СЕКЦИЯ 2: ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА: ГЕОЛОГИЯ, НЕОТЕКТОНИКА, ГЕОМОРФОЛОГИЯ

РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ КАК ИНДИКАТОР НОВЕЙШЕЙ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Агибалов А.О. [1], Сенцов А.А. [2], Бардышев Г.П. [1], Зайцев В.А. [1]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, [2]Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Северное Приладожье (юго-восток Балтийского щита) традиционно рассматривают как область, отличающуюся низкой тектонической активностью на новейшем этапе [12]. Однако наличие локальных нарушений и смещений в скальных породах [10], анализ исторических данных о землетрясениях, выраженность дизъюнктивных структур в современном рельефе [7] позволяют поставить вопрос о возможности интенсивных неотектонических движений в данном районе. По мнению А.А. Никонова и его коллег, вопрос о характере локальных перемещений на территории Приладожья, индикаторами которых являются дизъюнктивные структуры в четвертичных образованиях, изучен недостаточно [8].

Авторами данной работы были проведены полевые исследования в июле-августе 2017 и 2018 гг., в ходе которых изучались разрезы четвертичных отложений, вскрытых в заброшенных песчаных карьерах. В ходе полевых наблюдений были выявлены разрывные нарушения с амплитудами смещений от 1 см до 0,7 м в слоистых гляциолимнических отложениях верхнего неоплейстоцена (Таблица 4, Рисунок 19).

Таблица 4. Расположение песчаных карьеров, в которых установлены разрывные нарушения

№ п/п	Район	GPS координаты	Максимальная установленная амплитуда смещения по разрывам (в м)
1	г. Лахденпохья	$61^0$32’25,3’’N $30^0$15’52,8’’E	0,6
2	пос. Реускула	$61^0$35’30,0’’N $30^0$25’31,5’’E	0,5 (по данным Ю.А. Морозова)
3	пос. Туокслахти	$61^0$42’07,2’’N $30^0$22’20,0’’E	0,3
4	пос. Хелюля	$61^0$45’10,6’’N $30^0$38’48,8’’E	0,5
5	пос. Рюттю	$61^0$48’44,1’’N $30^0$35’00,7’’E	0,2
6	оз. Рюттюярви	$61^0$50’14,4’’N $30^0$45’28,7’’E	0,15
7	оз. Янисъярви	$62^0$04’57,9’’N $30^0$44’21,4’’E	0,4
8	г. Питкяранта	$61^0$38’24,1’’N $31^0$24’08,3’’E	0,7

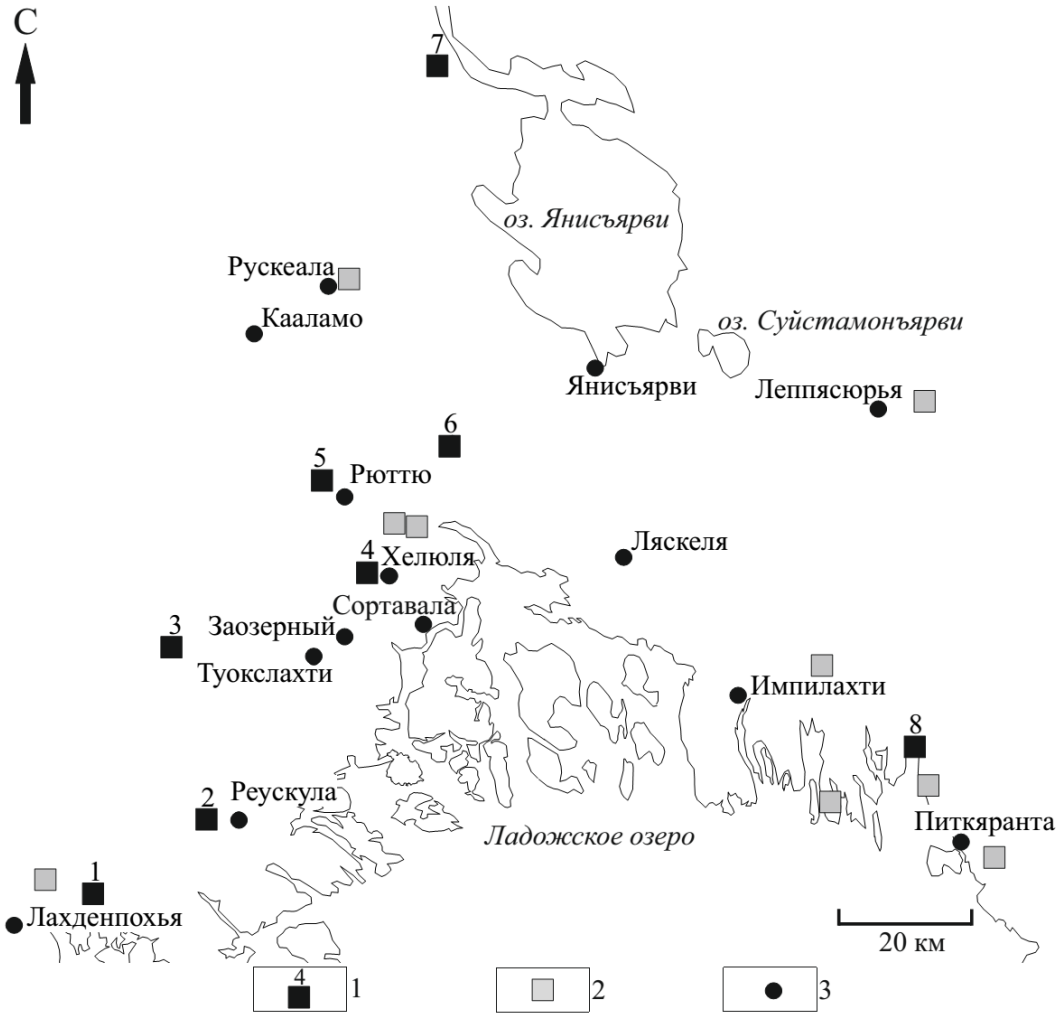

Рисунок 19. Схема расположения песчаных карьеров, в которых установлены разрывные нарушения (1 – песчаные карьеры (номера соответствуют приведенным в табл. 1), 2 – каменные карьеры, 3 – населенные пункты)

Ниже приводится краткое описание изученных дизъюнктивных структур.

1. В районе г. Лахденпохья в тонкослоистых песках зафиксированы многочисленные сбросы, видимая протяженность которых в вертикальном срезе достигает 2 – 2,5 м. Сбросы погружаются в юго-юго-восточном направлении по азимуту 170^0, углы падения варьируют от 30^0 до $80\text{-}85^0$. Преобладают малоамплитудные сбросы (со смещениями 5-10 см), максимальная амплитуда достигает 0,6 м. Поверхности сместителей нередко изогнуты и соединяются друг с другом (Рисунок 20).

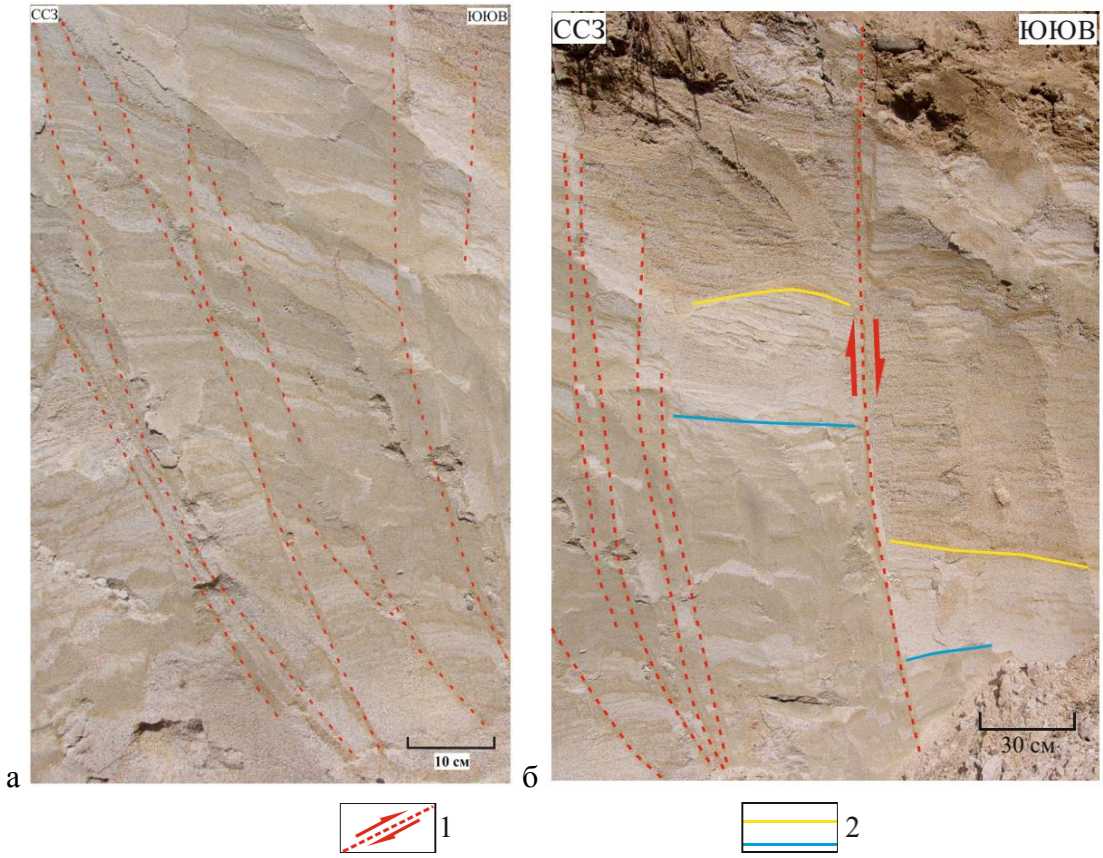

Рисунок 20. Разрывные нарушения, вскрытые в стенке карьера в районе г. Лахденпохья (а, б): 1 – разрывные нарушения и направления смещения по ним, 2 – маркирующие прослои

Данные структуры могли сформироваться в обстановке северо-западного растяжения (Рисунок 21).

