

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 624.131.1

ПРИРОДА, ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ И ДИНАМИКА ОПОЛЗНЕЙ
В ЮРСКИХ ГЛИНАХ НА ТЕРРИТОРИИ г. МОСКВЫ

© 2019 г. Ю. А. Мамаев*, С. В. Козловский, А. А. Ястребов

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия
E-mail: mamaev47ya@mail.ru

Поступила в редакцию 27.11.2018 г.

Основное внимание в статье уделено факторам и динамике развития крупных глубоких оползней выдавливания в юрских глинах, участвующих в геологическом строении высоких береговых склонов долины р. Москвы в границах города. Кратко изложена история геологического развития территории в мезо-кайнозойское время, рассмотрены особенности строения глинистых толщ верхнеюрского возраста, дано описание структуры, состава и физико-механических свойств пород в сохранном и выветрелом состоянии, охарактеризованы морфология и зональность строения оползневых склонов, стадийность и динамика оползневых деформаций. Приведены рекомендации по освоению территорий, пораженных оползнями. Статья подготовлена на основе обобщения многочисленных опубликованных работ и фондовых материалов, посвященных этой актуальной теме.

Ключевые слова: история геологического развития, строение склонов, свойства пород, оползневые деформации, факторы и динамика развития, строительство.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019440-50>

Отложения юрского возраста широко развиты на территории Москвы и Московского региона. Они распространены преимущественно в западной, южной и восточной частях города в границах Московской кольцевой автодороги (МКАД). Глинистые породы верхнеюрского возраста представлены глинами темно-серыми и черными массивными и сланцеватыми плотными алевролитистыми известковистыми и слюдястыми с большим количеством окаменелых останков аммонитов, белемнитов и ракушек. Глины залегают близко к дневной поверхности на глубинах от 5 до 20 м, имеют мощность от 8 м до (местами) 27 м и являются основанием или вмещающей средой многих зданий и сооружений [5]. Верхнеюрские глины обнажаются на склонах долины р. Москвы, где участвуют в формировании крупных блоковых оползней.

Высокие залесенные береговые склоны долины Москва-реки с пересеченным рельефом и прекрасными панорамными видами на низкие обширные поверхности террас левобережья всегда были излюбленным местом прогулок москвичей и удобным местом строительства жилых и общественных сооружений. Достаточно напомнить о таких объектах, как церкви и царский дворец XIV-XVIII вв. в Коломенском, Храм Живоначаль-

ной Троицы и Андреевская богадельня XVII в. на Воробьевых горах, Александринский дворец и дачи XIX в. на территории современного Нескучного сада. В XX в. угроза оползневого разрушения склонов помешала воплощению планов строительства Храма Христа Спасителя в честь победы в Отечественной войне 1812 г., Дворца Советов, а также высотного здания Московского государственного университета близко к бровке склонов Воробьевых гор. В настоящее время вновь предпринимаются попытки застройки этих участков городской территории в Тушино, Крылатском, Москворечье, на Воробьевых горах. Для реализации этих планов и обеспечения безаварийной эксплуатации объектов необходимо знать и учитывать в проектах строительства историю формирования грунтовых толщ, характеристики их строения, состава и свойств, закономерности и факторы их изменений, а также особенности развития опасных геологических процессов.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ
МОСКОВСКОГО РЕГИОНА
В МЕЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЕ ВРЕМЯ

Территория современного Московского региона с конца триасового и начала юрского периода испытывала слабое поднятие и характеризовалась

средневысотным равнинным рельефом, что способствовало развитию крупных широких речных долин. Сначала жаркий и засушливый (в триасе), а затем устойчивый теплый и влажный (в юрское время) климат способствовал образованию мощных кор выветривания в пермских пестроцветных глинистых толщах, залегающих с поверхности, продукты выветривания которых разрушались и сносились в водные объекты. В среднеюрский период территория стала испытывать медленное длительное опускание, что привело к накоплению в понижениях рельефа глинистых и органических осадков, из которых образовались бурые угли, илы и глины [2, 5]. В позднеюрское время на данной территории распространилось море, что привело к накоплению мощных толщ морских верхнеюрских глин с включениями сульфидов и карбонатов железа, фосфоритов, а также многочисленных останков головоногих моллюсков – аммонитов и белемнитов. С середины позднеюрского периода началось поднятие территории и обмеление морского бассейна, что сопровождалось размывом недавно сформированных юрских отложений на большей части территории за исключением речных долин. Состав отложений изменялся с глин и глинистых илов на глауконитовые пески, а позднее на белые кварцевые пески. В конце юрского периода на описываемой территории преобладал дельтовый режим с развитием эрозионных процессов. Подъем территории продолжился в поздне меловое и палеогеновое время. Это привело к активизации русловой эрозии рек и дальнейшему размыву юрских отложений. В неогене этот процесс усилился, что привело к частичному размыву юрских отложений в пределах долин крупных рек и формированию новых крупных дочетвертичных речных долин.

В четвертичное время неоднократное наступление и таяние ледников только усилило денудацию юрских отложений, залегающих с поверхности, что привело к изменению их строения, состояния и свойств. Юрские глины претерпели значительную гипергенную трансформацию, обусловленную многократными процессами сжатия и разгрузки массивов пород от наступающих и тающих ледников, изменениями влажностного и температурного состояния глин, сопровождаемыми процессами набухания, усадки и морозного пучения. Завершение самого крупного по масштабам Днепровского оледенения ознаменовалось образованием мощных водных потоков и обширных зандровых полей, сформированных флювиогляциальными отложениями большой мощности, которые слагают восточную половину современной территории Москвы в границах МКАД. Мощные эрозионные процессы оказали значительное влияние на формирование релье-

фа речных долин позднечетвертичного возраста, в том числе на строение и динамику развития оползневых склонов, сложенных юрскими породами. Влияние эрозионных процессов продолжалось и в голоцене, но уже в меньших масштабах и с меньшими скоростями и энергией их развития. Аналогии оползневых процессов с образованием валов выдавливания пород и отжатием русла Москва-реки к противоположному берегу можно наблюдать на территории современной Москвы в районах Коломенское, Москворечье и других местах, где широкие излучины или спрямленные участки современного русла реки касаются и подрезают правобережные высокие склоны долины, сложенные юрскими и меловыми породами, перекрытыми четвертичными отложениями (рис. 1).

