ГЕОМОРФОЛОГИЯ, 2021, том 52, № 4, с. 97–124

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.432+551.24(470.26)

МОРФОТЕКТОНИКА, ДЕФОРМАЦИИ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ЭТАПЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ САМБИЙСКОГО (КАЛИНИНГРАДСКОГО) ПОЛУОСТРОВА В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

© 2021 г. С. В. Шварев[1,2,*,]**

[1] Институт географии РАН, Москва, Россия

[2] Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

**E-mail: shvarev@igras.ru*

***E-mail: shvarev@ifz.ru*

Поступила в редакцию 02.02.2021 г.
После доработки 29.03.2021 г.
Принята к публикации 09.04.2021 г.

На территории Самбийского (Калининградского) п-ова проведены морфотектонические исследования с использованием дистанционной информации (цифровых моделей рельефа и космических снимков) и данных геологических съемок, в результате которых уточнена новейшая блоково-разломная структура, проявляющаяся в рельефе, и закономерностях развития четвертичных отложений, а также изучены и систематизированы тектонические деформации в рыхлых отложениях, экспонированных в береговых обрывах, пространственно и кинематически сопряженные с активизированными элементами морфоструктуры. В морфоструктуре полуострова установлено сопряжение разнонаправленных систем морфолинеаментов, определяющих “клавишную” тектонику изменением роли в разных частях полуострова: а) на флангах преобладают субширотная и меридиональная системы, связанные с формированием Готландско-Балтийской системы грабенов; б) в осевой части полуострова – северо-западная система, контролирующая ориентировку основного голоценового поднятия; в) в его северо-восточной части, ССЗ-субмеридиональная, определяющая развитие Куршского залива; г) в юго-западной части – северо-восточная, задающая генеральный план Вислинской депрессии. В береговых обрывах на западном и северном берегах полуострова изучены деформации, связанные с тектонической активизацией разного возраста: а) разрывные нарушения, в том числе сбросы и взбросы с амплитудой от сантиметров до нескольких метров; б) складчатые нарушения – от микроскладок до пологих синклиналей с амплитудой до метров и шириной до первых сотен метров и сжатых приразломных антиклиналей; в) разнообразные формы разжижения, в том числе деформационные горизонты мощностью от 10 см до первых метров с пламеобразными текстурами, гомогенизированными слоистыми отложениями и внутрислойной фрагментацией, связанные с землетрясениями разной силы. Установленные характер, последовательность и взаимоотношения деформаций отражают 5 этапов тектонической активизации, соотнесенных со стратиграфической позицией деформированных отложений (по данным геологических съемок): а) московский позднеледниковый (слабоактивный); б) послемосковский (максимально активный); в) позднемикулинский-предвалдайский (активный); г) позднеледниковый-раннеголоценовый (слабоактивный); д) позднеголоценовый (слабоактивный). Наиболее интенсивные тектонические движения относятся к послемосковскому этапу, когда амплитуды вертикальных смещений по разрывам достигали первых десятков метров, а мощность горизонтов разжижения превышала 1 м. Позднее интенсивность снижалась, отражаясь в амплитудах вертикальных смещений по разрывам от нескольких десятков сантиметров до первых дециметров, сопровождаемых разжижением (предвалдайский этап) и до смещений в первые сантиметры (голоцен).

Ключевые слова: Южная Прибалтика, активизированная блоковая структура, четвертичные отложения, разрывные и складчатые деформации, разжижение

DOI: 10.31857/S0435428121040106

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Территория исследований находится в южной части побережья Балтийского моря (рис. 1, а). В современном рельефе Самбийский (Калининградский) п-ов представляет собой субширотное поднятие, вдающееся в акваторию на несколько десятков километров в виде прямоугольного вы-

ступа, ограниченного с севера и запада береговыми уступами высотой максимально до 40–45 м на северо-западе, снижающимися вдоль северного и западного побережий в восточном и южном направлениях до первых метров, а с юга – низменной заболоченной долиной р. Преголя (рис. 1, б).

Расположение в пределах стабильной континентальной территории традиционно предполагает отсутствие здесь в новейшее время значимых тектонических движений и дифференцированных смещений. Однако землетрясение 21 сентября 2004 г., интенсивность которого по макросейсмическим данным достигала 7 баллов [1], продемонстрировало современную тектоническую активность этой территории и стимулировало исследования в этом направлении. В том числе были проведены сейсмотектонические исследования, в результате которых обнаружены дислокации в рельефе и поверхностных отложениях (песчаные диапиры, кластические дайки, блоковые оползни), свидетельствующие о землетрясениях, происходивших здесь в позднеледниковье и голоцене, интенсивность которых достигала 8 баллов [2]. Данные о сильных палеоземлетрясениях перекликаются с историческими свидетельствами, согласно которым на территории Самбийского п-ова и близлежащих районов отмечались сейсмические сотрясения интенсивностью до 8 баллов и магнитудой до 5 [3, 4]. На основании натурных наблюдений [5] были выявлены признаки потенциально активных разломов, к крупнейшему и наиболее значимому из которых отнесена флекурно-разрывная зона северо-западного простирания, секущая юго-западную часть полуострова от его западного побережья до г. Калининграда. Менее значимые зоны расположены на всей территории полуострова и их разнообразные простирания и формы не позволяют с уверенностью судить о систематической новейшей блоковой структуре. Принципиально иная картина представляется из анализа конфигурации изолиний поверхности морских нижнеолигоценовых отложений рупелия (33.9–27.82 млн л.н.), четко оконтуривающих с трех сторон субширотный выступ полуострова градиентными зонами с перепадом глубин 100–150 м. Поскольку деформация этой поверхности служит базой для расчета новейших движений [6], то вполне справедливо отнесение фланговых деформационных зон – двух субширотных (к северу и югу от полуострова) и субмеридиональной (к западу) – к основным новейшим структурам [3]. Подтверждает такую трактовку и приуроченность к западной и северной зонам эпицентров двух последовательных сейсмических толчков 2004 г. с соответствующими меридиональной и широтной проекциями очагов [7, 8]. И та, и другая точки зрения имеют свое фактическое обоснование, расходясь в интерпретации данных. Поэтому первой задачей настоящего исследования является установление непротиворечивой картины новейшего блокового строения территории на основе морфотектонического подхода с использованием различных критериев.

На территории исследований ранее, начиная с работ немецких геологов в начале XX века, обнаружены разнообразные и разномасштабные деформации четвертичных отложений и приповерхностных дочетвертичных образований неогенового и палеогенового возраста. Эти деформации включают разрывы с вертикальными смещениями, горстообразные поднятия неогеновых и палеогеновых пород, ограниченные разрывами и флексурами, пологие антиклинали и синклинали, осложненные большим количеством мелких разрывных нарушений с амплитудой до 1 м, диапировые складки разнообразных масштабов – от нескольких см до 10–15 м и в самых разных отложениях, мелкая гофрировка слоев и лежачие складки [9–11]. Вкупе с многочисленными отторженцами коренных пород в четвертичной толще, фиксируемыми по материалам бурения [10, 12, 13], возникает картина значительной постседиментационной дислоцированности поверхностных отложений. В последние годы обнаружены и следы разжижения в виде кластических даек, диапиров, как непосредственно на Самбийском п-ове [2, 5], так и на прилегающей территории Калининградской области [14] в водно-ледниковых отложениях последнего оледенения и аллювиальных голоценовых песках. Инструментально датированный возраст деформированных слоев отложений свидетельствует о сейсмических событиях, произошедших позже 12.1–12.5 калиброванных тысяч лет назад (кал. тыс. л.н.) [2] и 8.1 тысяч лет назад (тыс. л.н.) [14]. Порог интенсивности землетрясений, вызывающих разжижение, оценивается в 7 баллов [15], а возможный диапазон магнитуды голоценового события от 5.5 до 6.5 [14].

Происхождение дислокаций в большинстве случаев приписывается действию ледников, хотя и отмечается несомненная пространственная связь с тектоническими структурами, а отдельные исследователи предполагают и продолжающийся в голоцене рост диапировых складок [2]. В любом случае, относятся ли обнаруженные структуры к гляцио- или собственно тектоническим, остаются не вполне ясными ни их пространственно-кинематические отношения, ни их приуроченность к определенным стратиграфическим горизонтам и, соответственно, возраст. Такая неопределенность диктует вторую задачу настоящего исследования – систематическое изучение деформаций и определение генезиса, их стратиграфического положения, кинематических параметров, этапов активности в сопоставлении с морфотектоническими чертами территории.

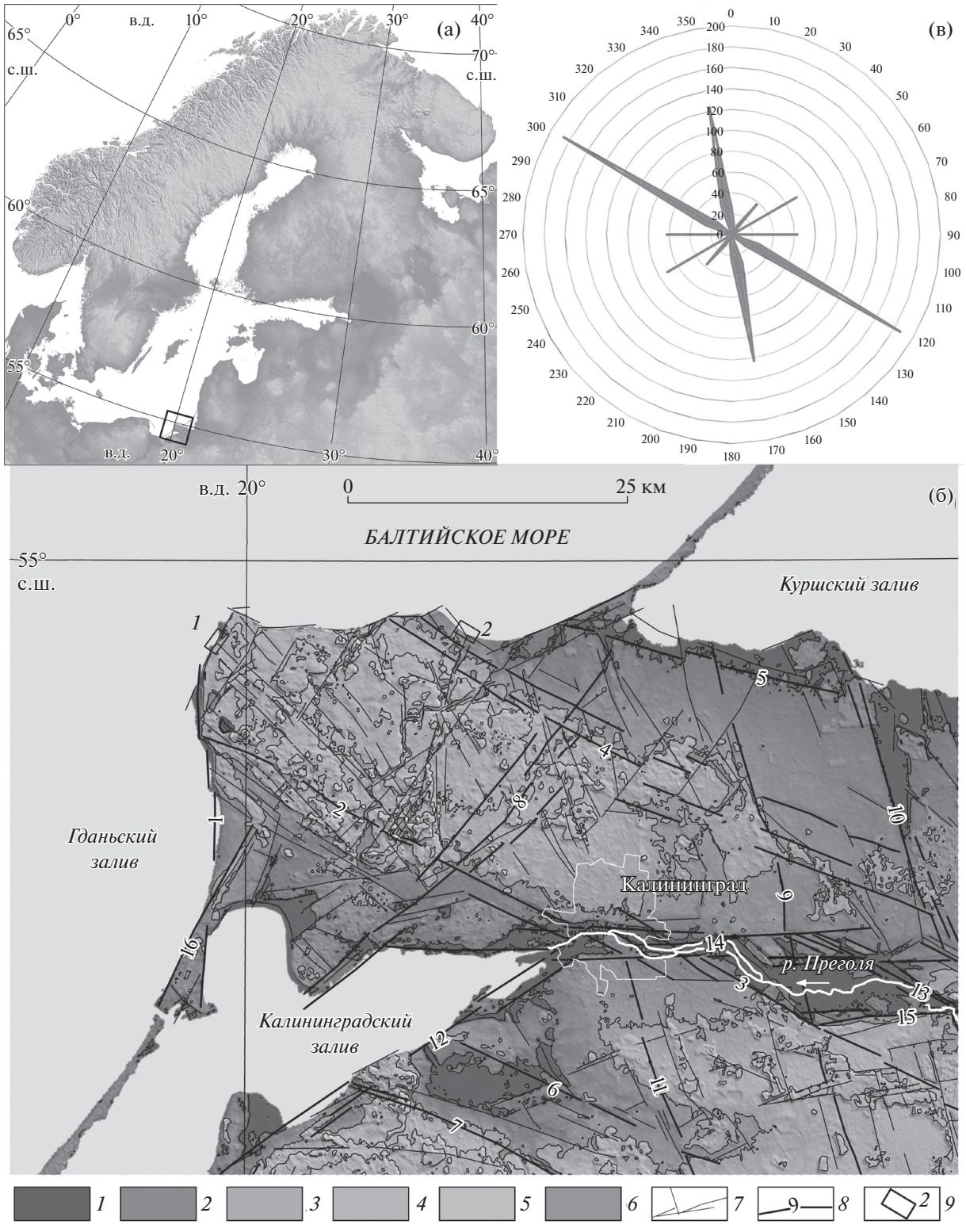

Рис. 1. Положение изучаемой площади (а), цифровая модель рельефа (на основе данных SRTM) и основные морфолинеаменты (б) и роза-диаграмма направлений морфолинеаментов (в).

Высота современного рельефа, м: 1 – 0–20, *2* – 20–40, *3* – 40–60, *4* – 60–80, *5* – 80–100, *6* – >100; *7* – элементарные морфолинеаменты; *8* – основные морфолинеаментные зоны (ссылки на номера в тексте); *9* – ключевые участки полевых исследований.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В СОПОСТАВЛЕНИИ С НОВЕЙШЕЙ БЛОКОВО-РАЗЛОМНОЙ СТРУКТУРОЙ

Тектоника. Район расположен в пределах западной окраины Русской плиты и ее унаследованно прогибающихся элементов – Балтийской синеклизы, Литовско-Латвийской впадины и Польско-Литовской синеклизы, сформировавшихся на каледонском, герцинском и альпийском этапах соответственно [13]. Поверхность кристаллического фундамента в пределах полуострова опускается от –2100 до –2800 м, а платформенный чехол представлен мощной толщей осадочных образований почти всех систем за исключением вендской и каменноугольной. В оценке степени проявления разрывной тектоники – как древней, так и новейшей – отсутствует общее мнение. Это касается как унаследованности разломообразования на различных этапах, соответствия их пространственного рисунка, так и собственно их значимости в геологическом строении. Это отчетливо проявляется при сравнении материалов геологических съемок разных лет [12, 16] и результатов их обобщения [13, 17], показывающих существенные расхождения и противоречивость даже в рамках одного исследования. Так, с одной стороны, высказывается мнение о том, что “отложения как верхнепалеозойского, так и мезо-кайнозойского частей чехла не подвержены сколько-нибудь значительным нарушениям, если не считать возможного присутствия зон трещиноватости, влияния соляной тектоники и других наложенных процессов” [13, с. 93]. А с другой: “тектонические разрывные движения происходят и в настоящее время...” [13, с. 95], или: “формирование этих (Куршской и Балтийской – ред.) кос связано с линейными поднятиями по разрывным нарушениям в поздненеоплейстоценовое время (20.0–25.0 тыс. л.н.)” [13, с. 96]. Сопоставление конкретных и, в особенности, детальных схем разрывной тектоники фундамента или чехла в такой ситуации затруднительно. Можно отметить только некоторые общие закономерности, среди которых: а) наличие системы СЗ простирания в фундаменте, фиксируемой линейными аномалиями гравитационного и магнитного полей; б) наличие субширотной системы нарушений фундамента, фиксируемой рельефом его поверхности и данными сейсморазведки; в том числе, крупнейшие зоны – вдоль долины р. Преголя (южное ограничение Самбийского п-ова) и вдоль северного побережья полуострова (“Самбийская зона”); в) наличие субмеридиональных разломов в фундаменте, в том числе к северу от северного побережья полуострова и вдоль его западного обрамления [12, 13]. Активность разломов и дифференцированные блоковые смещения в мезозое-кайнозое фрагментарно отмечалась по результатам детальных буровых работ, обнаруживавших зеркала скольжения, пространственную мозаичность меловых отложений с выпадением отдельных ярусов на ограниченной площади, соответствие меловых поднятий и моренных гряд и др. [16]. Исследования последних лет, в особенности связанные с геофизическими работами высокого разрешения в пределах акваторий, окружающих полуостров, позволили обнаружить малоамплитудные новейшие смещения. Разломы, расположенные в непосредственной близости от западного побережья полуострова, рассекают всю толщу платформенного чехла, смещая кровлю фундамента с амплитудой более 100 м, подошву меловых отложений на несколько десятков метров и прослеживающиеся в палеогеновых отложениях с ощутимой (до первого десятка м) амплитудой [17]. Эти данные говорят об унаследованных вертикальных смещениях, проявлявшихся вплоть до позднего кайнозоя. С такой позицией вполне согласуется оценка Самбийского п-ова как новейшей блоковой структуры, обрамленной с севера, запада и востока новейшими разломами, сопряженными с приповерхностными флексурами [3], входящими в систему Восточно-Балтийской (Готландско-Балтийской) системы грабенов [18] с максимальными погружениями в центральной части бассейна до 250 м [19]. Амплитуды пост-олигоценовых смещений отражают кумулятивный эффект новейших движений, которые, судя по фиксируемой инверсии тектонического режима, маркируемого появлением лихвинских (гольштейнских) морских отложений на смежных с изучаемой территориях Балтийской синеклизы, происходили, в основном, с этого рубежа, когда и началось формирование системы грабенов [20]. Формирование Самбийского п-ова как положительной структуры, по-видимому, относится к этому времени. Согласно палеогеографическим реконструкциям для раннего плейстоцена, исследуемая территория находилась в зоне меридионального прогиба с бассейновым осадконакоплением, а к лихвинскому времени здесь уже существовало субширотное поднятие [21]. Эту активизацию можно отнести к последней стадии валахско-пасаденской фазы неотектонической активизации, проявившейся в последние 0.5 млн. лет [22]. Исходя из этих возрастных оценок, скорости вертикальных движений на флангах Самбийского п-ова могут достигать средних величин 0.2–0.3 мм/год или 20–30 см за 1 тыс. лет. Величины такого порядка, локализованные в межблоковых зонах и дискретизированные во времени, вполне могут соответствовать сильным землетрясениям, сопровождающим вертикальные смещения, и оказывающим значительное влияние на характер седиментации и постседиментационные дефор-

мации четвертичных отложений, начиная со среднего плейстоцена.

