ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ, 2021, № 6, с. 17–27

_____ ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ _____ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.24 (235.216)

ОЦЕНКА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2021 г. И. В. Коробова^{1,*}, В. М. Макеев^{1,**}

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия *E-mail: irakorv@mail.ru **E-mail: vmakeev@mail.ru Поступила в редакцию 09.07.2021 г. После доработки 29.07.2021 г. Принята к публикации 10.08.2021 г.

Структурно-геоморфологические исследования проведены во Владимирско-Нижегородском и Московском регионах с целью оценки амплитуд и скоростей суммарных и поэтапных неотектонических движений, определяющих интенсивность геологических процессов. Количественная оценка основана на исследовании разнотипных денудационных поверхностей выравнивания и речных террас, относящихся к эрозионно-аккумулятивным циклам. Фактический материал: сведения о возрасте, генезисе и составе отложений, структурно-геоморфологические разрезы, а также полевые маршрутные наблюдения. Результаты исследований указывают на дифференцированность неотектонических движений по амплитудам и скоростям, обусловленную особенностями геодинамических условий формирования новейших и современных структур. На основе эоплейстоценовой опорной поверхности впервые оценены вертикальные скорости неотектонических деформаций и скорости эрозионных процессов (глубинное врезание) за неоплейстоцен-голоценовое время в Москворецкой геодинамически активной зоне. Установлено, что скорость деформации составляет 0.005 мм/год, а скорость эрозионного врезания в 5 раз выше неотектонической и составляет 0.025 мм/год. Суммарная величина эндогенной и экзогенной составляющих равна 0.03 мм/год. Результаты исследований подтверждают раннее сделанные выводы, что на платформенных территориях незначительная скорость неотектонических движений вызывает интенсивное развитие экзогенных геологических процессов. Активность этих процессов является одной из причин приостановки проектирования и строительства Нижегородской атомной станции.

Ключевые слова: структурно-геоморфологический метод, неотектонические структуры, геодинамически активные зоны, денудационные уровни, речные террасы, амплитуды и скорости движений, геоэкологически значимые дислокации

DOI: 10.31857/S0869780921060047

ВВЕДЕНИЕ

Целью исследований является оценка суммарных амплитуд и поэтапных скоростей неотектонических движений на основе структурно-геоморфологического метода. Исследования были проведены в Московском (долина р. Москва) и Владимирско-Нижегородском (долина р. Ока) регионах в связи с необходимостью обеспечения безопасности территорий, подверженных негативным экзогенным геологическим процессам (карст, суффозия, оползни, подпруживание и т.п.) и интенсивным техногенным нагрузкам.

Московский регион — это городская агломерация, интенсивно расширяющаяся и уплотняющаяся в последнее время [3]. Во Владимирско-Нижегородском регионе планировалось строительство особо важного и технически сложного объекта – Нижегородской АЭС (на данный момент проект строительства "заморожен"), а также ведется проектирование и строительство автомагистралей, трубопроводных систем и др. объектов.

В основу оценки неотектонических движений положена эрозионно-аккумулятивная (тектоноклиматическая) цикличность, которая в рельефе выражена эрозионно-денудационными поверхностями выравнивания и речными цикловыми террасами. В настоящее время известно несколько способов вычисления амплитуды и скорости неотектонических движений.

В работах С.Б. Ершовой и ее коллег на примере Западно-Сибирской плиты приводится методика расчета суммарных (неотектонических) и поэтапных амплитуд скоростей и движений, основанная на оценке возраста и мощности морских отложений, абсолютных отметок уровня палеобассейна и на учете палеогеографических условий [2]. В нашем случае в центральной части Восточно-Европейской платформы морские отложения, как стратиграфически выверенные опорные горизонты, отсутствуют, что влечет за собой ограниченность применения метода.

В работах А.В. Вострякова и др. исследователей амплитуда поднятий вычисляется на основе разности абс. высот современного рельефа и рельефа, образованного к началу новейшего этапа

 $(\mathbf{Pg}_3^3 - \mathbf{N}_1^2)$ [12]. Величина их расхождения принимается в качестве мощности денудационного среза (смытые породы) или амплитуды поднятия. С нашей точки зрения, такая оценка величины смыва неоднозначна, поскольку на месте предполагаемого среза часто устанавливают наличие покровных отложений с горизонтами почв, датируемых возрастом смытых пород. Это указывает либо на то, что денудационного среза (смыва) не было, либо на неточность в определении возраста почв.

Наиболее продвинутой в этом отношении является методика оценки неотектонических движений С.А. Несмеянова [11]. Преимуществом ее является разработанность на хорошо обнаженных территориях, где ярко выражены формы и типы рельефа вследствие устойчивого и длительного орогенеза. В основу методики положены представления, что амплитуды поднятий условно пропорциональны глубинам врезов, а суммарная амплитуда новейшего поднятия соответствует максимальным абс. отметкам рельефа. Данная методика взята нами за основу расчетов.

МЕТОД РАСЧЕТА АМПЛИТУД И СКОРОСТЕЙ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Строение рельефа определяется закономерно повторяющимися эрозионно-аккумулятивными (тектоно-климатическими) циклами, связанными с неравномерным или непрерывно-прерывистым развитием неотектонических движений и глобальными циклическими изменениями климата [15]. Отражением этой цикличности является отчетливо выраженная ступенчатость водоразделов и склонов и связанная с ней последовательность накопления коррелятных отложений во впадинах. Каждый цикл включает врез, выраженный невысоким склоном. и прилежашую к его подножию поверхность выравнивания – педимент. Врез формируется в период тектонического поднятия территории, а поверхность выравнивания, сопряженная с аккумуляцией, — во время его прекращения. При этом принимается, что глубина вреза равна амплитуде поднятия. Геоморфологическая ступенчатость, образованная в процессе

неотектонических движений, является объектом нашей оценки.

