

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ВЫДЕЛЕНИЕ СДВИГОВ И НАДВИГОВ ЮККИ-ТОКСОВСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2025 г. С. Н. Неволин^{1, *}

¹ООО “ЭкспертГаз”, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: geonec@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.05.2024 г.

Рассмотрены особенности строения Юкки-Токсовской зоны разломов сдвигового типа. Результаты анализа космических изображений Юкки-Токсовской зоны позволяют иначе взглянуть на новейшую тектонику и геологию района. На материалах представлена линзовидная форма зоны сдвига, нетипичная для территории платформы. Внутри зоны разломов закартированы тела гигантской тектонической брекчии в виде ромбоэдров, неочевидных для данного района. Юкки-Токсовская зона изучена методами структурного анализа на уровне осевых зон разломов и сместителей. Приводится описание обнажений верхнечетвертичных пород, находящихся на осях разломов или их крыльях. Выявлены сдвиги и надвиги в приповерхностной части разреза верхнечетвертичных отложений. Обоснование кинематических типов разломов выполняется при изучении положения надвигов на их крыльях. Представлен спектрально-сейсморазведочный профиль через палеосейсмогенный уступ и один из разломов. Измерены величины вертикальных и горизонтальных движений по разломам по смещению пород маркирующего горизонта. Изучены вертикальные сместители разломов, выявлена их генетическая связь с надвигами как развитие единой зоны сдвига. Обнаружены зоны сколовых нарушений нескольких типов. Разломы Юкки-Токсовской зоны определены как левосторонние сдвиги. Сделана предварительная оценка скоростей горизонтальных движений по разломам Юкки-Токсовской зоны. Предложено использовать территорию Юкки – Токсовской зоны разломов в качестве полигона для изучения голоценовых палеоземлетрясений.

Ключевые слова: активные разломы, горизонтальные движения, космические снимки, маркирующий горизонт, надвиги, осевая зона разлома, сдвиги, сместители, спектрально-сейсмическое профилирование

DOI: 10.31857/S0205961425020089, EDN: EJXGTC

ВВЕДЕНИЕ

Ранее при анализе спутниковых изображений поверхности Земли выделена Юкки-Токсовская зона активных разломов сдвигового типа (Неволин, 2015), которая является частью Балтийско-Мезенской зоны.

Доказана тектоническая активность Юкки-Токсовской зоны в голоцене как области возникновения сильных землетрясений (Неволин, 2021).

Юкки-Токсовская зона развита в пределах Юкковско-Порошкинской гряды и Токсовской возвышенности, сложенных верхнечетвертичными озерно-ледниковыми отложениями, которые считают осадками охтинского межстадиала (Малясова, Усикова, 1965). Возраст отложений охтинского межстадиала составляет 13 тыс. л.

Целью данного исследования является изучение Юкки-Токсовской зоны на уровне осевых зон разломов и сместителей.

Прежде в регионе проводились работы по выявлению горизонтальных движений земной коры. В результате исследования проявлений деформаций при изучении верхнечетвертичных озерно-ледниковых, дельтовых позднеледниковых (15–10 тыс. л.н.) и озерных голоценовых отложений выделены пластины чешуйчатого надвигания (Никонов, 2017). Последние установлены в окрестностях Санкт-Петербурга в обнажениях на р. Сестре на северном побережье Финского залива и карьере Красная Горка во Всеволожском районе.

Выявлены сдвиговые перемещения на новейшем этапе (включая голоцен) в пределах Балтийско-Мезенской зоны (Колодяжный и др., 2020). “Балтийско-Мезенская зона сдвига является типичной платформенной структурой, для которой значительные сдвиговые смещения в породах фундамента, проникая в отложения чехла, трансформируются в малоамплитудные разрывы и системы диагональных складок-надвигов, сопряженных с многочисленными субслоистыми срывами”.

Результаты анализа космических изображений района Санкт-Петербурга с выделением Юкки-Токсовской зоны позволяют иначе взглянуть на новейшую тектонику и геологию района. На материалах представлена характерная линзовидная форма зоны сдвига, нетипичная для территории платформы. Внутри зоны разломов закартированы тела гигантской тектонической брекчии в виде ромбоэдров, неочевидных для данного района.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Работа выполнена на основе совместного использования архивных материалов космической фотосъемки и изображений Google Earth, где в основу цифровой модели рельефа положена информация миссии SRTM. Вначале на космических снимках выделяются линеаменты, концентрические структуры и другие детали изображения. В дальнейшем эти объекты сравниваются с данными Google Earth, детализируются и по характерным точкам привязываются к системе координат. Затем с помощью Google Earth, которая интегрирована с глобальной навигационной системой GPS, планируются наземные маршруты.

В работе использованы космические панхроматические снимки с разрешением 5–7 м, выполненные камерой КФА-1000 в летнее время. Проведен также анализ космических снимков регионального уровня генерализации КАТЭ-200 с разрешением 15–30 м. Анализ материалов космической съемки проводится по изменениям тона, различиям рисунка и структуры изображения.

Одним из элементов изображения являются линеаменты — линейные градиенты плотности тона, часто представленные на снимке в виде нитевидных линий, имеющих ширину 20–30 м на местности. Линеаменты, как проявленные в ландшафте зоны трещиноватости, часто соответствуют разломам осадочного чехла и фундамента. Участки концентрации параллельных линеаментов образуют линеаментные зоны. Линеаменты служат каналами миграции подземных вод и газов и являются участками дислокации горных пород.

Для выяснения природы линеаментов проводится анализ геолого — геофизических данных, полевые наблюдения. Если линеаменты выражены в рельефе, находят отражение на геологических, геофизических материалах, по совокупности признаков им придается ранг разломов. Ширина осевой зоны разлома принимается равной 20–30 м, в ее центре проходит ось разлома.

На основе анализа дистанционных материалов реализуется методика последовательного приближения к объекту исследования.

В рамках системного подхода выделена надсистема-Балтийско-Мезенская зона, частью которой является Юкки-Токсовская зона разломов (рис. 1). Подсистемы Юкки-Токсовской зоны образуют иерархический ряд объектов — главная поверхность смещения с тектоническими линзами (разломы 1, 2), отдельный разлом, осевая зона разлома, ось разлома, сместитель.

По данным анализа космических снимков Юкки-Токсовская зона имеет форму линзы или ромба и включает ромбические блоки (ромбоэдры) меньшего размера в виде холмов соответствующей формы. Характерной особенностью строения сдвигов является наличие ромбических в плане блоков, длинные оси которых часто параллельны простиранию сместителей (Геодинамические..., 1989).

Согласно наблюдениям автора, часто в пределах ромбоэдров присутствуют надвиги, что указывает на генетическую связь последних со сдвигами.

Горизонтальные сдвиги обычно диагностируются по смещению в латеральном направлении реперных тел, выделяемых по обе стороны разрывного нарушения. Левые и правые сдвиги распознаются соответственно по S-образным и по Z-образным рисункам. В зонах сдвигов наблюдаются изгибы линейных структур, по которым определяют направления смещения.

