

УДК 551.248. 2. (470.3)

ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

**Владимир Михайлович Макеев¹✉, Елена Александровна Пикулик²,
Екатерина Александровна Карфидова³, Алексей Олегович Агибалов⁴**

¹ Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия; vmakeev@mail.ru

² Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия; elena_pikulik@bk.ru

³ Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия; e.karfidova@yandex.ru

⁴ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; agibalo@yandex.ru

Аннотация. В Московском регионе впервые исследованы эоплейстоценовые деформации с возрастом 1,8 млн лет, с которыми связана активность современных геологических процессов. Качественная и количественная характеристика деформаций проведена на основе структурно-геодинамического метода и морфометрического анализа большого массива ГИС-данных. Оценены значения поэтапной амплитуды и скорости неотектонических поднятий, а также вычислен градиент скорости деформаций Москворецкой активной зоны.

Ключевые слова: неотектоника, геодинамически активные зоны, денудационные ступени, речные террасы

Для цитирования: Макеев В.М., Пикулик Е.А., Карфидова Е.А., Агибалов А.О. Четвертичная тектоника и геодинамика Московского региона // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2. С. 19–26.

QUATERNARY TECTONICS AND GEODYNAMICS OF MOSCOW REGION

**Vladimir M. Makeev¹, Elena A. Pikulik², Ekaterina A. Karfidova³,
Alexey O. Agibalov⁴**

¹ Institute of Geoeology named after E.M. Sergeev RAS, Moscow, Russia; vmakeev@mail.ru

² Institute of Geoeology named after E.M. Sergeev RAS, Moscow, Russia; elena_pikulik@bk.ru

³ Institute of Geoeology named after E.M. Sergeev RAS, Moscow, Russia; e.karfidova@yandex.ru

⁴ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; agibalo@yandex.ru✉

Abstract. In the Moscow region, Eopleistocene deformations (1,8 million years) were studied for the first time. The activity of modern geological processes is associated with them. The qualitative and quantitative characteristics of deformations were carried out on the basis of the structural-geodynamic method and morphometric analysis of a large array of GIS data. The stage-by-stage amplitudes and velocities of neotectonic uplifts have been estimated. And the gradient of the strain rate of the Moskvoretskaya zone was calculated.

Keywords: neotectonics, geodynamically active zones, denudation steps, river terraces

For citation: Makeev V.M., Pikulik E.A., Karfidova E.A., Agibalov A.O. Quaternary tectonics and geodynamics of Moscow region. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 2: 19–26 (In Russ.).

Введение. Для выявления и оценки неотектонических структур большое значение имеют структурно-геодинамические исследования форм и типов рельефа, включая анализ древнего донеотектонического субстрата и неоген-четвертичных образований [Макаров и др., 1998; Москва..., 1997; Личков, 1944]. Их изучение позволяет реконструировать направленность и тенденцию развития структур, служащих первопричиной развития интенсивных геологических процессов. Знания о неотектонике и современной геодинамике позволяют избежать многих негативных последствий, связанных с прямым и опосредованным воздействием этих процессов на инженерные сооружения [Осипов и др., 2006; Осипов, Макаров, 2000].

Из-за отсутствия геоморфологических реперов, выдержанных на больших пространствах, их изме-

нения путем техногенного сглаживания в процессе градостроительной деятельности рельефа недостаточно для оценки неотектонических структур. Относительно сохраняются от разрушения погребенные ступени, которые в меньшей степени подвергаются внешнему воздействию. Одна из таких ступеней — погребенная эоплейстоценовая, которая закартирована на основе данных бурения скважин (85 тыс.) [Дорожко, 2014; Dorozhko, Makeev, 2013]. Нами она принята за репер. Другие ступени менее выражены в погребенном рельефе.

Реперная поверхность с возрастом 1,8 млн лет и ее деформации рассматриваются как развивающаяся поныне, т. е. они относятся к категории современных активных. Эти деформации представляют собой элементы строения более зрелых неотектонических структур с возрастом 30–35 млн лет, относимых к

суммарным. В связи с этим актуальна количественная оценка значений суммарной и постадийной амплитуды и скорости поднятий, т. е. степени активности геодинамического фактора. Особую задачу представляет оценка градиента скорости современных деформаций геодинамически активных зон (ГдАЗ) [Макеев и др., 2015]. В Московском регионе к таковым относится Москворецкая ГдАЗ.

С целью оценки неотектонических и геодинамических условий Московский регион исследован в аспекте литолого-стратиграфического строения, структурно-геоморфологической типизации (районирования), морфометрии геоморфологических поверхностей, активности неотектонических структур и их количественной оценки. Метод исследований — структурно-геодинамический [Макеев и др., 2015; Макеев и др., 2016; Макаров и др., 1997; Макарова и др., 2011].

Литолого-стратиграфический очерк. Согласно неотектоническим представлениям породы в рассматриваемом регионе можно разделить на докайнозойские (донеотектонический субстрат) и позднекайнозойские.

Докайнозойские породы слагают кристаллический фундамент архейского возраста и платформенный осадочный чехол: венд-рифейский, девонский, каменноугольный, юрский и меловой [Москва..., 1997]. Архейские породы представлены метаэффузивами, гнейсами и сланцами мощностью до 9 км, дислоцированными с образованием складчато-разрывных структур. В течение протерозоя осадконакопления не было. В рифее произошел рифтогенез с образованием Красногорского горста и Теплостанского грабена. В это время (рифей и венд) накопились субконтинентальные песчаники и песчано-алевролитоглинистые породы мощностью до 2000 м.