В то же время неоднократное распространение ледников на этой территории заставляет в качестве возможного триггера вертикальных движений рассматривать изостатические колебания земной коры. Вероятно, что этот механизм отчасти работал в периоды активного наступания или таяния ледников, однако, он носит вторичный характер. Дополнительным подтверждением приоритета собственно тектонических напряжений и механизмов смещений являются сведения о сдвиговой составляющей новейших движений по разломам. Амплитуды позднеплиоцен-голоценовых сдвигов по некоторым оценкам достигают 1.6–1.9 км [2]. Вне зависимости от величин возможных смещений, достоверная сдвиговая кинематика инструментально [23] и макросейсмически [7] определена в качестве механизмов очагов Калининградского землетрясения.

Четвертичные отложения и дочетвертичная поверхность. Согласно данным геологических съемок, четвертичные отложения Самбийского (Калининградского) п-ова включают все три звена неоплейстоцена и характеризуются комплексами ледниковых образований, чередующимися с озерными и морскими отложениями. Авторы как последних работ [12, 13], так и более ранних [16, 24] согласны в том, что на поверхности наблюдаются отложения не старше последнего оледенения, образующие вполне традиционную пространственную структуру с комплексом основной и конечной морены осташковского оледенения, занимающих на полуострове осевую субширотную и наиболее возвышенную позицию, и водно-ледниковых, аллювиальных и морских отложений, распространенных преимущественно по северному и южному обрамлению.

В то же время интерпретация разреза, в том числе количество и возраст самостоятельных моренных горизонтов и разделяющих их водно-ледниковых осадков (число горизонтов варьирует в разных работах от 4 до 8), остается дискуссионной. Интересно отметить, что максимальная дифференциация (6–8 морен) свойственна обобщающим материалам [13, 24], в то время как в съемочных – ранне- и среднечетвертичные ледниковые горизонты часто объединяются по звеньям (урьинско-окский, днепровско-московский) [12, 16]. Хотя во всех работах четко различаются стадии последнего оледенения (калининский и осташковский горизонты), при изучении разрезов обращает на себя внимание фрагментарность калининского горизонта, не позволяющая признать его устойчивым стратиграфическим маркером [12], а с другой стороны, очевидна и неопределенность стратиграфической позиции этого горизонта, поскольку при интерпретации скважин он оказывается в некоторых случаях одновременно подстилаем и перекрываем микулинскими озерными образованиями [13]. В свою очередь, характерными особенностями микулинских отложений служат локальные сопряженные колебания их кровли и подошвы, достигающие 20–30 м [13], а также ступенчатость, при которой подошва и кровля от отрицательных значений –50– –40 м в пределах акватории Балтийского моря поднимается до +20–+30 м на Самбийском п-ове при достаточно выдержанной мощности горизонта ≈10–15 м [12].

Дочетвертичный рельеф весьма неровный с высотой поверхности в среднем от –60 до +20 м [11]. Основные характерные элементы, включающие возвышенные ступени и глубокие узкие депрессии, были выявлены более 100 лет назад [25, 26]. Неровности коренного субстрата традиционно связываются с неравномерной денудацией [12, 13, 16], среди агентов которой, кроме экзарации и гляциотектоники, – талые ледниковые воды и речная эрозия; их следы в виде ложбин стока и фрагментов речных долин широко развиты на полуострове. Неровность ложа четвертичного чехла сопровождается крайней неравномерностью мощности плейстоценовых отложений, варьирующей в диапазоне от 4.5 м до 161 м [16]. Максимальные и минимальные отметки сосредоточены на крайнем западе, достигая +49 и –142 м соответственно [12, 27]. При этом вершинная поверхность дочетвертичного рельефа в пределах полуострова в целом закономерно снижается с запада на восток, погружаясь до 20 м ниже уровня моря. На этом фоне развиты “денудационные останцы”и “палеоврезы” с максимальными и минимальными отметками. Происхождение и тех, и других дискуссионно и противоречит условиям избирательной денудации: останцы обычно сложены песчано-глинистыми палеогеновыми и неогеновыми образованиями, а депрессии выработаны в меловых компетентных породах [27]. Анализ тех же данных [27] показывает, что “палеоврезы” представляют собой узкие и короткие депрессии, достигающие глубин –80 – –100 м от у. м. Среднее отношение длины к ширине ложбин ≈2.8, при этом протяженность колеблется в интервале 1.5–15 км (в среднем 4.9 км), а ширина от 0.8 до 5 км (в среднем 1.8 км). При детальном изучении обнаруживаются такие их свойства, как пространственное пересечение узких V-образных понижений, объединяемых одной депрессией, и разделение депрессий по простиранию на локальные впадины, отделенные перемычками высотой 0.1–0.25 м от общей глубины депрессии [27]. “Палеоврезы” прослеживаются и в пределах акватории Балтийского моря [21]. Глубокие короткие депрессии объединяются широкими палеоложбинами в сеть с хорошо выраженной регулярной структурой с преобладающими ССВ и

подчиненными субширотными элементами [13]. Для этой сети ложбин характерно значительное количество отторженцев коренных пород, что является основанием для рассмотрения формирования всей этой системы под воздействием гляциотектоники [28]. С другой стороны, отмечаются такие черты “палеоврезов”, как их совпадение с разрывными нарушениями, в некоторых случаях с установленной амплитудой смещения крыльев (по коренным породам) до 50 м, ступенчатость их склонов, повышенная минерализация и гидрохимические аномалии подземных вод, гидротермальная проработка перекрывающих и заполняющих депрессии отложений [12, 29, 30].

Перечисленные особенности тектонического строения, рельефа дочетвертичной поверхности, строения четвертичной толщи обнаруживают явные признаки активизированного блокового строения территории и дифференцированных вертикальных и горизонтальных смещений, влиявших на формирование рельефа, рыхлых отложений и коренных пород и проявляющихся до настоящего времени. Эти черты, таким образом, служат основанием для рассмотрения собственно тектонической природы деформаций четвертичных отложений и установления их соотношений с новейшим структурным планом и выявления на их основе возраста основных этапов новейшей активизации.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

В качестве основы для разработки схемы активизированной блоково-разломной структуры использованы материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающие космические снимки среднего разрешения (Landsat-ETM+) [31] и цифровые модели рельефа ASTER GDEM [32], SRTM [33]. С их использованием осуществлено интерактивное структурно-геоморфологическое дешифрирование, в ходе которого выделены элементарные линеаменты при максимально возможном увеличении изображений для доступного пространственного разрешения используемых материалов ДЗЗ (30–90 м), которые объединяются в зоны при последовательном уменьшении масштаба. Степень влияния линеаментов на формирование рельефа, покрова четвертичных отложений и дочетвертичного субстрата, а также унаследованность тектонической структуре на разных этапах активизации выясняется путем сопоставления иерархической линеаментной структуры и соответствующих геолого-геоморфологических материалов, созданных путем обобщения материалов независимых источников.

Систематическое изучение деформаций производится с использованием геоморфологического, литологического, стратиграфического и структурно-тектонического методов анализа. При этом определяется происхождение деформационных структур с использованием последовательного анализа комплекса признаков и рассмотрения альтернативных вариантов. Осуществляются замеры структурно-кинематических параметров, и устанавливается связь деформаций в четвертичных отложениях с блоково-разрывной структурой на основе систематических соответствий параметров. Этапы тектонической активизации, при которых возникли соответствующие деформации, устанавливаются путем изучения приуроченности последних к определенным стратиграфическим горизонтам, по наличию несогласий, перекрывающих деформации.

РЕЗУЛЬТАТЫ. I. НОВЕЙШАЯ БЛОКОВО-РАЗЛОМНАЯ СТРУКТУРА

При анализе космических снимков и ЦМР на Самбийском п-ове и прилегающей территории выявляется сеть морфолинеаментов, в которой усматриваются пять основных систем (рис. 1, б), контролирующих пространственные закономерности рельефа территории – контуры береговой линии, уступы террас, простирание долин, ориентировку котловин и пр. (рис. 1, в). Преобладающими направлениями простирания элементов линеаментной структуры региона являются северо-западное (300°) и ССЗ-субмеридиональное (345°–5°), второстепенными – два северо-восточных (30° и 60°) и субширотное (90°). При генерализации элементарных морфолинеаментов выделено 18 основных зон, проявляющихся на разных уровнях геолого-геоморфологического строения территории (рис. 2–5) и формирующих иерархическую блоковую структуру (рис. 6).

Среди наиболее ярко выраженных морфолинеаментных зон: ограничивающие блок Самбийского п-ова – “Западная” и “Прегольская”, которые можно отнести к “надпорядковой” в схеме блоковой иерархии (рис. 6). “Западная”, зона № 1, контролирует западное субмеридиональное ограничение блока Самбийского п-ова, на севере (1.3) выражена высокими (до 40 м) абразионными уступами, к югу (1.2) снижающимися до первых метров с переходом к контролю зоной аккумулятивных форм и изменением ориентировки уступов на противоположное при пересечении Балтийской косы (1.1) в соответствии с ограничением Приморской бухты. Зона отвечает падению кровли дочетвертичных пород, смене генетических групп четвертичных отложений и субмеридиональному направлению крупного разлома в фундаменте, прослеженного в пределах акватории [16], а также новейшей (после-позднеолигоценовой) флексуре [2]. “Прегольская”, зона № 14, контролирует северное побережье Калининградского залива (14.1), приустьевую часть русла р. Преголя (14.2) и северное ограничение долины

Рис. 2. Сопоставление морфолинеаментов и поверхности дочетвертичного рельефа [27].
Высота дочетвертичной поверхности, м: 1 – >(+40), *2* – (+20) – (+40), *3* – 0–(+20), *4* – 0–(–20), *5* – (–20)–(–40), *6* – (–40)–(–60), *7* – (–60)–(–80), *8* – (–80)–(–100), *9* – <(–100).

реки выше по течению (14.3 и 14.4). Особенно ярко зона выражена в ограничении болотных фаций голоценовых отложений, и, в целом, зона соответствует Прегольскому разлому [34], проявляющемуся в фундаменте и осадочном чехле, и новейшей флексуре [2].

Внутреннее строение Самбийского блока, прежде всего, определяется зонами СЗ-простирания – “Янтарной” (№ 2) и “Пионерской” (№ 4), обрамляющих с юго-запада и северо-востока наиболее возвышенную часть полуострова от низменных ступеней, обращенных к Калининградскому и Куршскому заливам соответственно. Аналогично эти зоны проявляются в поверхности дочетвертичных пород (рис. 3), отчасти в четвертичных образованиях (рис. 4), отделяя поле с развитием позднеледниковых бассейновых образований от материковой суши как на юго-западе, так и, более явно, – на северо-востоке. Пионерская зона отделяет и поле развития меловых пород от палеогеновых (рис. 3). Ведущая роль северо-западных зон четко определяется их распространенностью (рис. 1, б), а также фланговым положением в структуре голоценового Самбийского вала [24] (рис. 5). Важную роль играют и другие северо-западные зоны. Расположенная к северу Куршская зона (№ 5) определяет ориентировку береговой зоны одноименного залива и близка к простиранию новейшей флексуры, обрамляющей Самбийский п-ов с севера [2] (рис. 5). Расположенные южнее “Прохладная” (№ 6) и “Майская” (№ 7) контролируют простирание де-

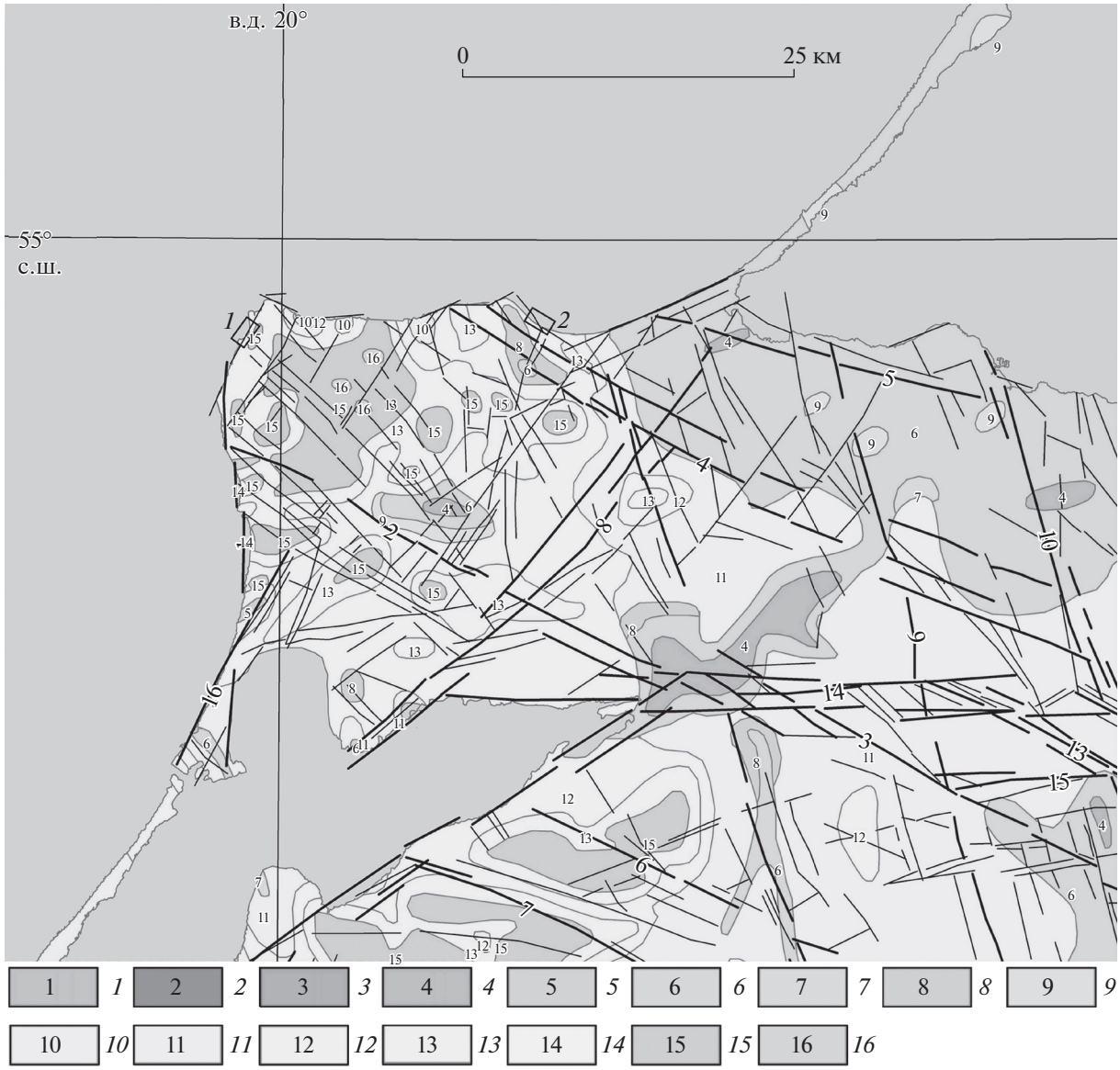

Рис. 3. Сопоставление морфолинеаментов и дочетвертичных образований [13].

Юрская система: 1 – нижний-верхний отделы нерасчлененные; *меловая система, нижний отдел: 2* – есяская свита (пески, алевриты, глины); *верхний отдел: 3* – чкаловская и побединская свиты (пески, алевролиты), *4* – демидовская и лозняковская свиты (мергели с прослоями песков, песчаников, алевритов, глин), *5* – высоковская, дубровская, демидовская, лозняковская свиты (мергели с прослоями глин, алевролитов, песчаников), *6* – калиновская свита (мергели с прослоями алевролитов, песчаников и опок), *7* – воронцовская и спасская свиты (алевриты, карбонатные алевриты и мергели); *палеогеновая система, палеоцен: 8* – чистоозерская свита (мергели глинистые), *9* – любавская свита (пески и алевриты); *эоцен: 10* – самбийская свита (глины, алевролиты, прослои песков); *палеоцен и эоцен нерасчлененные: 11* – любавская, заостровская и самбийская свиты (пески, глины, алевриты и алевролиты); *эоцен: 12* – алкская свита (пески, алевролиты), *13* – прусская свита (пески, алевриты); *олигоцен: 14* – пальвеская (пески с обломками древесины); *неогеновая система, миоцен: 15* – грачевская свита (пески с растительными остатками, алевриты, прослойки глин, пласты бурых углей); *плиоцен: 16* – ильичевская свита (пески углистые, глины слоистые с обуглившимися растительными остатками.