В мезозое и кайнозое на территории Москвы сформировались разновозрастные долины Москва-реки – доюрская долина шириной от 6 до 12 км с переуглублением до 30-35 м, расположенная в западной, южной и восточной частях современной Москвы и включающая древние крупные палеодолины, соответственно, Рублевскую, Главную Московскую и Измайловскую.

Дочетвертичная долина Москва-реки находится значительно севернее доюрской долины. Ее ширина увеличивается с северо-запада на юго-восток от 2 до 10 км, а переуглубление не превышает 25 м. Формирование крупных дочетвертичных речных врезов в кайнозое происходило и по долинам других рек, расположенных в пределах современной территории города: Сетунь, Яуза, Нищенка и др. Долина р. Москвы верхнеплейстоцен-голоценового возраста расположена посередине между доюрской и дочетвертичной долинами реки. Ширина современной террасированной долины Москва-реки изменяется от 400 м до 4 км в ее широких излучинах, а переуглубления достигают 25-30 м. Все три разновозрастные долины Москва-реки в виде раскрытого веера обращены на северо-запад и сходятся в одном месте на юго-востоке города в районе Нагатинской поймы, формируя здесь переуглубленную долину с врезом до 50 м, заполненным разновозрастными отложениями.

СТРОЕНИЕ ТОЛЩИ И СВОЙСТВА ВЕРХНЕЮРСКИХ ГЛИН

По данным бурения и опробования скважин, а также наблюдениям в обнажениях склонов и строительных котлованах толща верхнеюрских глинистых пород представлена плотными массивными и сланцеватыми алевритистыми глинами, реже суглинками, которые по облику и структуре характеризуются однородностью и горизонтальным залеганием слоев. Мощность толщи изменяется

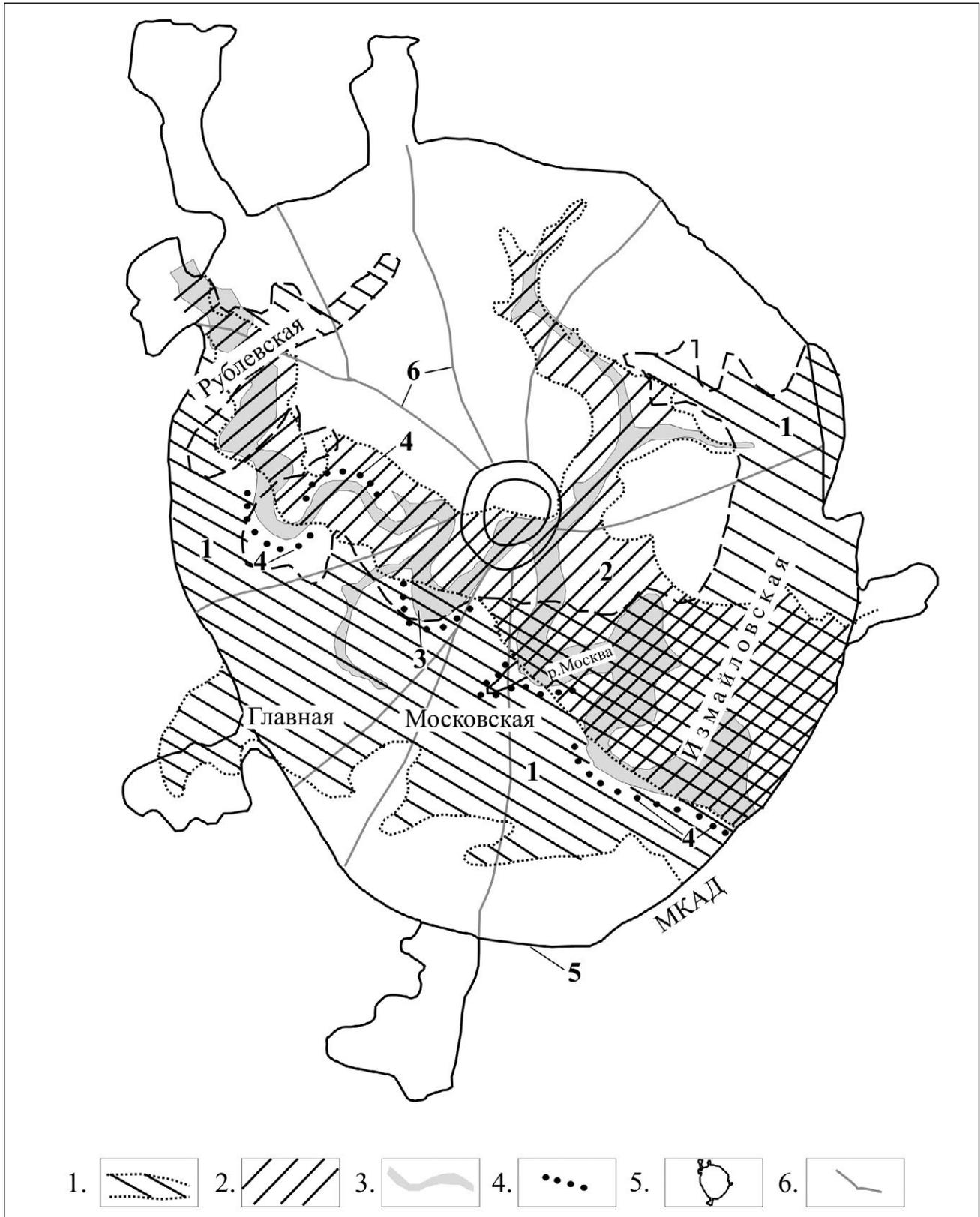


Рис. 1. Схема распространения юрских отложений и глубоких оползней на территории г. Москвы. 1 – участки погребенных доюрских палеодолин в г. Москве с основными ложбинами: Рублевской, Главной Московской, Измайловской; 2 – дочетвертичные долины Москва-реки и ее притоков; 3 – современные долины Москва-реки и ее притоков; 4 – участки развития глубоких оползней выдавливания в юрских глинах; 5 – граница города – Московская кольцевая автодорога (МКАД); 6 – автомагистрали.

