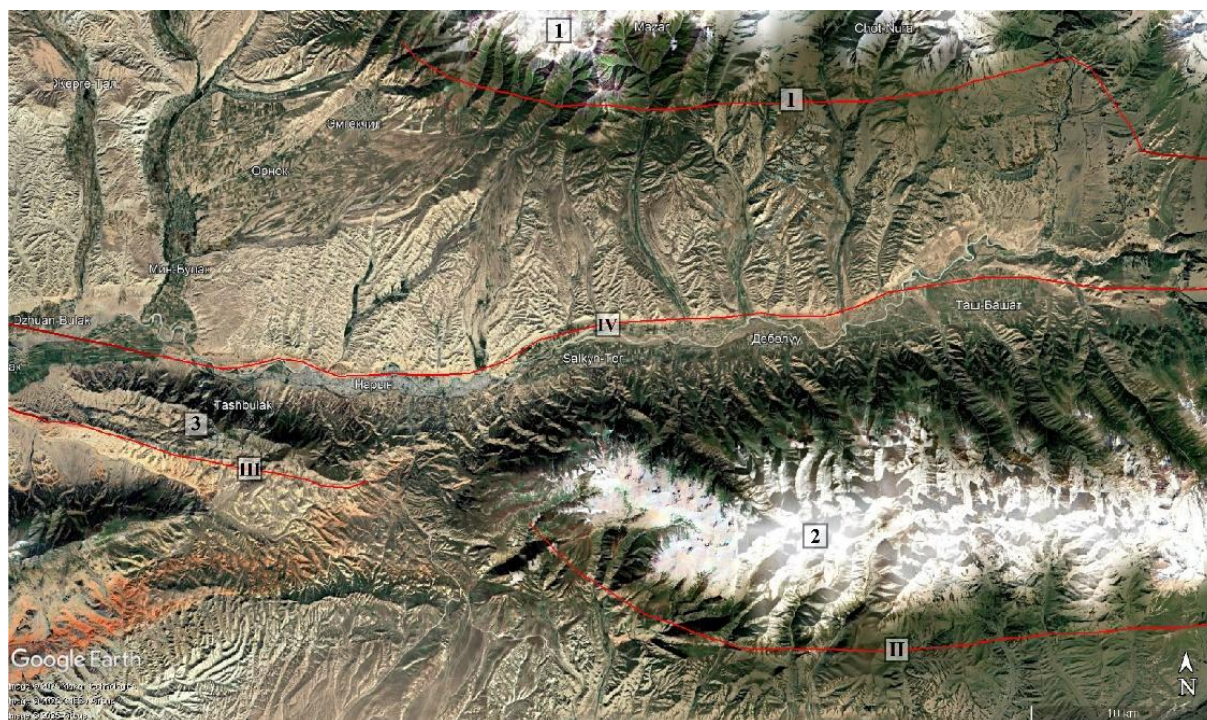


Рисунок 1. Объёмный вид Нарынской впадины в пределах г. Нарын по космоснимкам. Устойчивые поднятия: Нуратоо (1), Нарынтоо (2), Инверсионное поднятие: Аламышык (3). Активные разломы: I- Преднуратоо, II- Преднарынтоо, III- Предаламышык, IV- Центральнo-Нарынский.

Мегантиклиналь Джетимтоо находится восточнее меридиана р. Малый Нарын и является естественным продолжением мегантиклинали Нуратоо, которая своей западной периклиналью погружается под кайнозойские накопления. Наибольшая высота её достигает 4622 м, средняя ширина 14-16 км. Структура асимметрична: северное её крыло пологое с нормальным залеганием палеогеновых и неогеновых отложений на денудированной поверхности палеозойских пород. Южное крыло ограничено активным разломом Преднуратоо (I), по которому палеозойские массы хребтов Нуратоо и Джетимтоо надвинуты на кайнозойские накопления Нарынской впадины.

Мегантклиналь Нарынтоо (высота достигает 4500 м) также асимметричная: северное её крыло пологое с залеганием палеогеновых и неогеновых отложений на денудированную поверхность палеозойских пород. Южное крыло ограничено активным разломом типа взбросо-надвиг - Преднарынтоо (II), по которому палеозойские массы хребта Нарынтоо надвинуты на кайнозойские накопления Атбашинской впадины.

Инверсионное поднятие Аламышык (до 3500 м) начало формироваться в раннем неогене, северное крыло пологое длинное, а южное крыло крутое короткое, ограничено активным разломом Предаламышык (III) взбросового типа, по которому породы палеозоя надвинуты на красноцветные отложения неогена. Данное поднятие имеет южновергентное строение, подобно поднятиям Нуратоо (на севере), Нарынтоо (на востоке), Атбашы (на юге). Важно отметить, что по мере формирования инверсионного поднятия Аламышык материнская (Пранарынская) впадина распадалась на «дочерние» структуры: Атбашинская (на юге) и Нарынская (на севере) в соответствии с общей закономерностью развития (ОЗР) новейшей тектоники Тянь-Шаня [1, 2, 3, 4].

Проявление кайнозойских базальтов в пределах Нарынской впадины позволяет отметить, что в начале кайнозоя произошла геодинамическая активизация (вероятно, частичное плавление) в астеносфере верхней мантии Срединного Тянь-Шане [5]. Возраст базальтов составляет порядка 55 ± 1 млн. лет. [6]. На рисунке 2 приведён выход базальтов (шириной около 25 м) на западном склоне долины р. Башнура, перекрытые глинистыми песчаниками с азимутами падения 325° , угол 40° . На северной верхней части тела базальтов наблюдаются ксенолиты песчаников и глин шоколадного цвета, линз кальцита и карбонатных пород.

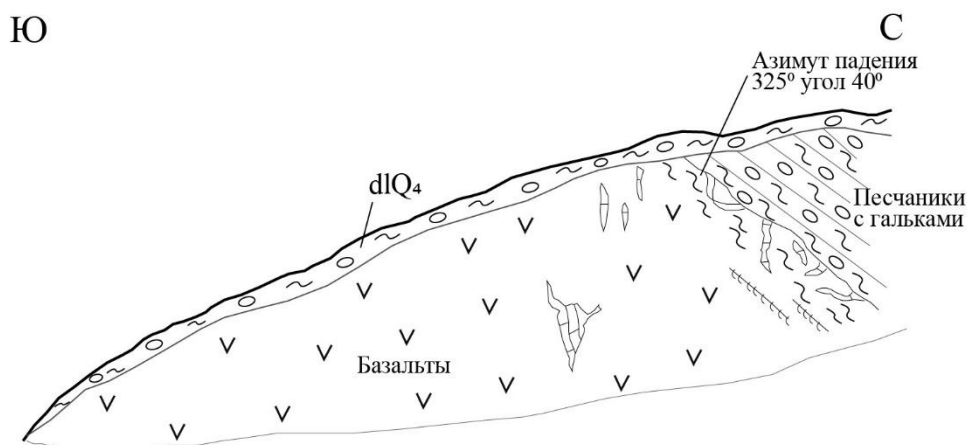


Рисунок 2. Проявление кайнозойских базальтов на западном борту долины р. Башнура на расстоянии порядка 1 км от устья.