прессии и уступа поднятия (рис. 1, в), отчасти прослеживаются в четвертичных фациях и дочетвертичной поверхности, но вполне определенно выражены в ориентировке контуров дочетвертичных пород и совпадают с простиранием голоценовых структур – склона Мамонского поднятия на крайнем юге (рис. 5) и осевой зоны, граничащей с Мамонским поднятием с севера депрессии. Вторыми по значению являются зоны ССЗ-субмеридионального простирания № 9 (Морянская), № 10 (Дунайская), № 11 (Дивная) и № 19 (Нахимовская). Первые две зоны ответственны за

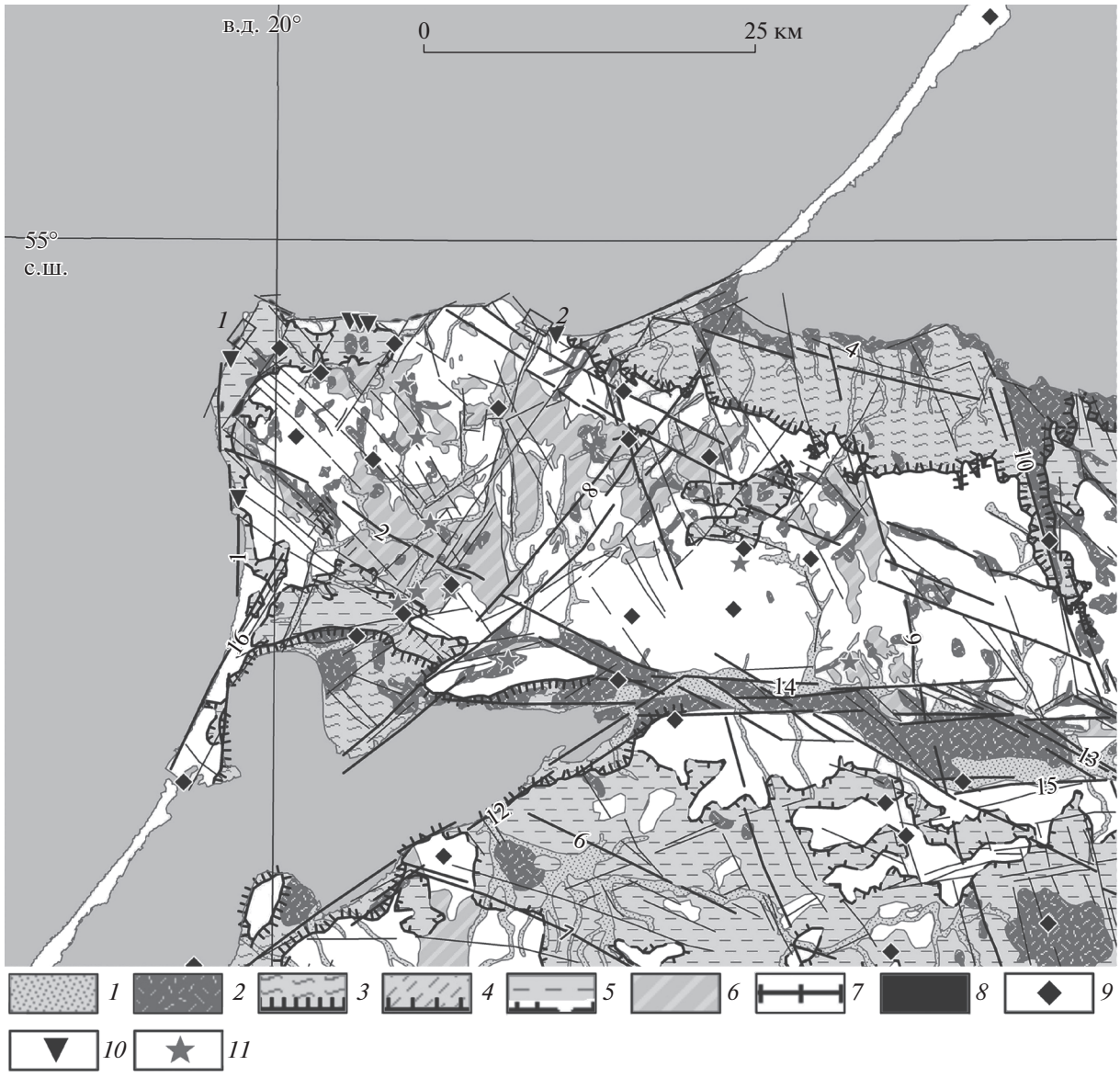

Рис. 4. Сопоставление морфолинеаментов и четвертичных отложений (частично).

Голоценовые отложения. *Средне-верхнеголоценовые: 1* – аллювиальные, *2* – болотные, *3* – морские, верхняя граница [16]; *нижнеголоценовые: 4* – иольдиевые морские и анциловые озерные нерасчлененные, верхняя граница [12]; *неоплейстоцен, верхнее звено, осташковский горизонт: 5* – озерно-ледниковые отложения Балтийского ледникового озера [16]; *6* – краевые ледниковые образования; *7* – озовые гряды; *8* – выступы на поверхность дочетвертичных образований [16]; *нарушения в четвертичных отложениях: 9* – отторженцы (в скважинах) [12]; *10* – гляциодислокации (в обнажениях) [11]; *11* – кластические дайки, следы разжижения в постледниковых отложениях [2].

ступенчатость с опусканием в восточном направлении (рис. 2), аналогично проявляющейся в четвертичном покрове (рис. 4). Зоны читаются и в распространении дочетвертичного субстрата, в особенности Дунайская – на севере являясь границей меловых и палеогеновых пород, а на юге вытягиваясь по линейному врезу в меловых образованиях (рис. 3). Третьими по значению служат зоны СВ-простирания – Комсомольская (№ 8) и Прибрежная (№ 12). К югу от Самбийского п-ова они определяют границы Калининградского залива, а к северу – отсекают ступени поперек осевой возвышенности полуострова. Зоны прослеживаются в строении дочетвертичной поверхности (рис. 2), четвертичных отложений (рис. 3), дочетвертичных пород (рис. 3) и голоценовых движениях, совпадая со структурой Вислинской депрессии [24].

Следует отметить, что совпадение морфолинеаментов с отдельными литологическими и стратиграфическими границами – косвенный признак тектонической активности. Однако рассмат-

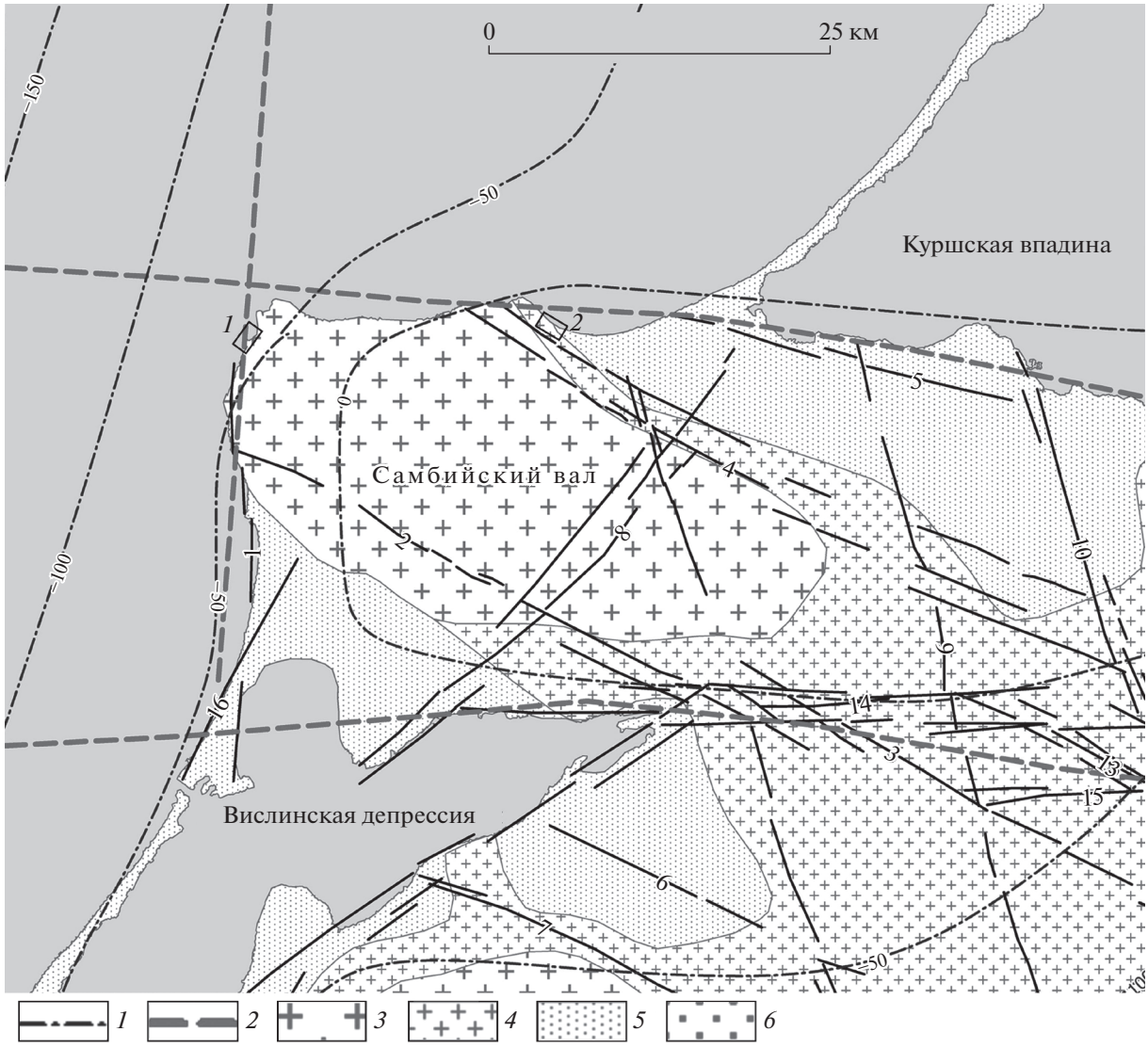

Рис. 5. Сопоставление морфолинеаментов и проявлений новейшей тектоники.

1 – изолинии вертикальных движений с олигоцена (по деформации поверхности отложений рюпелия) [6]; *2* – погребенные, предположительно активизированные разрывные структуры [3]; *зоны голоценовых движений* [11]: *3* – интенсивных поднятий, *4* – слабых поднятий, 5 – слабых опусканий, *6* – интенсивных опусканий.

ривая блоковую структуру территории в целом, выраженность морфолинеаментов на разных стратиграфических уровнях, пространственное сопряжение морфолинеаментов, можно говорить о суперпозиции нескольких систем тектонических нарушений, которые выражены в структуре дочетвертичных пород, рельефе их поверхности, распределении фаций четвертичных отложений, т.е. развиваются в новейшее время, в значительной степени наследуя структуры фундамента и чехла. Сопряжение разнонаправленных систем определяет “клавишную” тектонику полуострова, для которой характерно изменение кинематики вертикальных смещений по простиранию морфолинеаментных зон на противоположные при их взаимном пересечении и изменение роли морфолинеаментных систем в разных частях полуострова: а) на флангах преобладают субширотная и меридиональная системы, отражающие наиболее общие закономерности неотектонических движений и связанные с формированием Готландско-Балтийской системы грабенов; б) в осевой части полуострова – северо-западная система, контролирующая основное голоценовое поднятие; в) в его северо-восточной части, тяготеющей к Куршскому заливу – ССЗ-субмеридиональная, играющая ключевую роль в восточном ограничении одноименной впадины уже за пределами исследуемой территории; г) в юго-западной части – северо-восточная, задающая генеральный план Вислинской депрессии.

Рис. 6. Иерархическая блоковая делимость, блокоразделы: *1* – 1 порядка, *2* – 2 порядка, *3* – 3–4 порядков.

II. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ЭТАПЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

Для выявления систематического характера и тектонической природы деформаций рыхлых четвертичных отложений были выбраны два ключевых участка с известными проявлениями подвижек [2, 10] на западном и северном побережьях Самбийского п-ова (рис. 7, 8).

На первом ключевом участке (рис. 7, а) в береговом уступе высотой от 30–35 м до 40–44 м вскрывается толща, претерпевающая значительные изменения на ограниченном протяжении вдоль уступа (рис. 7, в).

На южной периферии участка (рис. 7, в, 8) разрез включает 3 основные толщи.

От уреза до ≈30 м субгоризонтально залегают параллельно-слоистые пески, супеси с характерными прослоями органики (лигнитов, бурых углей) неогенового возраста (толща А); Толща неогеновых пород в срезе на абразионном уступе имеет форму узкого выступа с шириной по основанию 100–120 м, к кровле асимметрично сужающегося до 20–25 м (рис. 7, в).

На южном замыкании выступ субвертикально контактирует с тяжелыми суглинками темно-серого цвета с обломочным материалом (“нижняя морена” – толща Б) (рис. 8), а на северном – полого-ступенчато погружается под урез моря, перекрываясь тем же суглинком. К северу от неогенового выступа от уреза с повышением подошвы до 10–15 м над урезом моря до ≈30 м и к югу от выступа от уреза до ≈30 м залегает толща Б.

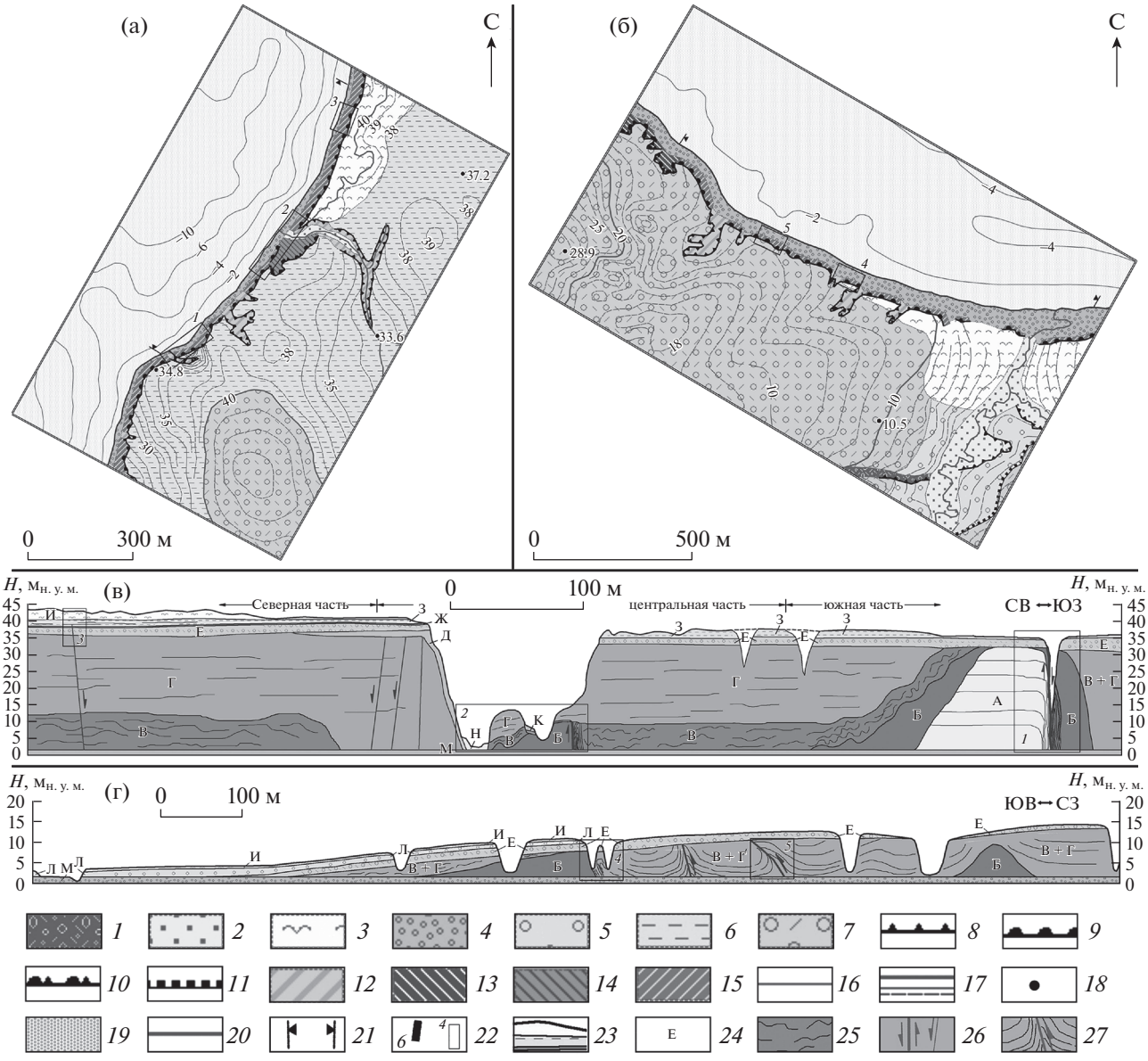

Рис. 7. Ключевые участки.