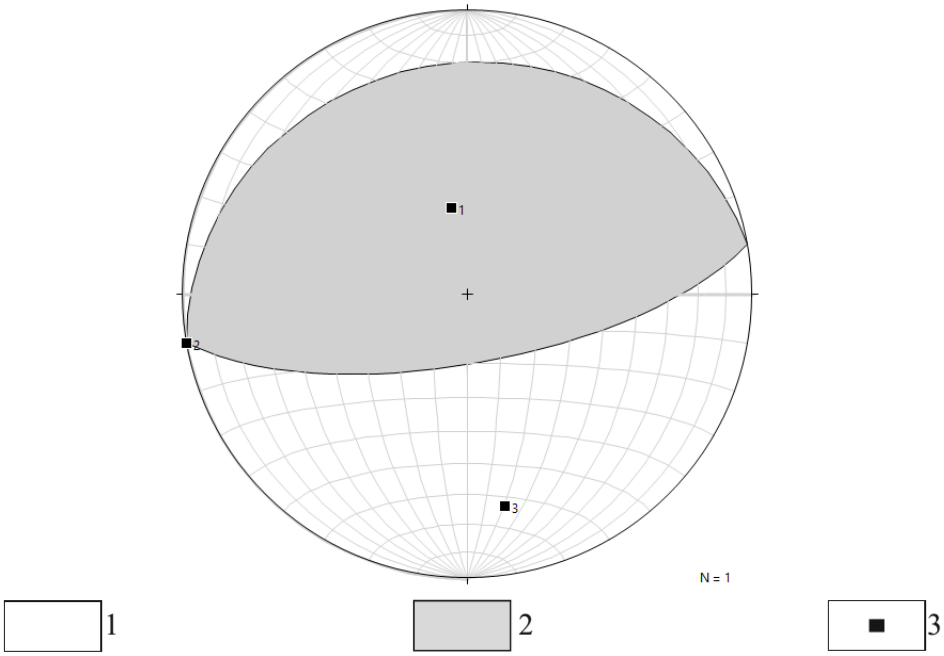

Рисунок 21. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, зафиксированные в стенке песчаного карьера в районе г. Лахденпохья: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

2. В районе пос. Реускула отмечены разрывные нарушения со сбросовой кинематикой, амплитуда смещения по которым достигает 0,5 м. Поверхности сместителей разрывных нарушений погружаются в юго-западных румбах (азимут падения 290^0, угол падения 40^0 - 75^0) (Рисунок 21Рисунок 22, Рисунок 23).

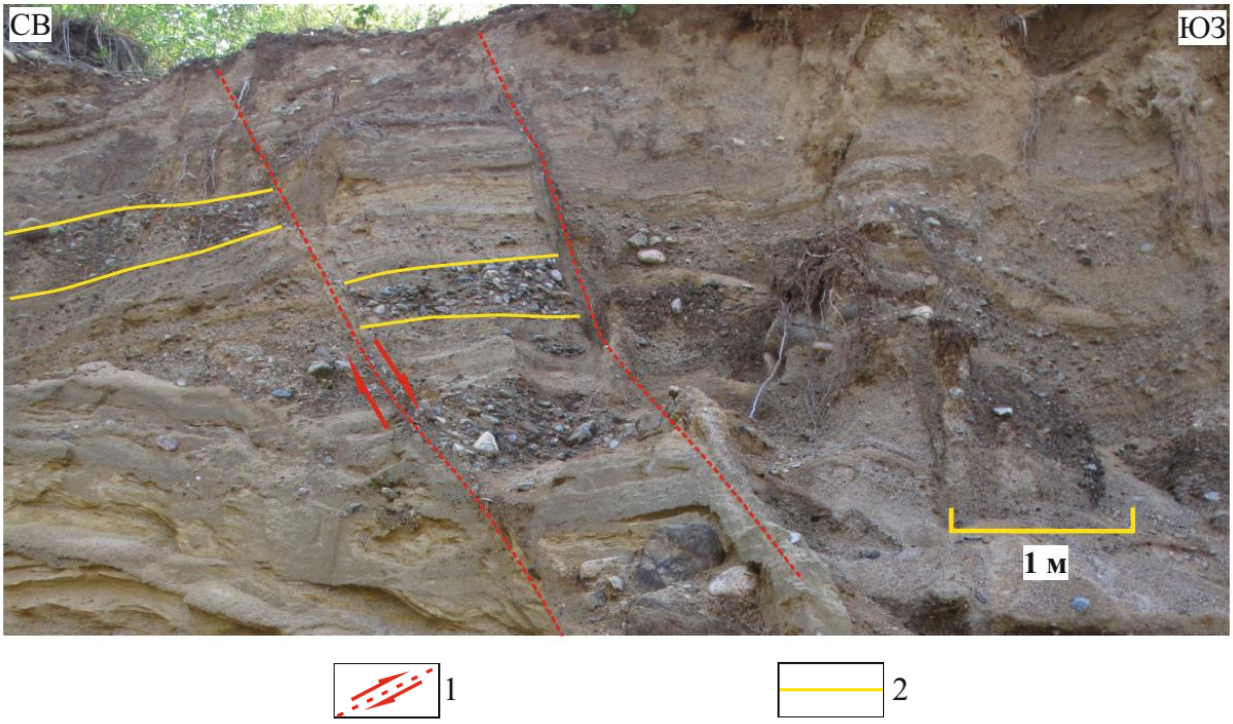

Рисунок 22. Разрывные нарушения со сбросовой кинематикой, вскрытые в стенке карьера в районе пос. Реускула: 1 – разрывные нарушения и направления смещения по ним, 2 – маркирующие прослои (фото Ю.А. Морозова)

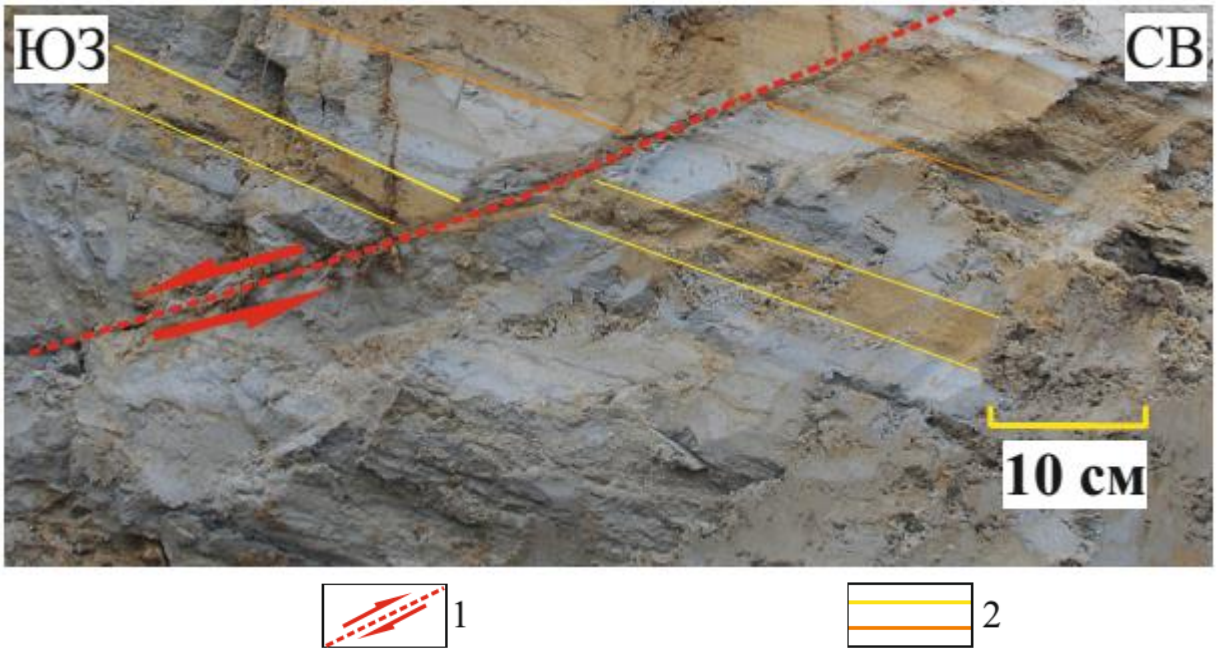

Рисунок 23. Разрывное нарушение со сбросовой кинематикой, зафиксированное в стенке карьера в районе пос. Реускула: 1 – разрывное нарушение и направление смещения по нему, 2 – маркирующие прослои

Данные структуры могли сформироваться в обстановке юго-восточного растяжения (Рисунок 24).

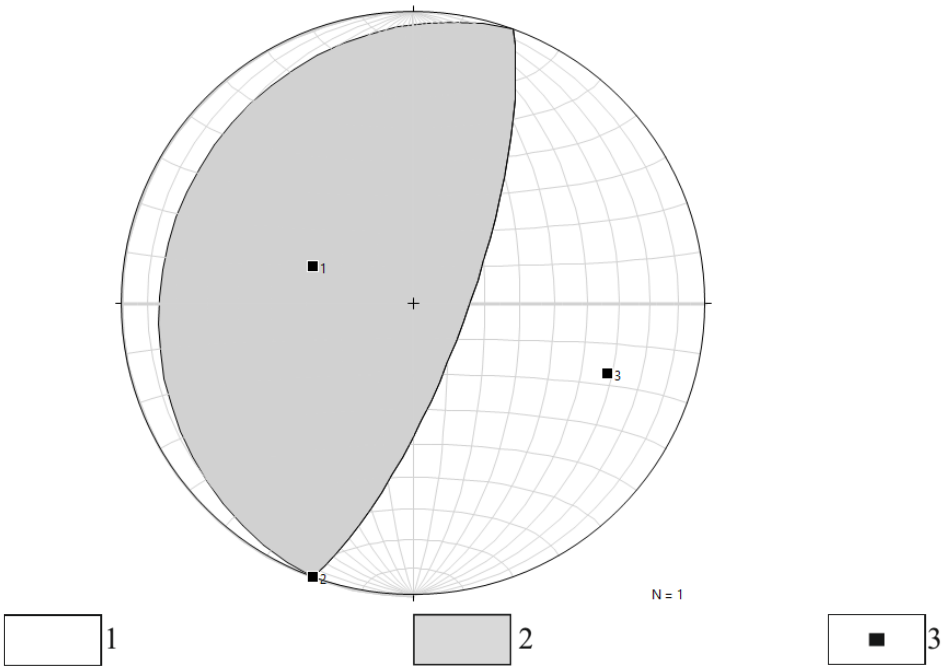

Рисунок 24. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, зафиксированные в стенке песчаного карьера в районе пос. Реускула: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

3. В районе пос. Туокслахти в заброшенном карьере вскрыты грубозернистые пески и гравелиты. В верхней части разреза слоистость выражена нечетко, отдельные прослои различаются по размерности обломочного материала. В этих породах выделено разрывное нарушение со взбросовой кинематикой, поверхность сместителя которого погружается в юго-западном направлении (азимут падения 190^0, угол падения 75^0) (Рисунок 25).