от 7 до 27 м. Породы имеют темно-серую и черную окраску, часто известковистые налеты, тонкие прослои глауконитовых песков, содержат стяжения фосфоритовых желваков и пирита, обломки аммонитов и белемнитов. Данные породы образуют региональный водоупор, отделяющий напорные воды в нижележащих каменноугольных известняках от пластово-поровых вод в меловых песках и песчано-суглинистых четвертичных отложениях. Особенность строения данной толщи — наличие в ее разрезе прослоев супесей и песков, содержащих подземные воды, не связанные с горизонтами подземных вод, залегающих выше и ниже.

Стратиграфически толща верхнеюрских пород подразделяется сверху вниз на три яруса: волжский, оксфордский и келловейский. Отложения волжского яруса (J_3v) представлены мелкозернистыми зелеными глауконитовыми песками с прослоями глин, мощностью 6–15 м. Наиболее широко распространены глины оксфордского (J_3ox) и келловейского (J_3k) ярусов. Породы оксфордского яруса представлены плотными жирными глинами темно-серого и черного цвета с коричневым оттенком тугопластичной, полутвердой и твердой консистенции, с фауной аммонитов, белемнитов и обломками раковин. Мощность данных пород составляет от 7 до 27 м. Отложения келловейского яруса представлены плотными твердыми глинами темно-серыми с зеленоватым оттенком или черными углистыми. Мощность глин келловейского яруса достигает 10–12 м. В зонах тектонических нарушений, гипергенных изменений и смещенных оползневых блоков верхнеюрские глины имеют зеркала скольжения, прослои брекчированных обводненных глин с пятнами ожелезнения. Минералогический состав верхнеюрских глин характеризуется наличием в песчано-пылеватых фракциях кварца, карбоната кальция, слюды, глауконита, а в глинистых фракциях — смешанослойных минералов, монтмориллонита и органического вещества.

Микроструктура сохранных юрских пород преимущественно ориентированная тонкослоистая, образована микроагрегатами глинисто-пылеватых частиц размером от 10 до 30 мкм с нечеткими контурами, большим количеством обломков микрофауны и отдельных блоков разложившейся слюды [9]. На поверхности глинистых частиц присутствуют агрегаты гумифицированного органического вещества с размером глобул до 700 Å. Большое содержание пластинчатых глинистых минералов с раздвижной кристаллической решеткой и органики определяет их высокую дисперсность и преимущественно коагуляционный тип структурных связей [7], что влияет на физико-механические свойства глин: высокую плотность, пластичность, набухание, морозное пучение и ги-

дрофильность. В процессе инженерных изысканий, выполненных разными организациями на объектах г. Москвы, в том числе расположенных в долине Москва-реки, были вскрыты, исследованы и опробованы юрские глины в сохранных и выветрелом состояниях¹ [1, 3, 6, 7, 9]. Обобщенные показатели физико-механических свойств верхнеюрских глин приведены в таблице.

В условиях естественного залегания на глубине глины относительно сохранные, имеют консистенцию от тугопластичной до полутвердой, реже твердой.

Глины с показателями свободного набухания: влажность набухания W_{sw} — до 0.55, деформация набухания δ_{sw} — до 0.15, давление набухания P_{sw} — до 0.15 МПа, т.е. относятся к категории сильно набухающих. Данные породы имеют склонность к морозному пучению. Гидрофильность и высокая дисперсность глин объясняют сравнительно слабое их уплотнение в условиях естественного залегания.

Для массивов юрских глин характерно увеличение сопротивления статическому зондированию с глубиной от 1 МПа в верхних слоях до 3.5 МПа на глубине порядка 20 м, что свидетельствует о наличии в верхней части толщи на контакте с перекрывающими водонасыщенными песками и супесями глин мягкопластичной консистенции с низкими прочностными и деформационными свойствами. С глубиной консистенция глин изменяется до тугопластичной и полутвердой. Толща верхнеюрских глин характеризуется литогенетической трещиноватостью, в том числе системой наклонных тонких и сомкнутых трещин, секущих толщу под углами 40°–55°.

При гипергенных изменениях, в частности при выветривании, юрские глинистые породы становятся трещиноватыми, проницаемыми, ожелезненными. Это происходит на участках с небольшой (менее 5 м) мощностью глин, в местах развития фильтрационных окон с активной гидравлической связью четвертичного и верхнекаменноугольного водоносных горизонтов, эрозионных размывов в долинах рек, на оползневых склонах, а также в строительных котлованах. При разгрузке толщи происходят разуплотнение ниже лежащих пород, образование большого числа мелких трещин, выветривание глин, которые при взаимодействии с водой проявляют набухание, снижающее их прочностные и деформационные свойства. Скорость выветривания верхнеюрских глин довольно высокая. Инженерными

¹ Деформационные и прочностные характеристики юрских глинистых грунтов Москвы. Стандарт организации СТО ОАО «НИЦ «Строительство» 36554501 -020-2010. // <http://libnorm.ru/Files2/1/4293801/4293801561.pdf>

Таблица. Обобщенные показатели физико-механических свойств верхнеюрских глин оксфордского яруса на территории г. Москвы (в сохранном и выветрелом состоянии)

Характеристика пород	Показатели свойств														
	Мощность пород в естественном залегании	Плотность влажного грунта	Плотность сухого (скелета) грунта	Естественная влажность	Пористость	Число пластилинности	Показатель текучести	Прочность на сдвиг при одноосном сжатии		Модуль деформации при давлении 0.1-0.2 МПа		Показатели набухания			
	М	ρ , г/см ³	ρ_e , г/см ³	W, д.е.	n, д.е.	Ip, д.е.	I _L , д.е.	Угол внутреннего трения	Сцепление	В компрессионном приборе	При трехосном сжатии	Влажность набухания	Величина набухания	Давление набухания	
Глины сохранные, плотные, тяжелые, от тугопластичной до твердой консистенции, слабоводопроницаемые (региональный водоупор), сильнонабухающие	от 10 до 30	1.64-1.81 1.71	1.2-1.35 1.3	0.38-0.55 0.45	0.51-0.57 0.53	0.26-0.48 0.34	0.24-0.57	17-20 18	40-60 47	3-9 6	27-37 31	до 0.55	до 0.15	до 0.15	
	от 2 до 8	1.58-1.69 1.63	0.94-1.12 1.0	0.57-0.62 0.59	0.52-0.60 0.57	0.34-0.47 0.37	0.34-0.82	9-16 12	26-49 37	2.6-3.2 3.0	16-24 20	0.54-0.62	до 0.05	до 0.03	
Глины выветрелые, трещиноватые, местами брекчированные, ожелезненные от мягкопластичной до полутвердой консистенции, водопроницаемые, слабонабухающие															

Примечание. Составлено по данным организаций: ГУП «Мосгоргеотрест», МГСУ (МИСИ), ОАО «НИЦ» «Строительство», МГУ им. М.В. Ломоносова, ИГЭ РАН, ИФЗ РАН.