(а–б) – геолого-геоморфологические схемы (с использованием топографической основы и геологических карт 1:25000 [9] и карт четвертичных отложений 1:200000 [12, 16]: (а) – участок 1, (б) – участок 2; (в–г) – обнажения вдоль берегового уступа: (в) – участок 1, (г) – участок 2.

Современные отложения: 1 – пролювиальные, *2* – аллювиальные, *3* – эоловые, *4* – морские; *голоценовые бассейновые отложения: 5* – морские (предположительно литориновой трансгрессии); *неоплейстоцен, верхнее звено, осташковский горизонт: 6* – озерно-ледниковые Балтийского ледникового озера, *7* – ледниковые; *бровки уступов: 8* – эрозионных, *9* – абразионных, *10* – эрозионно-оползневых, *11* – эрозионно-абразионных древних; *склоны: 12* – эрозионные, *13* – абразионно-оползневые, *14* – эрозионно-оползневые, *15* – абразионные; *элементы гидро- и топографии: 16* – изобаты, *17* – изогипсы, *18* – абсолютные высоты, *19* – Балтийское море, *20* – водотоки; *прочие обозначения: 21* – границы обнажений береговых уступов, *22* – ключевые обнажения с деформациями; *элементы разрезов вдоль береговых уступов: 23* – основные толщи и их границы, *24* – индексы толщ, *25* – слоистость, *26* – разрывные нарушения, *27* – складки, в том числе приразломные.

В интервале 30–35 м и неогеновую толщу, и облекающие ее четвертичные суглинки несогласно перекрывает горизонтальный прослой буро-охристого суглинка с супесью и большим количеством обломочного материала (дресвы, щебня, гальки, редко валунов) (“верхняя морена”) – толща Е (рис. 8).

Характер северного контакта неогеновой и четвертичной толщи скрыт под склоновыми отложениями, а южный хорошо экспонирован в аб-

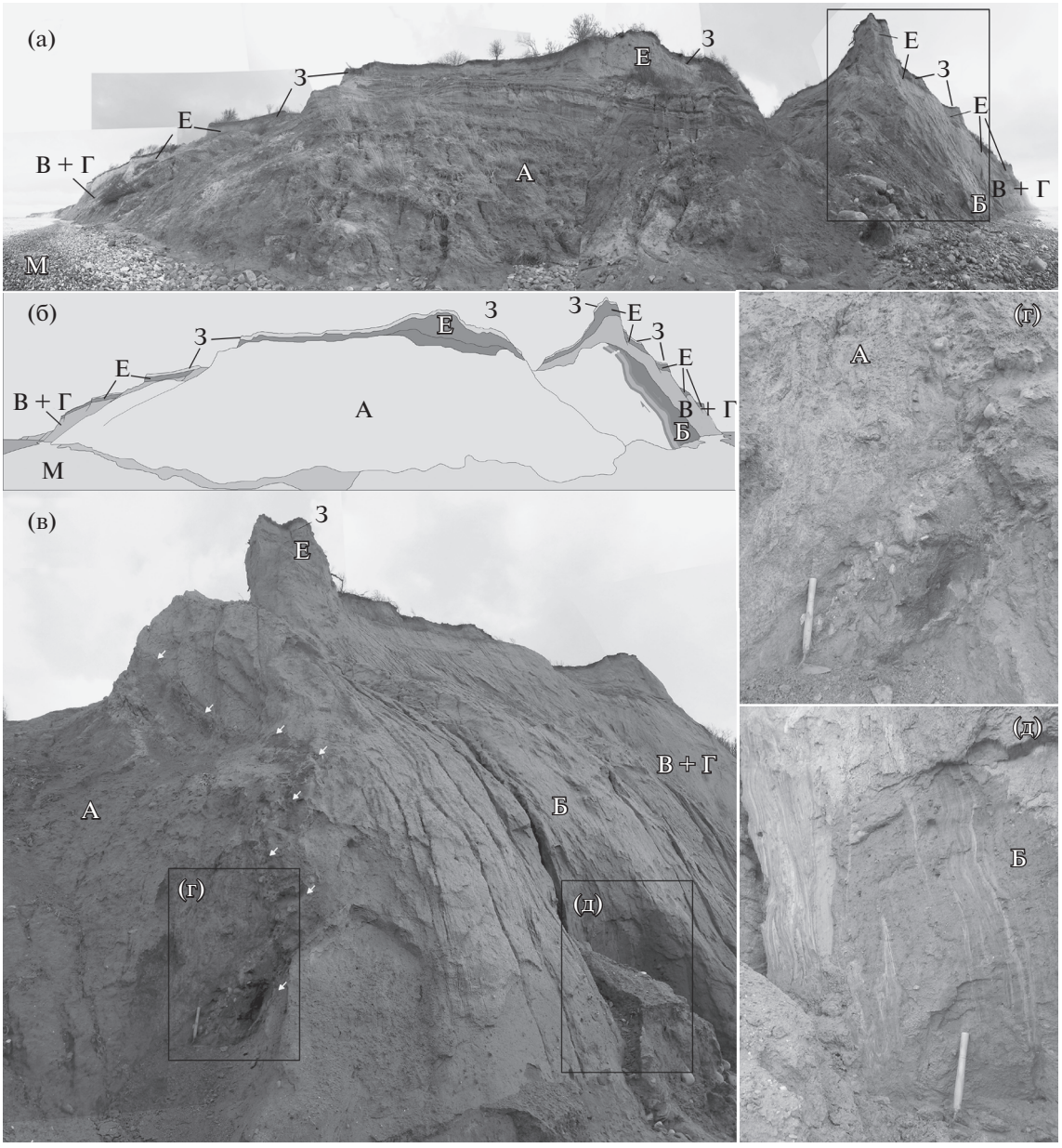

Рис. 8. Тектонический контакт палеоген-неогеновой толщи и четвертичных отложений.
(а) – общий вид берегового уступа с горстом коренных пород (ключевое обнажение № 1 на рис.); (б) – интерпретация соотношений толщ четвертичных и дочетвертичных образований; (в) – флексурно-разрывная зона контакта неогеновых образований и морены среднерусского надгоризонта (белые стрелки); (г) – фрагмент зоны контакта (вертикальные слои неогеновых песков и бурых углей с гидротермальной проработкой); (д) – сжатые антиклинальные складки в зоне контакта, в слоистой толще песчано-суглинистых средненеоплейстоценовых отложений.

разионном уступе (рис. 8, в, д). Неогеновые породы здесь от кровли затянуты в субвертикальную флексуру с почти полным сохранением слоистости и изменениями углов наклона в изгибах до отрицательных. Зона контакта несет следы гидротермальной проработки – ожелезнение, лимонитизация (рис. 8, в, г). Приконтактовая часть толщи Б (нижней морены) представляет собой стоящие “на головах” суглинки с тонкими прослоями песков, смятые в сжатые складки (рис. 8 в, д). Вертикальное залегание суглинков подчеркивается избирательной эрозией (по песчаным прослоям (рис. 8, в)). Простирание зоны контакта неогеновой толщи и четвертичных суглинков варьирует от 160° до 180°, с падением (по единичным измерениям) к западу ($Аз_{пд}$ 250–270°∟55–80°).

На северном замыкании южной периферии участка (рис. 7, а, в) в нижней части абразионного

уступа наблюдается волнообразное погружение толщи Б под урез моря, а вместе с ее ундулирующей кровлей также волнообразно, конформно опускается и толща вышележащих параллельно слоистых песков и супесей, с суглинистыми прослоями в основании, имеющими градационный характер, близкий к ленточной слоистости (толща В). Характерной особенностью этой толщи является интенсивная дислоцированность, при которой толща местами приобретает "кипящий" облик с пламеобразными структурами, типичными для процессов разжижения и флюидизации и известных как "water escape structures", высота которых достигает нескольких десятков сантиметров. Вблизи кровли моренных суглинков в целом конформное залегание над ними бассейновых существенно глинистых отложений нарушается пологими надвигами с плоскостями, падающими в восточных румбах – в сторону материковой части (азимуты падения меняются от 40–50° до 120° под углами от 10 до 30°). Амплитуда надвигов достигает 0.5–1.0 м.

Над толщей В, имеющей крайне неровную кровлю, несогласно залегает толща Г, представленная, по преимуществу, тонкозернистыми бело-светло-серыми песками с нарушенной слоистостью, местами хаотичной или полностью отсутствующей в гомогенизированных пятнах до первых десятков метров в поперечнике. Верхняя часть этой толщи – градационное переслаивание тонко-мелкозернистых песков и супесей, лежащих пологими волнами с амплитудами в первые метры при длине в десятки метров.

В верхней части абразионно-оползневого уступа высотой около 30 м толщу Г несогласно перекрывает горизонтальный слой верхней морены (Е), местами лежащий под современной почвой, а местами – тонко-мелкозернистыми песками толщи З.

В центральной зоне участка (рис. 7, в) в нижней части абразионного уступа вновь фрагментарно из-под уреза моря появляется волнообразная кровля нижней морены (Б), вертикально контактирующая с сильно дислоцированными бассейновыми осадками толщи В и с размывом перекрытая горизонтальными толщами Г, Е и З. К северу нижняя морена (Б), ундулируя, погружается ниже уровня моря, вместе с ней исчезает и слой В, а в разрезе от уреза до бровки абразионного уступа залегает мощная толща бассейновых песков Г, перекрытая, как и по всему участку, толщами Г, Е и З. Особенность верхней части разреза – появление на контакте верхней морены (Е) и бассейновых песков (Г) маломощного (до первых метров) гравийно-галечного слоя (Д). Залегание его резко изменяется от горизонтального до ощутимо наклонного в южном направлении ($Аз_{пд}$ 180–190°∟30–35° по подошве гравийно-галечного слоя) (рис. 9, а). Этот слой конформен склону эрозионной долины, по-видимому, играя бронирующую роль для современной эрозии, задавая смену ориентировки долины с северо-западного на юго-западное в приустьевой части (рис. 7, а). При детальном рассмотрении характера наклонного залегания гравийно-галечного слоя выясняется, что сам слой на склоне состоит из нескольких оползневых "чешуй", последовательно срезающих одна другую (рис. 9, а, фрагмент 2). Ниже основной плоскости скольжения лежат тонкозернистые пески толщи Г, особенностью которых является развитие сбросов, упирающихся в наклонную подошву гравийно-галечного слоя (рис. 9, а, фрагмент 1), а также признаки разжижения в виде гомогенизированных участков с отсутствием слоистости, фрагментированной слоистости в виде "кубиков" суглинка в песчаной матрице (рис. 9, а, фрагмент 3) и разорванных тонких горизонтально-волнистых суглинистых прослоев (рис. 9, а, фрагмент 4). Такие же субмеридиональные сбросовые разрывы, пронизывающие всю толщу Г до уреза моря с амплитудой до 40 см ($Аз_{пд}$ 70–90°∟75–85°) (рис. 9, б), и пятна гомогенизации наблюдаются на всем абразионном уступе (рис. 2, в). Сопоставление этих признаков позволяет предположить, что смещение галечно-гравийной толщи Д произошло в субаквальных условиях одновременно с разжижением толщи песков Г. При этом произошло гравитационное "проваливание" гравийно-галечного слоя в гомогенизированный песок по известному механизму "load cast", свойственному процессам разжижения.

Еще одна важная особенность центральной зоны участка – вертикальный контакт нижней морены (Б) и надморенных дислоцированных песков (В) (рис. 9, в). Стенка из суглинков с обломочным материалом ориентирована меридионально ($Аз_{пр}$ 170°) с крутым падением к западу ($Аз_{пд}$ 280°∟80°), а параллельно слоистые пески толщи В примыкают к ней в виде сжатой антиклинальной складки (рис. 4, в), срезанной вместе с толщей "нижней морены" (Б) и несогласно горизонтально перекрытой толщей Г.

На северной периферии участка (рис. 9, в) разрез от уреза моря до бровки абразионного уступа включает 5 горизонтов (рис. 7, а, в). От уреза моря до высоты около 35 м развиты бассейновые тонко-мелкозернистые пески толщи Г с преобладающей параллельной слоистостью, нарушенные пологими складками длиной в первые десятки метров и амплитудой в первые метры и субвертикальными тонкими разрывами, пронизывающими всю толщу с малоамплитудными (до первых десятков сантиметров) смещениями. В интервале от 35–36 до 38–40 м на песках толщи Г несогласно залегает выдержанный по мощности субгори-

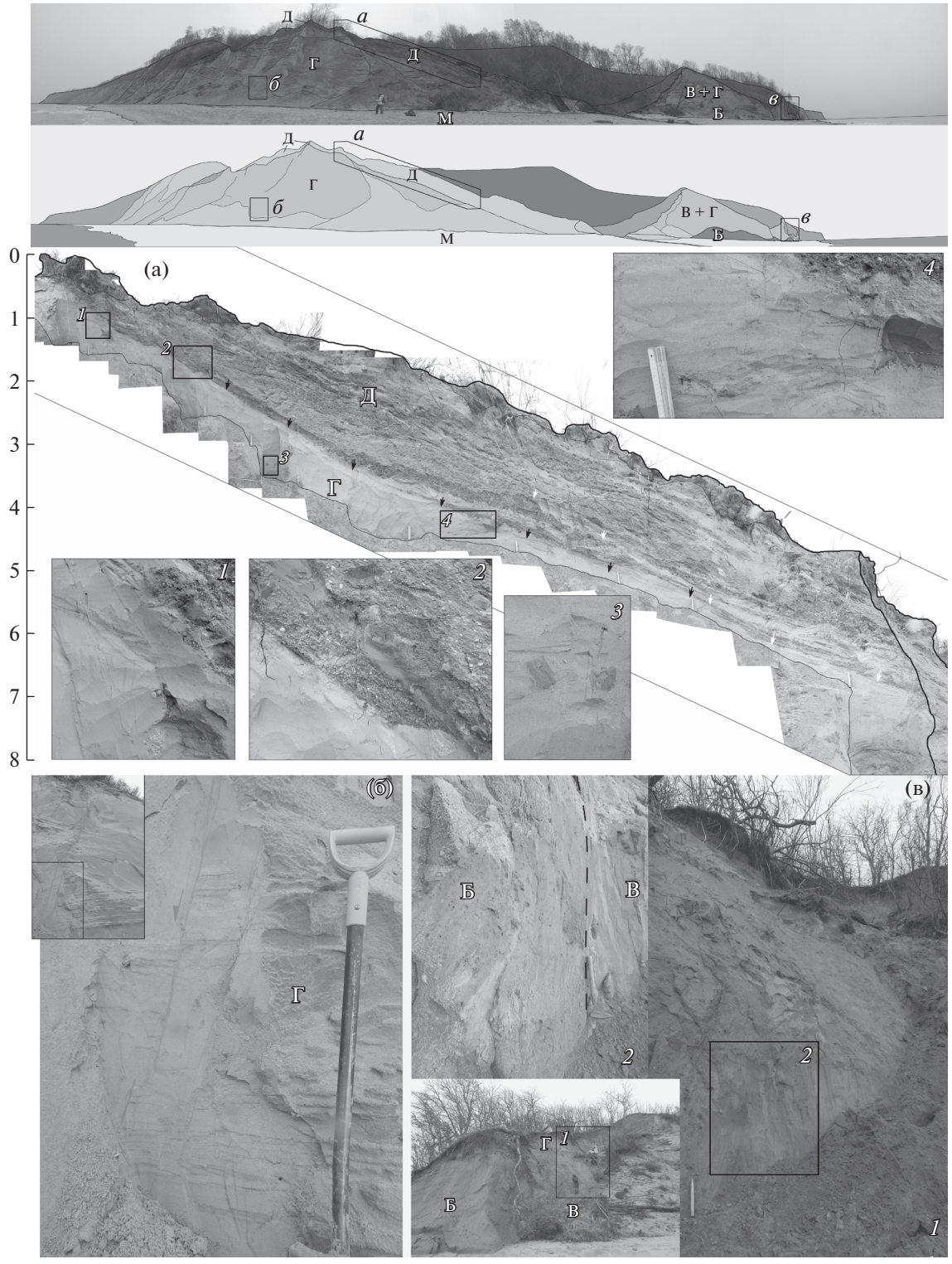

Рис. 9. Деформации в межморенной толще в средней части участка.