Рассматриваемая часть Нарынской впадины заполнена палеоген-неогеновыми отложениями [1, 2, 7, 8, 9, 10], которые накоплены на древней денудационной поверхности, выработанной на палеозойском фундаменте (на разрезе (рисунок 3) обозначена линией с треугольниками). Восточная часть данной впадин постепенно воздымается, сужается, что приводит к выходу палеозойского фундамента на дневную поверхность из-под пород кайнозойского чехла. Каждая из них с севера разделена разломом типа надвигов, по которым палеозойские массы каждого северного поднятия надвинуты на кайнозойские толщи каждой южной. На рисунке 3 показан поперечный разрез впадины на меридиане г. Нарын. Здесь палеоген-неогеновые отложения (снизу-вверх) представлены [2] в таблице 1. Они перекрыты аллювиальными, пролювиальными четвертичными отложениями (Q_I - Q_{IV}).

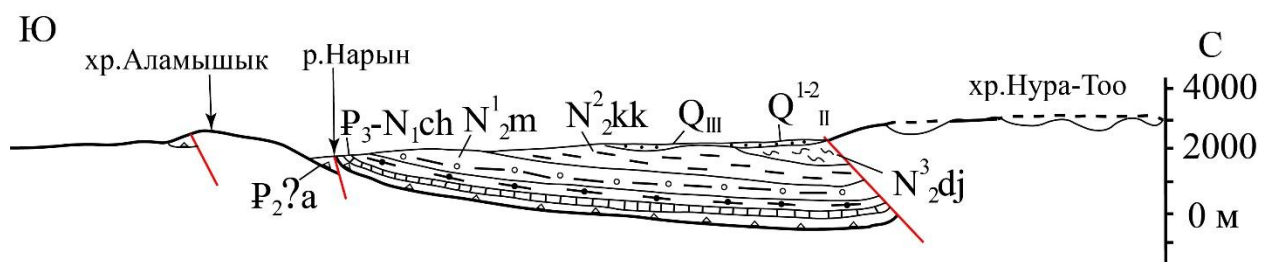


Рисунок 3. Поперечный разрез Наринской впадины с юга (Ю) на север (С).

Таблица 1 - Литологический состав, возраст, мощность свит палеоген-неогеновых отложений Наринской впадины.

№ пп	Литологический состав, возраст	Мощность, м
1	Конгломераты, песчаники аирташской свиты верхнего эоцена ($P_2^?a$)	20-70
2	Глины, песчаники кирпично-красного цвета чонташской свиты олигоцен- нижнего миоцена (P_3-N_1ch)	100-220
3	Переслаивание глин-песчаников, реже гравелитов свиты джолмама среднего- верхнего миоцена ($N_1^{2-3}dg$)	200-600
4	Глины, песчаники, гравелиты, конгломераты макмальской свиты нижнего плиоцен (N_2^1m)	200- 1200
5	Глины алевролиты, реже песчаники, гравелиты палевого цвета джергетальской свиты верхнего плиоцена (N_2^3dj)	500-1500

Долина р. Нарын с севера ограничена зоной активного Центрально-Наринского разлома (IV) взбросового типа с северным азимутом падения и на его висячем крыле постепенно формировалось конседиментационное поднятие. Этот процесс изучен С.С Щульцем [11] в отложениях Макмальской свиты нижнего плиоцена (N_2^1m). В связи с этим важно отметить, что активные поднятия и разломы являются кумулятивными, формируются в результате нескольких актов последовательных (повторных) геодинамических процессов в том числе землетрясений.

Ниже приведём описание строения грунтов ряда участков территории г. Нарын. В восточной части г. Нарын в районе «восточного» автодорожного моста обнажаются палеозойские порфириды (темно - зеленого цвета) с шаровыми лавами до 1.0 м в диаметре. Севернее вышеописанного участка в пределах долины ручья Шартотмёк отмечается зона Центрально-Наринского разлома (рисунок 4).

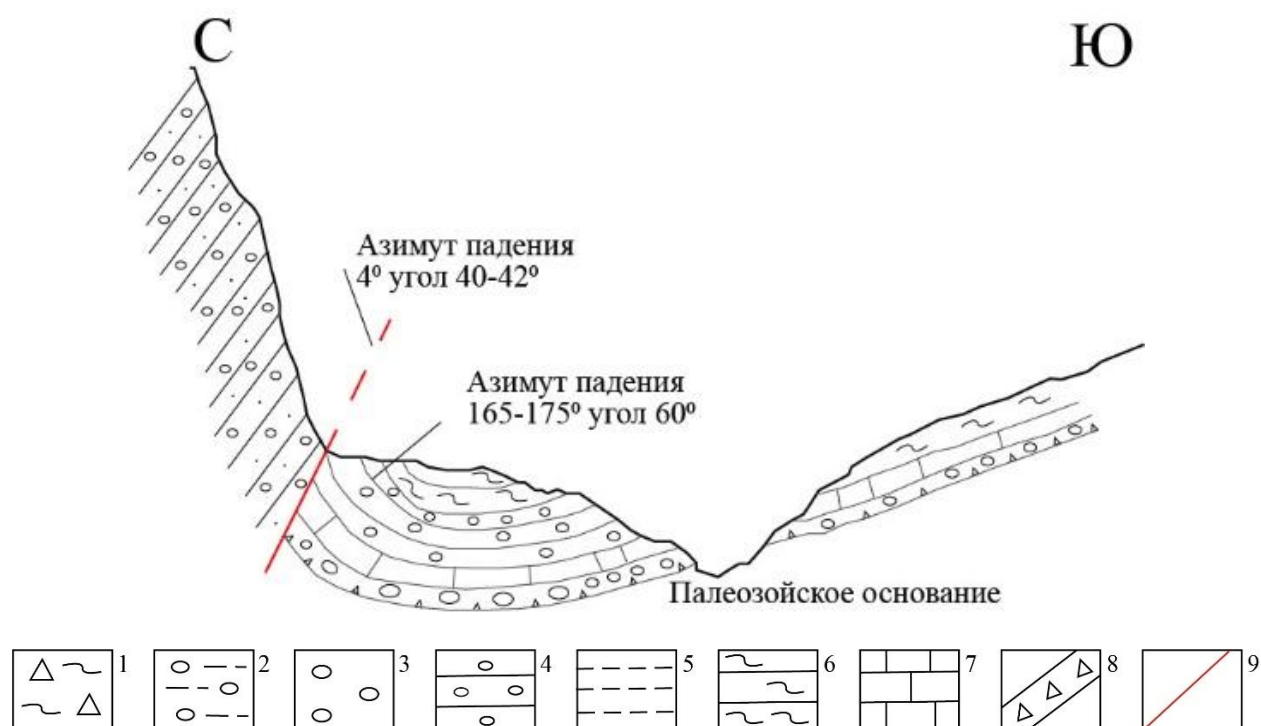


Рисунок 4. Зона Центрально-Нарынского разлома в пределах долины ручья Шартотмёк.

1 – Пролувиально-дельтавиальные отложения, 2 – песчано-галечники, 3 – валунно-галечники, 4 – конгломераты, 5 – песчаники, 6 – супеси, глины, 7 – известняки, 8 – зона дробления, глинки трения, 9 – разлом.