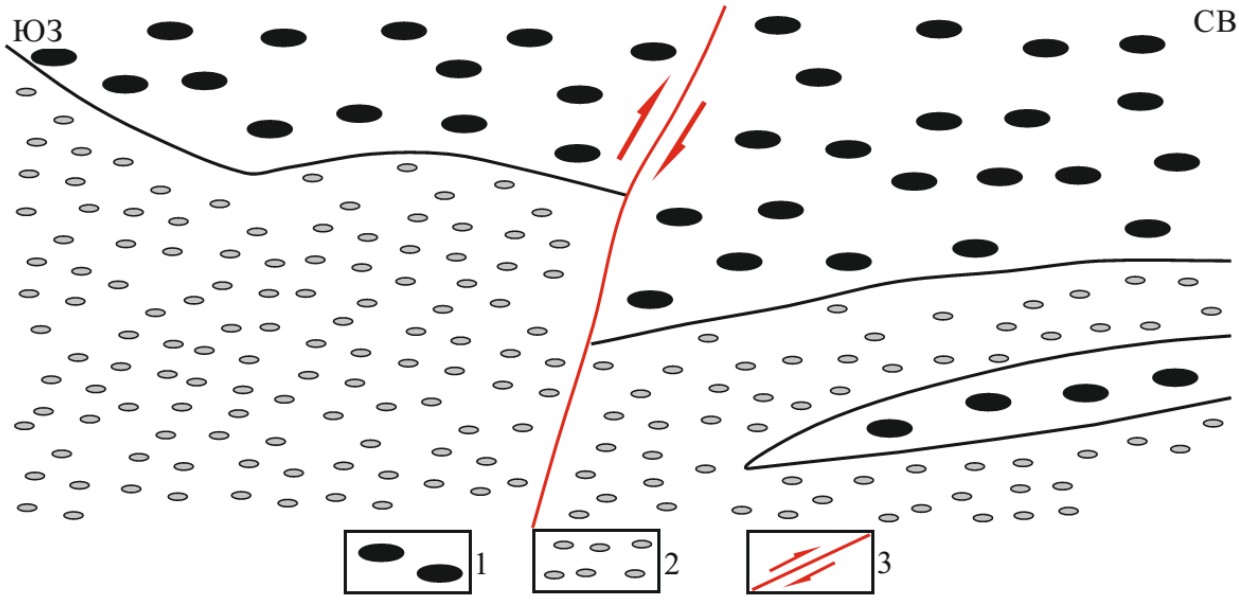

Рисунок 25. Разрывное нарушение в гравелитах, вскрытых в карьере, расположенном в районе пос. Туокслахти: 1 – 2 – гравелиты: 1 – более крупнообломочные разности, 2 – более мелкообломочные породы; 3 – поверхность сместителя и направление смещения

Данное разрывное нарушение могло сформироваться в обстановке север-северо-восточного сжатия (Рисунок 26).

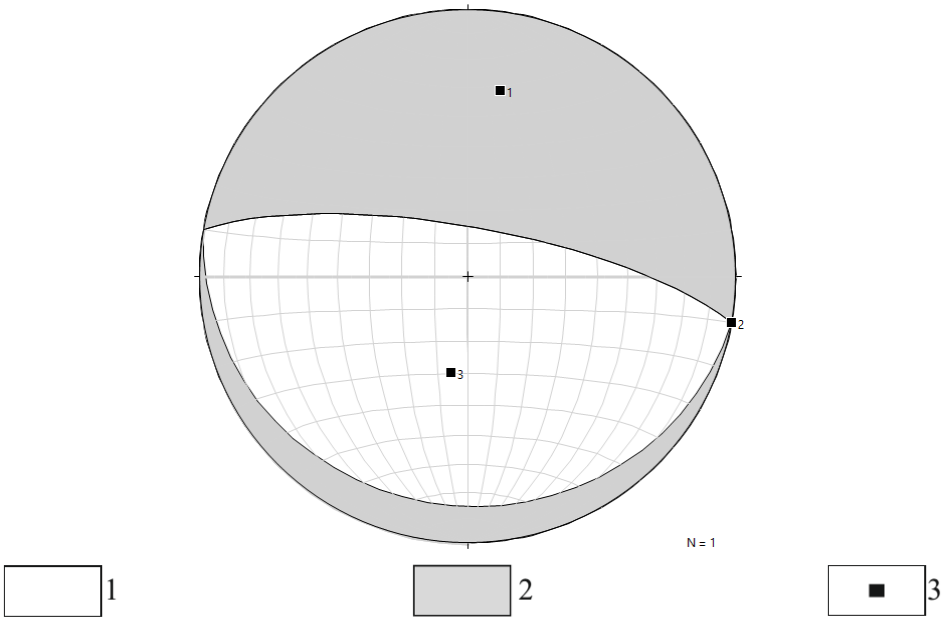

Рисунок 26. Взбросовый тип напряженного состояния, в котором могло сформироваться разрывное нарушение, зафиксированное в стенке карьера в районе пос. Туокслахти: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

4. В песчаном карьере в пос. Хелюля установлено крупное разрывное нарушение со сбросовой кинематикой; видимая протяженность поверхности сместителя в вертикальном срезе составляет около 5 м, амплитуда смещения маркирующих прослоев – около 0,5 м. Поверхность сместителя падает в юго-восточном направлении (азимут падения 150^0, угол падения 60^0) (Рисунок 27, Рисунок 28, Рисунок 29).

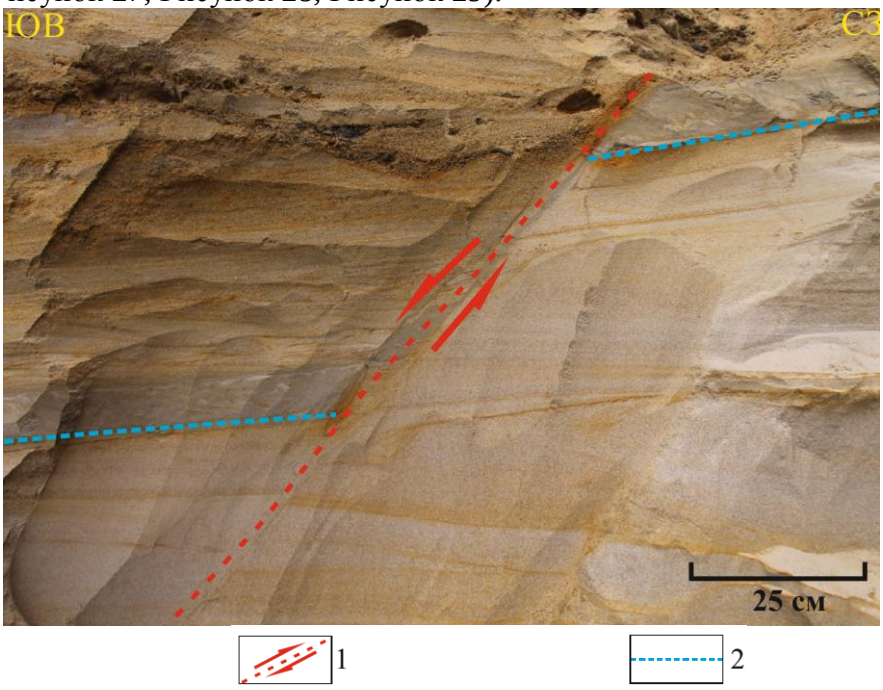

Рисунок 27. Сброс в слоистых песках, наблюдаемый в заброшенном карьере в пос. Хелюля: 1 – разрывное нарушение и направление смещения по нему, 2 – маркирующий прослой