Вверху – общий вид и схема интерпретации соотношения толщ в береговом обрыве, внизу – расчистки: (а) – смещенная (подводный оползень) толща Д (предположительно аллювиально-дельтовых отложений калининского возраста) (*1* – сбросовые разрывы под плоскостью скольжения; *2* – сопряжение нескольких плоскостей скольжения в подошве оползня; *3* – фрагменты суглинистого прослоя кубической формы в гомогенизированной (разжиженной) песчаной матрице под подошвой оползня; *4* – фрагментированный грубозернисто-песчаный прослой в тонкозернисто-песчаной матрице); (б) – вертикальные сбросы в толще озерных отложений микулинского возраста (Г); (в) – контакт ледниковой толщи Б с озерно-ледниковыми песками В (*1* – в нижней части – вертикальная стенка “нижней морены” Б с примыкающими вертикально залегающими песками толщи В, сжатыми в узкую антиклинальную складку, в верхней части – горизонтально залегающие пески толщи Г; *2* – увеличенный фрагмент контакта толщ Б и В.

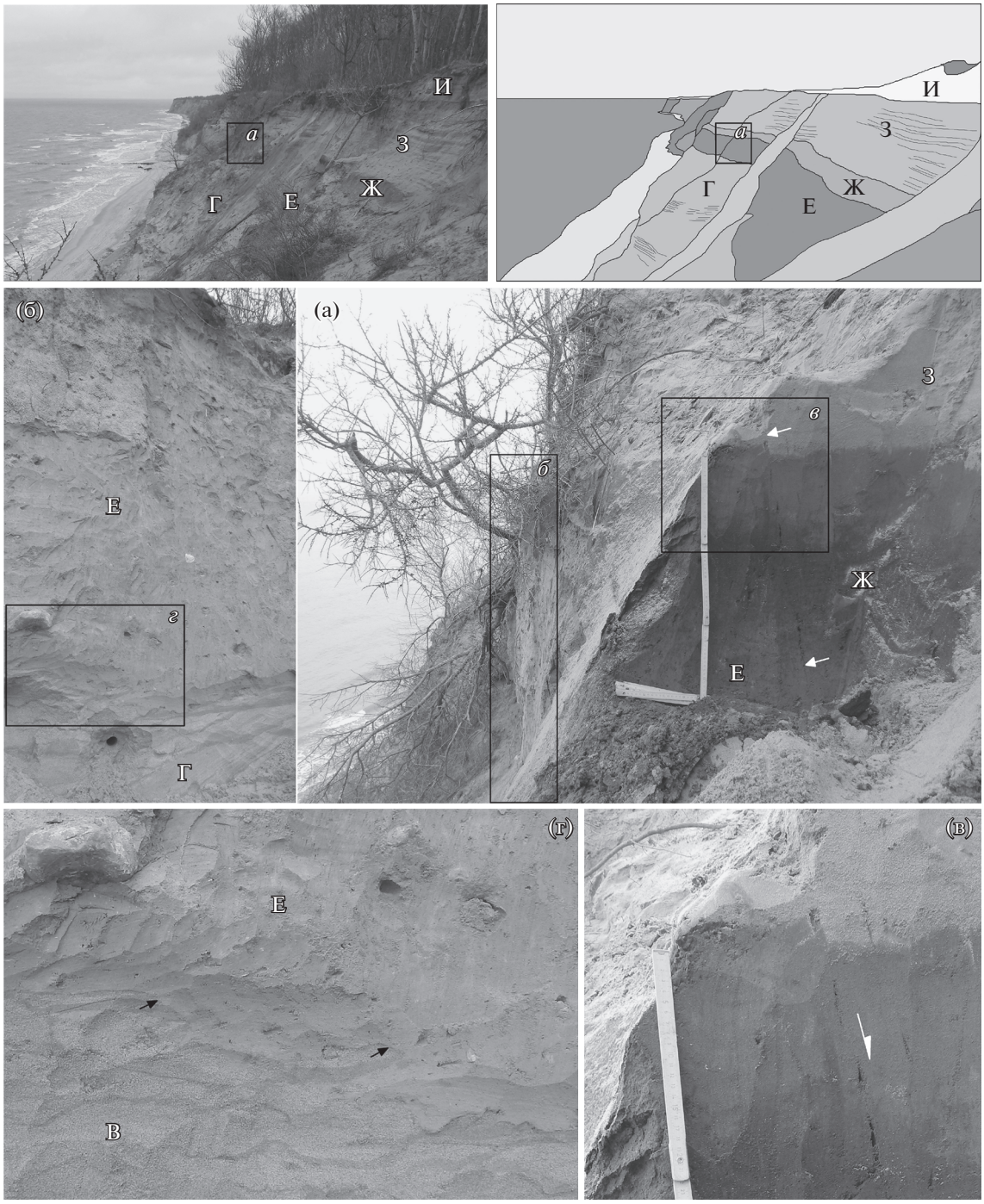

Рис. 10. Вверху – общий вид абразионного уступа северной части участка (слева) и стратиграфическая интерпретация (справа). Внизу – фрагменты обнажения: (а) – зона контакта валдайской морены (Е) и голоценовых озерно-болотных и эоловых отложений: (б) – валдайская морена; (в) – сбросовый разрыв, смещающий валдайские ледниковые и нижнюю часть голоценовых отложений; (г) – подошва валдайских ледниковых отложений с внедрением нижележащих озерных микулинских (Г) песков и супесей с нарушенной градационной слоистостью.

зонтальный слой верхней морены Е, представленный здесь легкими суглинками и супесями с гравием и галькой с неясно-горизонтальной стратификацией. Особенность подошвы морены – наличие карманов глубиной 10–20 см, заполненных нижележащими песками толщи Г (рис. 10, б, г). Под подошвой морены бассейновые пески отличаются нарушенной градационной слоистостью (хаотичное переслаивание изначально параллельных горизонтальных прослоев светло-серых

тонко-мелкозернистых песков и бурых супесей). Морена толщи Е перекрыта в интервале от 38–40 м до бровки абразионно-оползневого уступа на высоте 42–44 м супесями слоя Ж, насыщенными органикой и горизонтально-слоистыми (толща З) и неясно-слоистыми песками (толща И), в кровле формирующими дюнное поле. Морена (Е) вместе с нижележащими песками (Г) и вышележащими супесями (Ж) нарушена тонкими вертикальными трещинами, которые в морене имеют мощность до 1 см и заполнены песком (кластические дайки). Трещины прослеживаются выше кровли морены, рассекая слой Ж и проникая в нижнюю часть песков слоя З (рис. 5, а, в), и характеризуются сбросовой кинематикой с опущенным восточным крылом и амплитудой в первые сантиметры ($Аз_{пд}70°\llcorner 70–75°$).

В разрезе инструментально определен возраст отложений толщи Г (в 20 см ниже контакта с мореной – >75 тыс. л. н. (RGI-0435a), толщи Ж – 930 ± 120 ^{14}C л.н. или калиброванным возрастом 930–728 (медиана: 844) кал. л. н. (IGAN-8108) и основания толщи З (в 10 см выше кровли толщи Ж) – 0.42 ± 0.09 тыс. л. н. (RGI-0434).

Для первого участка в целом характерны следующие черты:

1) Дочетвертичные породы (А), сохраняя горизонтальное положение, приподняты над уровнем моря на 30 м в виде узкого горста, изгибающего нижнюю морену (Б) и вышележащие отложения толщи (В); фланговые контакты дочетвертичных и четвертичных отложений тектонические, выраженные приразломными флексурами и складчатостью;

2) В четвертичном покрове выделяются две кардинально отличающиеся друг от друга пачки отложений:

а. Нижняя часть – в разной степени нарушенная складками, надвигами, взбросами и сбросами, текстурами разжижения. Включает слои нижней морены (Б), надморенных сильно дислоцированных, с надвигами и разжижением песков, супесей и, в основании, суглинков толщи (В), тонкозернистых местами гомогенизированных песков с пологими складками и малоамплитудными сбросами толщи (Г); гравитационно смещенных гравийно-галечных отложений слоя (Д);

б. Верхняя часть – субгоризонтально залегающая, слабонарушенная малоамплитудными сбросами. Включает слои верхней морены (Е), выдержанные прослои супесей с органикой (Ж), стратифицированных (З) и нестратифицированных (И) песков;

3) Кровля нижней морены (Б) ундулирует, то погружаясь, то поднимаясь выше уровня моря до абсолютных отметок около +30 м;

4) Перекрывающие нижнюю морену (Б) бассейновые пески (В) залегают на морене без размыва, регрессивно и конформно ее облекают; толща В ундулирует вместе с мореной Б, сохраняя согласованность при крутизне контакта вплоть до субвертикального; на контакте с мореной в глинистых ленточноподобных отложениях наблюдаются пологие надвиги и горизонтальные срывы, выше которых в песчано-супесчаных отложениях развиты формы разжижения и флюидизации;

5) Бассейновые межморенные пески толщ В и Г на всю мощность разбиты системой субвертикальных малоамплитудных сбросов, часть из которых проникает в перекрывающую пески морену Е и вышележащие слои Ж и З, а часть срезается по подошве морены;

6) В кровле песков Г наблюдаются следы интенсивного разжижения с нарушением слоистости и внедрением песка (Г) в подошву морены (Е); на контакте толщи Г с мореной Е развиты гравийно-галечники толщи Д, местами гравитационно смещенные, со следами “проваливания” в нижележащие пески слоя Г над зонами их интенсивного разжижения.

На втором ключевом участке, в районе устья р. Забава (рис. 7, б, г), береговой уступ значительно ниже – от 1.5–2 до 10–12 м. Ситуация здесь принципиально не меняется, дополняясь только присутствием голоценовых бассейновых отложений толщи Н, развитых в приповерхностных частях низкой террасы, сопряженной с левым бортом долины р. Забава. Береговой уступ постепенно увеличивает высоту в западном направлении от 1.5–2 до 7–8 м, при этом мощность песков толщи Н (≈2 м) устойчиво сохраняется на всем ее протяжении (≈500 м), выклиниваясь только вблизи верхнего уровня. На удалении от русла к западу в цоколе повышающегося абразионного уступа появляется супесчано-суглинистая с валунами толща морены выдержанной мощности (≈2 м), поднимающаяся параллельно бровке уступа, под ней – песчано-супесчаные сильно нарушенные слоистые отложения и тяжелый суглинок темно-серого цвета с обломочным материалом. Признаки и последовательность этих слоев аналогичны толщам Е (верхняя морена), В и Б (нижняя морена) первого ключевого участка. Кровля толщи Б также ундулирует согласно с перекрывающими сильно дислоцированными бассейновыми осадками толщи В, на контакте с мореной представленными ленточно-подобными образованиями из градационно переслаивающихся тонкозернистых песков, алевритов и глин. Повышающаяся с востока на запад кровля морены Б смыкается с несогласно перекрывающей толщу В и толщу Б горизонтальной или пологонаклонной толщей верхней морены Е. При этом межморенные пески, представленные здесь только сильно дислоцированной нижней частью (В), выклиниваются.

Далее к западу кровля нижней морены Б вновь погружается под урез моря, а над ней появляется

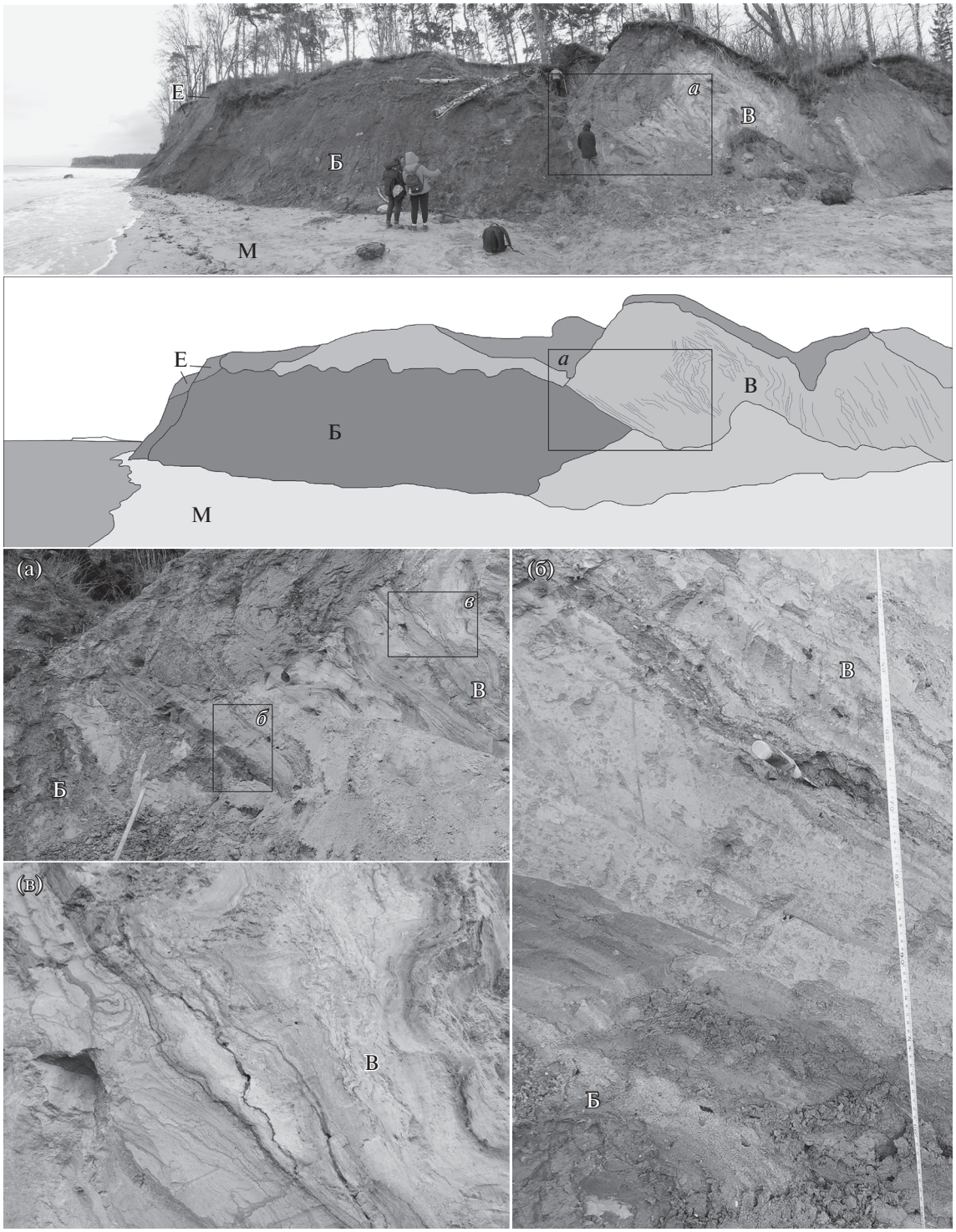

Рис. 11. Зона контакта среднерусской морены (Б) и озерно-ледниковых отложений с надвиговыми деформациями. Вверху – общий вид и стратиграфическая интерпретация. Внизу: (а) – зона контакта; (б) – ленточно-подобная слоистость в основании озерно-ледниковой толщи со следами динамического воздействия (скольжения); (в) – смятие слоистых песчано-глинистых озерно-ледниковых отложений над зоной контакта.

толща В (рис. 6; 7, г). На этом контакте кровля нижней морены Б круто наклонена к северу ($Аз_{пд}$ 350°∟60°; $Аз_{пр}$ 250–260°) и конформно перекрыта ленточно-подобными глинами, суглинками и супесями, выше которых толща песков интенсивно смята (рис. 11).