Разлом имеет взбросовый характер с азимутом падения 4° угол $40-42^\circ$. Висячее крыло сложено дислоцированными нижнеплиоценовыми конгломератами с песчаным цементом красно-бурого цвета (макмальской свиты). На лежащем южном крыле разлома породы слагают синклиналию складку, где обнажаются конгломераты палеозойские, которые перекрыты слоями конгломератов, песчаников верхнего эоцена (айрташской свиты) мощностью до 5 м. Выше залегает карбонатная порода (карангытокойской свиты) мощностью до 4 м, пачка брекчия-конгломератов (свиты джолмама) мощностью порядка 45 м, после – пачка мусорных загипсованных глин (улутузкой свиты) с азимутом падения 325° угол $5-10^\circ$.

Западнее «восточного» моста старой дороги палеозойские породы перекрывается аллювиальными валунно-галечниками четвертичного возраста, где высота террасы $Q_{ш}$ составляет около 15 м. Модель грунта западнее от этого участка в районе гряды Айгыржал в северной части г. Нарын в конце улицы Алаева (Фрунзенская) приведена на рисунке 5. Поднятие Айгыржал южновергентное, представляет собой сейсмоуступ, который сформировался на северном крыле активного разлома взбросового типа с азимутом падения 350° угол 45° в очаговой зоне сильного палеоземлетрясения [2]. Лежащее южное крыло разлома сложено валунно-галечниками Q_3 . Висячее крыло поднято на 10 м, где обнажаются прослои конгломератов, глин, карбонатных пород, песчаников, гипсов, перекрытые глинами с азимутом падения 350° угол 60° . Величина подвижки по разлому вероятно является кумулятивной и составляет около $D=10/\sin 45^\circ=14$ м (где 10 – вертикальная подвижка, 45° – угол падения разлома). В соответствии с формулой Wells, Coppersmith [12] величина моментной магнитуды палеоземлетрясения составляет $M_w \geq 7.2$.

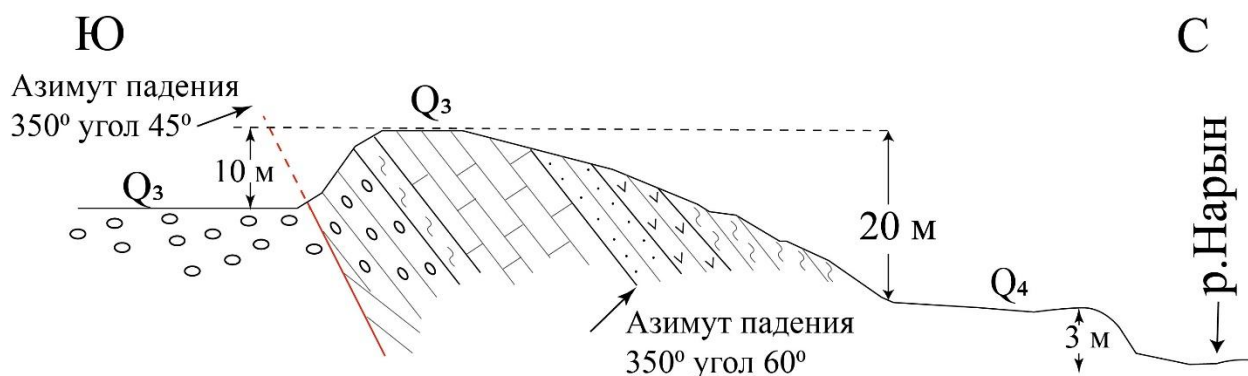


Рисунок 5. Модель грунта в северной части г. Нарын в пределах поднятия Айгыржал в конце улицы Алаева. Условные обозначения приведены на рисунке 4.

Модель грунта на левом борту р. Нарын на меридиане школы-лицея интерната им. академика У. Асанова показана на рисунке 6. Здесь проявлен голоценовый разлом взбросового типа с азимутом падения около 360° , угол 55° . Величина подвижки составляет более 0.6 м. На висячем крыле разлома обнажаются брекчия-конгломераты с прослоями глинистых песчаников. Азимут падения пород 345° , угол 55° . На лежащем его крыле наблюдаются песчаники с линзами глинистых пород.

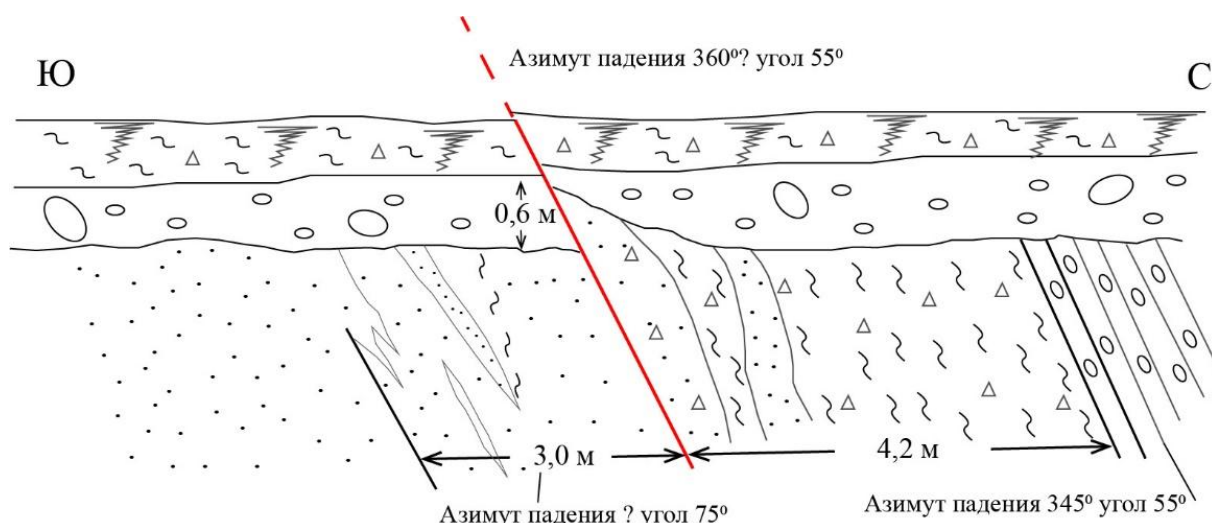
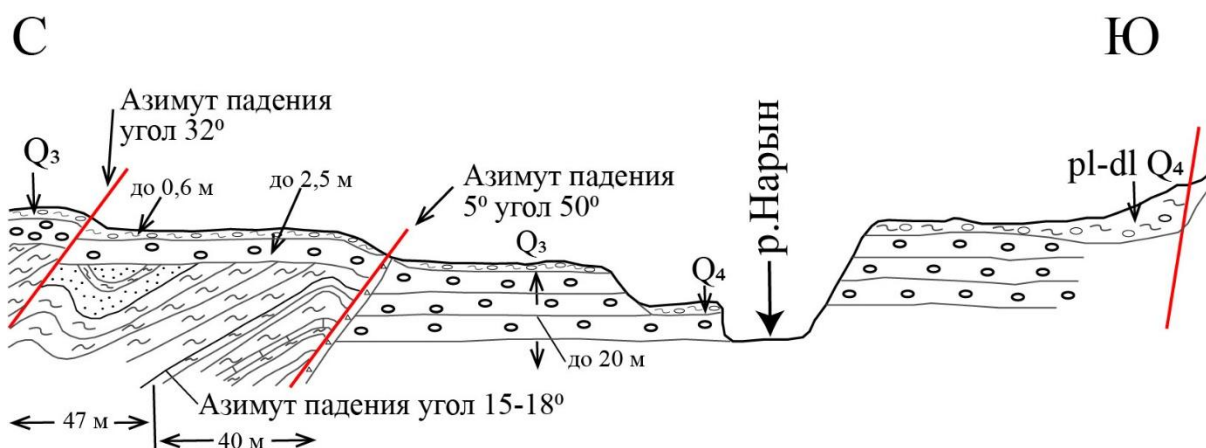


Рисунок 6. Модель грунта в западной части г. Нарын на левом борту р. Нарын на меридиане школы-лицея интерната. Условные обозначения приведены на рисунке 4.