В раннем палеозое территория снова находилась в континентальных условиях. Ранний девон (эмский ярус) ознаменовался прогибанием и накоплением морских отложений. В девоне накопились терригенные, карбонатные и доломитово-сульфатные отложения общей мощностью около 920 м. В каменноугольное время образовались карбонатные и терригенные отложения мощностью до 440 м. В пермско-раннеюрское время произошли положительные движения с формированием доюрской долины. В юре континентальный режим сменился морским с накоплением песчанисто-глинистых отложений мощностью более 100 м. На юрских и каменноугольных породах с угловым несогласием залегают меловые терригенные отложения мощностью 140 м. Они распространены преимущественно в южной и юго-западных частях Москвы. В послесантонское время (поздний мел) регион испытал поднятие и пенепленизацию, длившиеся в течение палеогена, неогена и эоцено-неогена. В позднем кайнозое произошли дифференцированные тектонические движения с образованием поднятий и прогибов. Эти

процессы сопровождались резкими климатическими катаклизмами.

Позднекайнозойские отложения представлены ледниковыми и аллювиальными. Ледниковые отложения отвечают сетуньской, донской и московской эпохам. Аллювиальные отложения слагают три террасы — ходынской, мневниковскую, серебряноборскую, а также пойму.

Первая половина раннего неоплейстоцена ознаменовалась активностью сетуньского оледенения (gIst). Морена сложена суглинками, карбонатными супесями с гравием и галькой изверженных и метаморфических пород мощностью от 1–5 до 12 м. Под мореной залегают флювиогляциальные тонко-мелкозернистые пески мощностью 5–10 м и аллювий Татаровской палеодолины. На морене залегают нерасчлененные разнотипные отложения ильинско-донского горизонта.

Вторая половина раннего неоплейстоцена отмечена донским оледенением (gIdns). Морена сложена суглинками, реже супесями с рассеянными обломками карбонатных пород общей мощностью от 1–3 до 20 м. Подморенные флювиогляциальные отложения представлены разнотипными песками мощностью 4–7 м, надморенные отложения — водноледниковыми, аллювиальными и озерными отложениями мощностью не более 10 м, включая нерасчлененные образования мощностью до 20 м.

Средний неоплейстоцен связан с московским оледенением (gIms). Морена представлена суглинками и супесями красновато-желтоватого и темно-бурого цвета мощностью от 2–5 до 12 м, содержащими дресву, гравий, щебень, гальку и валуны магматических, метаморфических и осадочных пород. Морена подстилается флювиогляциальными суглинками и супесями с галькой общей мощностью до 10 м и перекрыта флювио- и лимногляциальными отложениями мощностью 5–8 м.

Эпоха формирования ледниковых отложений, ознаменовавшаяся преимущественно наложенным строением, сменилась образованием прислоненных террас — ходынской, мневниковской и серебряноборской.

Ходынская терраса (aQ³IIhd) — аллювиально-флювиогляциальная. Аллювий представлен разнотипными песками с небольшим количеством гравия и гальки общей мощностью 6–7 м. Мневниковская терраса (aQ²III^{mn}) сложена среднетипными песками с редкими суглинками. В основании разреза присутствуют гравий и галька. Терраса, возможно, двухуровневая — ее поверхность относительно уреза воды р. Москва находится на 18–20 и 25–28 м, мощность аллювия составляет 10–12 и 10–11 м, соответственно Серебряноборская терраса (aQ¹III^{sb}) представлена мелко- и среднетипными песками с гравием и галькой, суглинками и супесями мощностью 10–12 м. Пойменные отложения (aQIV) р. Москва сложены гравийно-галечными и разнотипными песчаными отложениями с прослоями суглинков