Скорость неотектонических движений рассчитывается по формуле:

V = A/t.

где V— средние суммарные или постадийные скорости поднятий; A — амплитуда поднятия за этап (глубина вреза плюс высота эрозионного уступа террасы); t — время, отвечающее продолжительности этапа [10, 14].

У шикловых террас оценивается относительная глубина вреза и высота уступа над поверхностью террасы, а также продолжительность этапа в относительных значениях. Согласно полевым наблюдениям, в рассматриваемых регионах высота уступа террас в среднем небольшая и составляет 1.5-2.5 м. Глубина вреза и мощность отложений определялась по фондовым и литературным материалам (данные буровых скважин) [1, 12]. У денудационных поверхностей оценивалась абс. высота и продолжительность этапа в абсолютных значениях. На основе полевых исследований установлено, что относительная высота уступа денудационных поверхностей обычно не превышает 20 м. На этих поверхностях и особенно в тыловой их части часто накапливаются делювиальные и лессовые отложения, сглаживающие ступенчатость, что вызывает затруднения при их картографировании. Мощность покровных отложений вычитается при оценке амплитуд и скоростей.

ОЦЕНКА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ВЛАДИМИРСКО-НИЖЕГОРОДСКОГО РЕГИОНА

В результате проведенных структурно-геоморфологических исследований в регионе выделены денудационные поверхности выравнивания, речные террасы и неотектонические структуры, на основе которых оценены суммарные и поэтапные амплитуды и скорости движений (рис. 1, рис. 2) [1, 6, 12].

Денудационные поверхности выравнивания и речные террасы

В рельефе рассматриваемого региона выделено 6 денудационных поверхностей выравнивания (ступеней) и исследовано 4 речные террасы (см. рис. 1).

Денудационные поверхности:

— Первая среднемиоценовая поверхность (ламкинский цикл, N_1^2) является самой высокой из всех и наиболее древней. Фрагменты этой поверхности сохранились на водоразделах с абс. отметками 200—220 м. ОЦЕНКА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ



Рис. 1. Структурно-геоморфологический разрез по линии 4–4 (положение профиля см. на рис. 2). 1 – денудационные поверхности и их возраст: 1) N_1^2 , 2) N_1^3 , 3) N_2 , 4) E, 5) Q_1 и 6) Q_2 ; 2 – скважины и их номер; 3 – предполагаемые стратиграфические границы (сплошные линии – достоверные). Пермские отложения. Нижний отдел: P_1 аs – ассельский и P_1 s – сакмарский ярус; средний отдел: P_2 kz₁ – нижняя часть казанского яруса, P_2 kz – казанский ярус, P_2 ur – уржумский ярус и P_2 t – татарский ярус. Миоцен, свиты: N_1 bs – бушуевская и N_1^3 gr – горелкинская. Речные террасы: аIII ln-os – первая (ленинградско-осташковский горизонт), afQII mk-kl – вторая (микулинско-калининский горизонт), aQII od-ms – третья (одинцовско-московский горизонт) и aIV – пойма. Отложения: e-dQII-IV – элювиально-

делювиальные, lafQI-II — озерные, аллювиальные и флювиогляциальные.

 Вторая позднемиоценовая поверхность (горелковско-бушуевский цикл, N₁³) врезана в первую. Абс. отметки поверхности 180–200 м.

 Третья плиоценовая поверхность (челнинско-чистопольский цикл, N₂), соответственно, врезана во вторую. Поверхность находится на абс. отметках 160–180 м.

 Четвертая эоплейстоценовая поверхность
(Е) развита на абс. отм. 140–160 м. Ее образование связано с петропавловско-покровским циклом, вершиной развития которого является донское ледниковье.

 Пятая поверхность образовалась во вторую половину раннего неоплейстоцена (мучкапскоокский цикл, Q₁ mč—ok), находится на абс. отметках 120—140 м. Формирование цикла завершилось окским оледенением.

— Шестая поверхность сформировалась в первую половину среднего неоплейстоцена (калужско-московский цикл, Q_2 kž—ms), расположена на абс. отметках 100—120 м и корреллируется с четвертой надпойменной террасой (115—117 м).

Речные террасы [1, 6]:

 Четвертая терраса (калужско-московский горизонт, a⁴II kž—ms) сложена аллювием, представленным песками с линзами и прослоями суглинков мощностью до 26 м. Абс. отметки поверхности 110—120 м.

 Третья терраса (одинцовско-московский горизонт, а³II od-ms) представлена песками и суглинками мощностью до 23 м. Абс. отметки поверхности 100–110 м. Вторая терраса (микулинско-калининский горизонт, af²III mk-kl) выполнена песками иногда с гравием, суглинками и глинами мощностью до 25 м. Абс. отметки поверхности террасы 90–100 м.

 Первая терраса (ленинградско-осташковский, a¹III ln—os) сложена аллювием, представленным песками (в основании с гравием), суглинками и глинами мощностью до 23 м. Абс. отметки поверхности террасы 80–90 м.

 Пойма (aIV) сложена преимущественно песками в основании с гравием, в приповерхностной части – суглинками, глинами и торфом общей мощностью до 26 м. Абс. отметки поверхности – 70 м.