Еще в 100–200 м далее к западу над погруженной под уровень моря толщей нижней морены Б в

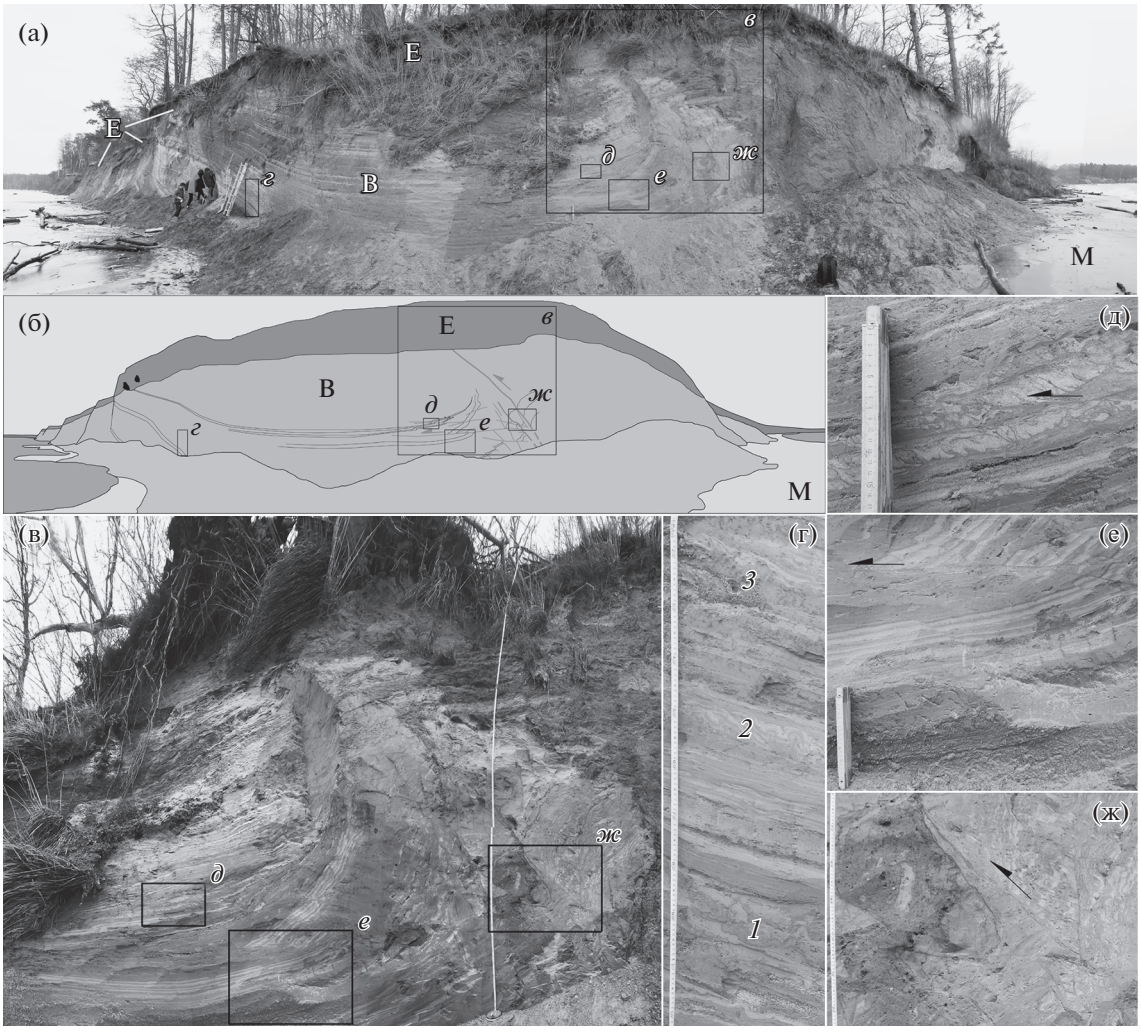

Рис. 12. Синклинальная складка, сопряженная с взбросо-надвигом в бассейновых (озерно-ледниковых) отложениях толщи В: (а) – общий вид; (б) – стратиграфическая и тектоническая интерпретация; (в) – взбросо-надвиг; детальные фрагменты обнажения: (г) – крыло синклинали с несколькими горизонтами деформаций (1–3); (д) – горизонтальный срыв в лежачем крыле взбросо-надвига, секущий деформационный горизонт; (е) – горизонтальный срыв и сопряженные микросбросы, секущие ленточные озерно-ледниковые отложения; (ж) – висячее крыло взбросо-надвига.

бассейновой толще В наблюдаются пологие синклинали протяженностью в несколько десятков метров (рис. 12, а, б), разделенные крутыми асимметричными антиклиналями, в ядрах которых обнаруживаются взбросо-надвиговые разрывы СВ-субширотного простирания ($Аз_{пд}$320°–350°$\llcorner$75°–90°; $Аз_{пр}$230°–260°) с амплитудой смещений от 30 до 95 см (рис. 7, в). Толща несогласно перекрыта слоем бурых суглинков с обломочным материалом верхней морены Е, так же как и на первом участке, выдержанным по мощности ≈2 м.

В нижней части слоя В наблюдаются несколько сильно деформированных прослоев мощностью от первых сантиметров до 10–20 см (рис. 12, г–е). Прослои включают пламеобразные микротекстуры разжижения, запрокинутые мелкие складки (с наклоном осевой плоскости в западных румбах), разорванные слои. Взбросо-надвиги в ядрах антиклиналей и вторичные горизонтальные срывы и сбросы в лежачих (юго-восточных) крыльях смещают деформированные горизонты как и всю толщу, свидетельствуя об их более значительном возрасте (рис. 12, д–ж).

Для второго участка в целом характерны следующие черты:

1) Сохраняется общая стратиграфическая схема с двумя пачками четвертичных отложений:

а. Нижняя, представленная волнообразно залегающей нижней мореной Б и конформно облекающей морену сильно дислоцированной толщей бассейновых отложений В, с взбросо-надвигами и разжижением;

б. Верхняя, представленная верхней мореной Е, несогласно горизонтально или слабонаклонно

перекрывающей толщу В или Б в местах выклинивания межморенных осадков.

2) В отличие от первого участка здесь:

а. Вся толща расположена ниже на 20–30 м;

б. Отсутствует межморенная толща Г;

в. Разрывные структуры развернуты относительно первого участка с субмеридионального направления на северо-восточно-субширотное, в целом согласно простиранию береговой зоны

г. В нижней части толщи В прослеживаются горизонты с микродеформациями.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПО СТРАТИГРАФИИ И ДЕФОРМАЦИЯМ

Четвертичная стратиграфия. Для идентификации выделенных толщ отложений мы будем придерживаться схем соотношений и корреляции четвертичных отложений, представленных в последних по времени геологических работах по уточнению геологической карты масштаба 1:200000 [12] и обобщению съемочных данных масштаба 1:1000000 [13]. Как в последних, так и более ранних работах [16, 24] повсеместно распространенные на поверхности ледниковые и водно-ледниковые отложения согласно оцениваются как результаты деятельности последнего (осташковского) оледенения. Расчленение нижележащих толщ не столь однозначно. Несмотря на использование стандартной схемы стратиграфического расчленения неоплейстоцена, в разрезах существуют расхождения, имеющие кардинальное значение для оценки возраста отложений, экспонированных в абразионных уступах:

1) В схеме съемочных масштабов отложения среднерусского надгоризонта не подразделены на днепровский и московский горизонты, при этом кровля ледниковых отложений под акваторией Балтийского моря ступенчато опускается до –50 м, а в пределах Самбийского п-ова поднимается до +20 [12];

2) В обобщенной схеме и разрезе среднерусские отложения подразделены на два самостоятельных горизонта, причем вскрываются они только скважинами, а в районе Самбийского п-ова кровля верхнего из них (московского) не поднимается выше уровня моря. Над уровнем моря развиты две морены, нижней из которых является неманская (калининская) толща [13].

Исходя из этого, можно предложить несколько вариантов расчленения изученных обнажений: 1) нижняя морена (толща Б) принадлежит нестеровской серии (нерасчлененному среднерусскому надгоризонту), а верхняя (толща Е) соответствует калининскому горизонту валдайского надгоризонта; 2) то же, но толща Е принадлежит осташковскому горизонту; 3) нижняя морена (толща Б) – калининский горизонт, а верхняя (Е) – осташковский.

Полученный нами возраст толщи Г (>75 тыс. л.н. (RGI-0435a)) однозначно свидетельствует против третьего варианта. Повсеместное поверхностное распространение осташковской морены [12, 13, 16, 17] при локальном развитии (и не в поверхностном залегании) калининской морены [12] позволяет остановиться только на одном варианте: нижняя морена (Б) – среднечетвертичная, днепровско-московского возраста, а верхняя (Е) – осташковского, что определяет и стратиграфическую позицию остальных толщ (табл. 1).

Этапы осадконакопления и неотектонической активизации. Деформации, развитые в четвертичных отложениях, представляют собой взаимосвязанные комплексы, четко связанные со стратиграфией. По отложениям, вскрытым в береговых обрывах западного и северного побережья, можно восстановить последовательность из 9 основных этапов осадконакопления и 5 этапов тектонической активизации, начиная со среднего неоплейстоцена (рис. 13):

I этап (тектонически пассивный) – формирование покрова морены московского возраста над более ранними четвертичными отложениями или непосредственно над коренным субстратом;

II этап (слабоактивный) – регрессивное осадконакопление в приледниковом бассейне московского возраста с формированием слоистой толщи песчано-алевритовых осадков, в нижней части существенно глинистых, ленточно-подобных; происходили землетрясения небольшой силы, влияние которых на осадконакопление выражалось в формировании горизонтов приповерхностного разжижения небольшой мощности (10–20 см);

III этап (слабоактивный) – формирование прогибов в осадочной толще, осложненных малоамплитудными (первые см) сбросами в условиях тектонического растяжения;

IV этап (максимально активный) – высокоамплитудные (до 30–40 м) дифференцированные смещения в коренном субстрате по разрывным нарушениям, проникающим в вышележащую морену и озерно-ледниковые осадки в виде взрезов (субвертикальных смещений), взбросо-надвигов, пологих надвигов, сопровождающихся флексурами и приразломной складчатостью; горстообразные поднятия коренного субстрата, волнообразные смятия морены и вышележащих озерно-ледниковых осадков в складки амплитудой до первых десятков метров и шагом в десятки и первые сотни метров; смещения сопровождались сильными сейсмическим сотрясениями, провоцировавшими разжижение озерно-ледниковых осадков на всю видимую мощность (около 10–15 м) с образованием пламеобразных структур

Таблица 1. Генетически-возрастная идентификация выделенных толщ отложений

Этапы формирования четвертичной толщи				Возраст[1]	Этапы	
Индекс толщи	Генезис	Местные подразделения	Региональная шкала[3]		№	Активность[2]
Н	Аллювиальный	Голоцен	Голоцен	11.7–0	IX	+/–
М	Морской					
Л	Морской					
К	Аллювиальный					
И	Эоловый/дюнный					
З	Эоловый/на озерно-ледниковых БЛО	Позднеледниковье – Голоцен	Позднеледниковье – Голоцен	11.7–0/16–11.7 тыс. л. н.	VIII	+
Ж	Озерно-болотный/на озерно-ледниковых БЛО					
Е	Ледниковый	Куршская толща	Осташковский горизонт	29–11.7 тыс. л. н.	VII	–
Д	Аллювиальный, флювиогляциальный	Неманская свита	Калининский горизонт	71–57 тыс. л. н.	VI	+
Г	Озерный	Боровиковская свита	Микулинский горизонт	126–71 тыс. л. н.	V	–
В	Озерно-ледниковый	Нестеровская серия	Среднерусский надгоризонт	301–126 тыс. л. н.	IV	++
					III	+/–
					II	+/–
Б	Ледниковый				I	–
А	Дочетвертичные образования Pg-N			>2.58 млн л.		

Примечание. [1]С использованием кислородно-изотопной шкалы [35]; [2]С использованием схемы корреляции четвертичных образований Калининградской области и сопредельных территорий [13]; [3](++) – максимально активный, (+) – активный, (+/–) – слабоактивный, (–) – пассивный.

высотой до 1 м, разрушением слоистой текстуры отложений, фрагментацией глинистых прослоев, формированием глиняной гальки;

V этап (пассивный) – размыв кровли озерно-ледниковых осадков московского возраста и формирование мощной (более 30 м) песчаной озерной толщи микулинского возраста, заполнившей неровности волнообразно смятой поверхности московской морены и перекрывающих ее песков; частичное перекрытие озерной толщи аллювиальными и флювиогляциальными гравийно-галечными отложениями калининского возраста;

VI этап (активный) – коробление толщи осадков в результате сейсмических сотрясений, сопровождаемое в микулинской озерной толще сбросами амплитудой до первых десятков сантиметров, фрагментарным разжижением (гомогенизацией) и субаквальными оползнями (проваливанием) гравийно-галечникых отложений в тонкодисперсные разжиженные осадки;

VII этап (пассивный) – размыв верхней части микулинских и калининских осадков, отложение валдайской морены;

VIII этап (слабоактивный) – аккумуляция в позднеледниковых бассейнах, разжижение подморенных микулинских песков в результате землетрясений в позднеледниковье;

IX этап (слабоактивный) – голоценовое осадконакопление аллювиальных, озерных, морских и органогенных осадков; общий тектонический перекос с запада на юг, локальные прогибы, унаследованные современными долинами, малоамплитудные (первые сантиметры) сбросы, нарушающие осадки вплоть до позднеголоценового (800–400 л.н.) возраста.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной вопрос, требующий обсуждения, – это генезис изученных деформаций. В качестве возможных претендентов на первом месте стоит воздействие плейстоценовых ледников, в котором различаются две составляющие: а) собственно гляциотектоника; б) активизация разломов, связанная с гляциоизостатическими движениями [36]. Не обсуждая саму возможность активного воздействия ледника на свое ложе, имеющую

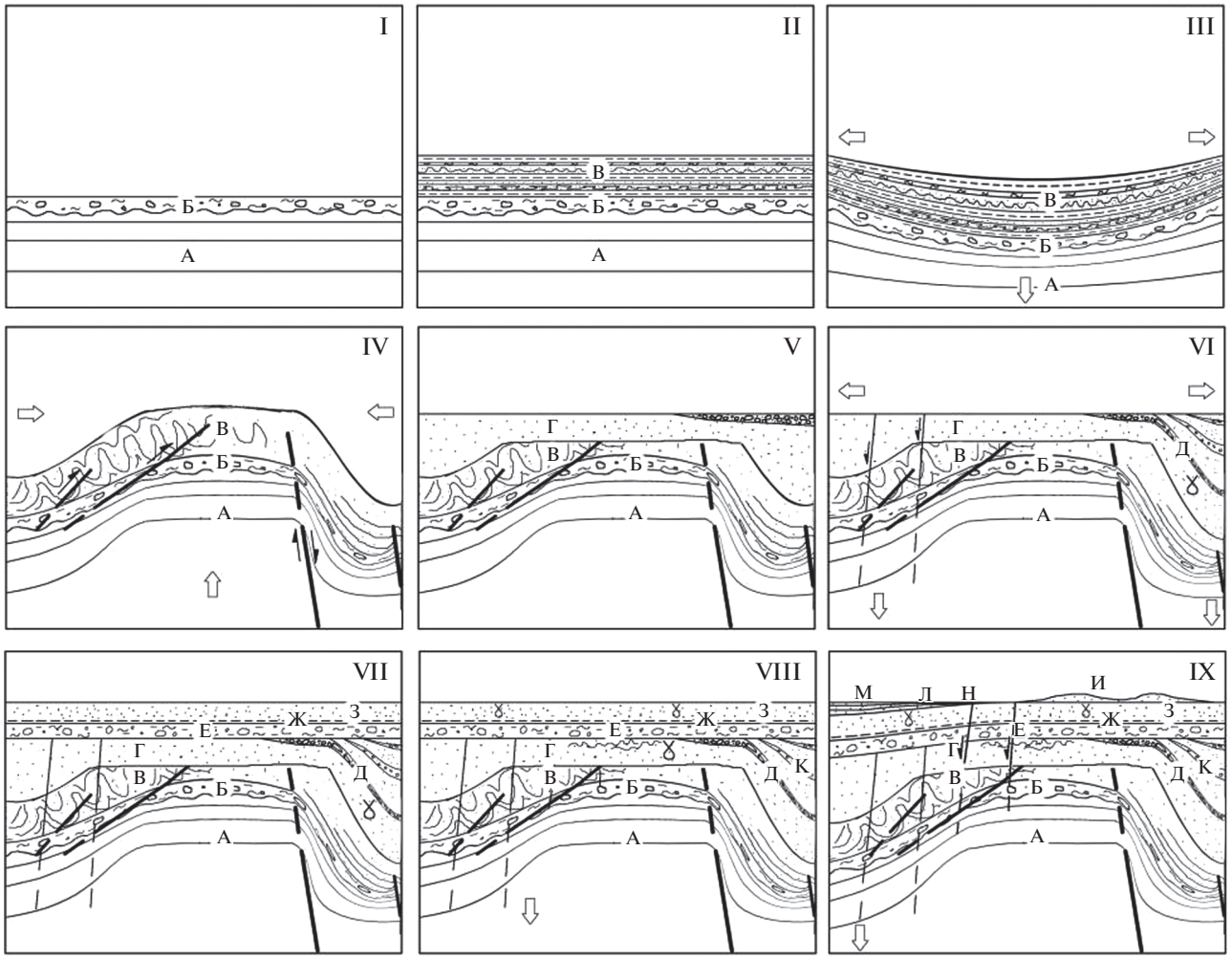

Рис. 13. Основные этапы формирования средне-поздненеоплейстоценовой и голоценовой толщи во взаимосвязи с активной тектоникой.