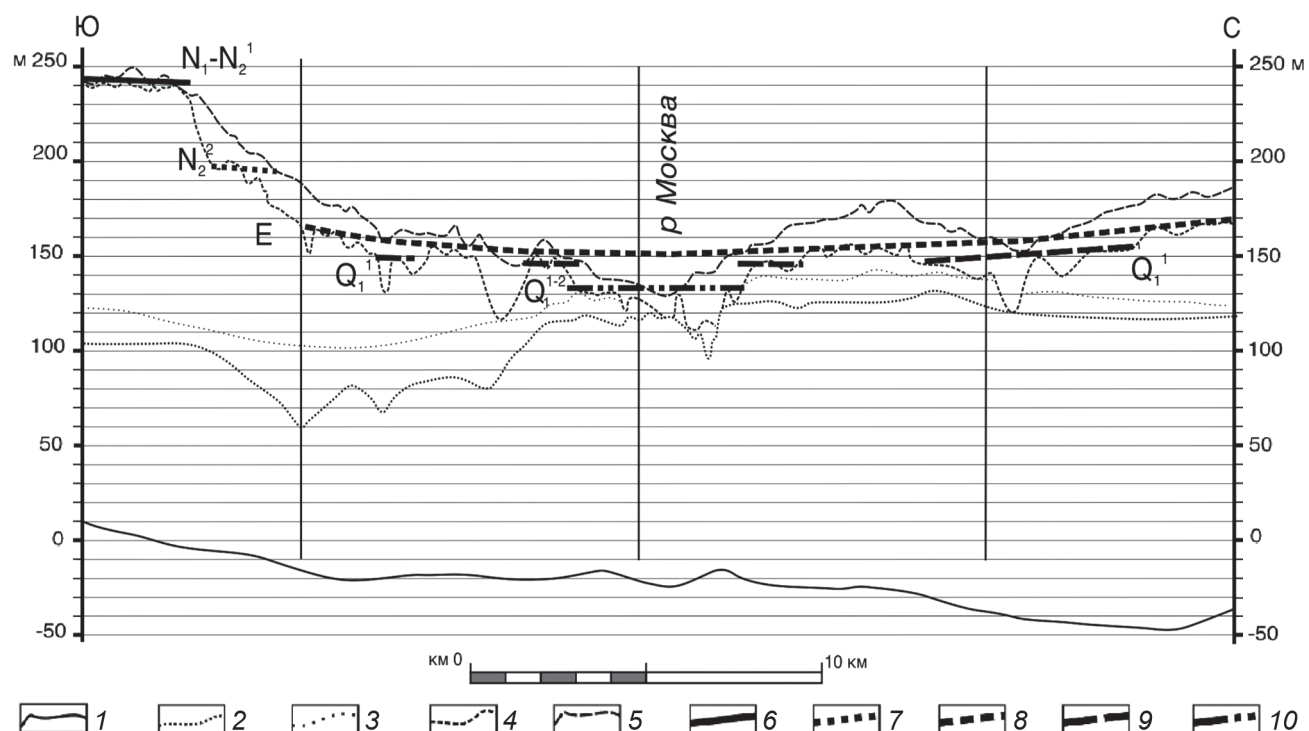


Рис. 1. Структурно-геоморфологический профиль территории Москвы: 1 — кровля верейского горизонта среднего карбона как репер герцинских деформаций; 2–4 — эрозионные поверхности, выработанные на отложениях: 2 — каменноугольных, 3 — келловей-оксфордских, 4 — мезозойских; 5 — рельеф дневной поверхности; 6–10 — денудационные уровни: 6 — миоцен-раннеплиоценовый, 7 — позднелиоценовый, 8 — эоплейстоценовый (репер четвертичных деформаций), 9 — раннелиоценовый, 10 — раннелиоценовый

мощностью от 14(4) до 16 м. Пойма выражена верхним и низким уровнями.

Структурно-геоморфологическая типизация региона. Согласно концепции непрерывно-прерывистых тектонических движений и глобальных циклических изменений климата в рельефе любой территории выделяются закономерно повторяющиеся эрозионно-аккумулятивные циклы [Хайн, 1950]. Отражение цикличности — отчетливо выраженная на возвышенностях ступенчатость склонов и связанные с ней коррелятивные отложения во впадинах. Каждый цикл рельефообразования (ступень) включает врез, выраженный склоном, и прилежащую к его подножию поверхность выравнивания — педимент. Врез формируется в период поднятия, поверхность выравнивания — в период ослабления или прекращения этого поднятия.

В рассматриваемом регионе выделены эрозионно-денудационные ступени и надпойменные речные террасы — результат непрерывно-прерывистых движений. Возраст геоморфологических ступеней оценен на основании литературных данных и авторских исследований [Dorozhko..., 2013; Grigor'eva..., 2011; Карта..., 1972].

В регионе выделено 5 эрозионно-денудационных ступеней (поверхностей) (рис. 1). Из них 1- и 2-я ступени выражены в дневном рельефе, а 3-, 4- и 5-я ступени погребенные. Самая древняя — 1-я ступень, датированная миоценом–ранним плиоценом ($N_1-N_2^1$). Она выработана на абсолютных отметках

238–242 м. Ступень фрагментарно сохранилась на самых высоких возвышенностях — Теплостанской и Клиско-Дмитровской. Ее разновозрастные понтические коррелятивные отложения развиты за пределами рассматриваемой территории — на юго-востоке в Окско-Донском прогибе.

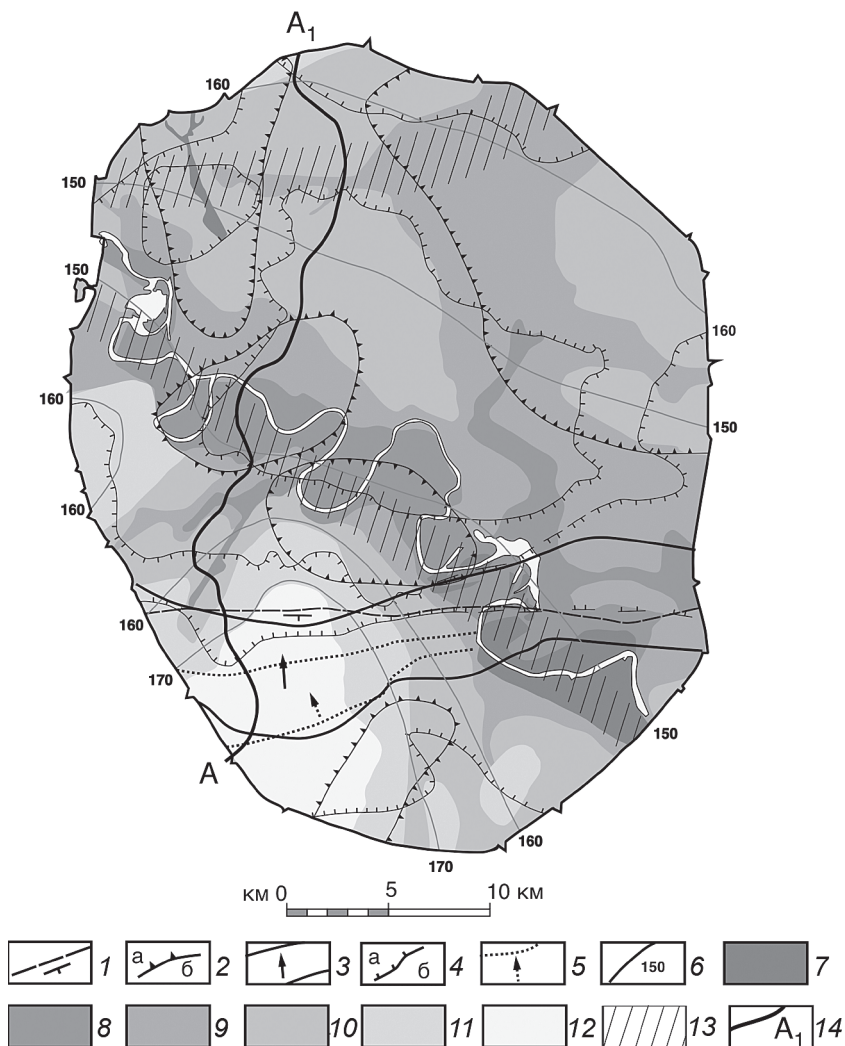
Вторая ступень — позднелиоценовая (N_2^2). Она сохранилась немного шире, чем первая, преимущественно на Теплостанской, Кунцевской и Клиско-Дмитровской возвышенностях на абсолютных отметках (абс. отм.) 200–220 м. Ее возраст коррелирует с киммерийско-акчагыльскими отложениями, развитыми также в Окско-Донском прогибе.