Неотектонические структуры

Владимирско-Нижегородский регион включает неотектонические структуры первого и второго порядка, геодинамически активные зоны (Г ∂ A3) и линеаменты (см. рис. 2) [6]. Структурами первого порядка (главными) являются Приволжское поднятие (северо-западная часть), Окско-Муромский прогиб СВ-ЮЗ простирания и Клязьминско-Волжский субширотный прогиб. Структуры второго порядка (локальные) осложняют главные. На границах разнопорядковых структур вследствие их разнонаправленного развития выделены геодинамически активные зоны (Г ∂ A3), которые относятся к зонам повышенной трещиноватости и проницаемости. Карстовосуффозионные формы, интенсивно развитые в



Рис. 2. Структурно-геоморфологическое и неотектоническое строение Владимирско-Нижегородского региона. 1 – пойма. Террасы: 2 – первая, 3 – вторая, 4 – третья, 5 – четвертая. Денудационные ступени: 6 – шестая, 7 – пятая, 8 – четвертая, 9 – третья, 10 – вторая, 11 – первая, 12 – склоны, 13 – овраги и ложбины. Геодинамически активные зоны: 14 – локальные, 15 – региональные. Карстово-суффозионные формы по данным: 16 – дешифрирования космоснимков, 17 – геологических карт, 18 – участки развития карста, 19 – линеаменты. Границы новейших структур: 20 – поднятий и прогибов второго порядка (бергштрихи направлены в сторону прогиба), 21 – внутридепрессионная седловина между Окско-Муромским (ОМ) и Клязьминско-Волжским (КВ) прогибами; 22 – структуры первого порядка, 23 – участки вероятной активности оползней, 24 – структурно-геоморфологический профиль 4–4. ОЦ – Окско-Цнинский вал, МрС – Муромская ступень, БП – Балахнинский прогиб, ГП – Гороховецкое и ГбП – Горбаговское поднятия. Приволжское поднятие: СжП – Сережинский; ТП – Тешинский; ВР – Ворсменский; БП – Богородский прогибы; МС – Монаковская ступень. Поднятия: ПВ – Павловское. МхП – Мухтоловское и АР – Ардатовское, СП-Степуринское.

регионе, приурочены к тектоническим нарушениям (Г∂АЗ и линеаментам) и тяготеют к ложбинам, врезам рек, оврагам и тыловым швам террас. Очевидно, что тектонические и эрозионные зоны нарушают защитные функции четвертичных моренных суглинков и пермских глин уржумского яруса, перекрывающих сульфатно-карбонатные отложения, что приводит к повышенному выщелачиванию последних. Это особенно ярко выражено на участках, где к земной поверхности максимально приближена поверхность сульфатнокарбонатных пород (см. Мухтоловское поднятие и др.).

Согласно структурно-геодинамическим исследованиям, в регионе неотектонические напряжения являются разнотипными по ориентации и стресс-режиму (сжатие/растяжение) [6, 8]. Под влиянием этих напряжений развиваются изгибные структуры, которые имеют разные формы и простирание. В северо-западной части Приволжской возвышенности в условиях субмеридионального сжатия образуются субширотные поднятия и прогибы. В северо-восточной части Окско-Донского прогиба под воздействием напряжений субширотного растяжения формируются субмеридиональные структуры (Окско-Цнинский вал и др.). Региональные поля напряжений пересекаются и образуют косую геодинамически активную зону северо-восточного простирания, которую наследует Окско-Муромский

Эрозионно-аккумулятивные циклы и их возраст	Продол- житель- ность, млн лет	Мощность аллювия, м	Абс. отм., м	Ампли- туда подня- тия, м	Скорость движения, мм/год					
Речные террасы										
Пойма, aIV	0.011	13.6	70	16.6	1.56					
Первая терраса, a ¹ III ln-os	0.046	12.8	80-90	14.8	0.32					
Вторая терраса, af ² III mk-kl	0.07	4.3	90-100	6.3	0.90					
Третья терраса, a ³ II od-ms	0.115	10.8	100-110	12.8	0.11					
Четвертая терраса, a ⁴ II kž-ms	0.185	12.9	110-120	14.9	0.08					
Денудационные поверхности выравнивания (ступени)										
Калужско-московский цикл, Q ₂ (шестая ступень)	0.126		100-120	110	0.87*					
Мучкапско-окский цикл, Q ₁ (пятая ступень)			120-140	130	0.17					
Петропавловско-покровский цикл, Е (четвертая ступень)	1.8		140-160	150	0.08					
Челнинско-чистопольский цикл, N ₂ (третья ступень)	3.6		160-180	170	0.05					
Горелковско-бушуевский цикл, N ₁ ³ (вторая ступень)	5.33		180-200	190	0.04					
Ламкинский цикл, N ₁ ² (первая ступень)	7.246		200-220	210	0.03					

Таблица 1. Оценка неотектонических движений Владимирско-Нижегородского рег	иона
--	------

*Курсивом обозначены приблизительные значения скоростей

прогиб северо-восточного простирания, включая долину р. Ока (см. рис. 2). Очевидно, что интерференция разнотипных напряжений и деформаций вызывает развитие зон повышенной трещиноватости и водно-флюидной проницаемости в палеозойских породах, в том числе и в ближней зоне Нижегородской АЭС, что подтверждается дешифрированием линеаментов.

Суммарные и поэтапные амплитуды и скорости движений

Во Владимирско-Нижегородском регионе на основе высот денудационных поверхностей выравнивания, глубин врезов речных террас, заполненных аллювиальными отложениями и их возраста оценены суммарные и поэтапные амплитуды и скорости неотектонических движений (табл. 1).