дискуссионный характер, следует отметить, что потенциальное воздействие ледник может оказывать на приповерхностные отложения как в активную, так и пассивную стадии развития ледника путем непосредственного динамического, механического, гидравлического и др. видов воздействия и на глубокие горизонты земной коры в результате ледниковой нагрузки и последующей релаксации. В активную фазу, согласно классическим представлениям [37, 38], формируются гляциотектонические структуры в подстилающих ледник отложениях, связанные непосредственно с его движением и отвечающие обстановке сжатия (надвиги, взбросы, отчасти сдвиги, гляциодиапиры, гляциодайки). В пассивную фазу в перекрывающих ледник и содержащихся в нем отложениях формируются структуры, связанные с таянием мертвого льда и соответствующие обстановке растяжения (гляциокарст, просадки, оползни, диапиры в образующиеся ледниковые трещины).

Для тектонических процессов, связанных с ледниковой нагрузкой, наиболее характерно формирование структур растяжения (сбросов), которые могут образовываться на стадии изостатической релаксации земной коры, в том числе и значительно позже деградации ледника. Кинематика активизируемых разломов может иметь не только сбросовый характер, но взбросовый и сдвиговый, что связано с взаимодействием изостатического и унаследованного или новейшего полей напряжений. К настоящему времени значительное количество постледниковых разломов установлено в западной части Фенноскандии [39–41], свидетельствующих о сильных землетрясениях в позднеледниковье и раннем голоцене. Для некоторых из них установлена последовательность сейсмических событий, свидетельствующая о неоднократной активизации в этот период [42], а для части – продолжавшаяся и в более поздние периоды голоцена [43]. Наряду с активи-

зацией на стадии постледниковой релаксации недавно обнаружены и следы сильных землетрясений, предшествовавших последнему оледенению [44].

Несмотря на столь широкий спектр возможных воздействий ледника на формирование описанных структур, приведенная схема взаимосвязанных этапов новейшей тектонической активизации и осадконакопления исключает возможность применения гляциотектонического механизма для объяснения большей части дислокаций, что можно показать на примере крупнейших из них, развитых в осадках московского оледенения. Эти дислокации:

а) горстовые смещения амплитудой до нескольких десятков метров, складкообразование, надвиги, мощное разжижение не могут быть объяснены ни непосредственным воздействием активной фазы московского ледника, так как сформированы в период после отступания московского ледника, ни постледниковыми процессами гляциокарста, изостазии, поскольку связаны с обстановкой сжатия;

б) ориентированы вдоль западной и северной границ полуострова, отвечая морфоструктурным границам и тектоническим структурам и не соответствуя направлениям потенциального давления от движения ледника;

в) не могут быть связаны и с воздействием осташковского ледника, поскольку они отделены от наиболее древних следов его присутствия (морены) мощным слоем озерных микулинских осадков, залегающих несогласно на озерно-ледниковых московских отложениях.

Отчасти можно рассмотреть механизм гляциоизостазии, но только как триггер для реализации латентных тектонических напряжений, реализуемых в надвигово-взбросовых нарушениях. Противоречит гляциоизостатическому механизму и определенный временной лаг между формированием московского моренного горизонта и периодом максимальной тектонической активности, между которыми происходило относительно спокойное бассейновое осадконакопление.

Среди возможных причин деформаций, кроме гляциотектоники, традиционно рассматриваются мерзлотные и гравитационные процессы. В изученных разрезах не обнаружено следов криогенной деятельности – псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам, следов мерзлотной сортировки, термокарстовых форм и др. В какой-то мере можно с мерзлотной позиции рассмотреть деформационные горизонты в основании слоя В как возможные конволюции. Однако их формирование в условиях глубоководного бассейна делает такое предположение маловероятным.

Гравитационному механизму также не находится применение в большинстве случаев, поскольку широко распространенные надвигово-взбросовые деформации носят “антигравитационный” характер. Потенциально можно приложить данный механизм к сбросам, вскрывающимся в береговых уступах. Но такие разрывы, изученные на западном побережье и систематически ориентированные вдоль берега, имеют восточное сброшенное крыло, в противоположность возможным оползням. А кроме того, возраст части разрывов (800–400 л.н.) указывает на их образование задолго до экспонирования в береговом уступе, отступающем здесь со скоростями в десятки см/год.

ВЫВОДЫ

Территория Самбийского п-ова характеризуется тесной взаимосвязью осадконакопления с активной тектонической деятельностью, начиная, по крайне мере, со среднего плейстоцена и вплоть до позднего голоцена.

В отложениях зафиксированы следы 5 этапов тектонической активизации: а) московский позднеледниковый (слабоактивный); б) послемосковский (максимально активный); в) позднемикулинский-предвалдайский (активный); в) позднеледниковый-раннеголоценовый (слабоактивный); г) позднеголоценовый (слабоактивный).

Наиболее интенсивные тектонические движения относятся к наиболее ранним этапам (III и IV), когда амплитуды вертикальных смещений по разрывам достигали первых десятков метров, а мощность горизонтов разжижения превышала 1 м. Позднее интенсивность снижалась, отражаясь в амплитудах вертикальных смещений по разрывам от нескольких десятков сантиметров (VI) до первых дециметров и локальных проявлениях разжижения (VIII), а на последнем этапе (IX) – до микродеформаций с амплитудой в первые сантиметры.

Ориентировка осей разрывных и складчатых деформаций (субмеридиональная на западном побережье и субширотная на северном) свидетельствует об их связи со структурами Готландско-Балтийской системы, определяющими морфоструктуру полуострова.

Развитие надвигов и взбросов на ранних этапах активизации и сбросов на поздних свидетельствует о смене обстановки сжатия и поднятий в среднем неоплейстоцене на обстановку растяжения и локальных опусканий в позднем неоплейстоцене и голоцене.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарен сотрудникам и студентам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ и, в первую очередь, Н.Н. Луговому,

С.И. Болысову и Л.А. Жиндареву за помощь в организации и проведении полевых исследований

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-80087) – полевые работы, анализ образцов, и в рамках госзаданий ИГ РАН (палеогеоморфологические реконструкции) и ИФЗ РАН (оценка тектонической активности).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Никонов А.А.* Поверхностные нарушения при Калининградском землетрясении 21.09.2004 г. и их соотношение с градациями макросейсмических шкал // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37. № 1. С. 56–67.
2. *Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Новиков С.С., Мараханов А.В.* Активная тектоника района Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 года // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37. № 3. С. 5–20.
3. *Айзберг Р.Е., Аронов А.Г., Аронова Т.И., Бояркин С.А., Воейкова О.А., Гарецкий Р.Г., Донцова Г.Ю., Дудлер И.В., Иогансон Л.И., Карабанов А.К., Лутиков А.И., Макаров В.И., Несмеянов С.А., Николаев В.Г., Никонов А.А., Ойзерман М.Т., Серебрякова Л.И., Сероглазов Р.Р., Хайме Н.М.* Сейсмотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения. М.: Книга и Бизнес, 2009. 288 с.
4. *Никонов А.А.* Необычный “взрыв” сейсмической активности в Восточной Пруссии в начале XIV в. и его значение для выяснения сейсмологического потенциала Калининградской области // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40. № 2. С. 43–58.
5. *Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В., Лутиков А.И., Новиков С.С., Мараханов А.В., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Ларьков А.С.* Детальная оценка сейсмической опасности территории Калининграда и тектонический анализ землетрясений 2004 г. // Инженерные изыскания. 2014. № 12. С. 26–38.
6. *Garetsky R.G., Levkov E.A., Schwab G., Sokolowski J., and Stackebrandt W.* Vertical movements since the beginning jf Rupelian stage (Oligocene). Map of Scale 1:1 500000. Neogeodynamica Baltica. Project No. 346. Edited by: Geological Survey of Brandenburg, Germany, Kleinmachow 1998/2000.
7. *Никонов А.А.* О механизме очага Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. // ДАН. 2006. Т. 407. № 1. С. 102–105.
8. *Алешин А.С., Аптикаев Ф.Ф., Никонов А.А., Погребченко В.В.* О возможных причинах расхождений в определении местоположения эпицентров главных толчков Калининградского замлетрясения 21.09.2004 г. // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 3. С. 59–76.
9. Geologische Karte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten. Herausgegebenvon der Koniglich Preussischen Geologischen Landesanstalt. Gr Dirschkeim. Geologsch und agronomisch bearbeitet durch E. Meyer, 1908. Langen-Massstab 1:25000. Herausgegeben. 1914.
10. *Додонов А.Е.* Дислокации кайнозойских отложений и их связь с неотектоникой на территории Калининградского полуострова // Вестник Моск. ун-та. Сер. 6. Геология. 1971. № 6. С. 78–82.
11. *Додонов Е.А., Наместников Ю.Г., Якушова А.Ф.* Новейшая тектоника юго-востока Балтийской синеклизы. М.: Изд-во МГУ, 1976. 196 с.
12. *Загородных В.А., Довбня А.В., Жамойда В.А.* Информационный отчет о результатах работ по объекту “производство геологического, гидрогеологического доизучения, геолого-экологических исследований и картографирования территории Калининградской области масштаба 1:200000, картосоставительских работ масштаба 1:200000 на акватории южной Балтики (в пределах экономической зоны России, прилегающей к калининградской области) и подготовка к изданию комплектов госгеолкарты-200 (новая серия) листов N-34-II, -III, -VIII, -IX, -X, -XI, -XIV, -XV, -XVI, -XVII (все частично)” за 1993–2002 гг. (в 8 кн.). Гусев–СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.
13. *Лукьянова Н.В., Богданов Ю.Б., Васильева О.В., Варгин Г.П., Вербицкий В.Р., Горбацевич Н.Р., Жамойда В.А., Зытнер Ю.И., Кириков В.П., Максимов А.В., Никутина Н.Г., Семенова Л.Р., Сивков В.В., Фенин Г.И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-(34) – Калининград. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. 226 с.
14. *Druzhinina O., Bitinas A., Molodkov A., and Kolesnik T.* Paleoseismic deformations in the Eastern Baltic region (Kaliningrad District of Russia) // Estonian Journal of Earth Sciences. 2017. 66. 3. P. 119–129.
15. *Obermeier S.F.* Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis // Using Ground-Failure Features for Paleoseismic Analysis. USGS Open-File Report 94-663. 1995. 56 p.
16. *Казанов Ю.В., Макарова Э.П., Иванова З.К.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Прибалтийская. Лист N-34-VIII, IX. Объяснительная записка. М. 1983. 59 с.
17. *Амантов А.В., Амантова М.Г., Бодряков Т.В., Болдырев В.Л., Григорьев А.Г., Дорохов Д.В., Жамойда В.А., Загородных В.А., Кропачев Ю.П., Кунаева Т.А., Ликсущенков С.М., Мануйлов С.Ф., Морозов А.Ф., Морозов Б.Н., Москаленко П.Е., Нестерова Е.Н., Петров О.В., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Сивков В.В., Синькова Е.А., Спиридонов М.А., Шахвердов В.А.* Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / Гл. ред. О.В. Петров. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
18. *Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Палиенко В.П., Шляупа А.И.* Новейшая тектоника и геодинамика Центральной Европы // Геотектоника. 1999. № 5. С. 3–14.
19. *Ludwig A.O.* Vertical movements since the beginning of Rupelian stage (map1). Neogeodynamics of the Baltic Sea depression and adjacent areas. Results of IGCP project No. 346 / R.G. Garetsky, A.O. Ludwig, G. Scwab, W. Stackebrandt (Eds.) // Brandenburgische Geowiss. Beitr. Kleinmachow. 2001. 8. 1. S. 5–12.

20. *Левков Э.А., Карабанов А.К.* Неотектоника Беларуси // Литосфера. 1994. № 1. С. 119–126.
21. *Блажчишин А.И.* Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 160 с.
22. *Трифонов В.Г., Соколов С.Ю.* Сопоставление тектонических фаз и инверсий магнитного поля в позднем мезозое и кайнозое // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 12. С. 1091–1097.
23. *Husebye E.S. and Mäntyniemi P.* The Kaliningrad, West Russia earthquakes on the 21st of September 2004 – Surprise events in a very low-seismicity area // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2005. 153. P. 227–236.
24. *Вайтонис В.П., Левицкая Р.И.* Государственная геологическая карта СССР (новая серия). Масштаб 1:1000000. Карта четвертичных отложений. Лист N-(34)–(35), Вильнюс / Гл. ред. В.П. Кириков. Л.: ВСЕГЕИ, 1986.
25. *Jentzsch A.* Der tiefere Untergrund Königsberg mit Beziehung auf die Wasserversorgung der Stadt // Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1899. Berlin. 1900. B. XX. TII. S. 1–172.
26. *Tornquist A.* Geologie von Ostpreussen. Berlin: Verlag von Gebrüder Bornträger. 1910. 231 c.
27. *Михневич Г.С.* Особенности строения поверхности дочетвертичных отложений на территории Калининградской области // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып. 3. С. 21–35.
28. *Загородных В.А., Довбня А.В., Жамойда В.А.* Стратиграфия Калининградского региона. Калининград. 2001. 225 с.
29. *Загородных В.А.* Палеоврезы в дочетвертичную поверхность на юго-западе Прибалтики // Геоинформатика. 1999. № 4. С. 33–37.
30. *Загородных В.А.* Геохимические аномалии в четвертичных отложениях западного анклава России // Геоинформатика. 1999. № 2. С. 41–42.
31. http://glcf.umiacs.umd.edu
32. https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html
33. https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/
34. Геология и геоморфология Балтийского моря. Объяснительная записка к геологическим картам м-ба 1:500000 / Под ред. А.А. Григялиса. Л.: Недра, 1991. 420 с.
35. *Pillans B. and Gibbard P.* The Quaternary period / Gradstein F., Ogg J., Schmitz M. and Ogg G. (Eds.). The Geologic Time Scale. 2012. Elsevier, Oxford, Amsterdam, Waltham. P. 979–1010.
36. *Гросвальд М.Г.* Гляциодислокации. Гляциологический словарь / Ред. В. М. Котляков. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. С. 92.
37. *Лаврушин Ю.А.* Строение и формирование основных морен материковых оледенений. М.: Наука, 1976. 240 с.
38. *Левков Э.А.* Гляциотектоника. Минск: Наука и техника, 1980. 280 с.
39. *Dehls J.F., Olesen O., Olsen L., and Blikra L.H.* Neotectonic faulting in northern Norway; the Stuoragurra and Nordmannvikdalen postglacial faults // Quaternary Science Reviews. 2000. 19. P. 1447–1460.
40. *Lagerbäck R. and Sundh M.* Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden: Research Paper C 836. Geological Survey of Sweden. 2008.
41. *Ojala A.E.K., Mattila J., Ruskeeniemi T., Markovaara-Koivisto M., Palmu J-P., Nordback N., Lindberg A., Sutinen R., Aaltonen I., and Savinen J.* Postglacial faults in Finland – a review of PGSdin project results. POSIVA OY, Olkluoto, FI-27160 EURAJOKI, Finland, April 2019. ISBN 978-951-652-271-8, ISSN P. 2343–4740.
42. *Mattila J., Ojala A.E.K., Ruskeeniemi T., Palmu L-P., Aaltonen I., Käpyano A., Lindberg A., and Sutinen R.* Evidence of multiple slip events on postglacial faults in northern Fennoscandia // Quaternary Science Reviews. 2019. P. 215; 242–252.
43. *Mörner N-A.* Active faults and paleoseismicity in Fennoscandis, especially Sweden. Primary structures and secondary effects // Tectonophysics. 2004. 380. P. 139–157.
44. *Pisarska-Jamrozy M., Belzyt S., Borner A., Hoffmann G., Huneke H., Kenzler M., Obst K., Rotner H., and van Loon T.* Evidence from seismites for glacio-isostatically induced crustal faulting in front of an advancing land-ice mass (Rugen Island, SW Baltic Sea) // Tectonophysics. 2018. 745. P. 338–348.