Третья эоплейстоценовая ступень (Е) развита на абс. отм. 150–180 м. Она сохранилась почти на всех возвышенностях в виде останцов с крутыми склонами. Ступень уверенно восстанавливается на всех геоморфологических профилях, и поэтому рассматривается в качестве репера для определения четвертичных деформаций (рис. 2).

Четвертая раннелиоценовая ступень (Q_1^1) распространена на абс. отм. 140–158 м. Ее формирование предшествовало сетуньскому оледенению, что позволило связать происхождение ступени с татаровской палеодолиной.

Пятая позднелиоценовая ступень (Q_1^2) развита на абс. отм. 100–130 м. Она наклонена в сторону хорошевского вреза (долины), поэтому рассматривается как генетически с ней связанная. Русло выполнено разнотипными отложениями времени

Рис. 2. Разновозрастные структурные планы и их соотношение: 1 — Павлово-Посадский рифейский разлом; 2–3 — структуры, образованные по каменноугольным отложениям: 2 — пликативные (а — понижения, б — поднятия); 3 — флексура; 4–5 — структуры, образованные по мезозойским отложениям: 4 — пликативные (а — прогибы, б — поднятия), 5 — флексура; 6 — изолинии эоплейстоценового реперного уровня; 7–12 — высотные отметки рельефа, м: 7 — <120, 8 — 120–140, 9 — 140–160; 10 — 160–180, 11 — 180–200, 12 — >200; 13 — геодинамически активные зоны: в центральной части региона — Москворецкая, на севере — Лихоборская; 14 — линия структурно-геоморфологического профиля (см. рис. 1)



отступления сетуньского оледенения и наступания донского.

Надпойменных террас всего три. Самая высокая — третья ходынская (абс. отм. уровня 156–174 м). Вторая терраса — мневниковская (абс. отм. уровня 136–141 м) и первая — серебряноборская (абс. отм. 126–130 м). Верхний уровень поймы находится на абс. отм. 115–125 м, низкий уровень — на 1–2 м ниже. Аллювиальные отложения террас прислоненные (врезанные), что отражает дифференцированные поднятия рассматриваемой территории в последнюю эпоху.

Материалы и методы исследований. Техногенное выравнивание рельефа Москвы в связи с градостроительными проектами вызвало необходимость уточнить положение геоморфологических уровней, выявленных на основе структурно-геоморфологических исследований. В связи с этим проанализированы следующие массивы данных в среде ArcGIS: 1) база геоданных и материалы геологического картографирования территории Москвы в масштабе 1:10 000 [Миронов, 2011], 2) интегральная карта инженерно-геологического районирования [Инновационный ..., 2012]; 3) расчеты ГРИД-поверхностей мезозойских и четвертичных отложений по равномерной сетке с размером ячейки 100 м; 4) денудационные уровни кровли дочетвертичных отложений, полученные в ходе развития московского геоинформационного проекта в среде ArcGIS [Миронов, 2011]. Взаиморасположение различных уровней (ступеней рельефа) отображено на рис. 3.

Погребенные денудационные ступени выделены по ГРИД-поверхности дочетвертичных отложений в виде полигонов (фрагментов), характеризующихся минимальными и максимальными отметками абсо-

лютной высоты и расчетной площадью. Методика впервые описана в работе А.Л. Дорожки [Дорожка, 2014]. На основе ГРИД-поверхностей выполнены расчеты для 3-, 4- и 5-го погребенных уровней (E , Q_1^1 , Q_1^2). Они представлены в виде графика распределения значений абсолютной высоты относительно площади их распространения (рис. 4). В расчетах общая площадь 5-го уровня приравнена к условной единице, а площади 4- и 3-го уровней рассчитаны пропорционально 5-му ($1,0=65 \text{ км}^2$).