Исследования включают анализ материалов космических съемок, топографических карт, геолого-геофизических данных, полевые геологические изыскания. Наземное геологическое обследование территории осуществляют проложением маршрутов через ключевые участки, элементы геологического строения, геоморфологии, гидрографии и обнажения горных пород. Привязку точек наблюдения проводят электронным навигатором GPSmap60CSX точностью 5 м. Документация обнажений включает их описание и фотографирование на цифровую камеру разрешением 14 мегапикселей. Кроме того, проводится мониторинг земляных работ на территории. Здесь ведут прокладку траншей для газопроводов и кабелей, разработку карьеров, строительство дорог и коттеджных поселков. Особое внимание обращают на обнажения со складчатостью и тектонической трещиноватостью.

Анализ спутниковых снимков и данных космической навигации позволяет с высокой точностью размещать каналы на осях и сместителях разломов. Вначале основные элементы зоны разломов определяют по космическим снимкам. Затем по изображению выявляют оси разломов со сдвиговой кинематикой. Далее следует вскрытие осей разломов каналами и измерение амплитуд перемещений пород по сместителям.

Часть сместителей обнаруживается случайно при расчистке обнажений. Другие устанавливают

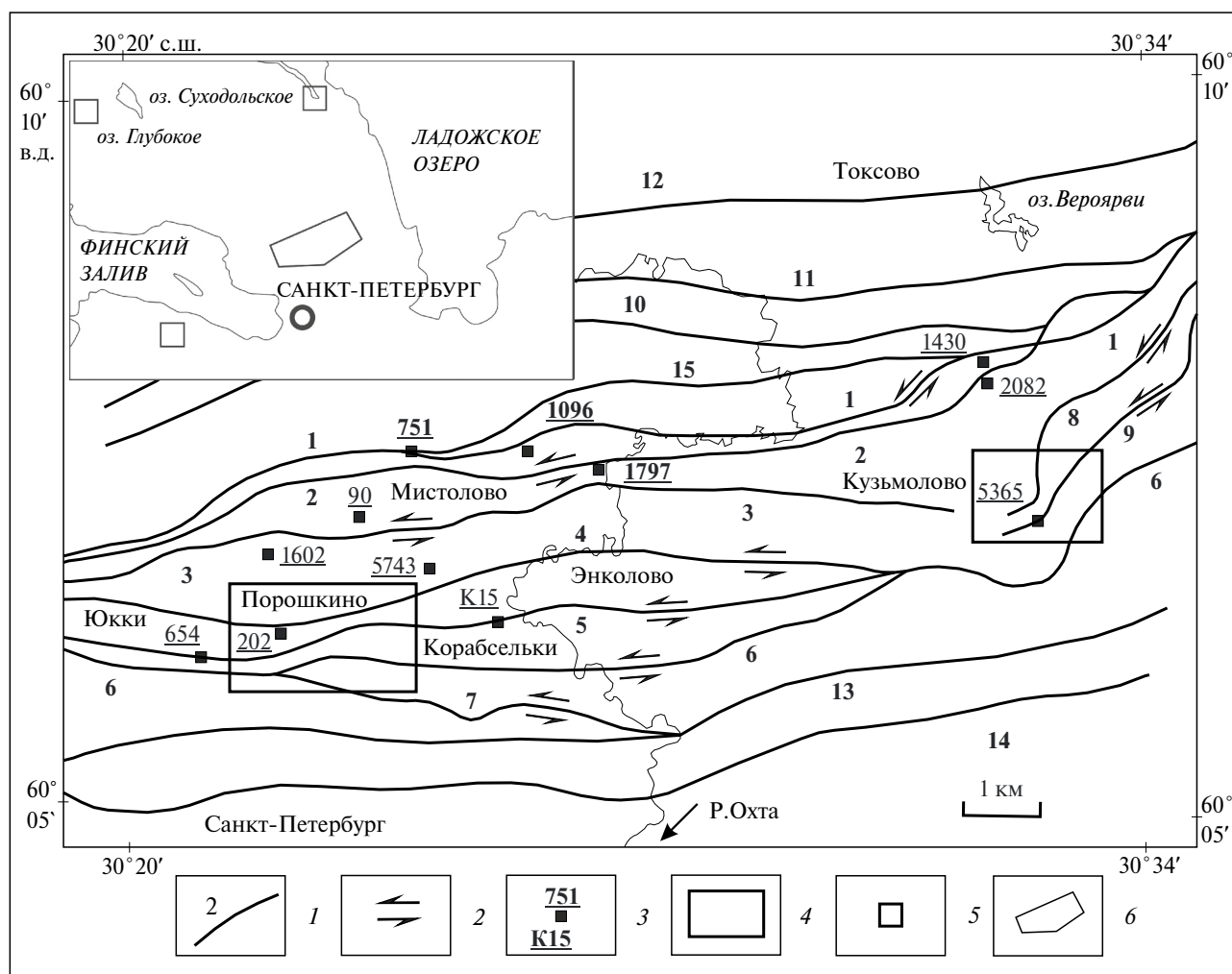


Рис. 1. Центральная часть Юки-Токсовской зоны разломов.

Условные обозначения: 1 – разлом и его номер, 2 – сдвиги, 3 – обнажение и его номер, К-канавы, 4 – участки детальных работ. На врезке, 5 – опорные участки (по Никонов, 2017, с изменениями), 6 – Юки-Токсовский полигон.

при изучении положений осей разломов относительно старых обнажений. На местности с помощью электронного навигатора находится точка на оси разлома в пределах старого обнажения и проводится его расчистка. Так обнаружены сместители в точках 5361, 5365, 5366, 5908, 5915.

Следующий способ предполагает прохождение маршрута с навигатором вдоль оси разлома и выбор точек для заложения канав.

Часто оси разломов выражены на местности пологими ложбинами, как на двух участках в районе п. Порошкино и п. Кузьмолово. Здесь на площади скошенных полей обследованы окрестности разломов 4 и 5. Участки характеризуются уклонами 1–3°, измеренными электронным уклономером с точностью 0.2°. По большей части оси разломов можно проследить только с помощью навигатора. Оси видны на местности в виде еле заметных пологих увлажненных

ложбин глубиной 0.2–0.5 м и шириной 20–30 м. Оси ложбин часто выделяются пятнами желтой травы.

Иногда с приразломными ложбинами соседствуют ложбины и овражки глубиной 0.5–1 м, расположенные кулисообразно по отношению к оси разлома.

Ложбины на участке у п. Порошкино ассиметричны, северный борт круче, на разломе 5 еще и выше на полметра.

Определение кинематических типов отдельных разломов может проводиться по косвенным признакам. В нашем случае на спутниковых снимках наблюдаются изгибы линейных структур там, где имеются предполагаемые смещения. Величины горизонтального смещения блоков пород, измеренные по снимкам, составляют 50–70 м.

В зависимости от размера смещения, свойств пород, глубины формирования разлома может меняться

ся геологическое выражение сместителя. Последний при небольших амплитудах в пластичных породах имеет вид притертого шва. В условиях значительных перемещений сместитель приобретает определенную мощность и представляет собой плоское геологическое тело, образованное двумя сближенными поверхностями скалывания (Диагностика..., 1994).

Выделяют лентовидные, лентовидно-волнистые формы сместителей, характерные для разломов с преобладающим горизонтальным смещением. Линзовидные блоки пород, ограниченные двусторонним сопряжением сместителей, называются тектоническими линзами. Они присутствуют в зоне разлома вдоль главной поверхности смещения.