Согласно строению террас, самые высокие поэтапные скорости движений относятся к второй половине среднего неоплейстоцена (см. третья терраса) 0.11 мм/год, первой половине позднего неоплейстоцена (см. вторая терраса) 0.9 мм/год и голоцену 1.56 мм/год. Высокие скорости можно связать с двумя факторами, действующими одновременно, но независимыми друг от друга: 1) деградацией московского ледникового покрова, которая привела к релаксации упругих напряжений сжатия, и 2) неотектоническими напряжениями, действующими на их фоне. Интерференция упругих и неотектонических напряжений, возможно, является причиной увеличения скорости движений.

Согласно деформациям самой древней денудационной поверхности (первая ступень), суммарная неотектоническая амплитуда поднятия за среднемиоцен-четвертичное время составляет 220 м, а скорость движения — 0.03 мм/год. Наибольшие скорости поэтапных движений относятся к раннечетвертичному времени 0.17 мм/год (пятая ступень) и среднечетвертичному времени 0.87 мм/год (шестая ступень). Но эти скорости, несмотря на их относительно повышенные значения, в 2 и более раза меньше максимальных позднечетвертичных, особенно по сравнению с голоценом — 1.56 мм/год.

Следует заметить, что оценка неотектонических движений, основанная на строении террас и денудационных поверхностей, является приблизительной. Причин этому несколько. Глубина циклового вреза террасы аппроксимировалась с амплитудой поднятия, но при этом не учитывалось влияние экзогенного фактора – цикличности климата. Повышенная обводненность русла может привести к интенсивному врезанию за относительно малое время. Особенно это характерно для голоценовой поймы, формирование которой происходит всего за 0.011 млн лет. Не последнюю роль здесь играет различие в способах оценки движений по террасам и денудационным ступеням, рассмотренных выше. По сравнению с террасами, у которых возраст врезания исчисля-



Рис. 3. Структурно-геоморфологический профиль Московского региона (положение профиля см. на рис. 4). 1 – кровля верейского горизонта среднего карбона (репер для оценки позднепалеозойских структур). Эрозионные границы по: 2 – каменноугольным отложениям, 3 – келловей-оксфордским глинам и 4 – мезозойским отложениям. 5 – рельеф земной поверхности. Поверхности денудационного выравнивания (ступени): 6 – миоцен-раннеплиоценовая, N₁–N₂¹; 7 – позднеплиоценовая, N₂²; 8 – эоплейстоценовая, E (репер для оценки четвертичных деформаций); 9 – ранненеоплейстоценовая, Q₁¹; 10 – ранне- и средненеоплейстоценовая, Q₁².

ется десятками тысяч лет, оценка скорости движений по денудационным ступеням составляет от несколько сот тысяч лет до 7 и более млн лет. При этом амплитуда вреза, к которому развивается поверхность, часто не превышает 20 м.

ОЦЕНКА НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

В Московском регионе исследованы денудационные поверхности выравнивания, речные террасы и неотектонические структуры с целью определения суммарных и поэтапных амплитуд и скоростей движений, включая оценку эндогенных и экзогенных геологических процессов в Москворецкой геодинамически активной зоне.

Денудационные поверхности выравнивания и речные террасы

В рассматриваемом регионе выделено пять эрозионно-денудационных поверхностей выравнивания и три эрозионно-аккумулятивных террасы (рис. 3, табл. 2) [4, 5, 7, 17].

Денудационные поверхности выравнивания:

- Первая миоцен-раннеплиоценовая поверх-

ность (мэотис-понтический цикл, $N_1 - N_2^1$) сохранилась на самых высоких водоразделах Теплостанского и Клинско-Дмитровского поднятий на абс. отметках 238–242 м.

— Вторая позднеплиоценовая поверхность (киммерийско-акчагыльский цикл, N_2^2) распространена немного шире на Теплостанском, Кунцевском и Клинско-Дмитровском поднятиях на абс. отметках 200—220 м.

 Третья эоплейстоценовая поверхность (Е) широко развита на абс. отметках 150—180 м. Когда-то единая поверхность уверенно восстанавливается на всех геолого-геоморфологических разрезах, что позволило отнести ее к опорной.

- Четвертая ранненеоплейстоценовая поверх-

ность (Q_1^l) распространена на абс. отметках 140— 158 м. Ее формирование предшествовало сетуньскому оледенению, что позволило связать ступень с татаровской палеодолиной (педимент).

— Пятая поздненеоплейстоценовая поверхность (Q_1^2) развита на абс. отметках 100—130 м. Она наклонена в сторону хорошевской палеодолины, выполненной разновозрастными отложениями, в том числе относящимися ко времени предшествующему донскому оледенению.

Речные террасы [7]:

– Третья ходынская терраса (a³QII hd) является аллювиально-флювиогляциальной, сложена разнозернистыми песками с небольшим количеством гравия и гальки мощностью 6–7 м. Абс. отметки поверхности террасы от 156 до 174 м.