Модель грунта участков г. Нарын на правом и левом склонах р. Нарын на меридиане высоты 3378.9 м (горы Аламышык) показана на рисунке 7. На северном склоне долины р. Нарын обнажаются слои песчаников, гравелитов, конгломератов свиты джолмама среднего- верхнего миоцена. Они ограничены с юга Центрально- Нарынским разломом с азимутом падения 30° , угол $35-38^\circ$. Лежачее крыло этого разлома сложено гравелито-песчаниками, глинами красного цвета чонташской свиты олигоцен- нижнего миоцена и южнее на расстоянии порядка 65 м от первой (Центрально-Нарынской) зоны разлома отмечается вторая зона разлома (Южное, первое ответвление Центрально-Нарынской зоны). В центральной части участка наблюдается антиклинальная складка, сложенная конгломератами. Южное ее крутое крыло разорвано разломом третьей зоны (Южное, второе ответвление Центрально-Нарынской зоны) с северным азимутом падения. Лежачее крыло этого разлома сложено слоями песчаников, глин (мощностью 5 м) с северным

Geological cross-section diagram showing various rock units and structural features. The diagram includes labels for rock units: $N_1^{2-3}dg$, P_3-N_1ch , Q_3 , and N_2^3dj (N_2^3kk). It also shows structural features like faults and folds, with dip angles and azimuths indicated. Key dimensions include 47 M, 30 M, 40 M, 59 M, and vertical dimensions "до 3 M" and "до 12 M". Dip angles are given as 30° , $35-38^\circ$, 8° , 32° , 27° , and 15° . Azimuths are also noted.

Модель грунта района г. Нарын на правом и левом склонах р. Нарын восточнее меридиана высоты 3378.9 м (горы Аламышык) показана на рисунке 8. На данной площади четко прослеживаются три ответвления Центрально-Нарынского разлома с северными азимутами падения угол 32-50°. Расстояние между первой и второй ветвями составляет около 80-90 м, между второй и третьей ветвями - порядка 170-180 м. В зонах разломов проявились уступы голоценовых палеоземлетрясений, где подвижки составляли 2.5-3.0 м.



Модель грунта в пределах поднятия (возвышенности) Ак-Кыя на западной окраине территории г. Нарын показана на рисунке 9. Южнее перевала Ак-Кыя обнажаются

пролювиально-делювиальные отложения Q_{3-4} мощностью около 10 м, которые перекрывают галечники Q_2 мощностью до 25 м. Севернее, на эти галечники надвинуты конгломераты макмальской свиты (N_2^1m нижнего плиоцена) разломом надвигового типа с северным азимутом падения угол 25° . Данный разлом представляет собой южное ответвление разлома с северным азимутом падения углом $50-55^\circ$. В пределах этих разломов породы сильно деформированы, наблюдаются складки высшего порядка. Лежачее крыло южного ответвления разлома сложено пачкой глин зеленовато-серого цвета с прослоями песчаников мощностью до 3.5 м.

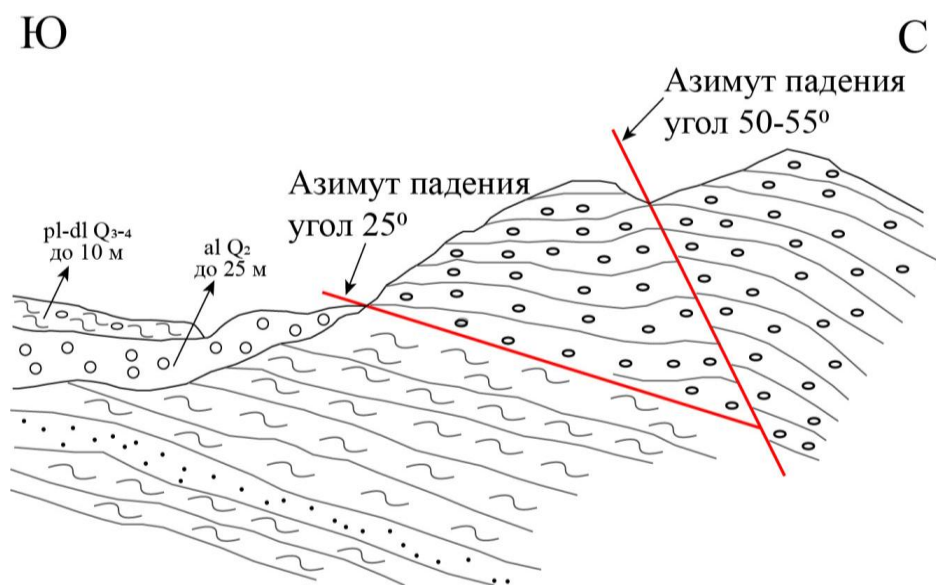


Рисунок 9. Модель грунта в пределах поднятия Ак-Кыя на западной окраине территории г. Нарын. Условные обозначения приведены на рисунке 4.

Модель грунта северного склона поднятия Ак-Кыя приведена на рисунке 10, где обнажается массивная толща гравелитов, брекчии – конгломератов от красного до светло-бурого цвета. Выше их залегает пачка глинистых пород (мощностью около 30 м) с редкими прослоями песчаников. На них надвинута толща брекчии – конгломератов зоной Центрально-Нарынского разлома с азимутом падения 340° угол $20-25^\circ$, где образовалась южновергентная антиклинальная складка. Расстояние от главной линии Центрально-Нарынского разлома до его южной ветви в районе перевала Ак-Кыя составляет около 120-150 м.