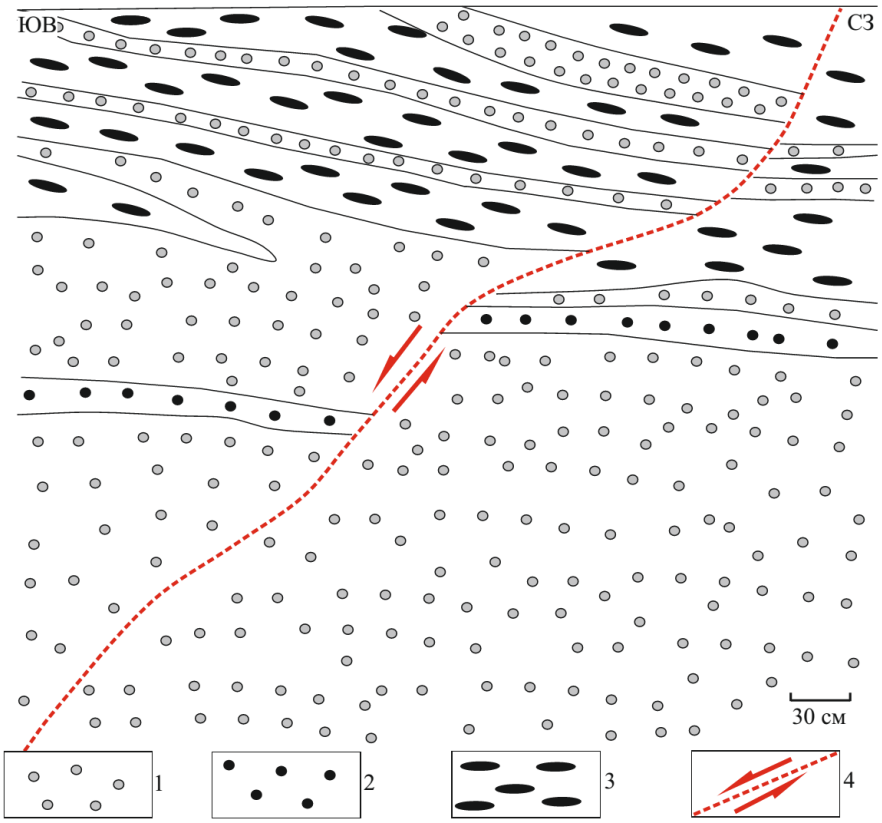

Рисунок 28. Сброс в песках и гравелитах верхнего неоплейстоцена, вскрытых в карьере в пос. Хелюля: 1 – пески, 2 – маркирующий прослой песков серого цвета, по которому определено направление смещения по разрыву, 3 – гравелиты, 4 – разрывное нарушение и направление смещения по нему

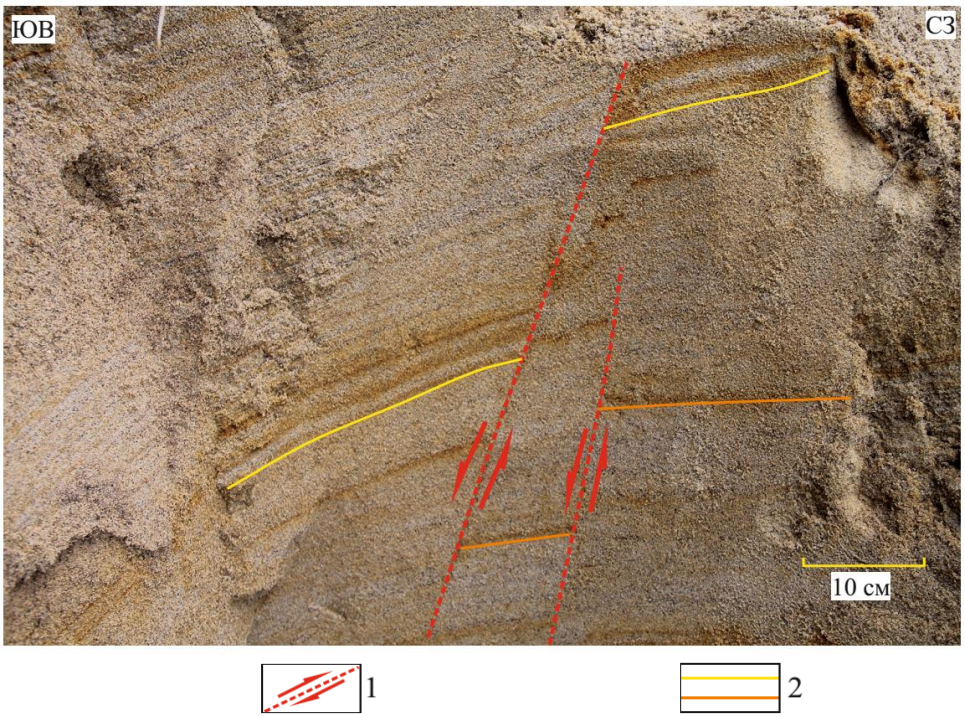

Рисунок 29. Малоамплитудные разрывные нарушения со сбросовой кинематикой в слоистых песках, вскрытых в карьере в пос. Хелюля: 1 - поверхность сместителя и направление смещения, 2 – маркирующие прослои

Данные разрывные нарушения могли сформироваться в обстановке северо-западного растяжения (Рисунок 30).

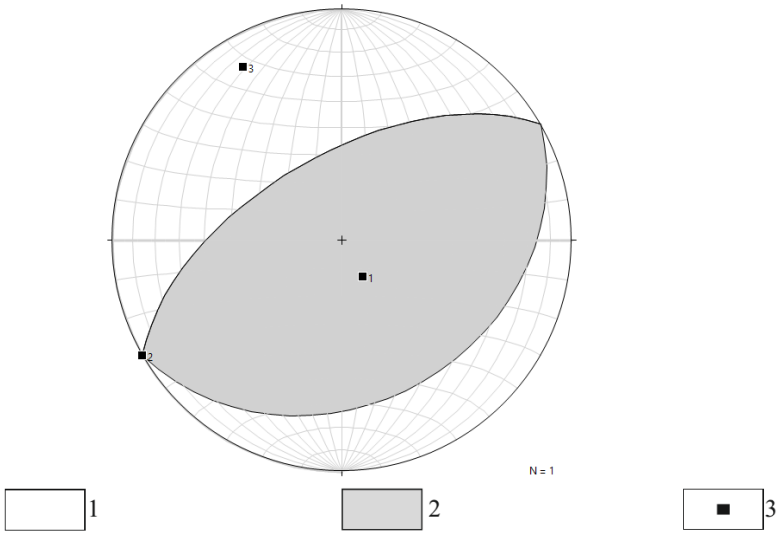

Рисунок 30. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, зафиксированные в стенке песчаного карьера в пос. Хелюля: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

5. В слоистых песках, вскрытых в затопленном карьере в районе пос. Рюттю, отмечены два разрывных нарушения со взбросовой кинематикой. Видимая протяженность поверхности сместителя каждого разрыва составляет около 2 м, амплитуда смещения – около 20 см. Поверхности сместителей погружаются в северо-западных румбах (азимут падения 320^0, угол падения 50^0) (Рисунок 31, Рисунок 32).

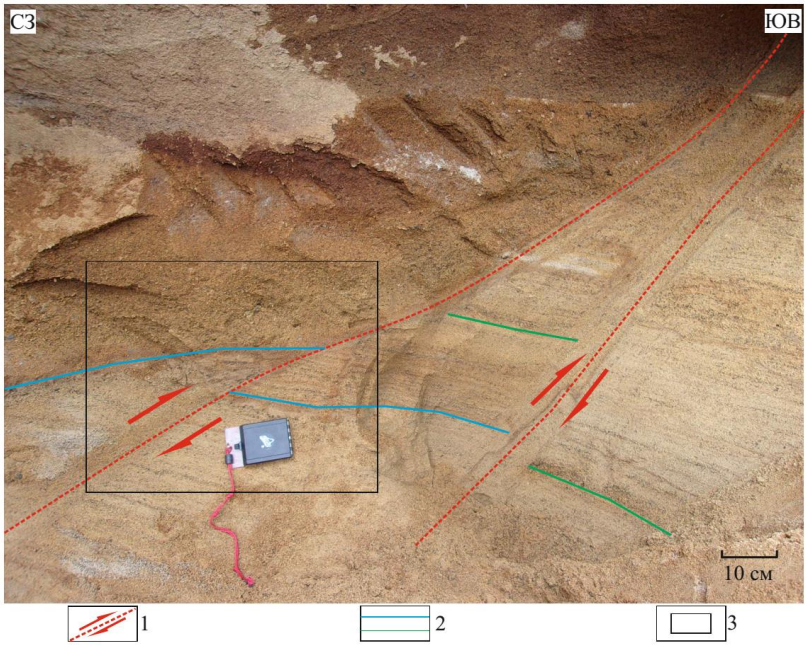

Рисунок 31. Разрывные нарушения, зафиксированные в слоистых песках, вскрытых в затопленном карьере в районе пос. Рюттю: 1 – поверхность сместителя и направление смещения, 2 – маркирующие прослои, 3 – границы фрагмента расчистки, показанного на Рисунок 29

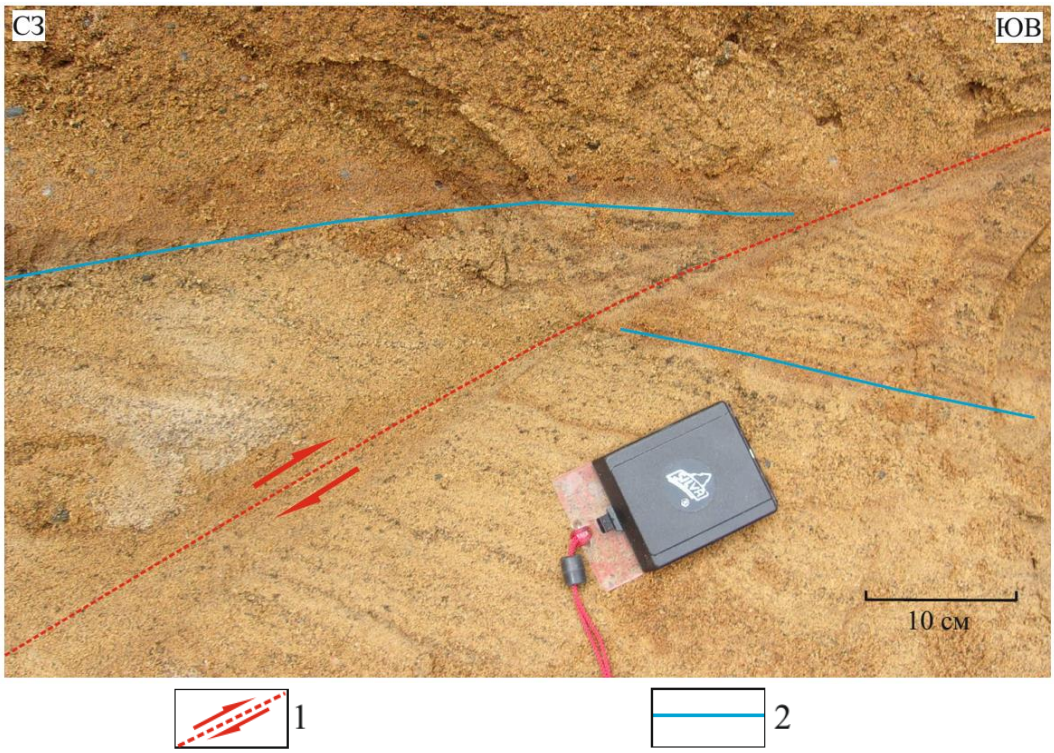

Рисунок 32. Взброс в слоистых песках, вскрытых в затопленном карьере в районе пос. Рюттю: 1 - поверхность сместителя и направление смещения, 2 - маркирующий прослой, по которому определена кинематика разрыва

Данные разрывные нарушения могли сформироваться в обстановке северо-западного растяжения (Рисунок 33).