Вторая мневниковская терраса (a²QIII mn) сложена гравием, галькой, среднезернистыми

Эрозионно-аккумулятивные циклы и их возраст	Продол- житель- ность (млн лет) Речны	Мощность аллювия, м е террасы	Абс. от- метки, м	Относит. превы- шение, м	Амплитуда поднятия, м	Скорость движения, мм/год			
Пойма, aIV	0.011	15-16	115-125	4-6 (8)*	15.5	1.41			
Первая серебряноборская терраса, a ¹ III sb	0.046	10-12	126-130	8-14	13.0	0.29			
Вторая мневниковская терраса, a ² III mn	0.07	10-12	136-141	25-28 (20)	12.7	0.17			
		10-11							
Третья ходынская терраса, а ³ II hd	0.115	6—7 м	156-174	20-35	8.5	0.07			
Денудационные поверхности выравнивания (ступени)									
Пятая преддонская ступень, Q ₁ ²	0.528		100-130		115	0.22			
Четвертая предсетуньская ступень, Q1	0.760		140-158		149	0.19			
Третья эоплейстоценовая ступень, Е	1.8		150-180		165	0.09			
Вторая поздне-плиоценовая ступень, N_2^2	3.6		200-220		210	0.06			
Первая миоцен-раннеплиоценовая ступень, $N_1 - N_2^1$	5.33		238–242		240	0.04			

Таблица 2. Оценка неотектонических движений в Московском регионе

*Цифры в скобках – противоречивые данные, требующие уточнения.

песками и суглинками. Терраса двухуровенная, мощность ее аллювия составляет 10–12 м и 10–11 м. Абс. отметки поверхности террасы от 136 до 141 м.

 Первая серебряноборская терраса (a¹QIII sb), отложения представлены мелко- и среднезернистыми песками с гравием и галькой, суглинками и супесями мощностью 10–12 м. Абс. отметки поверхности террасы 126–130 м.

 Пойма (aIV) сложена гравийно-галечными, разнозернистыми песками с прослоями суглинков мощностью от 14 (4) м до 16 м. Абс. отметки поверхности от 115 до 125 м.

Неотектонические структуры

Московский регион включает Кунцевское, Теплостанское (Наро-Фоминское) и Клинско-Дмитровское (южное крыло) поднятия и Центральный (Подмосковный) пологий прогиб (рис. 4) [7, 16]. Все перечисленные структуры начиная с понтического времени $(N_1-N_2^1)$ и поныне (голоцен) устойчиво и длительно развивающиеся. Некоторым исключением является Центральный прогиб, в котором в качестве инверсионных выделены Центрально-Московское, Лосиноостровское и др. поднятия. Несогласное сочленение Центрального прогиба с поднятиями позволило выделить отрицательную Москворецкую и флексурную Лихоборскую Г∂АЗ, характеризующиеся сквозным секущим строением [9, 17].

Из двух ГдАЗ наибольший интерес представляет Москворецкая, поскольку занимает центральное положение в мегаполисе – ее наследует долина р. Москва. Геометрические размеры зоны: ширина около 3 км, длина более 100 км. Г∂АЗ простирается далеко за пределы рассматриваемого региона в юго-восточном направлении. На северо-западе на пересечении с Лихоборской ГдАЗ ее развитие обрывается. Согласно деформациям эоплейстоценовой опорной поверхности, возрасту палеодолин и террас, заложившихся в пределах зоны, ГдАЗ рассматривается как эоплейстоценголоценовая. Ее образование связывается с региональными напряжениями латерального сжатия и растяжения, наводимыми соответственно с юга со стороны Наро-Фоминского поднятия и с восток-юго-востока со стороны Окско-Донского активного прогиба [7, 16, 17]. В этой связи Г∂АЗ рассматривается как сбросо-сдвиговая.

Москворецкая ГдАЗ интенсивно изменяет геологическую среду Московского городского мегаполиса по напряженному состоянию и деформациям, что вызывает активизацию опасных экзогенных геологических процессов (воронки, провалы, суффозия, оползни, подпруживание и др. процессы) и образование ореолов вторичного химического загрязнения. С этой точки зрения ГдАЗ является потенциально геоэкологически



Рис. 4. Неотектоническое строение Московского региона согласно деформациям эоплейстоценовой поверхности выравнивания. 1 – изогипсы эоплейтоценовой поверхности, 2 – границы неотектонических структур (бергштрихи направлены в сторону прогибаний), 3 – структурно-геоморфологический профиль по линии I–I (см. на рис. 3), 4 – Московская кольцевая дорога (МКАД). Шкала – абс. высоты, м: 1 – 100–120, 2 – 120–140, 3 – 140–160, 4 160–180, 5 – 180–200, 6 – >200. Геодинамически активные зоны (ГдАЗ): М – Москворецкая, Л – Лихоборская. Т – Теплостанское поднятие, ОБ – Орехово-Борисовское поднятие, К – Кунцевское поднятие, ЦМ – Центрально-Московский прогиб, РЯ – Рублевско-Верхнеяузский прогиб, ЛИ – Лосиноостровско-Измайловское поднятие, Я – Яузский прогиб. Буква в скобках – эоплейстоценовый возраст структур (Е).

значимой и требует к себе повышенного внимания и оценки [13].

Суммарные и поэтапные амплитуды и скорости движений

В Московском регионе суммарные и поэтапные амплитуды и скорости неотектонических движений впервые оценены на основе возраста и отложений эрозионно-аккумулятивных циклов, а также высотного положения денудационных поверхностей выравнивания (табл. 2).

Судя по положению самой высокой миоценраннеплиоценовой поверхности, общая амплитуда поднятий за неотектонический этап (суммарная) составляет 240 м, а скорость движения 0.04 мм/год. Постадийные скорости движений, оцененные на основе цикличности, дважды увеличивались в периоды: 1) с миоцен-раннеплио-

ценового (понтического) времени (N₁-N₂¹) и до

преддонского времени включительно (Q_1^2) с 0.04 до 0.22 мм/год, и 2) с ходынского времени до голоцена включительно с 0.07 до 1.41 мм/год. В голоценовое время отмечается максимальная активность неотектонических движений.