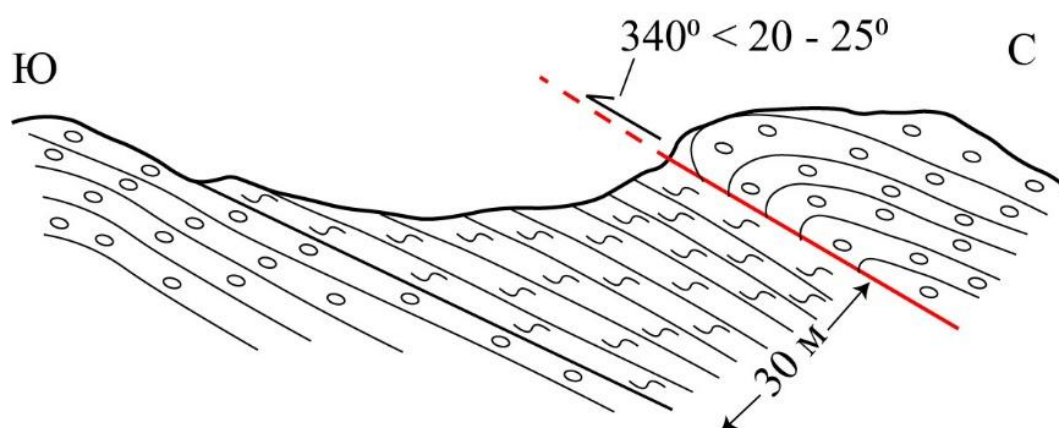


Рисунок 10. Модель грунта северного склона поднятия Ак-Кыя в пределах зоны Центрально-Нарынского разлома. Условные обозначения приведены на рисунке 4.

Модель грунта северного склона поднятия Аламышык на меридиане поднятия Ак-Кыя приведена на рисунке 11. Нижняя часть склона сложена массивными известняками мощностью около 150 м с азимутом падения 200° угол 20° , которая ограничена предполагаемым разломом, перекрытый пролювиальными (Q_3) четвертичными отложениями. В средней части склона обнажаются плитчатые (0,7-0,8 м) известняки мелкокристаллические с азимутами падения $200-210^\circ$ угол $25-35^\circ$. Общая мощность порядка 50 м. Выше залегают полосчатые известняки с общей мощностью порядка 160 м.



Рисунок 11. Модель грунта северного склона поднятия Аламышык на меридиане поднятия Ак-Кыя. Условные обозначения приведены на рисунке 4.

Юго-восточнее городского ипподрома, западнее устья сая пачка плитчатых известняков поднятия Аламышык резко сменяются брекчия-конгломератами розового цвета Нарынской впадины. Цементом конгломератов является известковый песчаник. Общая мощность конгломератов порядка 200 м.

В районе Университета Центральной Азии (УЦА) в г. Нарын в результате комплексного геолого-геофизического исследования [9] составлена карта зон активных разломов и деформаций в пределах южного крыла Центрально-Нарынского разлома (рисунок 12). Зоны деформации различной степени обычно окаймляют зону разлома. Здесь количество ветвей (с севера к югу) активных разломов достигает до пяти. Между ними выделяются блоки разного порядка и разного сегмента. Общая ширина ассоциации этих активных структур (с севера на юг) составляет около 500 м, а ширина их до зоны неактивного разлома в южной части г. Нарын - более 700 м.

Важно отметить, что в траншеях в пределах стройплощадки УЦА были отобраны пробы для определения возраста отложений методом OSL [9]. При этом проба N2-3 песчаной линзы аллювиальных отложений показала возраст 10.4 ± 1.6 лет до н.э., проба N2-4 лессовидных суглинков опущенного крыла разлома - возраст 5.4 ± 1 тыс. лет до н.э., проба N2-1 лессовидных суглинков, покрывающих деформированные отложения – возраст 1.2 ± 0.3 тыс. лет до н.э. Соответственно сейсмогенная подвижка палеоземлетрясения в районе УЦА произошла в промежутке 5.4 ± 1 и 1.2 ± 0.3 тыс. лет до н.э. Время повторения палеоземлетрясений в западном сегменте Центрально-Нарынского разлома составляло около 4 тыс. лет.

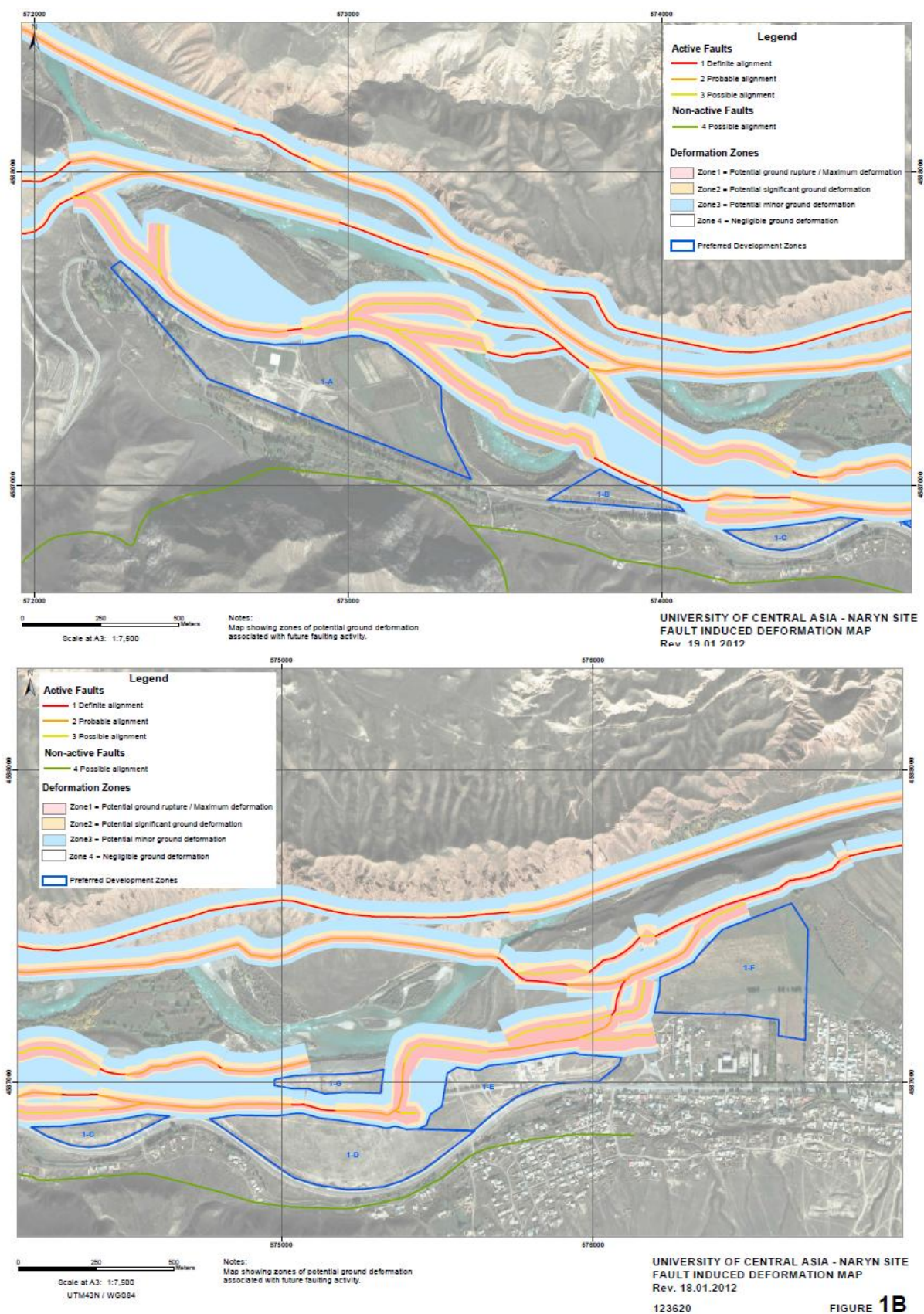


Рисунок 12. Карта активных разломов, деформационных зон, неактивных разломов и тектонических блоков разного порядка в районе УЦА в г. Нарын [9].