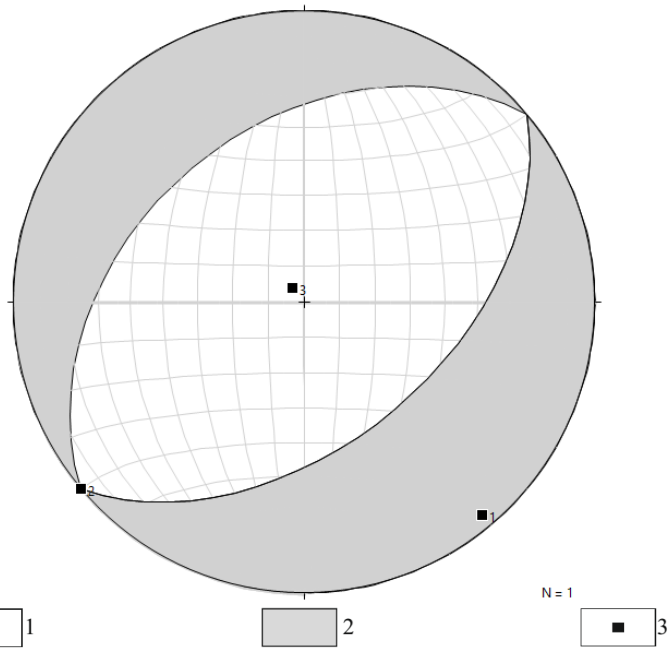

Рисунок 33. Взбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, зафиксированные в стенке песчаного карьера в районе пос. Рюттю: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

6. В районе оз. Рюттюярви в слоистых песках обнаружены разрывные нарушения со сбросовой кинематикой, амплитуда смещения по которым достигает 15 см. Поверхности сместителей погружаются в северо-западных румбах (азимут падения 300^0, угол падения 45^0 - 60^0) (Рисунок 34).

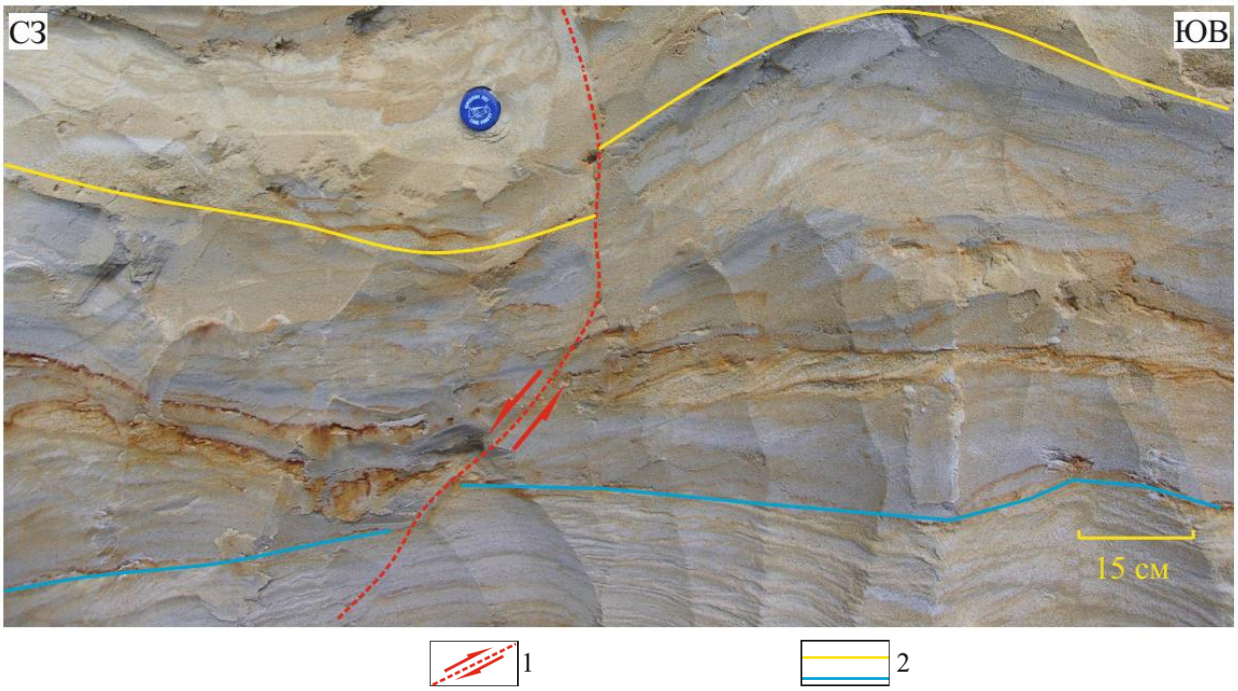

Рисунок 34. Сброс в слоистых песках, вскрытых в карьере в районе оз. Рюттюярви: 1 – поверхность сместителя и направление смещения, 2 – маркирующие прослои

Данное разрывное нарушение могло сформироваться в обстановке юго-восточного растяжения (Рисунок 35).

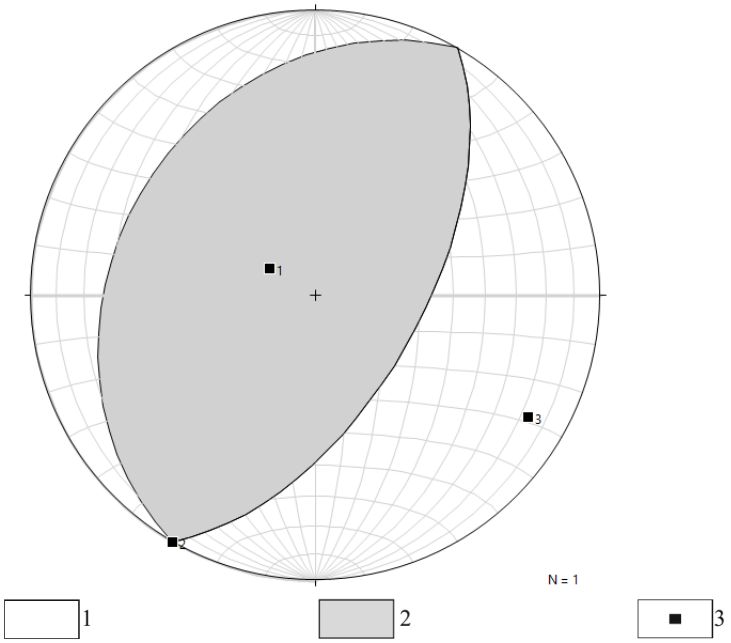

Рисунок 35. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором мог сформироваться разрыв, зафиксированный в слоистых песках в районе оз. Рюттюярви: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

В том же карьере отмечены малоамплитудные разрывные нарушения сбросовой и взбросовой кинематики, поверхности сместителей которых наклонены в восточном направлении (Рисунок 36).

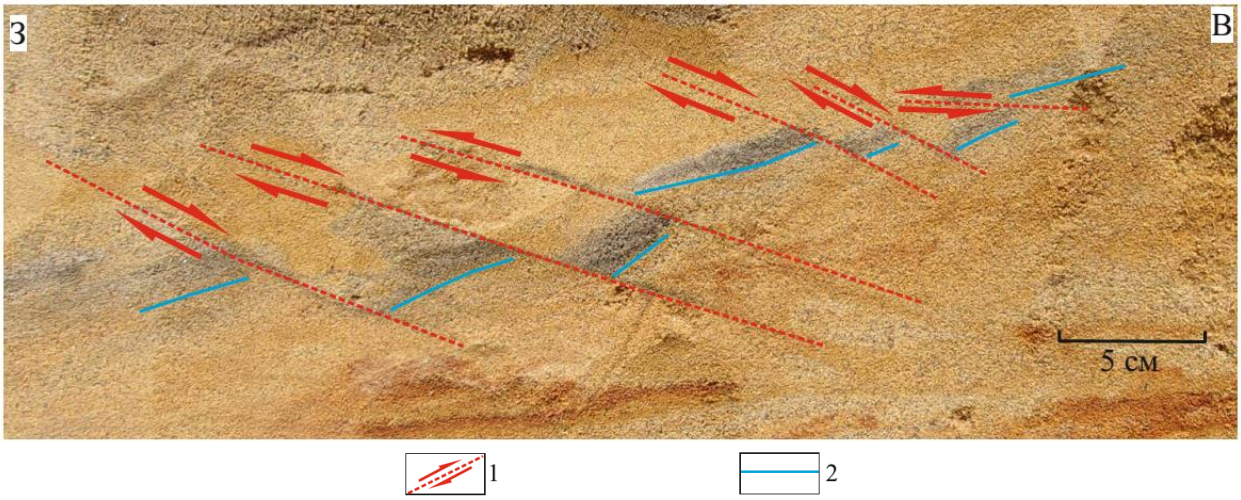

Рисунок 36. Малоамплитудные разрывные нарушения в слоистых песках, вскрытых в районе оз. Рюттюярви: 1 – поверхности сместителей и направления смещения, 2 – маркирующий прослой

7. В районе оз. Янисъярви в слоистых песках отмечены сбросы (азимут падения 10^0, угол падения 70^0, максимальная амплитуда смещения около 40 см), и взбросы (азимут падения 190^0, угол падения 60^0, максимальная амплитуда смещения 5 см) (Рисунок 37, Рисунок 38), которым соответствуют разные типы напряженного состояния (Рисунок 39, Рисунок 40).