Сдвиги больших амплитуд генетически связаны с надвигами, поскольку ими разрешаются сдвиговые напряжения перед фронтом продвигающихся вперед сдвиговых блоков (Воронов, 1969).

В этом случае поверхность сместителя сдвига постепенно поворачивается и переходит по простиранию в одну или несколько надвиговых поверхностей.

При разрыве и относительном смещении геологических тел на поверхностях скольжения образуются продукты дробления и истирания пород — штрихи, борозды. Широко распространена тектоническая глина, цвет которой зависит от окраски истертой породы и вторичной минерализации. Часто глина трения является цементом брекчий. В наших условиях глина трения цементирует верхнечетвертичные рыхлые породы зоны смещения, которые окрашиваются в красно-бурые тона. Для определения направления относительного перемещения сопряженных блоков используется “правило гладкости”. Смещение блока происходит в том направлении, в котором не чувствуются зацепов, если по поверхности смещения провести пальцем. Однако это правило не всегда выполняется (Уткин, 1980).

При обследовании территории обнаружены только лентовидные и лентовидно-волнистые формы сместителей, что говорит о преобладании горизонтальной компоненты движения разломов.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ЮККИ-ТОКСОВСКОЙ ЗОНЫ

Обнажение 751 находится в 1.0 км севернее п. Мистолово (рис. 2, табл. 1) и располагается прямо на оси разлома 1.

Верхний слой представлен песком светло-желтым мелкозернистым мощностью 0.5 м. Ниже залегает супесь серо-коричневая мощностью 1.7 м. Справа на участке 1 слои залегают субгоризонтально. В нижнем слое 2 развита мелкая складчатость, слой песка 3 разбит сбросами амплитудой

0.1 м. В центре есть песчаная дайка 4 мощностью 0.3–0.7 м, секущая нижнюю часть обнажения и падающая на север под углом 70°. Рядом находится ожелезненная зона трещиноватости 5 с глиной трения мощностью 0.3 м, падающая на север под углом 80°. Это сместитель разлома, который залегает на глубине 0.5 м от дневной поверхности. По обе стороны от сместителя наблюдается тектоническая брекчия. Здесь же имеются овальные обломки пород 6, 7, 8 размером 0.3–0.4 м. Это шарообразные закатыши, которые возникают при течении горных пород под действием стресса.

Ранее отмечалось, что сдвиги генетически связаны с надвигами и представляют собой структурный парагенезис. Поверхность сместителя сдвига постепенно поворачивается и переходит по простиранию в надвиговую поверхность. Поэтому о сдвигах можно судить по наличию надвигов на крыльях разломов.

Обнажение 1430 (рис. 3, табл. 2) находится в 1 км на северо-восток от п. Кузьмоллово на южном крыле разлома 1. Верхний слой обнажения мощностью до 0.7 м представлен светло-желтым мелкозернистым песком с линзами темно-коричневого крупнозернистого песка (линзовый будинаж). Нижний слой — это светло-желтый мелкозернистый песок мощностью 1.2 м, падающий под углом 15° на северо-запад. На глубине 0.5–0.7 м от поверхности земли наблюдается слабоволнистая поверхность смещения надвига мощностью 0.03 м, падающая на северо-запад под углами от 5 до 23°. Поверхность смещения представлена сцементированным темно-желтым песком. В верхнем слое имеется шарообразный закатыш, возникающий при завихрениях течения пород под действием стресса. В правой части снимка отмечается сброс амплитудой 0.4 м.

В соответствии с положением надвигов на южном крыле в точках 1096 и 1430 (рис. 1) разлом 1 представляет собой левый сдвиг.

Размещение надвигов в точках 1797 и 2082 (рис. 1) на южном крыле позволяют считать разлом 2 левым сдвигом.

Аналогично, разлом 3 также левый сдвиг согласно положению надвигов на его крыльях в точках 90 и 1602 (рис. 1).

Обнажение 5743 (рис. 4, рис. 1) выявлено в 1 км на север от п. Корабсельки на северном крыле разлома 4. В разрезе наблюдается переслаивание песков серо-коричневых и светло-желтых мелкозернистых мощностью 4 м. На глубине 3.2 м от земной поверхности есть слой песков красно-бурых сцементированных мощностью 0.05 м. Слой падает на северо-восток под углом 2–4°. Это поверхность смещения надвига. Ниже к подошве слоя примыкает горизонт дисгармонической



Рис. 2. Обнажение 751.
Условные обозначения: 1 – участок горизонтального залегания пород, 2 – участок складчатости, 3 – песчаный пласт, 4 – песчаная дайка, 5 – сместитель, 6, 7, 8 – закатыши.

Таблица 1. Обнажения верхнечетвертичных пород с тектоническими нарушениями

№ обнажения	Координаты	Вид нарушения	Амплитуда, м	Глубина, м
654	N60.10140 E30.35279	сместитель, взброс	1.3	0.5
751	N60.12454 E30.39976с	меститель		0.5
K15	N60.10455 E30.41565	сместитель, взброс	0.15	1.2
4126	N60.10007 E30.35984	сброс	0.3	0.6
K2	N60.10022 E30.36027	дайка		0.6
K1	N60.10053 E30.36098	вал	0.3	0.9
5361	N60.10617 E30.38739	сместитель		2
5282	N60.10769 E30.39467	сместитель, взброс	5	4
5915	N60.11825 E30.54161	сместитель		3

складчатости мощностью 0.1–0.15 м со следами пластического течения горных пород. Надвиг на этом уровне прослежен в нескольких точках лобовой части, его параметры слабо изменчивы. Имеются аналогичная поверхность смещения надвига на глубине 3.8 м. Разлом 4 представляет собой левый сдвиг.

Обнажение K15 (рис. 1) находится в 0.3 км на северо-восток от п. Корабсельки. Здесь на восточном

склоне холма ось разлома 5 вскрыта канавой глубиной 1.5 м.

Разрез представлен песками мелкозернистыми субгоризонтального залегания. На глубине 1.2 м наблюдается вертикальный сместитель в виде притертого шва шириной 0.01 м, по которому развит взброс амплитудой 0.15 м.

На глубине 1.3 м имеется поверхность смещения надвига мощностью 0.01–0.02 м в виде слабovol-



Рис. 3. Обнажение 1430. Надвиг. Стрелки указывают на поверхность смещения надвига.