изысканиями установлено, что мощность измененного слоя юрских глин в результате разгрузки, промерзания, оттаивания и набухания в течение одного года может достигать 4-5 м. По результатам статического зондирования, в строительном котловане на юрских глинах зона разуплотнения и выветривания за год составила 5 м со снижением показателей сопротивления статическому зондированию в 2-5 раз [3].

Выветрелые разности верхнеюрских глин обладают высокой дисперсностью, частицы грунта размером менее 0.005 мм составляют до 60-65% его массы. В минералогическом составе глинистой фракции присутствуют гидрослюда (до 40-50%), монтмориллонит (до 30-35%), смешанослойные минералы (до 20-25%), хлорит (до 10%). Микроструктура выветрелых глин слагается микроагрегатами глинисто-пылеватых частиц, покрытых "коркой" из пластинчатых агрегатов гумифицированного органического вещества. Ориентация структурных элементов отсутствует или слабо упорядоченная слоистая. Поры между зернами заполнены остатками растительного детрита (лигнита). Зерна калиевого полевого шпата часто полуразложившиеся с глобулярными агрегатами органического вещества на поверхности. Это обуславливает уменьшение показателей плотности сложения и прочности гипергенно измененных глинистых пород (см. табл.). Выветрелые разности верхнеюрских глин относятся к разряду слабонабухающих и ненабухающих грунтов.

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ В ЮРСКИХ ГЛИНАХ

Суммарная площадь развития оползней на территории г. Москвы в границах МКАД превышает 30 км², что составляет примерно 3% от площади города с учетом участков развития поверхностных оползней в моренных и флювиогляциальных суглинках, развивающихся по бортам крупных оврагов и малых рек. По классификации Г.С. Золотарева, оползни в юрских глинах на территории г. Москвы относятся к категории крупных блоковых оползней выдавливания с поверхностью скольжения, тяготеющей к древнему дочетвертичному базису эрозии (дочетвертичному переуглублению речной долины) и залегающей значительно ниже (на 12-30 м) современного русла Москва-реки [1, 2]. Оползни-блоки поражают правый высокий берег реки на всю его высоту и формируют в русле реки валы выдавливания пород, которые в дальнейшем разрушаются речной эрозией. Основные факторы развития этих оползней:

- эрозионный подмыв и разрушение береговых склонов руслом Москва-реки;

- низкая сдвиговая прочность и пластичность юрских глин, залегающих в основании склонов и являющихся зоной формирования поверхностей смещения глубоких оползней пластического типа [2];

- воздействие мелового и юрского горизонтов подземных вод, которые обуславливают снижение прочностных свойств глинистых пород, гидростатическое и гидродинамическое давление на массивы пород, слагающих береговые склоны;

- активное развитие процессов суффозии и овражной эрозии с выходом на дневную поверхность родников.

На разных оползневых участках речной долины наблюдается от 2 до 5 оползневых ступеней с разной высотой и объемами оползневых тел, динамика развития которых приводит к отступанию бровки склона вглубь берега (рис. 2). Высота оползневых и оползнеопасных береговых склонов Москва-реки изменяется от 30-38 м в районе парка Коломенское и платформы "Москворечье" до 55-58 м в районе Воробьевых гор (рис. 3, 4). Протяженность оползневых участков по долине реки изменяется от 70 м до 4 км, ширина поперек склона достигает 300-400 м. Ширина оползневых ступеней на современных оползневых склонах колеблется от 6 до 60 и более метров. С учетом данных изысканий, установивших наличие древних смещенных оползневых блоков в пределах широких излучин и в русле Москва-реки [6], количество оползневых блоков на отдельных участках может быть значительно больше. Поверхности оползневых ступеней, как правило, запрокинуты с падением в сторону склона. На них формируются мочажины, происходит заболачивание, создаются искусственные пруды (например, на Андреевском склоне). Мощность смещенных оползневых блоков колеблется от 15 до 35 м. В них сохраняется напластование пород, но слои запрокидываются вглубь склона. Основные оползневые деформации склонов и формирование поверхности смещения происходят в толще оксфордских глин на глубинах от 12 до 30 м [1, 6]. При этом в оползневой процесс вовлекаются нижележащие глины келловейского яруса, захватываются вышележащие породы четвертичного и мелового возраста.

В пределах многоступенчатых оползневых склонов, на границах отдельных блоков смещенных пород формируются ослабленные зоны, обусловленные выходом на дневную поверхность существующих поверхностей смещения. В пространственном отношении в пределах одного оползневого склона поверхности смещения оползневых блоков разных генераций тяготеют к одному уровню залегания первоначальной поверхности скольжения. Породы в этих зонах

характеризуются структурными изменениями, повышенной трещиноватостью, проницаемостью, низкими прочностными и деформационными свойствами. Результаты комплексных инженерных изысканий, выполненных в русле и на берегах Москва-реки при строительстве крупных сооружений (стадион “Лужники”, метро-мост, эскалаторная галерея, лыжный трамплин на Воробьевых горах, гребной канал в Крылатском и др.), подтверждают многократные оползневые подвижки в юрских породах, что свидетельствует о длительности и масштабах процесса оползневого разрушения высоких береговых склонов. В пределах левобережных речных террас и русле реки отмечаются существенный размыв поверхности юрских отложений и изменение их состояния и свойств при близком залегании к дневной поверхности [1, 6]. На неровной поверхности кровли юрских глин отмечаются локальные замкнутые округлые и ложбинообразные понижения, открывающиеся в сторону русла реки. Они обусловлены русловой эрозией Москва-реки, которая также способствует изменению морфологии высоких правобережных оползневых склонов. Уменьшение протяженности

склонов и увеличение их крутизны приводят к изменению их напряженно-деформированного состояния с формированием в их прибрежной части зон растягивающих напряжений, а в основании склонов – зон сжатия с повышенными значениями главных и касательных (сдвигающих) напряжений.