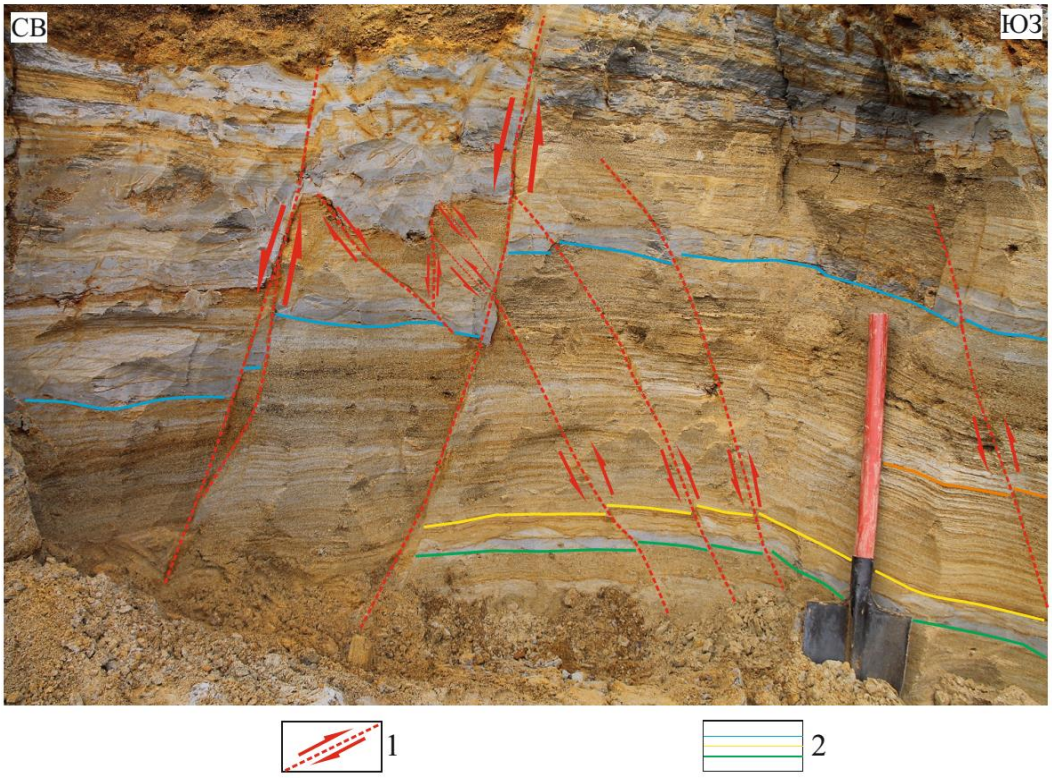

Рисунок 37. Разрывные нарушения в слоистых песках, вскрытых в заброшенном карьере в районе оз. Янисъярви: 1 – разрывные нарушения и направления смещения по ним, 2 – маркирующие прослои

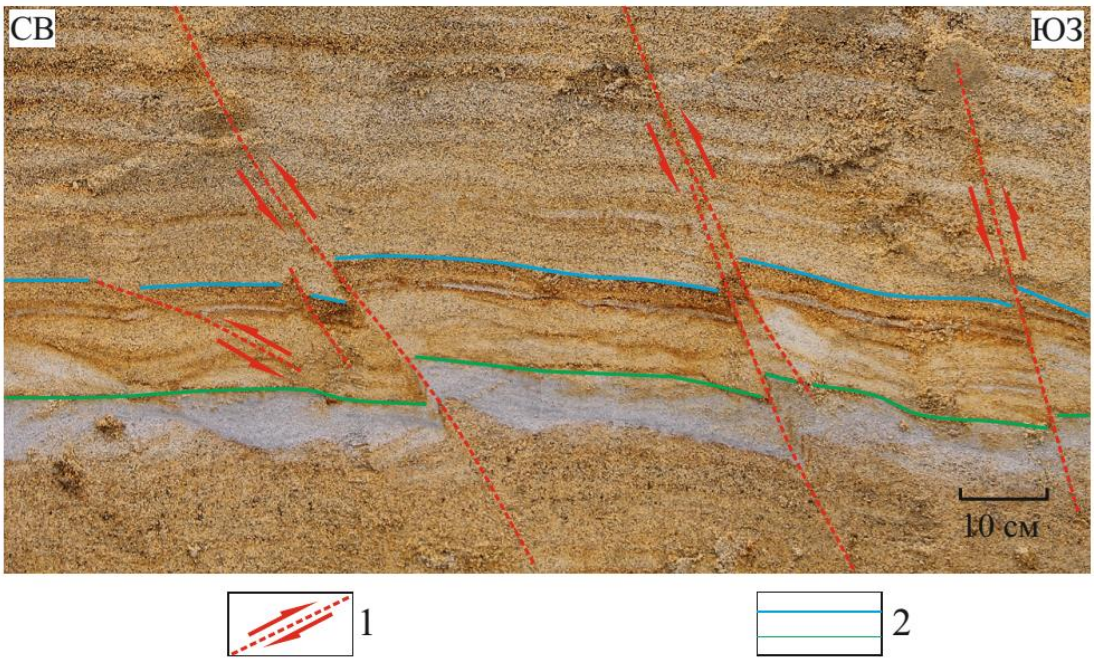

Рисунок 38. Взбросы в слоистых песках, вскрытых в заброшенном карьере в районе оз. Янисъярви: 1 – разрывные нарушения и направления смещения по ним, 2 – маркирующие прослои

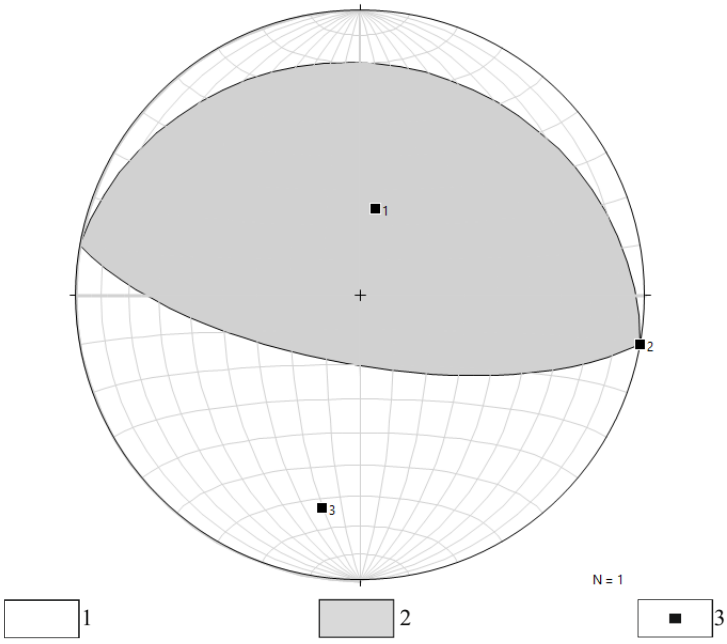

Рисунок 39. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывы, зафиксированный в слоистых песках в районе оз. Янисъярви: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

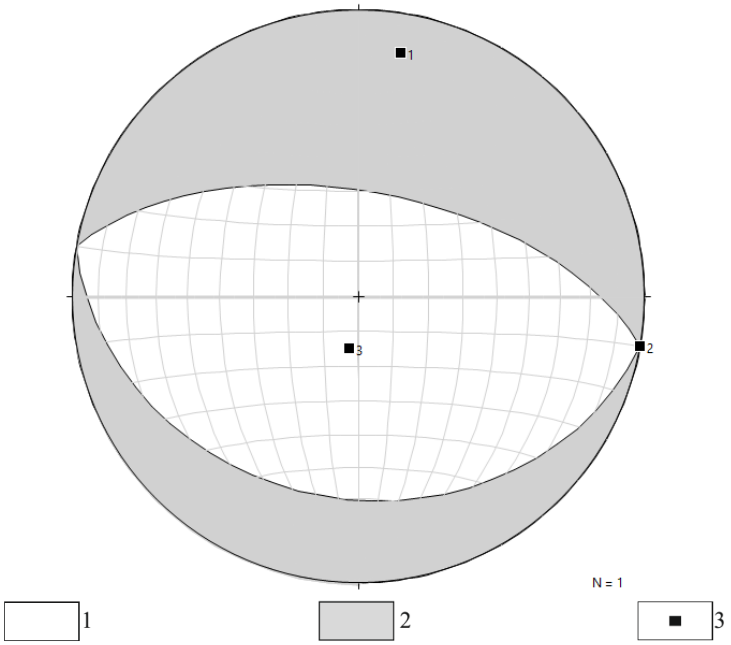

Рисунок 40. Взбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывы, зафиксированный в слоистых песках в районе оз. Янисъярви: 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

8. В слоистых песках, вскрытых в стенке заброшенного карьера, расположенного в районе г. Питкяранта, наблюдаются серии сбросов, поверхности сместителей которых погружаются в северо-западных румбах (азимут падения 310^0, угол падения 60^0 – 70^0, максимальная амплитуда смещения – 0,7 м) (Рисунок 41).