Таблица 2. Параметры надвигов верхнечетвертичных пород

№ обнажения	Координаты	Падение, °	Угол, °	Амплитуда, м	Глубина, м
90	N60.11749 E30.38615	СВ	3		2
1096	N60.12435 E30.42173	СЗ	32		2
1430	N60.13322 E30.52939	СЗ	10		0.7
1602	N60.11343 E30.36443	270°	8	7	2
1797	N60.12268 E30.44183	225°	52		0.8
2082	N60.13066 E30.52831	ЮЗ	2		7
5743	N60.11041 E30.40203	СВ	3		3.2
327	N60.10434 E30.36635	ЮВ	6	5	2
202	N60.10452 E30.36695	77°	5		7
1374	N60.09809 E30.37311	ЮЗ	13		3
4559	N60.10152 E30.37753	СВ	7	8	3
5365	N60.11372 E30.54561	СВ	2		3
5366	N60.12169 E30.55161	СВ	2		0.6
2619	N60.11946 E30.54990	ЮЗ	24		15
5908	N60.11828 E30.54187	186°	28		3

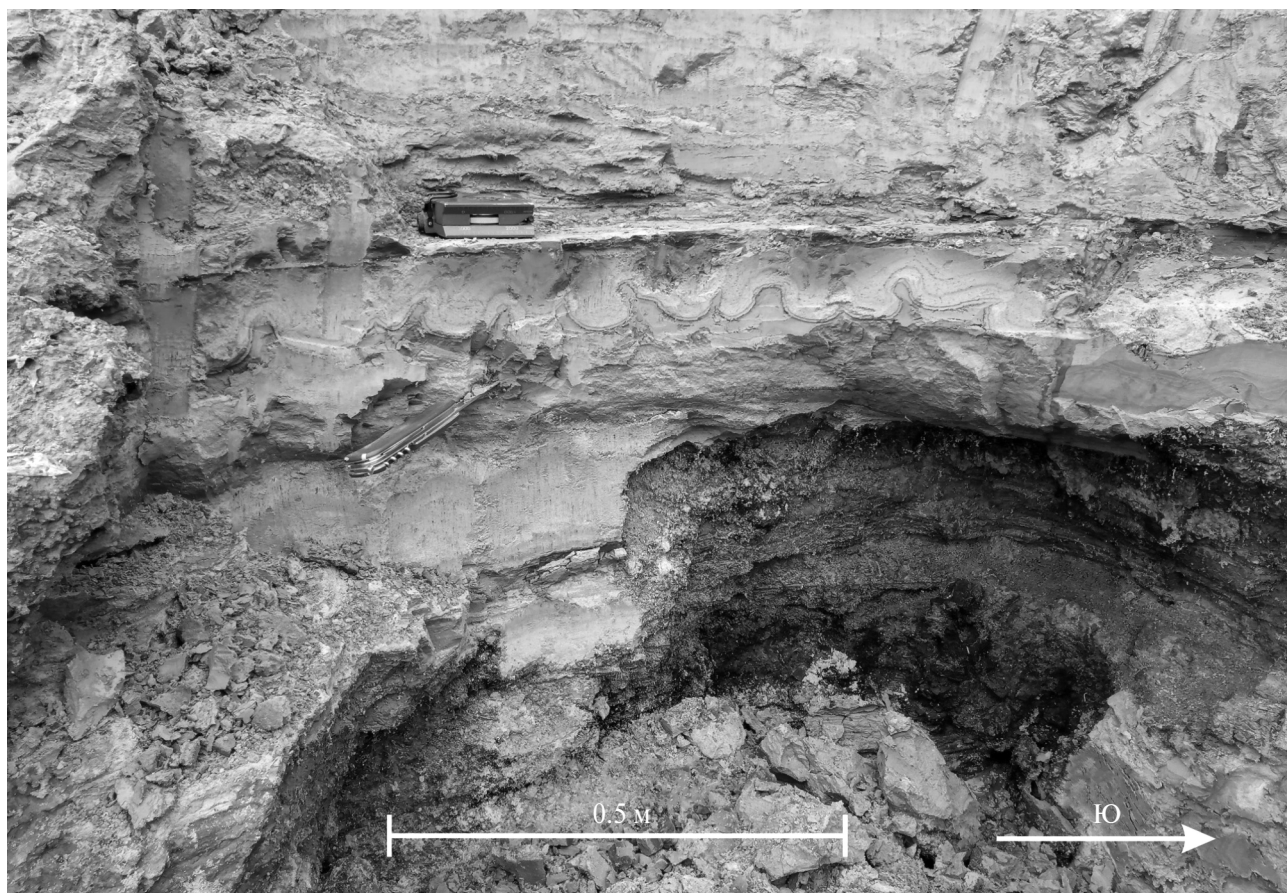


Рис. 4. Обнажение 5743. Надвиг. Поверхность смещения отмечена компасом. Лезвие ножа указывает на локальную поверхность смещения.

нистой чешуйчатой поверхности сцементированного красно-бурого песка. К северу от вертикального сместителя гладкость горизонтальной поверхности смещения направлена на запад. Отсюда следует, что разлом 5 есть левый сдвиг.

УЧАСТОК “ПОРОШКИНО”

На северо-западе участка (рис. 5) имеется ромбоэдр, примыкающий к разлому 4 и на местности представленный холмом ромбовидной формы с крутым восточным склоном.

Холм сложен песками и супесями и вскрыт карьером на глубину до 10 м. На южном крыле разлома 4 обнаружен надвиг. На западе перед фронтом надвига имеется группа из нескольких складок.

Обнажение 327 представляет собой фронтальную часть поверхности смещения надвига, падающую на восток под углом 5–6°.

Надвиг длиной 65 м и шириной 25–30 м прослежен на трех высотных уровнях при глубине среза 5 м. Везде присутствует слой среднезернистого темно-желтого плотного песка, который в кровле сцементирован и имеет темно-красный цвет.

Поверхность кровли гофрированная с амплитудой до 0.5 м, имеет падения в разные стороны с углами до 50°. Это поверхность смещения надвига мощностью 0.3–0.5 м.

В точке 202 поверхность смещения образует антиклиналь амплитудой 1 м, в своде которой находится твердая корка мелкозернистого красно-бурого песка.

Здесь следует обратить внимание на противоречие. Ранее показано, что надвиг в обнажении 5743 (см. рис 1) на северном крыле разлома 4 имеет падение на северо-восток и разлом 4 левый сдвиг. С другой стороны, поверхность надвига на южном крыле разлома 4 (рис. 5) в точках 202 и 327 также падает на восток, и тогда разлом 4 правый сдвиг. Это противоречие снимается согласно правилу, что сдвиги часто переходят в надвиги, что и происходит в данном случае. Обнажения 202 и 327 находятся, соответственно, в 6 и 20 м от оси разлома 4, то есть в осевой зоне разлома. Здесь поверхность смещения надвига является осевой зоной разлома 4, левого сдвига.