Речные террасы выделены на ГРИД-поверхности четвертичных отложений средствами разработанного морфометрического анализа (рис. 3). Последовательность выполнения работ следующая: 1) из таблицы описательных данных инженерно-геологической карты производится выборка таксонов каждой надпойменной террасы и всех входящих в таксон инженерно-геологических массивов; 2) ГРИД-поверхность четвертичных отложений вырезается в границах фрагментов распространения каждой террасы и экспортируется в точечный слой с координатами X , Y и абсолютной высотой Z . Расчеты выполняются исключительно для долины р. Москва в пределах Московской кольцевой автодороги (МКАД). Результаты расчета представлены в виде графика относительной

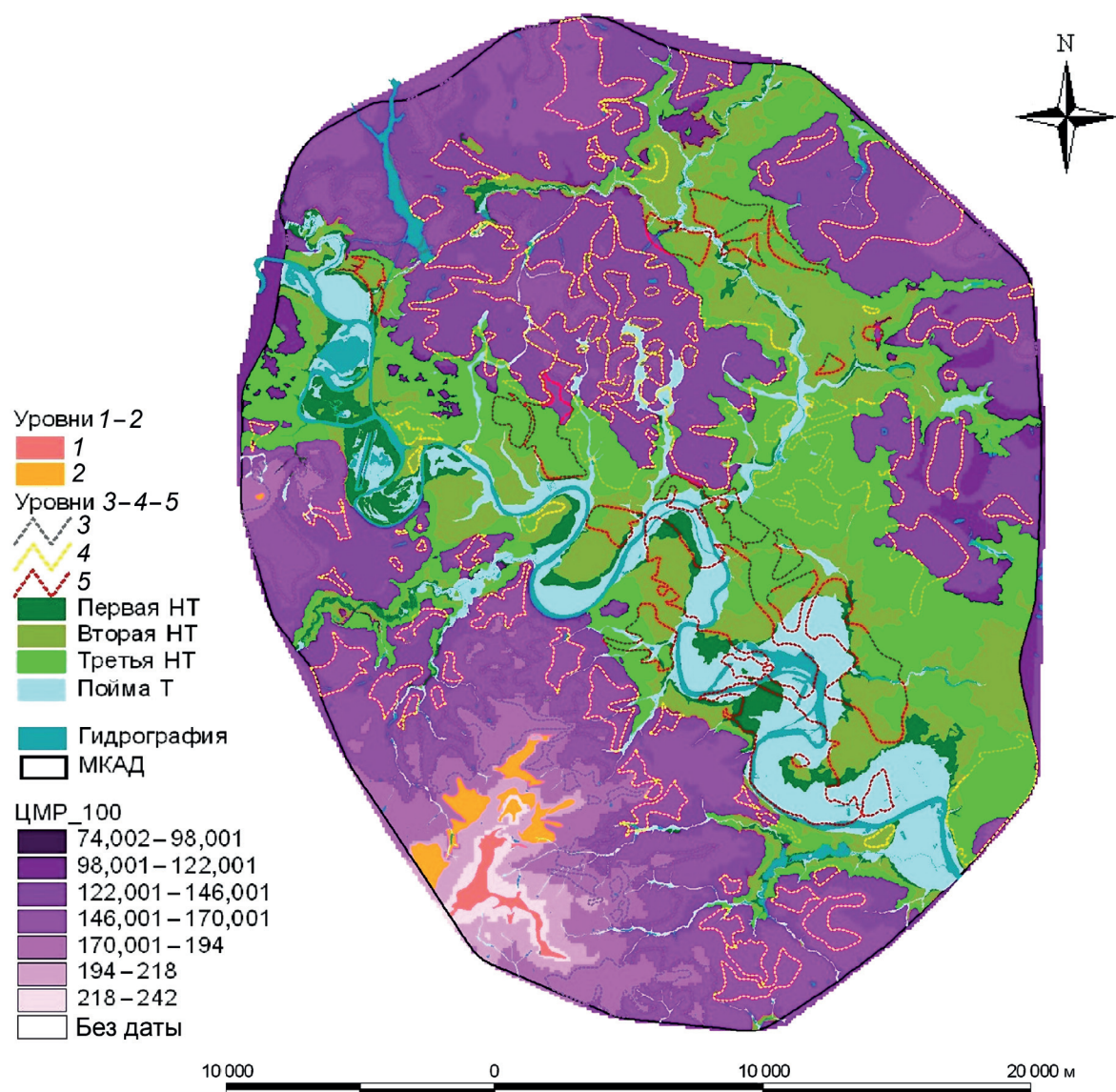


Рис. 3. Геоморфологические уровни территории Москвы, выделенные по ГРИД-поверхностям: 1–5 — эрозионно-денудационные уровни: 1–2 — проявленные в дневном рельефе, 3–5 — погребенные под неоплейстоценовыми отложениями; аккумулятивные уровни: НТ — надпойменные террасы, Т — пойма р. Москва

частоты распределения значений абсолютной высоты (рис. 5). Речные террасы: I — серебряноборская, II — мневниковская и III — ходынская.

Таким образом, на основе использования большого массива ГИС-данных впервые уточнено положение денудационных ступеней и речных террас р. Москва, что необходимо для оценки значений амплитуды и скорости неотектонических поднятий. В результате выявлены отличия в значениях, полученных на основе ГИС-технологий, и данных, полученных традиционными методами структурно-геоморфологических исследований: для I террасы абсолютные отметки поверхности составляют 127–131 м (126–130 м), для II — 132–137 м (136–141 м), для III — 139–150 м (156–174 м). Для сравнения в скобках даны абс. отметки террас, полученные традиционным структурно-геоморфологическим методом, не учитывающим техногенное воздействие на геологическую среду Москвы.