Morphotectonics, deformations of loose sediments and stages of tectonic activation of the Sambia (Kaliningrad) Peninsula in the Late Neopleistocene and Holocene

S. V. Shvarev[a,b,#,##]

[a] *Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia*
[b] *Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow, Russia*
[#] *E-mail: shvarev@igras.ru*
[##] *E-mail: shvarev@ifz.ru*

Morphotectonic studies of the Sambian (Kaliningrad) Peninsula using remote sensing, DEMs, and geologic mapping confirmed the existence of recently active block-and-fault structure expressed in the topography and Quaternary sediments structure. Tectonic deformations of sediments exposed in the coastal abrasion scarps were studied and systematized. The morphological structure of the Peninsula is a superposition of several morpho-lineament systems defining the differential vertical displacements of blocks with the changing role of morpho-lineament systems in different parts of the Peninsula: a) the flanks are dominated by the la-

titudinal and meridional system, reflecting the most General laws of neotectonic movements and associated with the formation of Gotland Baltic system of grabens; b) in the axial part of the Peninsula – the North-Western system, controlling the main Holocene uplift; c) in its north-eastern part, the GCC is a meridional one, which determines the development of the Curonian Lagoon; d) in the south-western part – the north-eastern one, which sets the general plan of the Vistula Depression. In the coastal scarps on the western and northern shores of the peninsula, deformations associated with tectonic activation of different ages have been studied: a) faults and ruptures with amplitudes from centimeters to several meters; b) folds and flexures from microforms to gentle synclines with an amplitude of up to meters and a width of up to the first hundred meters and to compressed near-fault anticlines; c) various forms of liquefaction, including deformation horizons with a thickness of 10 cm to the first meters with flame-like textures, homogenized deposits and intra-layer fragmentation. Traces of 5 stages of tectonic activation are recorded in the sediments: a) end of Penultimate Glacial Period (PGP) (weakly active); b) after the end of PGP (maximally active); c) end of Eemian interglacial period (active); c) end of the Last Glacial Period – Early Holocene (weakly active); d) Later Holocene (weakly active). The most intense tectonic movements occurred after the end of PGP when the amplitudes of vertical displacements along the breaks reached the first tens of meters, and the thickness of the liquefaction horizons exceeded 1 m. Later, the intensity decreased, reflecting in the amplitudes of vertical displacements from several tens of centimeters to the first decimeters, accompanied by liquefaction (pre-Weichselian stage) and up to first centimeters in the Holocene.

Keywords: Sambian (Kaliningrad) Peninsula, Southern Baltic, activated block structure, morphotectonics, Neopleistocene, Holocene Quaternary deposits, fault and fold deformations., liquefaction

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to the staff and students of the Department of Geomorphology and Paleogeography of the Faculty of Geography of Moscow State University, and, the first of all, to N.N. Lugovoi, S.I. Bolysov and L.A. Zhindarev for their help in organizing and conducting field research.

The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-80087) – field work, sample analysis, and within the framework of the state tasks of the IG RAS (palaeogeomorphological reconstructions) and the IFZ RAS (assessment of tectonic activity).

REFERENCES

1. Nikonov A.A. *Poverkhnostnye narusheniya pri Kaliningradskom zemletryasenii 21.09.2004 g. i ikh sootnoshenie s gradatsiyami makroseismicheskikh shkal* (Surface disturbances during the Kaliningrad earthquake of 21.09.2004 and their correlation with the gradations of macroseismic scales). *Voprosy inzhenernoi seismologii*. Vol. 37. No. 1. P. 56–67. (in Russ.)
2. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Novikov S.S., and Marakhanov A.V. *Aktivnaya tektonika raiona Kaliningradskikh zemletryasenii 21 sentyabrya 2004 goda* (Active tectonics of the Kaliningrad earthquake Region on September 21, 2004). *Voprosy inzhenernoi seismologii*. 2010. Vol. 37. No. 3. P. 5–20. (in Russ.)
3. Aizberg R.E., Aronov A.G., Aronova T.I., Boyarkin S.A., Voeikova O.A., Garetskii R.G., Dontsova G.Yu., Dudler I.V., Ioganson L.I., Karabanov A.K., Lutikov A.I., Makarov V.I., Nesmeyanov S.A., Nikolaev V.G., Nikonov A.A., Oizerman M.T., Serebryakova L.I., Seroglazov R.R., and Khaime N.M. *Seismotektonika plit drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniya* (Seismotectonics of plates of ancient platforms in the region Quaternary glaciations). M.: Kniga i Biznes (Publ.), 2009. 288 p. (in Russ.)
4. Nikonov A.A. *Neobychnyi "vzryv" seismicheskoi aktivnosti v Vostochnoi Prussii v nachale XIV v. i ego znachenie dlya vyyasneniya seismologicheskogo potentsiala Kaliningradskoi oblasti* (An unusual "explosion" of seismic activity in East Prussia at the beginning of the XIV century and its significance for elucidating the seismological potential of the Kaliningrad region). *Voprosy inzhenernoi seismologii*. 2013. Vol. 40. No. 2. P. 43–58. (in Russ.)
5. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Gorbatikov A.V., Lutikov A.I., Novikov S.S., Marakhanov A.V., Stepanova M.Yu., Andreeva N.V., and Lar'kov A.S. *Detal'naya otsenka seismicheskoi opasnosti territorii Kaliningrada i tektonicheskii analiz zemletryasenii 2004 g* (Detailed assessment of the seismic hazard of the Kaliningrad territory and tectonic analysis of the 2004 earthquakes). *Inzhenernye izyskaniya*. 2014. No. 12. P. 26–38. (in Russ.)
6. Garetsky R.G., Levkov E.A., Schwab G., Sokolowski J., and Stackebrandt W. Vertical movements since the beginning jf Rupelian stage (Oligocene). Map of Scale 1: 1500000. Neogeodynamica Baltica. Project No. 346. Edited by: Geological Survey of Brandenburg, Germany, Kleinmachow 1998/2000.
7. Nikonov A.A. *O mekhanizme ochaga Kaliningradskogo zemletryaseniya 21 sentyabrya 2004 g* (On the mechanism of the focus of the Kaliningrad earthquake on September 21, 2004). *Doklady akademii nauk*. 2006. Vol. 407. No. 1. P. 102–105. (in Russ.)
8. Aleshin A.S., Aptikaev F.F., Nikonov A.A., and Pogrebchenko V.V. *O vozmozhnykh prichinakh raskhozhdenii v opredelenii mestopolozheniya epitsentrov glavnykh tolchkov Kaliningradskogo zamletryaseniya 21.09.2004 g* (Possible reasons for discrepancies in determining the location of the epicenters of the main aftershocks of the Kaliningrad earthquake 21.09.2004). *Geofizicheskie issledovaniya*. 2009. Vol. 10. No. 3. P. 59–76. (in Russ.)
9. Geologische Karte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten. Herausgegebenvon der Koniglich Preussischen Geologischen Landesanstalt. Gr Dirsch-

keim. Geologsch und agronomisch bearbeitet durch E. Meyer, 1908. Langen-Massstab 1:25000. Herausgegeben. 1914.

10. Dodonov A.E. *Dislokatsii kainozoiskikh otlozhenii i ikh svyaz's neotektonikoi na territorii Kaliningradskogo poluostrova* (Dislocations of Cenozoic sediments and their relation to neotectonics on the territory of the Kaliningrad Peninsula). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geologiya*. 1971. No. 6. P. 78–82. (in Russ.)
11. Dodonov E.A., Namestnikov Yu.G., and Yakushova A.F. *Noveishaya tektonika yugo-vostoka Baltiiskoi sineklizy* (The latest tectonics of the south-east of the Baltic Syneclise). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 1976. 196 p. (in Russ.)
12. Zagorodnykh V.A., Dovbnya A.V., and Zhamoida V.A. *Informatsionnyi otchet o rezul'tatakh rabot po ob"ektu "proizvodstvo geologicheskogo, gidrogeologicheskogo doizucheniya, geologo-ekologicheskikh issledovanii i kartografirovaniya territorii Kaliningradskoi oblasti masshtaba 1:200000, kartosostavitel'skikh rabot masshtaba 1:200000 na akvatorii yuzhnoi Baltiki (v predelakh ekonomicheskoi zony Rossii, prilegayushchei k kaliningradskoi oblasti) i podgotovka k izdaniyu komplektov gosgeolkarty-200 (novaya seriya) listov N-34-II, -III, -VIII, -IX, -X, -XI, -XIV, -XV, -XVI, -XVII (vse chastichno)" za 1993–2002 gg. (v 8 kn.)* (Information report on the results of work on the project "Production of geological, hydrogeological additional exploration, geological and environmental studies and mapping of the territory of the Kaliningrad region, scale 1:200 000, map-compiling works of scale 1:200 000, the waters of the southern Baltic sea (within the economic zone of Russia adjacent to the Kaliningrad region) and preparation for publishing sets of state geological map-200 (new series) of sheets of N-34-II, -III, -VIII, -IX, -X, -XI, XIV, XV, XVI,-XVII (all partly)" for 1993–2002 (8 books)). Gusev–Sankt-Peterburg: VSEGEI (Publ.), 2002. (in Russ.)
13. Luk'yanova N.V., Bogdanov Yu.B., Vasil'eva O.V., Vargin G.P., Verbitskii V.R., Gorbatsevich N.R., Zhamoida V.A., Zytner Yu.I., Kirikov V.P., Maksimov A.V., Nikutina N.G., Semenova L.R., Sivkov V.V., and Fenin G.I. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Tsentral'no-Evropeiskaya. List N-(34) – Kaliningrad. Ob"yasnitel'naya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (third generation). Central European series. Sheet N – (34) – Kaliningrad. Explanatory note). SPb.: Kartfabrika VSEGEI (Publ.), 2011. 226 p. (in Russ.)
14. Druzhinina O., Bitinas A., Molodkov A., and Kolesnik T. Paleoseismic deformations in the Eastern Baltic region (Kaliningrad District of Russia). *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2017. 66. 3. P. 119–129.
15. Obermeier S.F. Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. Using Ground-Failure Features for Paleoseismic Analysis. USGS Open-File Report 94-663. 1995. 56 p.
16. Kazanov Yu.V., Makarova E.P., and Ivanova Z.K. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Pribaltiiskaya. List N-34-VIII, IX. Ob"yasnitel'naya zapiska* (tate geological map of the USSR scale 1:200000. The Baltic series. Sheet N-34-VIII, IX. Explanatory note). M.: 1983. 59 p. (in Russ.)
17. Amantov A.V., Amantova M.G., Bodryakov T.V., Boldyrev V.L., Grigor'ev A.G., Dorokhov D.V., Zhamoida V.A., Zagorodnykh V.A., Kropachev Yu.P., Kunaeva T.A., Liksushchenkov S.M., Manuilov S.F., Morozov A.F., Morozov B.N., Moskalenko P.E., Nesterova E.N., Petrov O.V., Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Sivkov V.V., Sin'kova E.A., Spiridonov M.A., and Shakhverdov V.A. *Atlas geologicheskikh i ekologo-geologicheskikh kart Rossiiskogo sektora Baltiiskogo morya* (Atlas of geological and ecological-geological maps of the Russian sector of the Baltic Sea). O.V. Petrov (Ed.). SPb.: VSEGEI (Publ.), 2010. 78 p. (in Russ.)
18. Garetskii R.G., Aizberg R.E., Karabanov A.K., Palienko V.P., and Shlyaupa A.I. *Noveishaya tektonika i geodinamika Tsentral'noi Evropy* (The latest tectonics and geodynamics of Central Europe). *Geotektonika*. 1999. No. 5. P. 3–14. (in Russ.)
19. Ludwig A.O. Vertical movements since the beginning of Rupelian stage (map1). Neogeodynamics of the Baltic Sea depression and adjacent areas. Results of IGCP project No. 346. R.G. Garetsky, A.O. Ludwig, G. Scwab, and W. Stackebrandt (Eds.). *Brandenburgische Geowiss. Beitr. Kleinmachow*. 8 (2001). 1. P. 5–12.
20. Levkov E.A., Karabanov A.K. *Neotektonika Belarusi* (Neotectonics of Belarus). *Litosfera*. 1994. No. 1. P. 119–126. (in Russ.)
21. Blazhchishin A.I. *Paleogeografiya i evolyutsiya pozdnechetvertichnogo osadkonakopleniya v Baltiiskom more*. (Paleogeography and evolution of Late Quaternary sedimentation in the Baltic Sea). Kaliningrad: Yantarnyi skaz (Publ.), 1998. 160 p. (in Russ.)
22. Trifonov V.G. and Sokolov S.Yu. *Sopostavlenie tektonicheskikh faz i inversii magnitnogo polya v pozdnem mezozoe i kainozoe* (Comparison of tectonic phases and magnetic field inversions in the Late Mesozoic and Cenozoic). *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2017. Vol. 87. No. 12. P. 1091–1097. (in Russ.)
23. Husebye E.S. and Mäntyniemi P. The Kaliningrad, West Russia earthquakes on the 21st of September 2004 – Surprise events in a very low-seismicity area. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 153 (2005). P. 227–236.
24. Vaitonis V.P. and Levitskaya R.I. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR (novaya seriya). Masshtab 1:1000000. Karta chetvertichnykh otlozhenii. List N-(34)-(35), Vil'nyus* (State Geological Map of the USSR (new series). Scale 1: 1000000. Map of Quaternary deposits. Sheet N – (34)-(35), Vilnius). V.P. Kirikov (Ed.). L.: VSEGEI (Publ.), 1986. (in Russ.)
25. Jentzsch A. Der tiefere Untergrund Königsberg mit Beziehung auf die Wasserversorgung der Stadt. Jahrbuch der Königlich Preussischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1899. Berlin, 1900. B. XX. TII. P. 1–172.
26. Tornquist A. Geologie von Ostpreussen. Berlin: Verlag von Gebrüder Bornträger (Publ.), 1910. 231 p.
27. Mikhnevich G.S. *Osobennosti stroeniya poverkhnosti dochetvertichnykh otlozhenii na territorii Kaliningradskoi oblasti* (Structural features of the surface of pre-Quaternary sediments in the Kaliningrad region). *Vestnik SPbGU. Ser. 7.* 2015. Vol. 3. P. 21–35. (in Russ.)

28. Zagorodnykh V.A., Dovbnya A.V., and Zhamoida V.A. *Stratigrafiya Kaliningradskogo regiona* (Stratigraphy of the Kaliningrad Region). Kaliningrad. 2001. 225 p. (in Russ.)
29. Zagorodnykh V.A. *Paleovrezy v dochetvertichnuyu poverkhnost' na yugo-zapade Pribaltiki* (The incised valley was in the pre-Quaternary surface in the southwest of the Baltic). *Geoinformatika*. 1999. No. 4. P. 33–37. (in Russ.)
30. Zagorodnykh V.A. *Geokhimicheskie anomalii v chetvertichnykh otlozheniyakh zapadnogo anklava Rossii* (Geochemical anomalies in Quaternary sediments of the Western enclave of Russia). *Geoinformatika*. 1999. No. 2. P. 41–42. (in Russ.)
31. http://glcf.umiacs.umd.edu
32. https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html
33. https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/
34. *Geologiya i geomorfologiya Baltiiskogo morya. Ob"yasnitel'naya zapiska k geologicheskim kartam m-ba 1:500000* (Geology and geomorphology of the Baltic Sea. Explanatory note to the geological maps of scale 1:500000). A.A. Grigyalis (Ed.). L.: Nedra (Publ.), 1991. 420 p. (in Russ.)
35. Pillans B. and Gibbard P. The Quaternary period. In: Gradstein, F., Ogg, J., Schmitz, M. and Ogg, G. (Eds.). The Geologic Time Scale. 2012. Elsevier, Oxford, Amsterdam, Waltham, P. 979–1010.
36. Grosval'd M.G. *Glyatsiodislokatsii. Glyatsiologicheskii slovar'* (Glacial dislocations. Glaciological dictionary) V.M. Kotlyakov (Ed.). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1984. P. 92. (in Russ.)
37. Lavrushin Yu.A. *Stroenie i formirovanie osnovnykh moren materikovykh oledenenii* (Structure and formation of the ground moraines of continental glaciations). M.: Nauka (Publ.), 1976. 240 p. (in Russ.)
38. Levkov E.A. *Glyatsiotektonika* (Glaciotectonics). Minsk: Nauka i tekhnika (Publ.), 1980. 280 p. (in Russ.)
39. Dehls J.F., Olesen O., Olsen L., and Blikra L.H. Neotectonic faulting in northern Norway; the Stuoragurra and Nordmannvikdalen postglacial faults. *Quaternary Science Reviews*. 19 (2000). P. 1447–1460.
40. Lagerbäck R. and Sundh M. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden: Research Paper C 836. Geological Survey of Sweden. 2008.
41. Ojala A.E.K., Mattila J., Ruskeeniemi T., Markovaara-Koivisto M., Palmu J-P., Nordback N., Lindberg A., Sutinen R., Aaltonen I., and Savinen J. Postglacial faults in Finland – a review of PGSdin project results. POSIVA OY, Olklluoto, FI-27160 EURAJOKI, Finland, April 2019. ISBN 978-951-652-271-8, ISSN P. 2343–4740.
42. Mattila J., Ojala A.E.K., Ruskeeniemi T., Palmu L-P., Aaltonen I., Käpyano A., Lindberg A., and Sutinen R. Evidence of multiple slip events on postglacial faults in northern Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews*. 2019. P. 215; 242–252.
43. Mörner N-A. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandis, especially Sweden. Primary structures and secondary effects. *Tectonophysics*. 380 (2004). P. 139–157.
44. Pisarska-Jamrozy M., Belzyt S., Borner A., Hoffmann G., Huneke H., Kenzler M., Obst K., Rotner H., and van Loon T. Evidence from seismites for glacio-isostatically induced crustal faulting in front of an advancing land-ice mass (Rugen Island, SW Baltic Sea). *Tectonophysics*. 2018. 745. P. 338–348.