В процессе развития оползневых деформаций юрские глины, слагающие береговые склоны, испытывают растяжение и сжатие, что обуславливает изменение их структуры, состояния и свойств, а также мощности отдельных слоев. В структуре оползневого склона при нарушении его устойчивости и образовании оползня выделяют 3 зоны с различным характером деформаций: тело оползня, зона смещения оползня, область влияния оползневых смещений [4].

Процесс формирования оползня включает несколько стадий: подготовка оползня, основное смещение и стабилизация, из которых самая продолжительная – стадия подготовки. На первом этапе стадии подготовки оползня наблюдаются незначительные деформации земной поверхно-

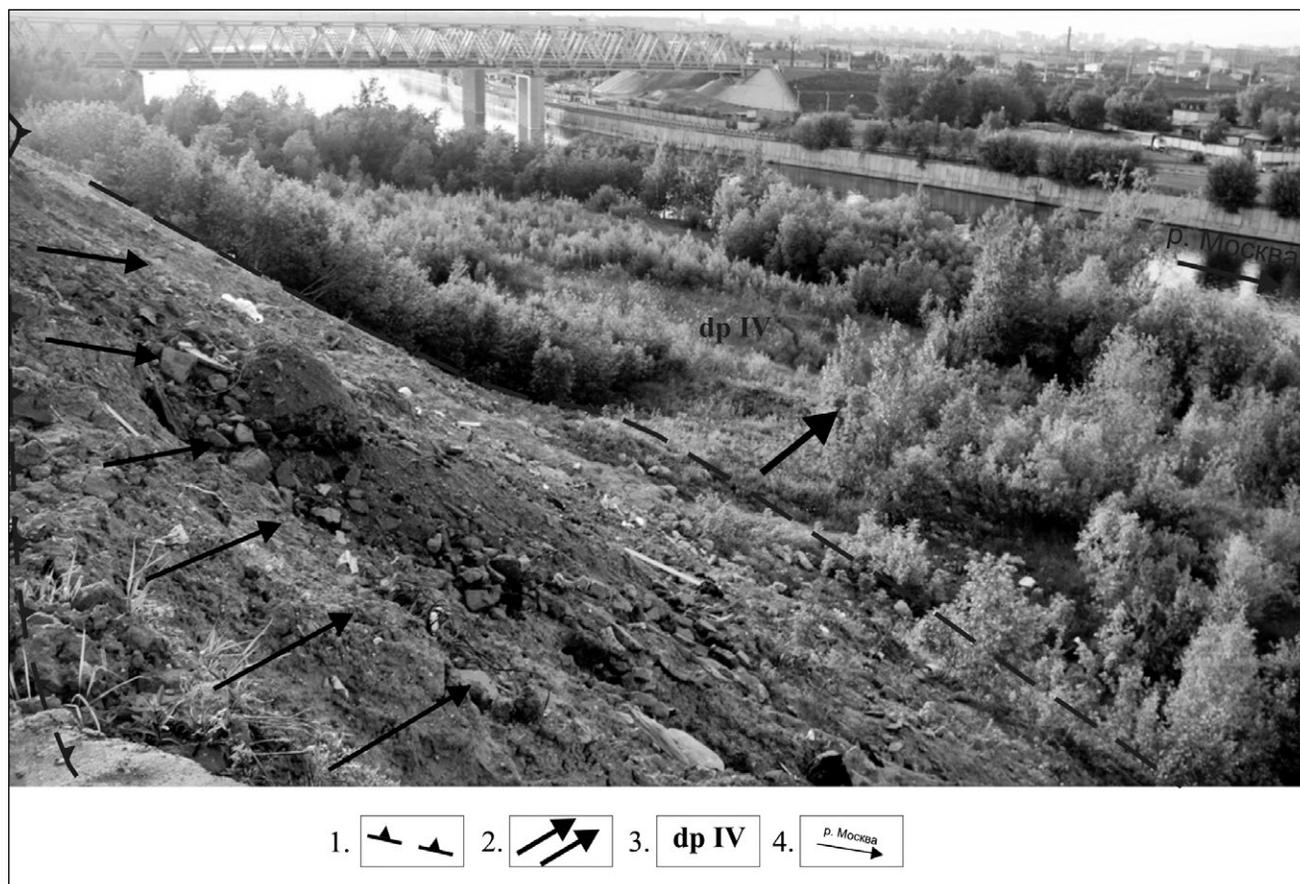


Рис. 2. Оползень на правом берегу р. Москва в районе железнодорожной станции “Москворечье” с отжатием русла реки (интернет-ресурс). 1 – бровка оползневого уступа; 2 – поверхность оползневого уступа; 3 – тело оползня с валом выдавливания в прирусловой части; 4 – русло Москва-реки с отжатием к левому берегу.

сти, и происходит разгрузка горизонтальных напряжений в приобвочной части склона, которая приводит к образованию одной или двух субвертикальных трещин-заколов, отстоящих от бровки склона на расстоянии от 10 до 50 м. Глубина трещин-заколов – до 12 м. В нижней части склона возникает зона концентрации главных и скалывающих напряжений с образованием отдельных коротких трещин скола. На следующем этапе развития оползня от нижних частей трещин-заколов в сторону основания склона и уже существующих трещин появляются прерывистые открытые трещины скола протяженностью до 5-7 м, которые при увеличении их количества формируют зону сдвиговых деформаций мощностью до 8-10 м. В пределах этой зоны по мере нарастания сдвиговых деформаций образуется поверхность скольжения оползня, представленная сильно перемятыми породами с чередующимися участками уплотнения и разуплотнения (дилатансии) глин.