Результаты исследований и их обсуждение. Неотектонические (эоплейстоценовые) структуры. Эоплейстоценовые структуры наиболее выразительны в деформациях эоплейстоценовой поверхности (Е). Эта поверхность наиболее уверенно прослеживается в погребенном рельефе из всех ей подобных, что позволяет отнести ее к категории опорных или реперных. Будучи погребенной, она вобрала в себя всю сумму деформаций, произошедших с момента ее образования и доныне (1,8 млн лет) (рис. 2), включая неоплейстоценовые (N_p , 800 тыс. лет) и голоценовые (Н, 11 тыс. лет). В этом аспекте рассматриваемые структуры можно отнести к активным современным.

Эоплейстоценовые структуры, выраженные в деформациях реперной поверхности, представлены поднятиями и прогибами. Наиболее представительны в этом отношении юг-юго-западная и центральная части рассматриваемого региона

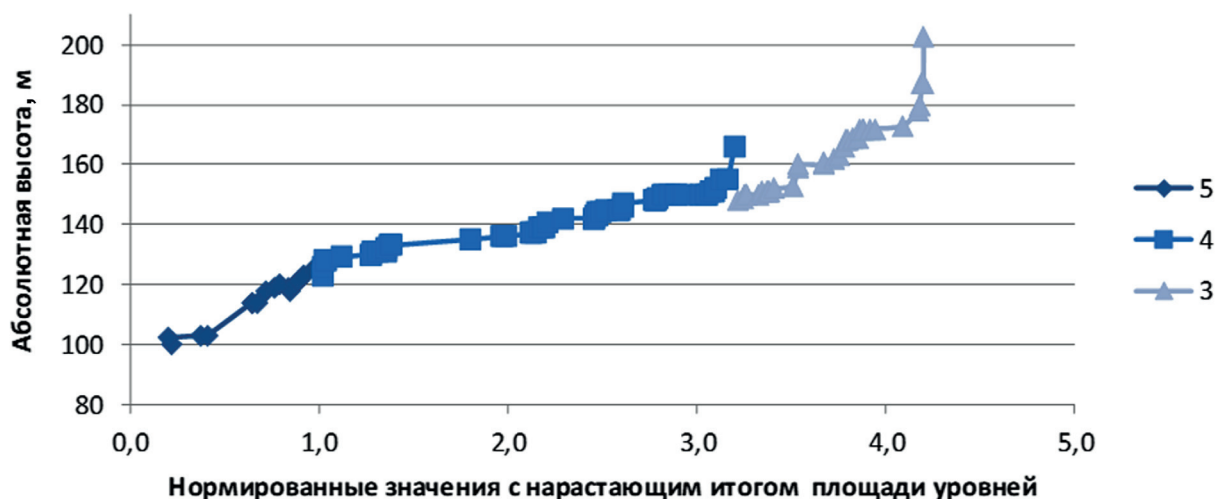


Рис. 4. Абсолютная средняя высота 5-й, 4-й и 3-й денудационных ступеней по относительным нарастающим площадям участков

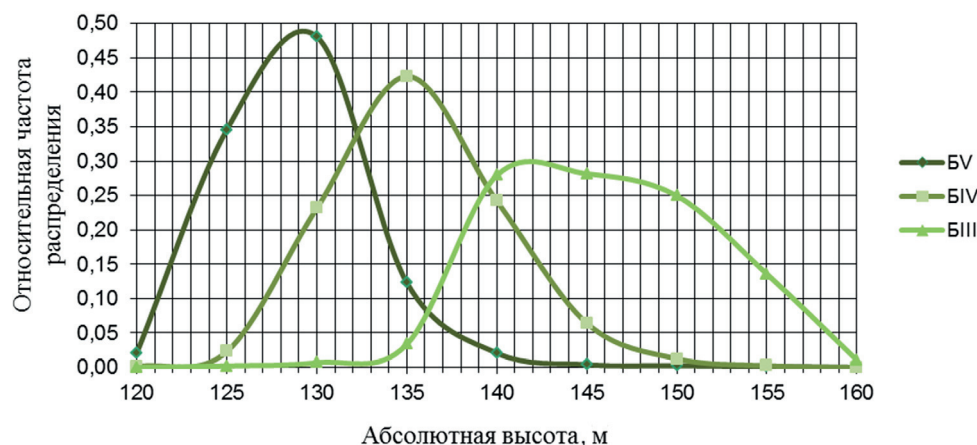


Рис. 5. Относительная плотность распределения абсолютных высот по трем надпойменным террасам р. Москва в пределах МКАД

(рис. 2). Юг-юго-западная часть Москвы подверглась эоплейстоценовым поднятиям (Е), отчетливо согласующимся с Теплостанским и Кунцевским миоцен-плиоценовыми поднятиями ($N_1-N_2^1$). В результате суммарная амплитуда этих поднятий самая большая и составляет 240 м (таблица). Рост неотектонических поднятий осуществляется на разнородном древнем субстрате, представленном прогибом, который выполнен мезозойскими отложениями, и докембрийским рифейским грабеном, включая Павлово-Посадский разлом. В силу их рассогласованности неотектонические напряжения могут вызвать в них интенсивные дислокации или расслоенность на границах тектонических этажей [Макеев и др., 2016].

Центральная часть Москвы пересечена относительно узким опусканием северо-западного простирания, которое выражено в понижении эоплейстоценовой опорной поверхности с абсолютной отметкой 150 м и ниже (рис. 2). Долина р. Москва несколько смещена к югу относительно этого прогиба. С нашей точки зрения, это вызвано влиянием сил Кориолиса на р. Москва, что привело к ее интенсивному смещению вправо [Макаров и др., 1997] и наследованию локализованной здесь Москворецкой геодинамически активной зоны (ГдАЗ).