Важно рассмотреть восточный сегмент Центрально-Нарынского разлома. На рисунке 13 показана модель грунтов в устьевой части р. Башнура [2]. Здесь наблюдается переслаивание слоев глины, песчаников и конгломератов макмальской свиты (N_2^1m) с азимутами падения 320° угол $25-55^\circ$. Эти неогеновые отложения надвинуты на галечники Q_3 по зоне разлома падения 325° угол $55-60^\circ$. Амплитуда поднятия данной террасы составляет около $A=30$ м, а величина подвижки по надвигу $D=A/\sin 60^\circ = 30/0.86=34$ м (рисунок 6).



Рисунок 13. Модель грунта в устьевой части р. Башнура в пределах восточного сегмента зоны Центрально-Нарынского разлома. Условные обозначение см. рис4.

Зона данного разлома юго-восточнее пересекает русло реки Нарын и проявлена в виде уступа (высотой около 16 м, шириной зоны деформации - 100 м) очаговой зоны голоценового палеоземлетрясения в районе проектируемой Акбулунской ГЭС [13]. Данный уступ вскрыт траншеей (длиной 20 м), документирован и представлен на рисунке 14. Здесь уступ образован в результате развития сейсмогенного разлома, который состоит из двух разновозрастных волнообразных ветвей надвигового типа, где прослой галечников надвинуты на прослой суглинков, где амплитуды подвижек более 4-5 м. Расстояние между этими ветвями составляет порядка 8 м. Волнообразная кинематика надвигов указывают на нелинейные геодинамические процессы. Анализ проб С-1 и С-2, отобранных в суглинках, показал возраст с вероятностью 95.4% - 8461-8252 года и 7076-6776 лет до н.э. Соответственно, подвижки по разрывам палеоземлетрясения произошли, вероятно в нижнем голоцене.

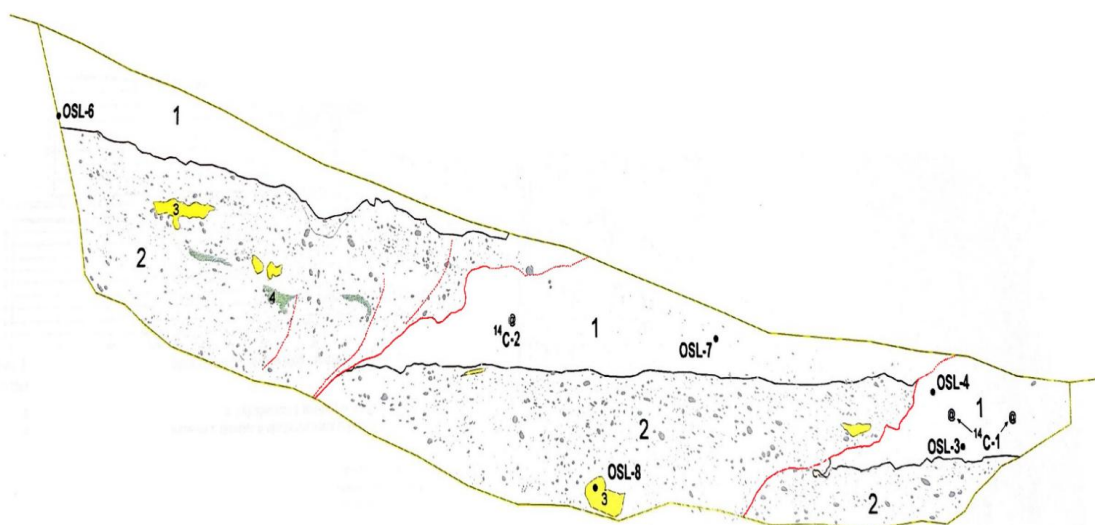


Рисунок 14. Документация зоны уступа (на восточной стенке траншеи длиной 20 м) голоценового палеоземлетрясения Центрально-Нарынского разлома (северо-восточного простираения) в районе проектируемой Акбулунской ГЭС.

1-Лёссовидные суглинки, 2- Галечники с песчано-гравийным заполнителем, 3-Линзы и блоки песка, 4- Линзы гравия

/// Разрывы достоверные и предполагаемые

— Подошва лёссовидных суглинков

Места отбора проб на: • - OSL: @⁻¹⁴ C

Важной характеристикой грунтов являются их резонансные частоты, так как они важны для оценки сейсмической опасности [14, 15]. Это обусловлено тем, что в случае повторения сейсмических колебаний с резонансной частотой грунта может произойти разрушение зданий и сооружений. Резонансная частота грунта f (Гц) зависит от скорости сейсмических продольных волн (V_p , м/сек) в грунте, мощности слоя грунта (H , м) и связаны формулой:

$$f = V_p / 4H.$$

В таблице 2 приведены физические характеристики [16] и резонансные частоты избранных грунтов в пределах г. Нарын.

Таблица 2 - Резонансная частота избранных грунтов в пределах г. Нарын.

Грунт	Плотность, г/см ³	V_p , м/сек	Резонансная частота f (Гц) при мощности слоя H , м		
			1	5	10
Валлуно-галечники	2	1900-2100	475-525	95-105	47-52
Гравелито-галечники	2	1900-2000	475-525	95-105	47-52
Песок	1,6	1000-1500	250-375	50-75	25-37
Супесь	1,8	800-1500	200-375	40-75	20-37
Суглинки	1,9	800-1000	200-250	40-50	20-25
Глины	1,9	1000	250	50	25

Так, в уступе палеоземлетрясения в восточном сегменте Центрально-Нарынского разлома в районе проектируемой Акбулунской ГЭС (рисунок 14) в слое суглинков мощностью $H=1.0-1.5$ м, $V_p=800-1000$ м/сек резонансная частота $f=200-250$ Гц, в слое галечников мощностью около $H=10$ м, $V_p=1900-2000$ м/сек резонансная частота $f=47-52$ Гц. Кажущиеся периоды волн в суглинках составляют $T=0.004 - 0.005$ сек, в галечниках- около 0.02 сек, длина волн в суглинках $\lambda=3-5$ м, в галечниках- $\lambda=7.6 - 10.0$ м

В уступе палеоземлетрясения в западном сегменте в северной части г. Нарын в пределах поднятия Айгыржал в конце улицы Алаева (рисунок 5) на лежащем южном крыле разлома в толще валуно-галечников Q_3 $H=10$ м, $V_p=1900-2000$ м/сек резонансная частота $f=47-52$ Гц, на висячем северном крыле разлома в палеоген-неогеновых отложениях (снизу-вверх): в толще конгломератов $H=10$ м, $V_p=2100-2400$ м/сек резонансная частота $f=52-60$ Гц, в слое глин $H=1.0-1.5$ м, $V_p=1000$ м/сек, $f=166$ Гц, в вышележащем пласте известняков $H=5.0-5.5$ м, $V_p=5500-6000$ м/сек резонансная частота $f=275 - 300$ Гц и т.д. Соответственно, разные грунты на крыльях разлома могут иметь различные резонансные частоты.