В объеме верхней части смещающегося оползневого тела происходят разуплотнение пород и разгрузка напряжений. Это облегчает условия обводнения склона, развития эрозии, псевдосуффозионных процессов, что сказывается на изме-

нении прочностных и деформационных свойств грунтов. Одновременно в основании склона (нижней части оползня) происходит концентрация напряжений и развитие деформаций сжатия и сдвига. Создается ядро уплотненных пород с высокими действующими напряжениями, в том числе касательными, которые обуславливают развитие коротких прерывистых трещин сдвига, круто наклоненных к поверхности склона. В зонах возникновения трещин скола возникают условия для дилатансии грунтов, отжатия и осмотического движения в них поровой влаги. Это играет роль дополнительной “смазки” в развитии оползневого процесса, снижающей сдвиговую прочность глин в зоне смещения. На стадии основного смещения оползня в верхней части зоны смещения, состоящей из множества отдельных, прерывистых коротких трещин скола, формируется вогнутая круглоцилиндрическая поверхность скольжения оползня в виде узкой полосы сильно перемятого материала мощностью 0.3-0.5 м, редко больше. По этой поверхности происходит быстрое смещение оползневого блока вниз по склону с образованием надоползневого уступа, оползневой ступени и выпора пород в основании склона. На этой стадии значительные деформации развиваются главным

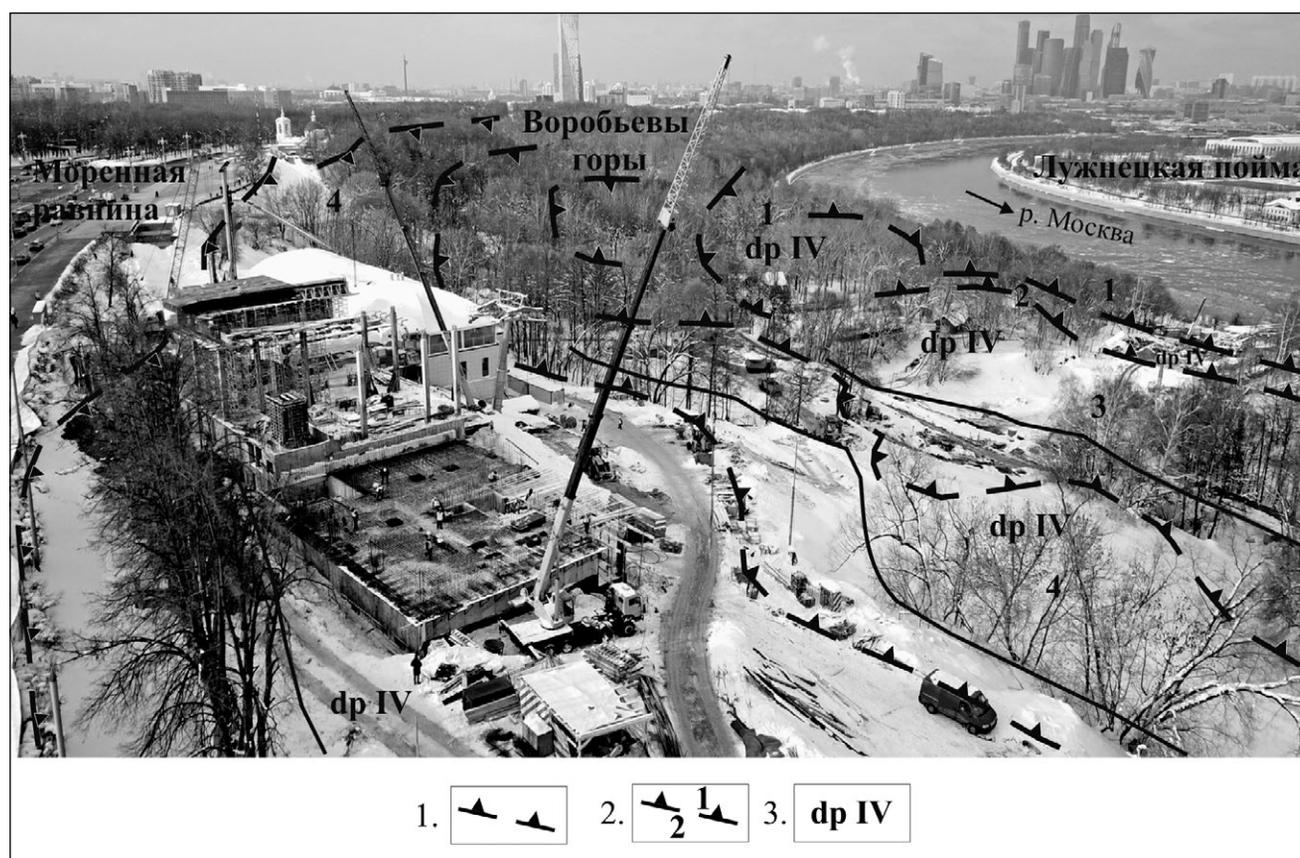


Рис. 3. Оползневые ступени на склоне Воробьевых гор. 1 – бровки оползневых уступов; 2 – номера оползневых ступеней от уреза реки; 3 – геологический индекс оползневых тел.

образом в теле оползня с образованием вала выдвигания и растрескиванием пород в смещенной части склона. Водопроявления на запрокинутых поверхностях оползневых ступеней могут объясняться не только накоплением атмосферных осадков, но также отжатием в сторону свободного пространства влаги из смещенных массивов, испытывающих дополнительное уплотнение.

На стадии стабилизации оползневых деформаций вдоль поверхности скольжения оползня и в нижней части склона отмечаются разгрузка напряжений и стабилизация деформаций. Происходит перераспределение напряжений в сохранной части берегового склона.

В периоды подготовки оползня и основного смещения оползневого блока ниже зоны смещения и вплотную к ней формируется область влияния оползневых смещений, в пределах которой происходят деформации изгиба и волочения нижележащих глин келловейского яруса в сторону основания склона. Эта область имеет мощность порядка 10-12 м и постепенно переходит в незатронутый деформациями массив.

Образование области влияния оползневых смещений становится заметным на заключительном этапе стадии подготовки оползня, когда достигаются максимальные деформации массива, что обусловливается зацеплением, трением и волочением отдельных его участков, подстилающих оползневое тело и зону сдвиговых деформаций. Действующие в этой области растягивающие и изгибающие напряжения способствуют разуплотнению грунтов, что приводит к ослаблению структурных связей в грунтах и снижению их физико-механических свойств по сравнению с грунтами сохранной части склона. Данные изменения структуры и физико-механических свойств грунтов облегчают последующее развитие оползневых деформаций склона новой генерации, а именно образование трещин-заколов, трещин-сколов и оползневых подвижек.

После смещения оползня на стадии стабилизации склона происходит перераспределение напряжений в морфологически измененном склоне с образованием новых областей разгрузки и концентрации напряжений с измененными физико-механическими свойствами глинистых грунтов и действующих напряжений.