Формирование ГдАЗ связано с сочленением разнородных структур, расположенных в юг-юго-западной и север-северо-восточной частях Москвы. Подчеркнем, что в первом случае отмечена согласованность поднятий (Е, $N_1-N_2^1$) по знаку движений, относимых к Нарофоминским (Воронежским) структурам. Во втором случае все несколько сложнее, поскольку в этой части Москвы формируются Лосяноостровское, Центрально-Московское и другие неоплейстоценовые поднятия (N_p), которые можно отнести к внутридепрессийным. Их рост происходит на фоне обширного Мещерского неотектонического опускания ($N_1-N_2^1$), связанного с активностью Окско-Донского прогиба.

Геодинамически активные зоны рассматриваются в качестве потенциально геозкологически значимых с точки зрения связи с ними повышенной трещиноватости и газофлюидной проницаемости. В Москворецкой ГдАЗ локализованы интенсивные экзогенные процессы: карст, суффозия, оползни и т.д. Установлено, что наибольшее их сгущение приурочено к краевым частям зоны.

Количественная оценка неотектонических структур. Количественная оценка основана на представлении, что поэтапные значения амплитуды

**Новейшие (суммарные) и поствидные значения
амплитуды и скорости поднятия**

Циклы рельефа	<i>T</i> , млн лет	<i>M</i> , м	<i>H</i> , м	ΔH , м	<i>A</i> , м	<i>V</i> , мм/год
$N_1-N_2^1$ (понтический)	5330		238–242		240	0,04
N_2^2 (акчагыльский)	3600		200–220		210	0,06
Е (эоплейстоце- новый)	1800		150–180		165	0,09
Q_1^1 (преддонской)	0,760		140–158		149	0,19
Q_1^{1-2} (предсетуньский)	0,528		100–130		115	0,22
$Q^3\Pi$ (ходьинский)	0,115	6–7	139–150	от 20–25 до 30–35	8,5	0,07
$Q^2\Pi$ (мневниковский)	0,056	10–12 10–11	132–137	25–28 18–20	12,7	0,23
$Q^1\Pi$ (серебряно- борский)	0,046	10–12	127–131	8–14	13,0	0,29
QIV (пойма)	0,011	15–16	115–125	1–6	15,5	1,41

Примечание. *T* — возраст, млн лет; *M* — мощность аллювия, м; *H* — высотные отметки, м; ΔH — относительное превышение, м; *A* — амплитуда поднятия, м; *V* — скорость поднятия, мм/год. Цифры, показанные курсивом, уточнены на основе ГИС-данных.

и скорости поднятий условно пропорциональны глубине эрозионно-аккумулятивных врезов, а суммарная амплитуда новейшего (неотектонического) поднятия соответствует абсолютным отметкам за вычетом мощности покровных ледниковых и эолово-делювиальных образований [Несмеянов, 1971]. Продолжительность циклов (абсолютный возраст) соответствует стратиграфической шкале [Стратиграфический..., 2019; Международная..., 2017]. Оценка амплитуды и скорости поднятий выполнена в целом для Московского региона и Москворецкой геодинамически активной зоны.

Московский регион характеризуется суммарными и поэтапными значениями амплитуды и скорости неотектонических поднятий (таблица). Установлено, что скорость роста поднятий возрастала два раза с кратковременным снижением в ходынское время. В первый раз она начала увеличиваться с миоцен-раннеплиоценового времени с 0,04 мм/год и достигла максимума в предсетуньское время (0,22 мм/год); во второй раз — с сетуньского времени с 0,07 мм/год и достигла максимума в голоцене (1,41 мм/год), т. е. ныне отмечается максимальная геодинамическая активность в регионе. Нарастание скорости и ее снижение можно связать с интерференцией разных по происхождению полей напряжений: эндогенных (глобальная тектоника литосферных плит и региональная внутриплатформенная тектоника) и

экзогенных (ледниковых, планетарных и тектоно-гравитационных). В нашем случае оценка полей напряжений не составляет цель работы. Здесь лишь отметим, что в качестве источников регионального поля напряжений следует рассматривать Окско-Донской геодинамически активный очаг и обширные центры оледенений. Например, на Теплостанской возвышенности мощность ледника доходила до 3 км, что не могло не сказаться на уменьшении скорости поднятия [Кожевников, 1979]. При снятии ледниковой нагрузки произошла постепенная релаксация упругих напряжений, которая, возможно, в голоцене достигла максимума. Увеличение скорости поднятия приводит даже к появлению сейсмичности [Сейсмо-тектоника..., 2009].

Москворецкая геодинамически активная зона негативна на проявление суффозионно-карстовых процессов и развитие оползневых склонов, она исследована с точки зрения градиента скорости неотектонических деформаций на основе деформаций опорной эоплейстоценовой поверхности (рис. 2). Ее возраст составляет 1800 тыс. лет. В Москворецкой ГдАЗ, к которой приурочена излучина (меандр) Воробьевых гор, опорная поверхность снижается с абс. отм. 160 м до 150 м (10 м) на расстоянии 3000 м, что составляет 3,3 м на 1000 м расстояния (база). В этом случае градиент скорости эоплейстоценовых деформаций составляет 0,005 мм/год. Оценка скорости эрозионных процессов в рассматриваемой зоне показала следующие результаты. В рассматриваемой ГдАЗ, к которой приурочена излучина р. Москва, глубина тальвега пойменного вреза относительно опорной поверхности (изогипса 150 м) составляет 45,5 м. Следовательно, градиент скорости эоплейстоцено-голоценовой эрозии в зоне составляет 0,025 мм/год, что почти в 5 раз выше скорости неотектонической деформации. В рассматриваемом случае очевидны масштабы влияния экзогенного фактора на количественную оценку нетектонических (новых) деформаций.