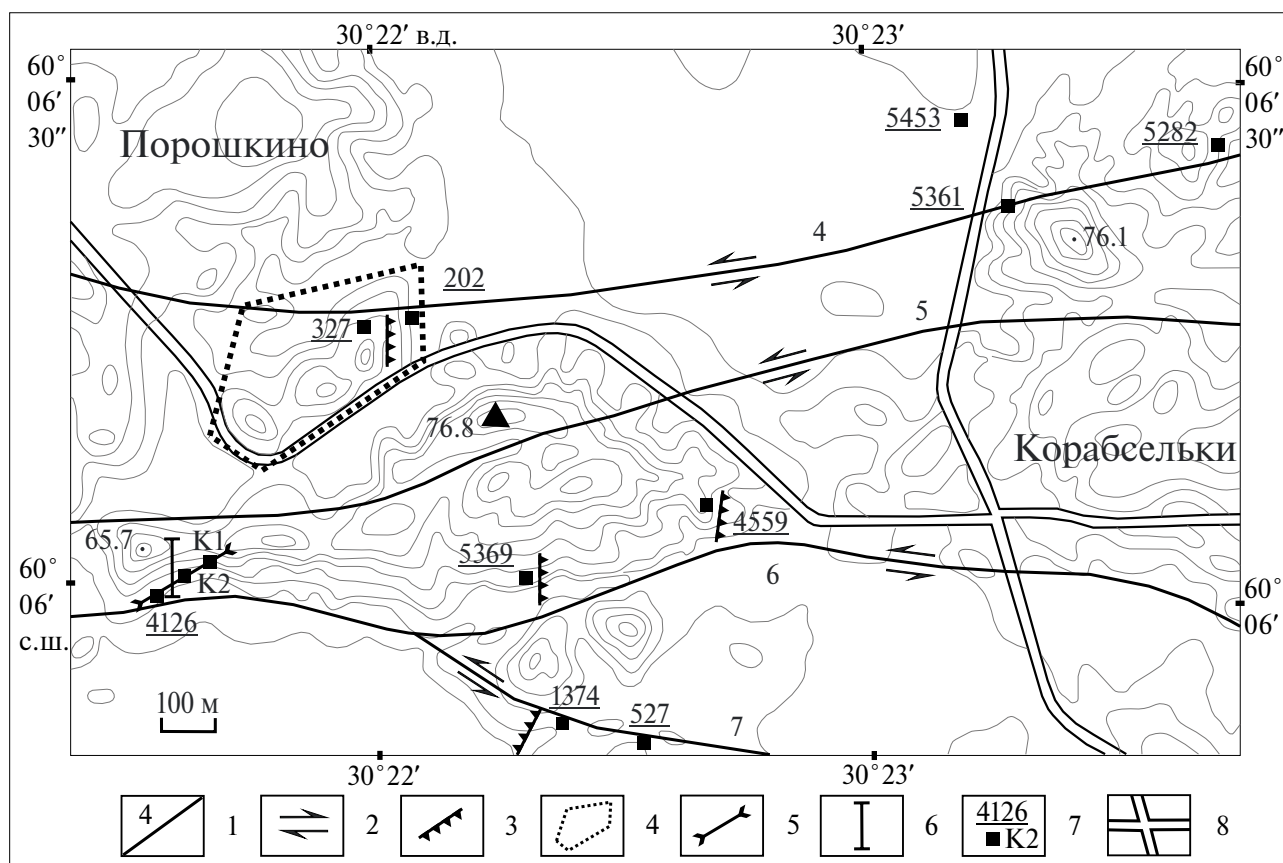


Рис. 5. Участок “Порошкино”.

Условные обозначения. 1 – разлом и его номер, 2 – сдвиги, 3 – надвиги, 4 – ромбоэдр, 5 – уступ № 7, 6 – ССП профиль, 7 – обнажение и его номер, К-канавы, 8 – дороги.

На юго-западе участка южный склон гряды нарушается палеосейсмогенным уступом 7 высотой до 2.6 м и длиной 130 м, который поднимается от подножья до бровки. Ранее (Неволин, 2021) на территории обнаружено около 50 палеосейсмодислокаций, в том числе 40 сейсмогенных уступов, 12 из них вскрыты канавами. Одним из критериев выделения сейсмогенных уступов является положение их вблизи осей разломов в полосе шириной порядка 500 м. Так же уступы имеют характерный продольный профиль с максимальной высотой в центре и минимальной по краям. Доказательством их сейсмогенной природы является вскрытие канавами и обнаружение разрывов со смещением пород.

Уступ вскрыт канавами К1, К2 и обнажением 4126, которое приходится на осевую зону разлома 6. В геологическом разрезе сверху вниз представлены супеси и пески пылеватые.

В обнажении 4126 на глубине 0.6 м наблюдается сброс амплитудой 0.3 м, с азимутом падения 230° и углом наклона 27°. В канаве К1 на глубине 0.9 м есть вал амплитудой 0.3 м. В канаве К2 имеется инъекционная дайка песка мелкозернистого высо-

той 1.1 м и мощностью 0.7 м. Разрыв с образованием уступа является опережающим к разлому 6.

Спектрально-сейсморастворочный профиль (ССП) (рис. 6) пройден с юга на север, от оси разлома 6 у подножья гряды до ее вершины и пересекает уступ 7.

При спектрально-акустических измерениях (Гликман, 2001) выявляются границы, по которым возможно проскальзывание соседствующих сред. ССП – аномалии имеют воронкообразный или V-образный характер, соответствуют областям повышенной трещиноватости пород и трактуются как разрывные тектонические нарушения.

На рисунке субвертикальные и наклонные точечные линии белого цвета означают разрывные нарушения. Ломаная и горизонтальные сплошные линии белого цвета соответствуют поверхностям раздела сред. Общая слоистость породного массива наиболее отчетливо видна в верхней части разреза. Горизонтальная линия на глубине 80 м отвечает кровле котлинских отложений, относящихся к породам верхнего венда. Наименование “котлинская свита” происходит от названия о. Котлин в вос-

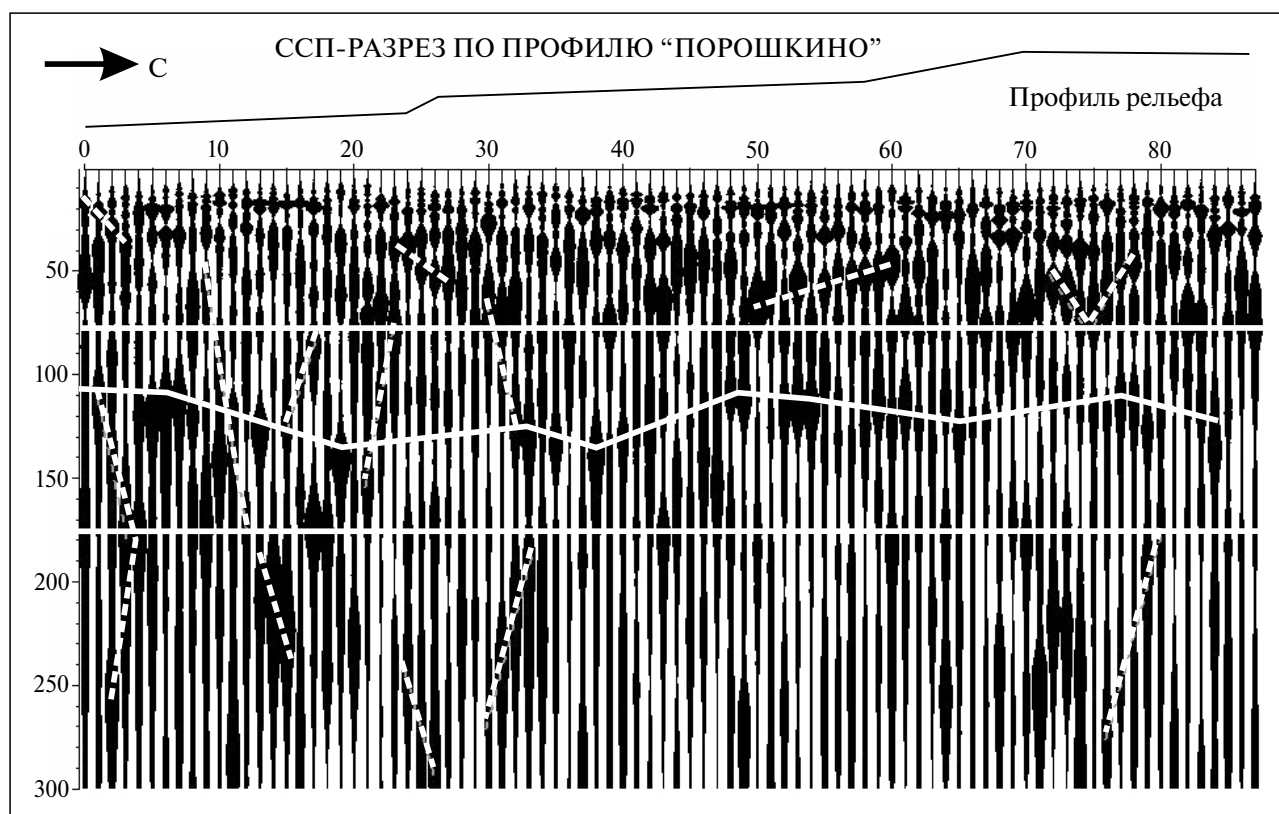


Рис. 6. Спектрально-сейсморазведочный профиль "Порошкино" (объяснения в тексте).