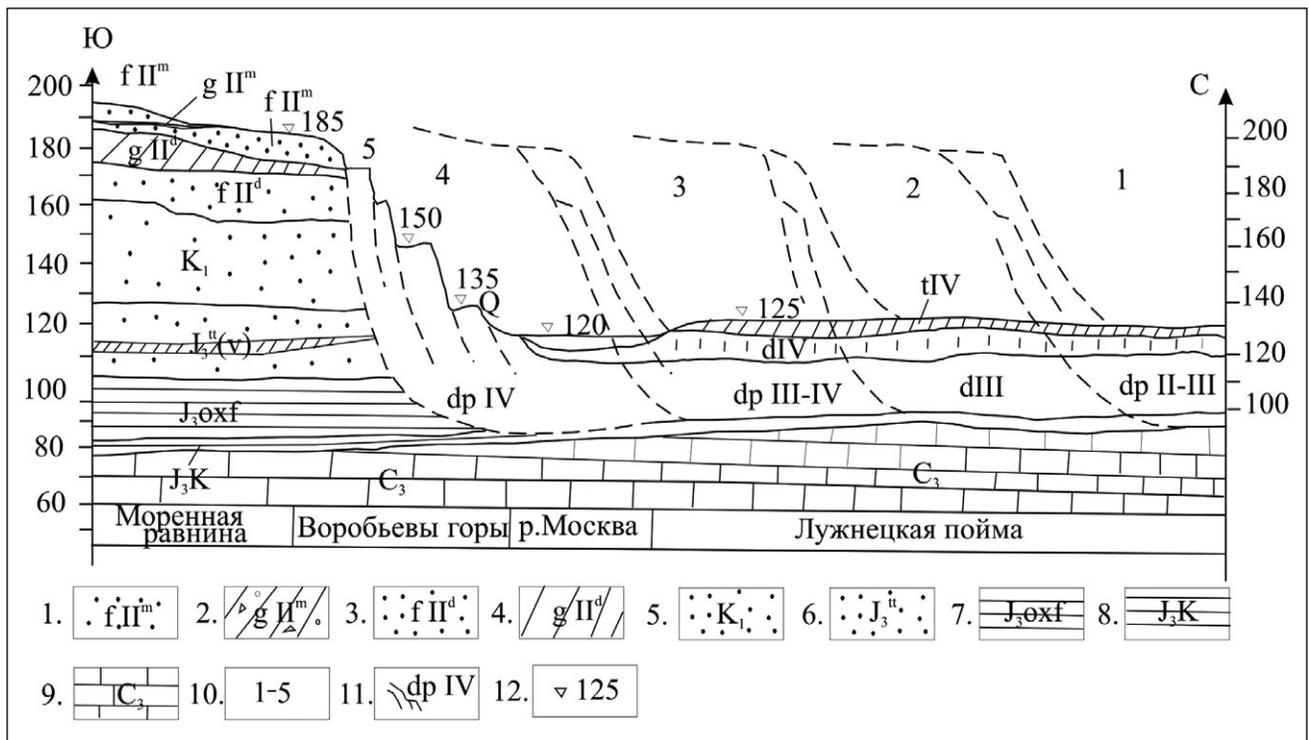


Рис. 4. Схематический геологический разрез оползневой долины р. Москвы в районе Воробьевых гор (по [6] с дополнениями). 1-9 – четвертичные отложения и коренные породы: 1 – флювиогляциальные пески и суглинки московского оледенения; 2 – валунные суглинки московской морены; 3 – флювиогляциальные пески и супеси донского горизонта; 4 – морена донского горизонта; 5 – пески нижнего мела; 6 – пески и алевроиты верхней юры; 7 – юрские глины оксфордского яруса; 8 – глины келловейского яруса; 9 – переслаивающиеся известняки, мергели, доломиты, глины верхнего мела; 10 – предполагаемые границы размывов оползневых массивов разных возрастных циклов; 11 – границы современных оползней; 12 – абсолютные отметки поверхности земли.

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Строительство ответственных объектов городского хозяйства на оползневых и оползнеопасных склонах долины Москва-реки требует глубокого обоснования проектов строительства, включающего изучение и оценку современных инженерно-геологических условий рассматриваемого участка; учет истории геологического развития территории, в том числе последовательности формирования склонов и развития на них опасных геологических процессов; разработку прогнозов изменения устойчивости склонов в процессе строительства и эксплуатации объектов на основе расчетов и моделирования; выработку адекватных комплексных мер защиты отдельных участков и объектов от опасных склоновых процессов и др. Для этого необходимо учитывать историко-геологический анализ развития территории. В данном случае это касается условий формирования и развития глубоких оползней выдавливания на склонах речной долины. История геологического развития территории, современная геодинамика и связанные с ними факторы (состав, мощность, условия залегания горных пород, их трещиноватость и выветрелость, гидрогеологические особенности и др.) должны быть положены в основу зонирования участка строительства по степени его уязвимости опасными оползневыми и эрозийными процессами. В этом заключается одно из направлений управления природными рисками на осваиваемых оползнеопасных территориях. С учетом результатов этого зонирования должна составляться схема размещения объектов и трассировки транспортных и инженерных сетей. Схема зонирования может также являться основой для разработки схемы комплексного мониторинга за активными геологическими процессами и состоянием сооружений; выбора участков и профилей склонов с целью прогноза их устойчивости на основе расчетов и моделирования, выбора мест строительства и типов сооружений инженерной защиты. Основные предложения таких проектов защиты должны быть включены в разделы проектной документации, касающиеся инженерной подготовки территорий строительства объектов и (или) разработки мероприятий по охране геологической среды.

В качестве способов инженерной защиты объектов на оползневых и оползнеопасных склонах могут быть выбраны планировка и/или террасирование склонов; засыпка оврагов, создание поверхностных водоотводящих сетей и систем открытых или подземных дренажей; строительство укрепительных сооружений в виде массивных подпорных стенок, укрепление широких набережных или скважинное буронабивное закрепление

оползнеопасных участков склонов и другие мероприятия [8]. Для реализации этих мер требуется привлечение значительных финансовых средств.