Относительно резкое и кратковременное замедление скорости поднятия территории с $0.22 (Q_1^2)$ до 0.07 мм/год (a³II hd) приходится на время московского оледенения и формирования аллювиально-флювиогляциальной террасы. Уменьшение скорости, возможно, обусловлено противодействием гравитационного давления ледника неотектоническому поднятию территории. Установлено, что мощность ледниковой "шапки" только на Теплостанском поднятии доходила до 3 км [5], что не могло не сказаться на снижении скорости. Как правило, снятие ледниковой нагрузки вызывает релаксацию упругих напряжений и поднятие ("всплывание") территории с увеличением скорости с 0.07 (a^{3} II hd) до 1.41 мм/год (aIV). Поднятие территории происходило на фоне неотектонических дифференцированных движений с образованием прогибов (Центральный и др.) и поднятий: Теплостанского, Клинско-Дмитровского и др. На границах движений с разным знаком формировались Москворецкая и Лихоборская ГдАЗ (см. рис. 4). Повышенные напряжения и деформации в этих зонах вызывают активизацию интенсивных экзогенных процессов: оползневых, суффозионно-карстовых и др.

Оценка эндогенных и экзогенных процессов в Москворецкой геодинамически активной зоне

Москворецкая зона (Г∂АЗ), локализованная в сопряжении Теплостанского поднятия и Центрального (Подмосковного) прогиба, в районе Воробьевых гор рельефно выражена деформацией опорной эоплейстоценовой поверхности, которая наследуется эрозионным уступом Лужницкого меандра. Возраст деформации в абс. значениях составляет 1800 тыс. лет (см. рис. 4). Строение Г∂АЗ позволило количественно оценить эндогенные и экзогенные процессы, произошедшие в ней за эоплейстоцен-голоценовое время.

В районе Воробьевых гор в исследуемой зоне бровка эоплейстоценовой поверхности находится на абс. отметках 160 м, а в районе Лужницкого меандра Москвы-реки – на абс. отметках 150 м. Разница по высоте составляет 10 м, которую можно рассматривать как величину вертикальной амплитуды за 1800 тыс. лет. Кратчайшее расстояние между изолиниями этих абс. отметок – 3000 м. Поделив амплитуду на расстояние (база), получим, что уклон эоплейстоценовой поверхности в зоне составил ~0.003. Деформация, выраженная уклоном денудационной поверхности выравнивания, наследует более древнюю деформацию похожего типа, выраженную по кровле девонских отложений, уклон которой – 0.0037 [7]. Несмотря на их разновозрастность, эти две величины, оцененные разными исследователями, являются практически сопоставимыми, что может указывать на достоверность их оценки. В свою очередь, девонская деформация приурочена к северному уступу Московского рифейского авлакогена, уклон которого составляет максимальную величину 0.1. Увеличение вниз по разрезу величин разновозрастных уклонов указывает на их глубинное тектоническое происхождение.

В этом аспекте можно оценить скорость вертикальных движений в Москворецкой ГдАЗ. С учетом амплитуды (10 м) и эоплейстоценового времени ее формирования (1 800 тыс. лет) скорость составляет 0.005 мм/год. По сравнению с одновозрастной поверхностью, скорость неотектонических движений которой для региона в целом оценена как 0.09 мм/год (см. табл. 2), в Москворецкой ГдАЗ на базе 3000 м она меньше почти на порядок. Причиной этого является различие в подходах к оценке скоростей движений. Возможно, что скорость, оцененная только по величине вертикальной деформации (амплитуды поднятия) эоплейстоценовой поверхности без учета эрозионной составляющей, более реалистична.

Активная зона довольно длительно и устойчиво наследуется врезом р. Москва, включая ее палеодолины. Это позволило оценить величину скорости ее глубинного врезания за неоплейстоцен-голоценовое время в границах зоны. Глубина вреза р. Москвы (тальвега) в коренные каменноугольные отложения относительно высоты бровки эоплейстоценовой поверхности составляет 45.5 м, а скорость с учетом времени – 0.025 мм/год. Таким образом, в Москворецкой ГдАЗ скорость эрозионного врезания в тот же временной этап в 5 раз выше по сравнению со скоростью неотектонической деформации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во Владимирско-Нижегородском и Московском регионах исследована эрозионно-аккумулятивная цикличность, выраженная в рельефе разновозрастными и разнородными геоморфологическими ступенями: денудационными поверхностями выравнивания и речными террасами. Разнотипная цикличность формировалась под влиянием прерывистых неотектонических движений и планетарной изменчивости климата. Поэтапная количественная оценка этих движений указывает на дифференцированность амплитуд и скоростей, обусловленную особенностями геодинамических условий формирования неотектонических структур.

В регионах средняя амплитуда поднятий за новейшее время составляет около 220 м, скорость поднятия 0.035 мм/год. Из поэтапных скоростей относительно высокие скорости движений отмечаются во второй половине среднего неоплейстоцена – 0.9 мм/год (Владимирско-Нижегородский регион), а самые большие в голоцене – 1.41 и 1.56 мм/год. Снижение скоростей почти на порядок характерно для первой половины среднего неоплейстоцена – 0.07 и 0.08 мм/год. Одна из причин их изменчивости – цикличность ледниковых и межледниковых эпох, происходящая на фоне неотектонических напряжений. Ледниковая гравитационная нагрузка на рельеф может вызвать снижение скоростей поднятия территории, а ее снятие в ходе деградации ледника — их увеличение.