Например, в пределах стройплощадки УЦА в г.Нарын четвертичные отложения, покрывающие палеоген-неогеновые грунты: линзы песков $H=1$ м, $V_p=1000-1500$ м/сек резонансная частота могут иметь значение $f=250$ Гц, лёссовидные суглинки $H=4$ м, $V_p=800-1000$ м/сек - $f=50-62$ Гц, галечники мощностью $H=10$ м, $V_p=1900-2100$ м/сек - резонансная частота около $f=47-52$ Гц.

Важно отметить, что в швах разлома образуются глины трения, которые являются одним из основных составляющих модели грунта. Они обычно обводнены. Скорость сейсмических волн в этих глинах трения может быть около $V_p = 1000 - 1500$ м/сек в зависимости от вмещающих пород, от температуры и химического состава воды, в

частности. При мощности глинки трения $H=5-10$ см резонансная частота равна около $f=3750-5000$ Гц, период волны $T=0.00002-0.0002$ сек, длина волны $\lambda=0.2-0.3$ м.

Следует отметить, что повторение сейсмических колебаний с резонансной частотой грунта предопределяется, в частности, повторяемостью землетрясений. В историческое время в восточном сегменте Центрально- Нарынского активного разлома ещё не было отмечено сильное землетрясение, подобное палеоземлетрясению 7076-6776 лет до н.э. Аналогично в западном сегменте Центрально Нарынского активного разлома в историческое время не было отмечено сильное землетрясение, подобное палеоземлетрясению 1.2 ± 0.3 тыс. (900-1500) лет до н.э. Следовательно, можно предполагать, что *реальная* (по абсолютным возрастам проб зон разломов палеоземлетрясений) *повторяемость сильных событий* в Центрально- Нарынской сейсмогенерирующей зоне, вероятно, составляет порядка 6176-5276 лет (между 7076-6776 лет до н.э. на восточном сегменте и 900-1500 лет до н.э. на западном сегменте). Среднегодовая частота повторения этих сильных землетрясений составляет около $N = (1.6-1.8) \times 10^{-4}$.

Необходимо отметить, что инструментальные данные исторических землетрясений Срединного Тянь-Шаня недостаточны для составления универсального каталога событий и определения статистической псевдоэкспоненциальной повторяемости Гутенберга-Рихтера с малой ошибкой.

Следы сильных палеоземлетрясений также отмечаются в активных зонах разломов Преднуратоо, Преднарынтоо, Предаламышык [2]. Так, на рисунке 15 приведён сейсморов палеоземлетрясения сбросо-сдвигового характера в зоне разлома Преднуратоо. Высота уступа меняется по простиранию и достигает 9 м. Максимальная амплитуда подвижки сбросо-сдвига составляет около 10-11 м, моментная магнитуда, рассчитанная по Wells, Coppersmith [12], пределах $M_w=7.6-7.7$.

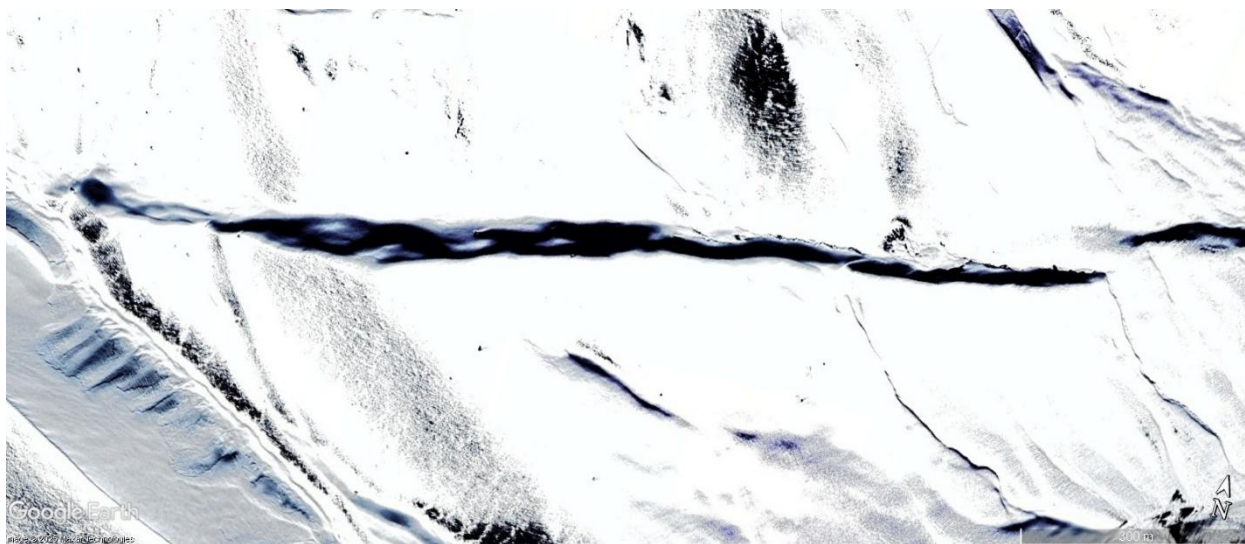


Рисунок 15. Уступ палеоземлетрясения в зоне разлома Преднуратоо субширотного простирания

На рисунке 16 показан сейсморов палеоземлетрясения сбросо-сдвигового (сброшено северное крыло) характера в зоне разлома Предаламышык взбросового типа. Высота уступа изменяется по простиранию и достигает 2.5 м. Максимальная амплитуда подвижки сбросо-сдвига составляет около 3 м. Расчётная моментная магнитуда по Wells, Coppersmith [12] равна $M_w=7.2-7.3$.



Рисунок 16. Уступ палеоземлетрясения в зоне разлома Предаламышык субширотного простирания.

На основании вышеизложенного можно отметить, что территория г. Нарын испытывала воздействие сильных палеоземлетрясений сейсмогенерирующих зон: Центральный Нарын (под городом), Преднуратоо (с севера на расстоянии около- 14-15 км), Преднарынтоо (с юго-востока на расстоянии порядка – 6-7 км), Предаламышык (с юго-запада на расстоянии около – 3-4 км). Сейсмические воздействия на грунты происходили в масштабах (в единицах) интенсивности сотрясений, пиковых ускорений, спектры реакции т.д. Величина ускорения сейсмических волн землетрясения зависит от магнитуды M_w , от расстояния от очага, типа очага, грунта и др. В качестве эталона можно принять результаты работ Zhao [17], полученные на основе инструментальных данных Японии.

На графиках затухания (рисунок 17) по изменению с расстоянием можно выделить последовательные зоны сейсмического воздействия (влияния). В таблице 3 приведены значения пиковых ускорений событий с магнитудами $M_w=8, 7, 6, 5$ на близких расстояниях (1 и 2 км). Здесь можно отметить, что затухание PGA для рассматриваемых событий на расстояниях 1 км и 2 км малые и сейсмические воздействия максимальные.

Таблица 3.