точной части Финского залива. Горизонт сложен алевроитовыми глинами с прослоями алевролитов и песчаников. На котлинской свите со значительным перерывом залегают четвертичные породы.

Ломаная линия, проведенная через центры аномалий, лежащих на одном глубинном уровне, соотносится с изрезанной поверхностью фундамента. По геологическим данным фундамент в этом районе находится на глубине 150 м. В нашем случае поверхность фундамента имеет ступенчатый характер, ее глубина 110–140 м. Линия ограничения тектонических нарушений на глубине 180 м есть некая граница в толще фундамента.

Тектонические нарушения на 0–33 м профиля принадлежат разлому 6. Ширина осевой зоны разлома 33 м, что согласуется с шириной линейментов в 20–30 м (Неволин, 2015). Самые глубокие на разрезе нарушения на 21–33 м профиля образуют грабенообразную структуру в чехле и фундаменте.

Разрывы в слоях на 24 м профиля приурочены к подножью уступа. Другие тектонические нарушения верхнего слоя также отвечают точкам перегиба рельефа. Разрывы на 0–4 м профиля соответствуют подножью гряды, другое нарушение на 60 м приходится на вогнутый перегиб склона. Один из разрывов попадает на 72 м профиля, где находится бров-

ка склона. Эти факты указывают на тектоническое происхождение гряды.

Согласно (Гликман, 2001), когда ССП профиль пересекает тектоническое нарушение, на разрезе появляется V-образный объект или одна его образующая. Если нарушение без сдвига, образуется V-образный объект. Наличие только одной образующей соответствует сдвигу.

Согласно этому правилу тектонические нарушения в левой части профиля, где проходит разлом 6, представляют собой сдвиги.

В центре участка "Порошкино" обнажение 4559 расположено в 90 м на север от оси разлома 6. Разрез представлен переслаиванием песков и супесей светло-серого цвета, падающих на северо-восток под углом 10–12°. В нижней части разреза обнаружен чуждый по вещественному составу окружающим породам блок темно-серой супеси длиной 7 м и высотой 2.5 м.

Блок темно-серой супеси имеет снизу тектонический контакт в виде слоя темно-красного сцементированного песка мощностью 0.1 м. Это зеркало скольжения надвига, падающее на восток под углами 6–9°. Вверх по разрезу угол падения возрастает до 13° и надвиг затухает на глубине 3 м.

Блок темно-серой супеси поднят над дном карьера на высоту 6 м. Здесь темно-серая супесь залегает на глубине 2 м. Темно-серая супесь является маркирующим горизонтом и в равнинной части участка в точках 527 и 5453 залегает на глубине 1.5–2.0 м.

Вертикальную компоненту перемещения аллохтона можно оценить в 8 м. Тогда горизонтальная составляющая в зависимости от угла наклона будет 50–80 м. Наличие надвига на северном крыле позволяет считать разлом 6 левым сдвигом.

В крайней северо-восточной части участка “Порошкино” имеется обнажение 5282, расположенное в 20 м на север от оси разлома 4. Верхняя часть обнажения скрыта осыпью. В нижней части разреза на глубине 3–4 м залегает супесь серо-коричневая. Еще ниже — супесь темно-серая мощностью от 0.2 до 1.0 м. Ее кровля имеет зубчатую форму, мощность резко меняется. На глубине 4 м наблюдается многоосевой сместитель шириной 4.8–5.0 м в виде вертикальных разрывов амплитудой 0.8–1.0 м, простираем 26–30° с зеркалами скольжения. Порода в зеркалах скольжения мощностью 0.15–0.2 м красно-бурого цвета сцементированная, твердая.

С учетом глубины залегания маркирующего горизонта темно-серой супеси, величина вертикальной компоненты сдвига оценивается в 5 м.

УЧАСТОК “КУЗЬМОЛОВО”

Обнажение 5365 (рис. 7, 8) на южном борту Кузьмоловского карьера приходится на ось локального разлома 18. Верхняя часть разреза мощностью 3–4 м представлена переслаиванием песков темно-желтых и светло-серых пылеватых.

Обнаружен вертикальный лентовидно-волнистый сместитель простираем 230° в виде притертого извилистого шва мощностью 0.05–0.1 м. Сместитель на глубине 3.2 м ограничивается плотным чешуйчатым слоем красно-бурого цвета мощностью 0.1–0.15 м, который является горизонтальной поверхностью смещения надвига.

Здесь при сопряжении сдвига с надвигом наблюдается развитие единой зоны сдвига. Поверхность смещения надвига шириной более 8.2 м состоит из субгоризонтальных чешуек с углами наклона от 0 до 30°. К северу от вертикального сместителя гладкость поверхности скольжения направлена на запад. Согласно этому правилу, локальный разлом 18 есть левый сдвиг.