Важными моментами в управлении оползневыми рисками является разработка и внедрение систем комплексного мониторинга за динамикой склоновых процессов и состоянием ответственных сооружений с применением автоматизированных подсистем получения данных, их передачи, обработки и хранения, анализа и прогнозирования, выработки управляющих решений. Именно мониторинг позволяет объективно оценивать состояние сложных природно-технических систем и вырабатывать адекватные управляющие и инженерные решения, а также корректировать предварительные оценки современного состояния горных склонов и прогнозы развития опасных геологических процессов.

Источник финансирования. *Статья подготовлена в рамках выполнения госзадания и плана НИР по теме "Опасные эндогенные и экзогенные процессы: факторы и закономерности их проявления, мониторинг и прогноз развития, оценка опасности и риска в условиях изменяющегося климата и техногенеза, разработка методов предотвращения и смягчения последствий природных и природно-техногенных катастроф".*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.А., Тихонов А.В., Моисеенко С.А. и др. Изучение строения тела оползня в парке Коломенское в Москве // Разведка и охрана недр. 2012. № 7. С. 22-26.
2. Данышин Б.М. Геологическое строение Ленинских гор в связи с некоторыми вопросами стратиграфии отложений меловой системы и оползневыми явлениями на берегу Москва-реки // Известия Московского геологического треста. М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1937. Т. IV. С. 8-22.
3. Зиангиров Р.С., Крылов Ю.П., Николаев И.А., Сорочан Е.А. Опыт строительства зданий на юрских глинах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 3. С. 16-22.
4. Мамаев Ю.А., Тихвинский И.О. Опыт применения моделей из эквивалентных материалов для изучения механизма оползней и анализа методов расчетов устойчивости склонов // Вопросы изучения инженерно-геологических процессов. М.: Стройиздат, 1984. С. 13-19.
5. Москва: геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997. 400 с.
6. Николаева Г.В. О распространении оползневых отложений в районе Лужнецкой излучины реки Москвы // Геоэкология. 2016. № 6. С. 557-565.

7. Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А., Канаева Л.А. Инженерно-геологическая характеристика грунтов по трассе новой Кожуховской линии Московского метрополитена // Геоэкология. 2015. № 4. С. 317-323.
8. Осипов В.И., Постоев Г.П. Эффективное использование оползнеопасной территории мегаполисов // Тр. междунар. конф. по геотехнике (7-10 июня 2010). М.: 2010. Т. 5. С. 1741-1746.
9. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.

REFERENCES

1. Volkov, V.A., Tikhonov, A.V., Moiseenko, S.A., et al. *Izuchenie stroeniya tela opolznya v parke Kolomenskoe v Moskve* [The study of landslide body structure in Kolomenskoe park in Moscow]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2012, no. 7, pp. 22-26 (in Russian)
2. Dan'shin, B.M. *Geologicheskoe stroenie Leninskikh gor v svyazi s nekotorymi voprosami stratigrafii otlozhenii melovoi sistemy i opolznevymi yavleniyami na beregu Moskva reki* [Geological structure of Lenin Hills in relation to some issues of stratigraphy of Cretaceous system deposits and landslides phenomena on the bank of Moscow River]. *Izvestiya Moskovskogo geologicheskogo tresta*. Moscow-Leningrad, NKTP SSSR Publ., 1937, vol. IV, pp. 8-22. (in Russian)
3. Ziangirov, R.S., Krylov, Yu.P., Nikolaev I.A., Sorochan, E.A. *Opyt stroitel'stva zdaniy na yurskikh glinakh* [Experience in the construction of buildings on Jurassic clay]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2000, no. 3, pp. 16-22. (in Russian)
4. Mamaev, Yu.A., Tikhvinskii I.O. *Opyt primeneniya modelei iz ekvivalentnykh materialov dlya izucheniya mekhanizms opolznei i analiza metodov raschetov ustoiichivosti sklonov* [Experience in applying equivalent-materials models for the study of landslide mechanisms and the analysis of calculation methods of slope stability]. *Voprosy izucheniya inzhenerno-geologicheskikh protsessov* [Issues of the study of engineering geological processes]. Moscow, Stroizdat, 1984, pp. 13-19. (in Russian)
5. *Moskva: geologiya i gorod* [Moscow: geology and the city]. Osipov, V.I., Medvedev, O.P., Eds. Moscow, Moskovskie uchebniki i kartolitografiya, 1997, 400 p. (in Russian)
6. Nikolaeva, G.V. About the distribution of landslide deposits in the area of Luzhnetskaya meander of the Moscow River. *Geoekologiya*, 2016, no. 6, pp. 557-565. (in Russian)
7. Osipov, V.I., Mamaev, Yu.A., Yastrebov, A.A., Kanaeva, L.A. Engineering geological characteristics of soils and rocks along the route of the new Kozhukhovskaya line of Moscow metro. *Geoekologiyaa*, 2015, no. 4, pp. 317-323. (in Russian)
8. Osipov, V.I., Postoev, G.P. *Effektivnoe ispol'zovanie opolzneopasnoi territorii megapolisov* [Efficient use of landslide-prone territory of megacities]. Proc. Intern. Conf. on geoengineering (June 7-10, 2010), Moscow, 2010, vol. 5, pp. 1741-1746 (in Russian)
9. Osipov, V.I., Sokolov, V.N. *Gliny i ikh svoistva* [Clays and their properties]. Moscow, GEOS, 2013, 576 p. (in Russian)

ORIGIN, DEVELOPMENT FACTORS AND DYNAMICS OF LANDSLIDES IN JURASSIC CLAY IN MOSCOW

© 2019 Yu. A. Mamaev*, S. V. Kozlovskii, A. A. Yastrebov

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per., 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

*E-mail: mamaev47@mail.ru

The article focuses on the factors and dynamics of development of large deep extrusion landslides in Jurassic clay participating in geological structure of high bank slopes of the Moscow River within the city boundaries. The history of geological development of territory in Meso-Cenozoic age is observed in briefly; the peculiarities of upper Jurassic clay structure are considered; the structure, composition, and physico-chemical properties of rocks are described both in preserved and weathered state; the morphology and zoning of landslide slope structure as well as stages and dynamics of landslide deformations are characterized. Recommendations on the engineering development of territories affected by landslides are given. The paper is based on the generalization of numerous publications and archive data devoted to this acute topic.

Keywords: *history of geological development, slope structure, rock properties, landslide deformations, factors and dynamic of development, construction.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019440-50>