Таким образом, величина градиента скорости неотектонических деформаций в Москворецкой ГдАЗ, включающая тектоническую и эрозионную составляющие, при амплитуде $(10+45,5) = 55,5$ м равна 0,03 мм/год за 1,8 млн лет. В этом аспекте увеличение градиента скорости деформаций вызвано влиянием эрозионных процессов, которые превышают тектоническую деформацию в 5 раз.

Заключение. В регионе различаются неотектонический суммарный ($N_1-N_2^1$) и эоплейстоценовый (Е) структурные планы. Последний по отношению к первому наложенный и более активный. Согласованность планов отмечена на Теплостанском и Кунцевском высокоамплитудных поднятиях. Рас-согласованность выявлена в связи с инверсией Московского, Лосиноостровско-Измайловского и других малоамплитудных поднятий (N_p), происходящих на фоне опускания Мещерского прогиба ($N_1-N_2^1$). Скорость неотектонических поднятий

в регионе возрастала два раза: с миоцен-раннеплиоценового времени от 0,04 до 0,22 мм/год в предсетуньское время; с сетуньского времени от 0,07 до 1,41 мм/год в голоцене. Кратковременное снижение скорости произошло в ходынское время ($Q^3\P$), возможно, это связано с не набравшей силу релаксацией ледниковых напряжений сжатия. Не исключено, что релаксация достигла максимума в голоцене [Сейсмотектоника..., 2009].

Москворецкая геодинамически активная зона транзитная (секущая) относительно неотектонических (суммарных) структур ($N_1-N_2^1$). Ее формирование связано с несогласным сочленением разнотипных эоплейстоценовых деформаций (Е).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дорошко А.Л. Неотектоника, геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение: Автореф. канд. дисс. М., 2014. 26 с.

Инновационный проект по крупномасштабному специализированному геологическому картографированию территории г. Москвы // Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста / Под ред. А.В. Антипова, В.И. Осипова. М.: Проспект, 2012. С. 154–180.

Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1972.

Кожевников А.В., Кожевникова В.Н., Рыбакова Н.О. и др. Стратиграфия подмосковного плейстоцена // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1979. Т. 54, вып. 2. С. 103–127.

Макаров В.И., Бабак В.И., Федонкина И.Н. Новейшая тектоническая структура и рельеф. Москва: геология и город. М.: АО «Московские учебники и картолитография», 1997. С. 86–105.

Макарова Н.В., Макаров В.И., Суханова Т.В. О новейшей структуре Клинско-Владимирской части Смоленско-Дмитровско-Ветлужского вала (Русская плита) // Проблемы сейсмотектоники. Т. 2. Воронеж: Научная книга, 2011. С. 327–331.

Макеев В.М., Карфидова Е.А., Коробова И.В. Субгоризонтальные геодинамически активные зоны платформенной территории — методы выявления и оценка // Изв. вузов. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 16–22.

Макеев В.М., Макарова Н.В., Леденев В.Н. и др. Основы концепции геодинамической безопасности экологически опасных сооружений // Геоэкология. 2015. № 2. С. 99–110.

Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории Москвы // Геоэкология. 2011. № 3. С. 198–214.

В Москворецкой ГдАЗ градиент скорости неотектонических деформаций составляет 0,005 мм/год за 1,8 млн лет. Градиент скорости эрозионных процессов равен 0,025 мм/год, что почти в 5 раз выше скорости неотектонической деформации. Суммарная величина градиента скорости деформаций, включающая тектоническую и эрозионную составляющие, составляет 0,03 мм/год.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Госзадания ИГЭ РАН по теме № 122022400105-9 «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий» и госзадания ИФЗ РАН.

Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. М.: АО «Московские учебники и картолитография», 1997. 400 с.

Несмеянов С.А. Количественная оценка новейших движений и неоструктурное районирование горной области. М.: Недра, 1971. 144 с.

Осипов В.И., Кутенов В.М., Макаров В.И. Геологические условия градостроительного развития г. Москвы // Уникальные и специальные технологии в строительстве. 2006. № 1. С. 10–22.

Сейсмотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения. М.: Книга и бизнес, 2009. 228 с.

Стратиграфический кодекс России (МСК — международный стратиграфический кодекс). 3-е изд., исправ. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.

Международная хроностратиграфическая шкала ISC IUGS. Международная стратиграфическая комиссия. URL: www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale/2017.

Хаин В.Е. О непрерывно-прерывистом типе тектонических процессов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 6. С. 13–21.

Dorozhko A.L., Makeev V.M. Large-scale structural and geodynamic mapping of platform territories on the example of Moscow // J. Earth Sci. and Engineering. USA. 2013. N 3. P. 527–539.

Grigor'eva S.V., Makarov V.I. Large-scale mapping of neotectonics of platform territories: case study of moscow water res. 2011. Vol. 38, N 7. P. 902–915.

Статья поступила в редакцию 08.08.2021;
одобрена после рецензирования 26.10.2021;
принята к публикации 28.04.2022.