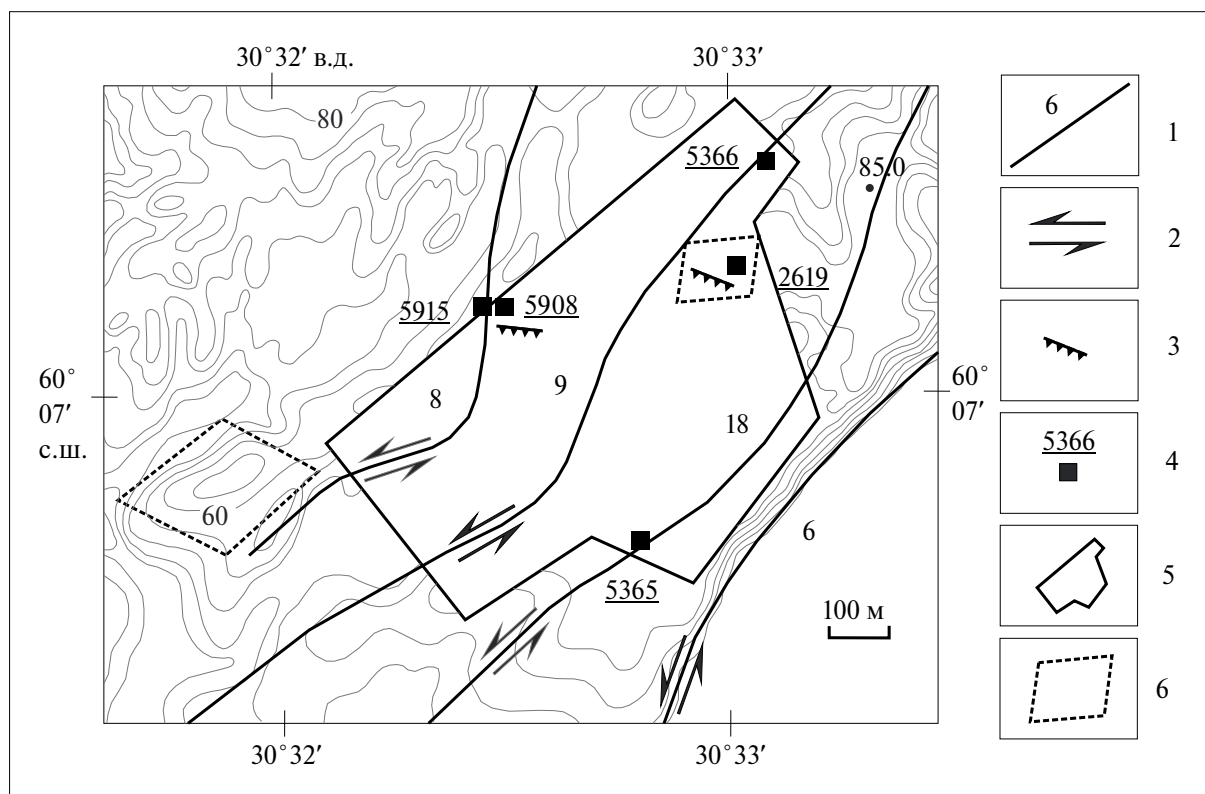


Рис. 7. Участок “Кузьмолово”.

Условные обозначения. 1 — разлом и его номер, 2 — сдвиги, 3 — надвиги, 4 — обнажение и его номер, 5 — контур Кузьмоловского карьера, 6 — ромбоэдри.



Рис. 8. Обнажение 5365. Лентовидно-волнистый сместитель.

Обнажение 5366 находится на оси разлома 9. Сместитель простиранием 58° начинается в 0.6 м от дневной поверхности и на глубине 1.7 м переходит в серию эшелонированных субвертикальных трещин высотой 1 м. Поверхность смещения надвига шириной 14.5 м мощностью 0.2–0.3 м находится на глубине 3 м. К северу от вертикального сместителя направление гладкости поверхности смещения 240° . Этот факт и наличие другого надвига на юго-восточном крыле в обнажении 2619 позволяет считать разлом 9 левым сдвигом. Надвиг в точке 2619 расположен в пределах ромбоэдра, здесь до разработки карьера находился холм ромбической формы.

Обнажение 5908 расположено на восточном крыле разлома 8 в 15 м от его оси.

Пески светло-желтые мелкозернистые мощностью 3–4 м. Верхнюю часть обнажения покрывает слой песка синевато-серого мелкозернистого плотного мощностью 0.3 м. Эта поверхность смещения надвига с углом наклона 28° имеет падение 186° . Данная поверхность имеет чешуйчатую структуру и ввиду твердости пород образует в южной части горст высотой 1.5 м.

Обнажение 5915 находится на оси разлома 8. Верхний слой образован песком серо-коричневым

пылеватым мощностью 0.5–0.7 м. Ниже залегает песок светло-желтый мелкозернистый мощностью 1.0–1.5 м. Здесь внедренная снизу масса песка синевато-серого мелкозернистого сцементированного с линзами светло-желтого песка (линзовый будинаж) образует зону сколовых нарушений шириной 8 м. Вертикальный сместитель мощностью 0.07–0.08 м имеет простирание 344° и смещен на 2 м на восток от центра зоны. Это одноосевая лентовидная асимметричная зона с резкими границами. Таким образом, разлом 8 есть левый сдвиг.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Необходимо сказать о надежности определения сдвигов по разломам. Речь идет о применении двух признаков или двух и более случаев одного признака. Первый признак — это положение надвигов на крыльях разлома. Второй — направления движения крыла согласно “правила гладкости”. Эти случаи относятся к разломам 1–6, 8 и 9. Вывод о наличии сдвига по разломам 7.18 сделан на основании одного признака.

Сброс вертикальной амплитудой 0.3 м приурочен к палеосейсмогенного уступу 7 (см. рис. 5). Средняя вертикальная амплитуда перемещений в 12 канавах, вскрывших палеосейсмогенные уступы,

составляет 0.4 м (Неволин, 2021). Горизонтальная амплитуда будет того же порядка и можно приблизительно оценить скорости движений по разломам Юкки-Токсовской зоны в голоцене. Согласно мировым данным, в большинстве случаев движение по разломам происходит в виде динамического срыва при землетрясениях, реже в результате медленного скольжения (крипа). В активных областях Земли долговременные скорости смещения по разломам для голоцена и последних 50 тыс. лет характеризуются величинами 4.5 мм/год, 11 мм/год, 18 мм/год (Палеосейсмология..., 2011).

На территории щитов и платформ скорости смещения по разломам на порядок ниже. Величины перемещений по разломам Юкки-Токсовской зоны составляют до 8 м по вертикали и 50–80 м по горизонтали. Эти перемещения фиксируются в озерно-ледниковых отложениях охтинского межстадиала возрастом в 13 тыс. л. Скорости горизонтальных движений по разломам Юкки-Токсовской зоны в голоцене оцениваются в десятки доли мм/год.

Оси разломов, выраженные на местности полыми ложбинами, прослежены на полях в районе п. Порошкино и п. Кузьмоллово. Следует заметить, что поля регулярно распахиваются. Тем ни менее с течением времени можно наблюдать ложбины в неизменном виде. Это свидетельствует о современной тектонической активности разломов в виде движений в форме крипа.

Определены глубины залегания сместителей разломов в первые метры, иногда до 0.5 м. При проходке канав установлены признаки осевой зоны разломов в виде разрывов, кластических даек, складчатости. Для надежного вскрытия сместителей разломов необходимо достигать глубин более 3 м.

В работе (Никонов, 2017а) представлены опорные участки комплексного изучения голоценовых палеоземлетрясений. Опорные участки приурочены к сейсмолинеаментам. Сейсмолинеамента — это линейные зоны с признаками активных разломов и эпицентральных зон землетрясений в них (Никонов, Шварев, 2015).