В Москворецкой Г∂АЗ впервые оценена скорость неотектонических (эоплейстоценовых) деформаций, которая составляет 0.005 мм/год. Оценка скорости врезания (экзогенного фактора) показала превышение ее над неотектонической в 5 раз — 0.025 мм/год. Увеличенная скорость эрозионных процессов подтверждает раннее сделанные выводы, что на платформенных территориях относительно небольшие величины неотектонических движений могут вызывать интенсивные экзогенные геологические процессы, в том числе опасного ряда.

Площадка Нижегородской АЭС находится на пятой ранненеоплейстоценовой ступени, которая формировалась в мучкапско-окский эрозионно-аккумулятивный цикл. Скорость движений для этого цикла составляет 0.17 мм/год, а с поправкой на эрозионную составляющую 0.03 мм/год. К голоценовому времени она увеличилась на порядок и оценивается 1.56 мм/год. Резкое возрастание скорости движений привело к интенсивному развитию экзогенных процессов, в частности, суффозионно-карстовых, что явилось одной из причин приостановки строительства АЭС и проведения дополнительных более углубленных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геологическая карта м-ба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Средневолжская. Лист О-38-ХХХІІ. Объяснит. записка. Сост-ли: Поздняков Л.Н., Клинк Б.Е., Купрюшина Н.И. / Ред. Б.А. Гантов. М.: Московский филиал ФГБУ "ВСЕГЕИ", 2018. 102 с.
- Ершова С.Б. Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании (на примере Западно-Сибирской плиты). М.: Изд-во МГУ, 1976. 142 с.
- Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста / Под ред. А. В. Антипова, В.И. Осипова. М.: ООО Изд-во "Проспект", 2012, 352 с.

- 4. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР. М.: ГУГК СССР. 1972.
- Кожевников А.В., Кожевникова В.Н., Рыбакова Н.О. Стратиграфия подмосковного плейстоцена // Бюл. МОИП. 1979. Т. 54. В. 2. С. 103–127.
- 6. *Коробова И.В.* Структурно-геоморфологическая зональность Владимирско-Нижегородского региона и ее геоэкологическое значение // Вестник Пермского университета. Сер. геология. 2021. Т. 20. № 1. С. 63–74.
- 7. 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., Макеев В.М., Дорожко А.Л., Коробова И.В. Геодинамические системы и геодинамически активные зоны Восточно-Европейской платформы // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 4–5. С. 9–26.
- 9. Макеев В.М., Макарова Н.В., Леденев В.Н., Дорожко А.Л. и др. Основы концепции геодинамической безопасности экологически опасных сооружений // Геоэкология. 2015. № 2. С. 99–110.
- Международная хроностратиграфическая шкала ISC IUGS. Международная стратиграфическая комиссия. 2020b. URL:
- https://stratigraphy.org/ICSchart/QuaternaryChart1.jpg 11. *Несмеянов С.А.* Оротектонический метод. М.: ООО "Миттель-Пресс" 2017. 376 с.
- Новейшие отложения, рельеф и неотектоника северной части Приволжской возвышенности / Ред. В.М. Седайкин. Саратов: СГУ. 1985. 207 с.
- 13. Осипов В.И., Кутепов В.М., Макаров В.И. Геологические условия градостроительного развития г. Москвы // Уникальные и специальные технологии в строительстве. 2006. № 1 (4). С. 10–22.
- Стратиграфический кодекс России (МСК международный стратиграфический кодекс). Издание третье. испр. и доп. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
- 15. *Хаин В.Е.* О непрерывно-прерывистом типе тектонических процессов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 6. С. 13–21.
- 16. *Dorozhko A.L., Makeev V.M.* Large-scale Structural and Geodynamic Mapping of Platform Territories on the Example of Moscow // J. of Earth Science and Engineering. 2013. № 3. P. 527–539.
- Grigor'eva S.V., Makarov V.I. Large-Scale Mapping of Neotectonics of Platform Territories: Case Study of Moscow // Water Resources. 2011. V. 38. № 7. P. 902– 915.

ASSESSMENT OF NEOTECTONIC MOVEMENTS IN THE CENTRAL PART OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM

I. V. Korobova^{*a*,#} and V. M. Makeev^{*a*,##}

^a Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Ulansky per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia [#]E-mail: irakorv@mail.ru ^{##}E-mail: vmakeev@mail.ru</sup>

Structural and geomorphological studies were carried out in the Vladimir-Nizhny Novgorod and Moscow regions in order to assess the amplitudes and velocities of total and gradual neotectonic movements that determine the intensity of geological processes. The quantitative assessment is based on the study of different types of denudation surfaces of leveling and river terraces related to erosion-accumulative cycles. Factual material includes information about the age, genesis and composition of sediments, structural and geomorphological sections, as well as field route observations. The research results indicate the differentiation in neotectonic movements by amplitudes and velocities due to the peculiarities of geodynamic conditions upon the formation of new and modern structures. On the basis of the Eopleistocene reference surface, the vertical rates of neotectonic deformations and the rates of erosion processes (deep embedding) for the Neo-Pleistocene-Holocene time in the Moskvoretskaya geodynamically active zone are estimated for the first time. The deformation rate has been estimated at 0.005 mm/year, the rate of erosive embedding being 5 times higher than the neotectonic one (0.025 mm/year). The total value of endogenous and exogenous components is 0.03 mm/year. The research results confirm the previous conclusion that an insignificant speed of neotectonic movements on platforms causes the intensive development of exogenous geological processes. Activity of these processes is one of the reasons for the postponement of designing and construction of the Nizhny Novgorod nuclear power plant.