M_w	PGA % g на расстоянии	
	1,0 км	2,0 км
8	0.85	0.8
7	0.8	0.75
6	0.75	0.7
5	0.6	0.5

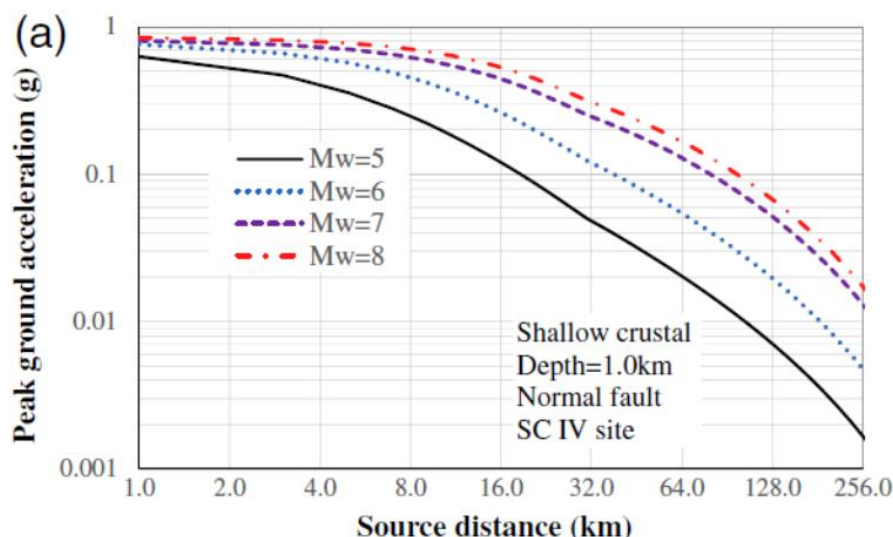


Рисунок 17. Затухание PGA событий Mw=8, 7, 6, 5 в Японии по инструментальным данным [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате детального изучения инженерно-геологических, сейсмотектонических условий микрзон, микрорайонов территории г. Нарын построены модели грунтов, изменяющиеся в пространстве и во времени. Модели грунтов состоят из трёх этажей: верхний сложен горизонтально, полого залегающими четвертичными отложениями; средний - наклонными (север-северо-западными азимутами падения, углом - 15-60°) слоями палеоген- неогеновых отложений; нижний- палеозойское основание, сложенное порфиритами, известняками, прорванные телами палеогеновых базальтов.
2. Эти этажи грунтов разорваны активными разломами - ветвями (на лежащем южном крыле) активного Центрально-Нарынского разлома, где развиваются блоки разного порядка. На крыльях активных разломов образованы зоны деформации. Установлено, что ассоциация активных разломов и блоков имеет ширину около 700 м.
3. Изучены резонансные частоты характерных типов грунтов в пределах территории г. Нарын. Структурные особенности геологического разреза определяют резонансные и скоростные характеристики многослойных грунтов. Определение же характеристики многослойных грунтов с крутыми углами падения по спектральным отношениям амплитуд горизонтальной и вертикальной компонент имеет большую неопределённость. Важно отметить, что в швах разломов образуются глинки трения, которые являются одним из основных составляющих модели грунта. В случае повторения сейсмических колебаний с резонансной частотой грунта может произойти разрушения зданий и сооружений.
4. Отмечено, что вероятное время повторения сильных палеоземлетрясений в зоне активного разлома Центрально-Нарынский составляло около 6176-5276 лет.
5. Вероятными источниками сильных землетрясений являются сейсмогенерирующие зоны в пределах активных разломов: Центрально-Нарынский под городом, Преднуратоо с севера, Преднарынтоо с юго-востока, Предаламышык с юго-запада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Омуралиев М. Закономерности развития новейших мегасинклиналей, мегантиклиналей и разрывных структур Киргизского Тянь-Шаня. Современная динамика литосферы континентов. М.: Наука, 1988.

2. Омуралиев М. Диссертация к.г.-м.н. “Геология кайнозоя и новейшая тектоника Алабуга-Нарынской впадины Тянь-Шаня” Фрунзе, 1990, 230 с.
3. Омуралиев М., Корженков А.М. Морфоструктурные параметры и напряженно-деформационное состояние среды сейсмических зон Тянь-Шаня. //Геотектоника. -1995. -№2. -с.91-98.
4. Омуралиев М. Карта новейшей тектоники территории Киргизской Республики. Масштаб 1:500 000. 1988, Ташкентская картографическая фабрика, Центр «Природа» ГУГК при Совете Министров СССР, научный редактор Чедия О.К.
5. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek, 2004, - 166 p.
6. Миколайчук А.В., Симаков В.А., Тровин А.В., Собел Э.Р. Особенности мезо-кайнозойского плюмового магматизма Центрального Тянь-Шаня. //Сборник материалов международного симпозиума 30.10-6.11 2005 г. «Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке». Москва-Бишкек: ИС РАН, 2006, с.50-57.
7. Омуралиев М. К стратиграфии палеоген-неогеновых отложений Алабуга-Нарынской впадины и о находке в них костных остатков млекопитающих. //Изв.АН Кирг.ССР, - 1978. -№1. -с.30-31.
8. Омуралиев М. Сравнительная характеристика Алабуга-Нарынской впадины по отношению к другим впадинам Тянь-Шаня и особенности состава и внутреннего строения палеоген-неогеновых отложений. Материалы VI межреспубликанской научной конференции молодых ученых. Фрунзе: Илим, 1985, с. 109-111.
9. ARUP report on Seismic Risk Assessment Study of the territory of University of Central Asia (UCA) Naryn. Rev E 25January 2012. Job number 123620-00. -P.70
10. Отчёт по сейсмическому микрорайонированию территории г. Нарын. Фонды Института сейсмологии АН КР 1976.
11. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельефа Тянь-Шаня. М.: Географгиз. 1948. 222 с.
12. Wells D. L. and Coppersmith K. J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, // Bull. Seismol. Soc. Am. - 1994. -Vol.84. -N4. -pp.974–1002.
13. Технический отчет ОАО «Институт Гидропроект» Филиал «ЦСГНЭО» «Акбулунская ГЭС и ГЭС-1 Верхне-Нарынского каскада ГЭС». Договор №10/14 от 21 июля 2014 г. «Выполнение консультационных и инжиниринговых услуг по инженерно-сейсмологическим исследованиям по Акбулунской ГЭС и ГЭС-1 Верхне-Нарынского каскада ГЭС». -2015 г. -181 с.
14. Kanai K. The requisite conditions for predominant vibration of ground. //Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo. -1957. -31. -p. 457.
15. Parolai S., Bormann P. and Milkereit C. New relationship between Vs thickness of sediments and resonance frequency calculated by the HA/ ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany). // Bulletin of the Seismological Society of America, 2002, 92(6), p. 2521-2527.
16. Силачева Н.В. Каталог параметров движений грунта поданным цифровой сети станций сильных движений на территории г.Алматы за 2000-2010 гг. Алматы, 2011, 134 с.
17. Zhao J.X., Zhou S., Zhou J. etc. Ground-motion prediction equations for shallow crustal and upper-mantle earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions. //Bulletin of the Seismological Society of America. -2016. -Vol. 106. -No. 4. -pp. 1552–1569.

Рецензент: д. г.-м. н., проф. Абдрахматов К.Е.