Часть участков находится на севере Ленинградской области в районе озер Глубокое и Суходольское. Другие — на южном берегу Финского залива и южном Приладожье. Территория Юкки — Токсовской зоны разломов в качестве полигона комплексного изучения голоценовых палеоземлетрясений органично заполнит пустоту в районе Санкт-Петербурга (см. врезку рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены сдвиги и надвиги в приповерхностной части разреза верхнечетвертичных отложений. Разломы Юкки-Токсовской зоны определены как

левосторонние сдвиги. Сделана предварительная оценка порядка скоростей горизонтальных движений по разломам Юкки-Токсовской зоны. Выдвинуто предположение о современной тектонической активности разломов Юкки-Токсовской зоны. Предложено использовать территорию Юкки — Токсовской зоны разломов в качестве полигона комплексного изучения голоценовых палеоземлетрясений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит директора фирмы “Геофизпрогноз” А.Г. Гликмана за проведение спектрально-сейсморазведочного профилирования.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет собственных средств автора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронов П.С. Сдвиги и планетарная трещиноватость // Зап. Горн. ин-та. 1969. Т. 58. Вып. 2. С. 16–26.
- Геодинамические реконструкции. Л.: Недра. 1989. –278 с.
- Гликман А.Г. Применение спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для картирования месторождения полезных ископаемых // Регион. геол. и металлоген. 2001. № 13–14. С. 34–44.
- Диагностика и картирование чешуйчато-надвиговых структур: Метод. пособие. СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. 188 с.
- Колодяжный С.Ю., Терехов Е.Н., Балуев Е.С. Структурно-кинематические парагенезисы и динамическая модель эволюции Балтийско-Мезенской сдвиговой зоны в фанерозое, Северо-запад Восточно-Европейской платформы // Геотек. 2020. № 2. С. 48–74.
- Малясова Е.С., Усикова Т.В. Новые данные о межстадиальных отложениях территории Ленинграда. // ДАН. 1965. Т. 161. № 36. С. 1389–1392.
- Неволин С.Н. Обнаружение активных разломов земной коры в окрестностях Санкт-Петербурга по материалам космической съемки // ДАН. 2015. Т. 462. № 2. С. 190–196.
- Неволин С.Н. Выявление палеосейсмодислокаций в районе Санкт-Петербурга на основе данных дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2021. № 3. С. 45–54.
- Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинеамента и разрушительные землетрясения российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13000 лет. В сб.: Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Мат. Межд. конф. под ред. В.С. Имаева. Нерюнгри: 2015. С. 243–251.
- Никонов А.А. Структуры латерального сжатия в рыхлых отложениях на Северо-Западе Восточно-Европейской платформе и их интерпретация. В сб.: Фундаментальные проблемы квартала: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы X Всерос. совещ. по изучен. четв. периода. Под ред. Ю.А. Лаврушина. М.: ГЕОС. 2017. С. 273–276.
- Никонов А.А. Опорные участки комплексного изучения голоценовых палеоземлетрясений восточной части Фенно-

скандинавского щита — методы, способы параметризации, результаты — В сб.: *Фундаментальные проблемы четвертичных исследований и основные направления дальнейших исследований. Материалы X Всерос. совещ. по изучен. четв. периода.* — под ред. Ю.А. Лаврушина. М.: ГЕОС. 2017а. С. 276–278.

Палеосейсмология в 2-х томах. Под ред. Д.П. Мак-Калпина. Пер. с англ. М.: Научный мир. 2011. 560 с.

Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методы их изучения. М.: Наука. 1980. 144 с.

Identification of Shifts and Thrusts of the Yukka-Toksovsky Fault Zone in the Vicinity of St. Petersburg Based on Remote Sensing Data

S. N. Nevolin¹

¹ООО “EkspertGaz”, St. Petersburg, Russia

The structural features of the Yukki-Toksovskaya zone of strike-slip faults are considered. The results of the analysis of satellite images of the Yukki-Toksovskaya zone allow us to take a different look at the latest tectonics and geology of the area. The materials show a lens-shaped shear zone, which is atypical for the platform area. Inside the fault zone, bodies of giant tectonic breccia are mapped in the form of rhombohedrons, which are uncharacteristic for this area. The Yukki-Toksovo zone has been studied using structural analysis methods at the level of axial fault zones and fault planes. A description is given of the outcrops located on the fault axes or their wings. The kinematic types of faults are justified by studying the position of thrusts on their wings. A spectral seismic profile across a seismogenic scarp and one of the faults is presented. The magnitudes of vertical and horizontal movements along faults were measured based on the displacement of rocks of the marker horizon. Vertical fault planes have been studied and their genetic connection with thrust faults has been revealed as the development of a single shear zone. Zones of shear failures of several types were discovered. Shifts and thrusts have been identified in the near-surface part of the section of Upper Quaternary deposits. The faults of the Yukki-Toksovo zone are defined as left-lateral strike-slip faults. A preliminary assessment of the velocities of horizontal movements along the faults of the Yukki-Toksovo zone has been made. It is proposed to use the territory of the Yucca-Toksovo fault zone as a testing ground for studying Holocene paleoearthquakes.

Keywords: active faults, horizontal movements, satellite images, marking horizon, thrusts, axial fault zone, strike-slip faults, displacements, spectral seismic profiling

REFERENCES

- Voronov P.S. Shifts and planetary fracturing // *Zap. Gorn. in-ta*. 1969. V. 58. Vyp. 2. Pp. 16–26. (In Russian).
- Geodynamic reconstructions. L. Nedra. 1989. 278 p. (In Russian).
- Glikman A.G. Application of spectral-seismic exploration profiling (SSP) for mapping mineral deposits. // *Region. geol. and metallogen.* 2001. № 13–14. Pp. 34–44. (In Russian).
- Diagnostics and mapping of imbricated-thrust structures: Method. manual. SPb. VSEGEI, 1994. 188 p. (In Russian).
- Kolodyazhny S.Yu., Terekhov E.N., Baluev E.S. Structural and kinematic parageneses and a dynamic model of the evolution of the Baltic-Mezen shear zone in the Phanerozoic, Northwest of the East European Platform // *Geotech.* 2020. No. 2. P. 48–74. (In Russian).
- Malyasova E.S., Usikova T.V. New data on interstadial deposits of the Leningrad territory // *DAN.* 1965. Vol. 161. No. 36. P. 1389–1392. (In Russian).
- Nevolin S.N. Detection of active crustal faults in the vicinity of St. Petersburg based on space imaging // *DAN.* 2015. Vol. 462. No. 2. P. 190–196. (In Russian).
- Nevolin S.N. Identification of paleoseismodislocations in the St. Petersburg area based on remote sensing data // *Issled. Zemli iz kosmosa.* 2021. No. 3. Pp. 45–54. (In Russian).
- Nikonov A.A., Shvarev S.V. Seismolineaments and destructive earthquakes of the Russian part of the Baltic Shield: new solutions for the last 13,000 years. in the collection: *Geological and geophysical environment and various manifestations of seismicity. Mat. Int. conf. edited by VS Imaev.* Neryungri: 2015. Pp. 243–251. (In Russian).
- Nikonov A.A. Lateral compression structures in loose sediments in the Northwest of the East European Platform and their interpretation — In the collection: *Fundamental problems of the Quaternary: results of the study and main directions of further research.* — Proc. X All-Russian. conference on the study of the fourth period. Edited by Yu.A. Lavrushin. Moscow: GEOS. 2017. Pp. 273–276. (In Russian).
- Nikonov A.A. Key areas for a comprehensive study of Holocene paleoearthquakes in the eastern part of the Fennoscandian Shield — methods, parameterization methods, results — In the collection: *Fundamental problems of the Quaternary: results of the study and main directions of further research. Proc. of the 10th All-Russian conference on the study of the fourth period.* Edited by Yu. A. Lavrushin. Moscow: GEOS. 2017a. Pp. 276–278. (In Russian).
- Paleoseismology in 2 volumes. Edited by D.P. McCalpin. Translated from English. Moscow: Scientific World. 2011. 560 p. (In Russian).
- Utkin V.P. Shear dislocations and methods of their study. Moscow: Nauka. 1980. 144 p. (In Russian).