Keywords: structural-geomorphological method, neotectonic structures, geodynamically active zones, denudation levels, river terraces, amplitudes and velocities of movements, geoecologically significant dislocations

REFERENCES

- Geologicheskaya karta m-ba 1:200000 Izdaniye vtoroye. Seriya Srednevolzhskaya. List O-38-XXXII [Geological map scale 1: 200,000 Second edition. Middle Volga series. Sheet O-38-XXXII] Ob"yasnit. zapiska. Compiled by Pozdnyakov, L.N., Klink, B.Ye., Kupryushchina, N.I. Gantov B.A., Editor. Moscow, 2018, 102 p. (in Russian)
- 2. Ershova, S.B. Analiz noveishikh dvizhenii pri inzhenerno-geologicheskom raionirovanii (na primere Zap.-Sib. plity) [Analysis of the latest movements in engineering geological zoning (by the example of the West Siberian Plate)]. Moscow, MGU Publ., 1976, 142 p. (in Russian)
- Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva: praktika i opyt Mosgorgeotresta [Engineering survey for construction: practice and experience of Mosgorgeotrest]. A.V. Antipov, V.I. Osipov, Eds. Moscow, Prospekt Publ., 2012, 352 p. (in Russian)
- 4. *Karta poverkhnostei vyravnivaniya i kor vyvetrivaniya SSSR* [Map of alignment surfaces and weathering crusts of the USSR]. Moscow, GUGK SSSR Publ., 1972. (in Russian)
- Kozhevnikov, A.V., Kozhevnikova, V.N., Rybakova, N.O. Stratigrafiya podmoskovnogo pleistotsena [Stratigraphy of the Moscow region Pleistocene]. Byul. MOIP. 1979, vol. 54, no. 2, pp. 103–127. (in Russian)
- Korobova, I.V. Strukturno-geomorfologicheskaya zonal'nost' Vladimirsko-Nizhegorodskogo regiona i eyo geoekologicheskoe znacheniye [Structural and geomorphological zoning of the Vladimir-Nizhny Novgorod region and its geoecological significance]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2021, vol. 20, no. 1, pp. 63–74. (in Russian)
- Makarov, V.I., Babak, V.I., Fedonkina, I.N. Noveishaya tektonicheskaya struktura i rel'ef. Moskva: geologiya i gorod [The newest tectonic structure and relief. Moscow: geology and the city]. Moscow, Moskovskie uchebniki i kartolitografiya Publ., 1997, pp. 86–105. (in Russian)
- Makarova, N.V., Makeev, V.M., Dorozhko, A.L., Korobova, I.V. Geodinamicheskie sistemy i geodinamicheski aktivnye zony Vostochno-Evropeiskoi platformy [Geody-

namic systems and geodynamically active zones of the East European platform]. *Byull. MOIP. Otd. Geol.* 2016, vol. 91, no. 4–5, pp. 9–26. (in Russian)

- Makeev, V.M., Makarova, N.V., Ledenev, V.N., Dorozhko, A.L., Sukhanova, N.V., Karfidova, E.A., Korobova, I.V. Osnovy kontseptsii geodinamicheskoi bezopasnosti ekologicheski opasnykh sooruzhenii [Fundamentals of the concept of geodynamic safety of environmentally hazardous structures]. Geoekologiya, 2015, no. 2, pp. 99–110. (in Russian)
- Mezhdunarodnaya khronostratigraficheskaya shkala ISC IUGS. Mezhdunarodnaya stratigraficheskaya komissiya. [International chrono-stratigraphic scale ISC IUGS.]. 2020. Available at: www.stratigraphy.org/index.php/icschart-timescale
- Nesmeyanov, S.A. Orotektonicheskiy metod [Orotectonic method]. Moscow, LLC "Mittel-Press" 2017. 376 p. (in Russian)
- Noveishie otlozheniya, rel'ef i neotektonika severnoi chasti Privolzhskoi vozvyshennosti [The newest sediments, relief and neotectonics of the northern part of the Volga Upland.]. V.M. Sedaykin, Ed., Saratov, SGU Publ., 1985, 207 p. (in Russian)
- Osipov, V.I., Kutepov, V.M., Makarov, V.I. Geologicheskie usloviya gradostroitel'nogo razvitiya g. Moskvy [Geological conditions of urban development in Moscow]. Unikal'nye i spetsial'nye tekhnologii v stroitel'stve. 2006, no. 1 (4), pp. 10–22. (in Russian)
- 14. Stratigraficheskii kodeks Rossii (MSK mezhdunarodnyi stratigraficheskii kodeks) [Stratigraphic Code of Russia (MSC – International Stratigraphic Code)]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2019, 96 p. (in Russian)
- Khain, V.Ye. O nepreryvno-preryvistom tipe tektonicheskikh protsessov [On the continuous-discontinuous type of tectonic processes]. Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1950, no. 6, pp. 13–21. (in Russian)
- Dorozhko, A.L., Makeev, V.M. Large-scale structural and geodynamic mapping of platform territories on the example of Moscow. *J. of Earth Science and Engineering*, USA. 2013, no. 3, pp. 527–539.
- Grigor'eva, S.V., Makarov, V.I. Large-scale mapping of neotectonics of platform territories: case study of Moscow. *Water Resources*, 2011, vol. 38, no. 7, pp. 902–915.