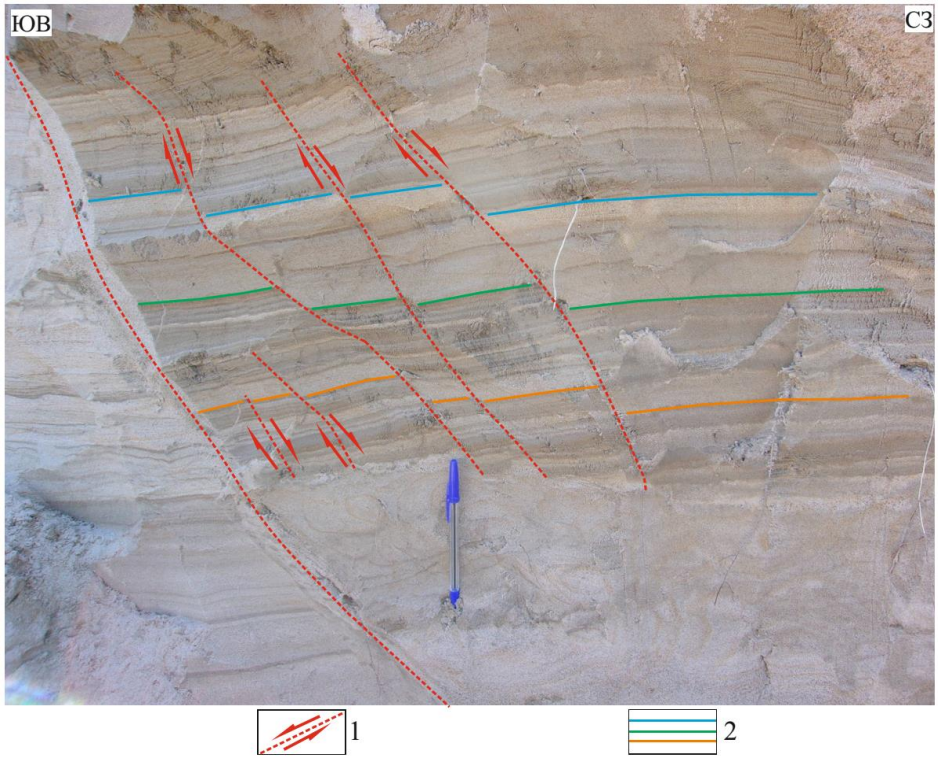

Рисунок 41. Серия сбросов в слоистых песках, вскрытых в заброшенном карьере в районе г. Питкяранта: 1 – разрывные нарушения и направление смещения по ним, 2 – маркирующие прослои

Данные дизъюнктивные структуры могли сформироваться в обстановке юго-восточного растяжения (Рисунок 42).

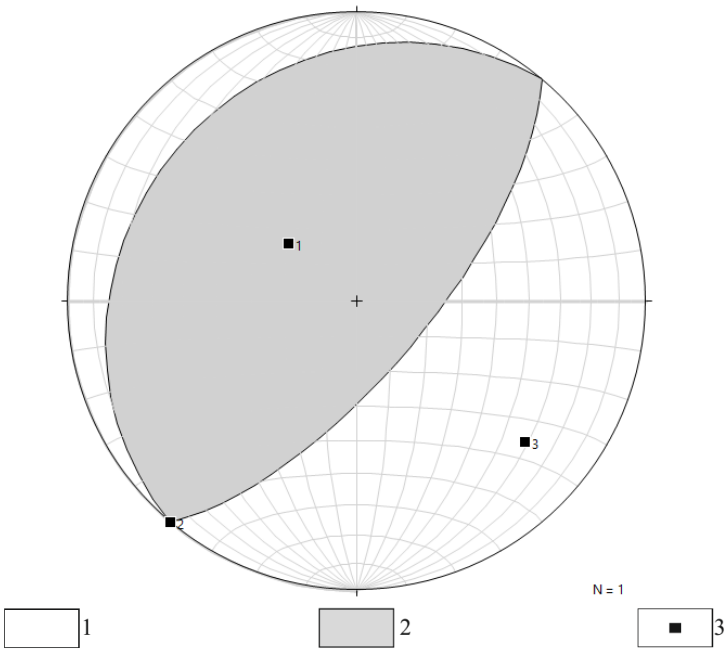

Рисунок 42. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, поверхности сместителей которых погружаются в северо-западных румбах (район г. Питкяранта): 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

В этом же карьере отмечены сбросы, поверхности сместителей которых погружаются в северо-восточном направлении (азимут падения 30^0, угол падения 75^0, амплитуда смещения порядка 20 см) (Рисунок 43).

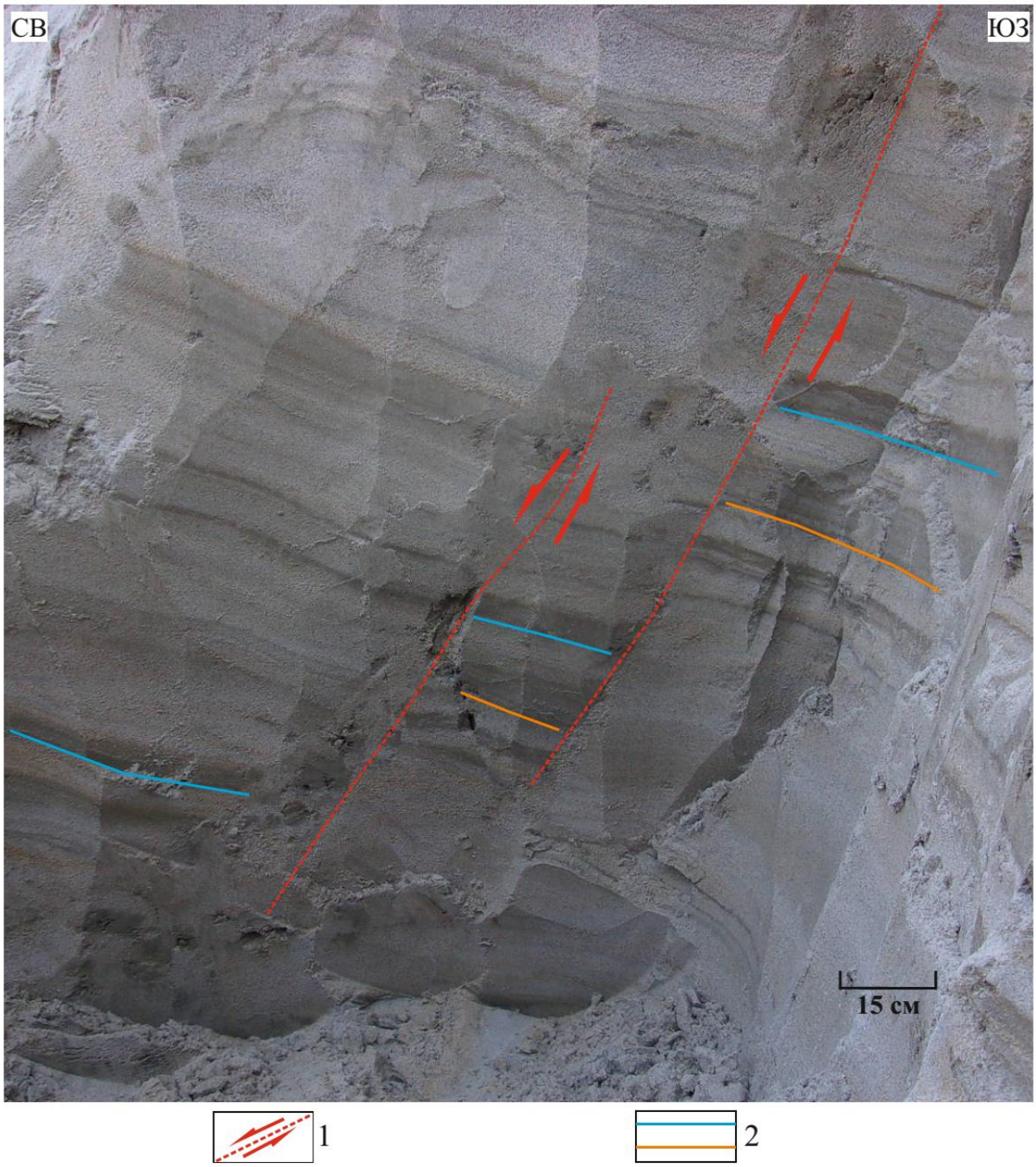

Рисунок 43. Сбросы, поверхности сместителей которых погружаются в северо-восточных румбах (район г. Питкяранта): 1 – разрывные нарушения и направление смещения по ним, 2 – маркирующие прослои

Данные дизъюнктивные структуры могли сформироваться в обстановке юго-западного растяжения (Рисунок 44).

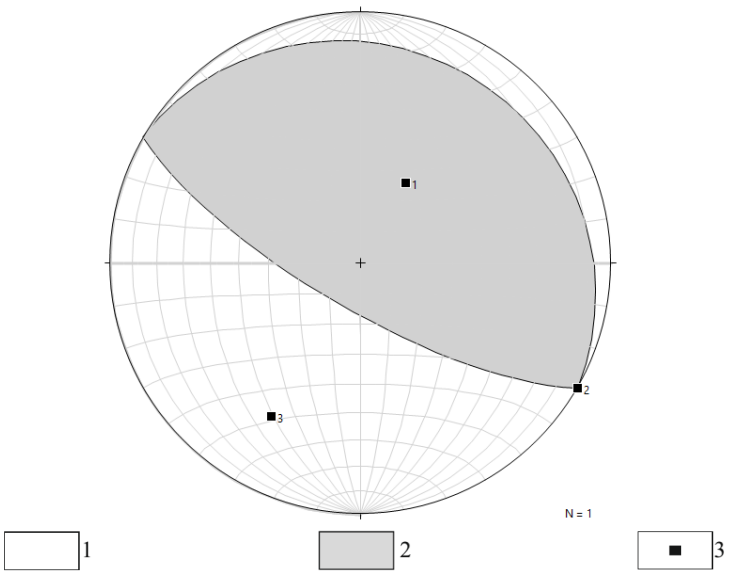

Рисунок 44. Сбросовый тип напряженного состояния, в котором могли сформироваться разрывные нарушения, поверхности сместителей которых погружаются в северо-восточных румбах (район г. Питкяранта): 1 – область растяжения, 2 – область сжатия, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

В целом, рассмотренные смещения слоев можно интерпретировать как первичные палеосейсмодислокации, возникающие при землетрясениях с моментной магнитудой более 5 [9]. Это значение превышает магнитуду Восточно-Ладожского землетрясения 1921, составляющую 4,5±0,3 [6]. По другим оценкам, наибольшее значение магнитуды, установленное за исторический период времени на территории Приладожья, достигает 3,2 [11]. Промышленные взрывы в карьерах также не могут рассматриваться в качестве причины формирования рассматриваемых разрывных структур. Самые сильные взрывы в Карелии производятся в карьере г. Костомукша [13], не показанном на карте очагов сейсмичности, индуцированной инженерной деятельностью [5]. Ближайшими источниками техногенной сейсмичности являются рудники в г. Заполярный и Ковдор [5], максимальные магнитуды взрывов на территории которых достигали 3,3 в 90-х годах прошлого века [1]. Кроме того, некоторые каменные карьеры, в которых проводились взрывные работы, а также ряд песчаных карьеров (где находятся точки наблюдения) располагаются вблизи населенных пунктов (см. рис. 1). Эти участки не могли подвергаться значительному техногенному сейсмическому воздействию, связанному с промышленными взрывами, утилизацией боеприпасов и. т. п. по соображениям безопасности. В работах [2, 13] показано, что локальные сотрясения на территории Карелии в ряде случаев обусловлены нетектоническими факторами: морозобойными ударами, происходившими при резкой смене температуры воздуха на берегах крупных озер [13] и колебаниями уровня воды в Ладожском озере, связанными с изменением атмосферного давления [2]. Однако интенсивность этих событий недостаточна для возникновения дизъюнктивных нарушений в рыхлых грунтах [2, 13].

Альтернативный вариант интерпретации рассмотренных дизъюнктивных структур предполагает, что они возникли в результате просадок и оползания рыхлых грунтов при таянии погребенного льда [4]. Однако этот механизм не позволяет объяснить наличие разрывов со взбросовой кинематикой, зафиксированных в районе пос. Рюттю, оз. Рюттюярви, пос. Туокслахти и оз. Янисъярви. В случае просадок грунтов разрывы со сбросовой кинематикой должны иметь различную ориентировку, в то время как изученные дизъюнктивные структуры можно объединить в 3 кинематические группы, каждой из

которых соответствует определенный тип напряженного состояния. К первой группе относятся сбросы, изученные в районах г. Лахденпохья, пос. Хелюля, оз. Янисъярви, а также сбросы северо-восточного простирания, зафиксированные в районе г. Питкяранта (Рисунок 45).

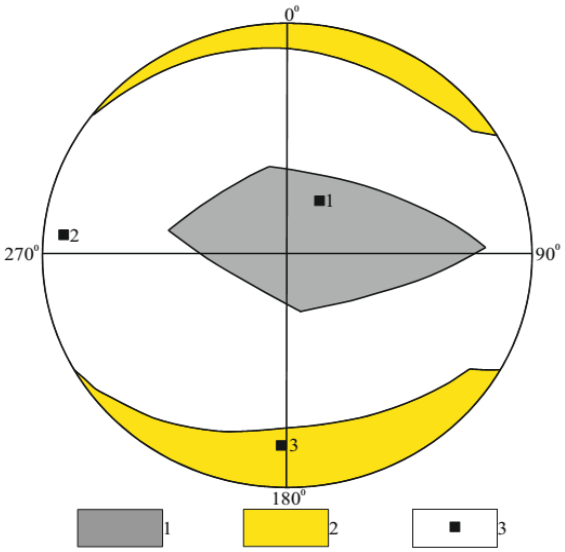

Рисунок 45. Положение главных нормальных осей напряжения, определенное для первой кинематической группы: 1 – область сжатия, 2 – область растяжения, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

Во вторую кинематическую группу объединены сбросы северо-восточного простирания, изученные в районе оз. Янисъярви, оз. Рюттюярви и пос. Реускула (Рисунок 46).

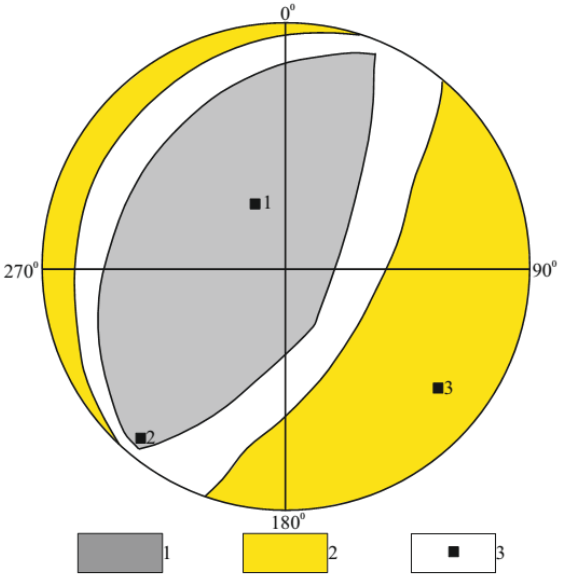

Рисунок 46. Положение главных нормальных осей напряжения, определенное для второй кинематической группы: 1 – область сжатия, 2 – область растяжения, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

Третья кинематическая группа включает взбросы запад-северо-западного простирания, отмеченные в районе оз. Янисъярви и пос. Туокслахти (Рисунок 47).

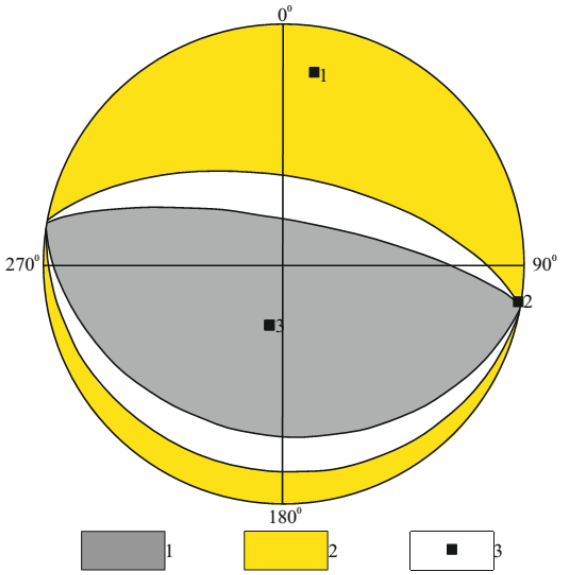

Рисунок 47. Положение главных нормальных осей напряжения, определенное для третьей кинематической группы: 1 – область сжатия, 2 – область растяжения, 3 – главные нормальные оси напряжений (1 – сжатия, 2 – промежуточная, 3 - растяжения) (верхняя полусфера)

Поскольку гляциолимнические отложения не перекрываются мореной, изученные деформации не могут рассматриваться как криогенные дислокации.

Таким образом, разрывные нарушения в рыхлых четвертичных отложениях указывают на возможность проявления сейсмических событий с магнитудой около 5 в новейшее время, не зафиксированных за инструментальный период наблюдений. Это предположение согласуется с ранее опубликованными в работах [3, 7, 10] данными.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИФЗ РАН Ю.А. Морозову, А.Л. Кулаковскому, З.-Ю.Я. Майбуку, М.А. Матвееву, И.В. Погореловой за помощь в проведении полевых работ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00359.

Литература:

1. Асминг В.Э., Кременецкая Е.О., Виноградов Ю.А., Евтюгина З.А. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения сейсмической опасности региона // Вестник Мурманского государственного технического университета, 2010. Т. 13. №4-2. С. 998 – 1007.
2. Ассиновская Б.А., Карпинский В.В., Недошивин С.А. Необычное землетрясение 30 июля 2010 года на Ладожском озере // Георискъ, 2011. №1. С. 58 – 62.
3. Верзилин Н.Н., Окнова Н.С. Следы голоценовых землетрясений в бассейне р. Вьюн (западная окраина Ладожского озера) и гранулометрический состав отложений // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Мат-лы 5-го Всероссийского литологического совещания (Екатеринбург, 14 – 16 октября 2008 г.). Екаьеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. Т. 1. С. 134 – 137.
4. Горбатов Е.С., Никонов А.А. Дислокации в озерно-ледниковых отложениях Ленинградской области: феноменология, типизация, вопросы генезиса // Современная

тектонофизика. Методы и результаты. Материалы четверьой молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ, 2015. С. 67 – 73.

5. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Шарова Н.В., Маловичко А.А., Щукина Ю.К. Кн.2: Микросейсмичность. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 96 с.
6. Никонов А.А. Восточно-Ладожское землетрясение 30 ноября 1921 года // Физика Земли, 2005. №7. С. 1 - 5.
7. Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинеаменты и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Материалы международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». Нерюнгри: Издательство Технического Института СВФУ, 2015. С. 243 - 251.
8. Никонов А.А., Энман С. В., Флейфель Л.Д. Голоценовые и современные движения земной коры в переходной зоне от Фенноскандинавского щита к Восточно-Европейской платформе в районе Ладожского грабена // Материалы 14 международной конференции «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными». Петрозаводск: [б. и.], 2008. Т. 2. С 79-81.
9. Палеосейсмология / Коллектив авторов; под ред. Д.П. Мак-Калпина: в 2 томах. Т.1. М.: Научный мир, 2011. 560 с.
10. Родкин М.В., Никонов А.А., Шварев С.В. Оценка величин сейсмических воздействий по нарушениям и смещениям в скальных массивах // Геодинамика и тектонофизика, 2012. Т. 3, № 3. С. 203 - 237.
11. Сейсмический каталог Хельсинского университета. Режим доступа: http://www.seismo.helsinki.fi/EQ-search/query.php.
12. Тектонический кодекс России / Гусев Г.С., Межеловский Н.В., Гущин А.В. (отв. ред. Межеловский Н.В.). М: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2016. 240 с.
13. Шаров Н.В. Сейсмический мониторинг природных и техногенных событий на территории Карелии / Геология Карелии от архея до наших дней // Материалы докладов всероссийской конференции, посвященной 50-летию Института геологии КарНЦ РАН 24-26 мая 2011. Петрозаводск, 2011. С. 199 - 203.