



ЖИДКОВ Р.Ю.

Аспирант кафедры экологии и природопользования
РГГУ им. С. Орджоникидзе, rzhidkov@gmail.com

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ НА ЭТАПЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ)

A METHOD OF ENGINEERING-GEOLOGICAL JUSTIFICATION OF CONSTRUCTING
HIGH-RISE BUILDINGS AT THE URBAN DESIGN STAGE USING GIS TECHNOLOGIES
(BY THE EXAMPLE OF MOSCOW)

Ключевые слова: высотные здания; освоение подземного пространства; подземное строительство; ГИС-технологии; инженерно-геологическое районирование.

Key words: high-rise buildings; underground space development; underground constructing; GIS-technologies; engineering-geological zoning.

Аннотация: в статье рассматривается проблема обоснования строительства высотных зданий и их комплексов на этапе градостроительного проектирования. На примере г. Москвы предлагается принципиальная схема оценки степени благоприятности территории для возведения сооружений с заданным заглублением на основе ГИС-технологий с использованием архивных материалов.

Abstract: the article reviews the justification problem of constructing high-rise buildings and their complexes at the urban design stage. A principal scheme of assessing the favorability rate of a territory for erecting constructions with prespecified embedment on the basis of GIS technologies using archival materials is presented by the example of Moscow.

Введение

Как показывает зарубежный опыт, строительство высотных зданий при условии проведения полноценного комплекса геотехнических исследований возможно практически в любых инженерно-геологических условиях [3]. Однако с усложнением инженерно-геологической обстановки существенно затрудняется как процедура проведения комплекса проектно-изыскательских работ (вследствие необходимости применения более широкого спектра методов и усложнения расчетных схем), так и сам процесс строительства высотного здания (за счет более сложных технологий, применяемых с целью

минимизации строительных рисков). Все это снижает экономическую целесообразность строительства и увеличивает его продолжительность.

Нормативные документы регламентируют поэтапное проведение инженерно-геологических изысканий с повышением детализации на более поздних стадиях проектирования. Однако в современных условиях эта стадийность соблюдается редко, что обусловлено в первую очередь сжатостью сроков строительства объектов. Одна лишь процедура оформления разрешительной документации для проведения полевых работ в г. Москве занимает от одного до нескольких месяцев, что обыч-

но неприемлемо для заказчиков строительства. В связи с этим исследования на предпроектной стадии, как правило, не проводятся вовсе, а на стадиях «Проект» и «Рабочая документация» часто объединяются.

Для таких сооружений, как высотные здания, подобная практика неприемлема, однако результаты исследований, направленных на разработку предпроектной документации, могут быть с большой степенью достоверности заменены результатами досконального анализа архивных материалов с применением современных компьютерных ГИС-технологий. При этом проведение таких предварительных исследований в зависимо-

сти от их целей и задач может быть разделено на два этапа (задачи), характеризующихся принципиально разной детальностью геоинформационной модели: (1) исследования на стадии градостроительного планирования, направленные на выбор участков, характеризующихся наиболее благоприятными для строительства высотных сооружений инженерно-геологическими условиями; (2) исследования, проводимые с целью осуществления предварительного выбора конфигурации фундаментного основания и составления программы инженерно-геологических изысканий на стадии «Проект» с учетом особенностей геологического строения участка проектируемого строительства.

Первая из поставленных задач требует некоторой генерализации знаний об инженерно-геологическом строении г. Москвы с вычлениением аспектов, в наибольшей степени связанных с проблематикой высотного строительства. Решение второй, напротив, должно быть направлено на построение максимально детализированной и постоянно пополняемой модели литотехнической среды города.

В данной публикации речь пойдет о решении первой задачи — об обосновании размещения высотных зданий и их комплексов на этапе градостроительного проектирования.

Проблема применения архивных материалов при проведении инженерно-геологических изысканий на территории г. Москвы

Территория г. Москвы характеризуется высокой степенью изученности инженерно-геологических условий. Однако при анализе архивных материалов прошлых лет возникает ряд сложностей, первая из которых — небольшая глубина изученности и неравномерность распределения фондовых данных. Так, на сегодняшний день в фондах ГУП «Мосгоргеотрест» содержится более 800 тыс. журналов буровых скважин, что в среднем составляет более 7 скважин на 1 га территории города. Однако не все они достаточно представительны, так как большинство из них имеет небольшую глубину (особенно выработки, пройденные в процессе проведения изысканий для строительства линейных объектов).

Для построения комплекта геологических карт масштаба 1:10 000 [1] из архивов было отобрано около 100 тыс. скважин.

Еще один фактор, затрудняющий применение фондовых данных инже-

нерно-геологических исследований, — это их разрозненность. В процессе проведения изысканий под конкретный объект, особенно небольшой, не всегда возможна правильная интерпретация результатов буровых работ. В особенности это касается расчленения разреза четвертичных и меловых отложений. И если при проектировании типового сооружения малой заглубленности неверная геохронологическая интерпретация полученных данных вряд ли может привести к критическим ошибкам, то строительство уникальных сооружений, таких как высотные здания, ввиду существенно большего радиуса зоны взаимодействия здания с природной средой уже требует достоверной оценки геологических условий района строительства. Так, например, при проведении прогнозного геофильтрационного моделирования в расчет берется площадь, в десятки, а иногда и в сотни раз превышающая размеры строительной площадки. При этом в модель закладывается большое количество архивных данных, несходимость которых способна привести к заданию принципиально неверных параметров модели и, как следствие, к ошибочным результатам прогноза изменения гидрогеологических условий.

Следовательно, для достоверного моделирования инженерно-геологических условий участка проектируемого строительства высотного здания требуется обобщение имеющихся фондовых материалов. При построении комплекта геологических карт масштаба 1:10 000 были проведены анализ и переиндексация (в соответствии с принятой геохронологической легендой) каждой из архивных выработок, вошедших в картографическую базу данных. Эти обработанные скважины наравне с картографическим материалом стали базой для разработки методики инженерно-геологического районирования для целей высотного строительства.

Условия освоения подземного пространства г. Москвы для целей высотного строительства

Очевидно, что оптимальной опорой для фундаментного основания высотного здания будет служить выдержанная по простиранию толща пород достаточной мощности, имеющая благоприятные инженерно-геологические свойства и располагающаяся вне зоны развития инженерно-геологических процессов. При проектировании сооружения, опирающегося на плитно-свайный фундамент, должны быть выбраны как толща для опирания плиты, так и основание

или (в случае применения свай, воспринимающих нагрузку по боковой поверхности) среда для свайной части фундамента. Однако выбор и расчет окончательной конфигурации фундаментного основания, как правило, осуществляется на поздних этапах проектирования, в то время как заглубленность котлована зависит от предполагаемого количества подземных этажей и обычно известна на этапе архитектурного замысла.

В связи с этим в качестве основного критерия благоприятности инженерно-геологических условий для строительства высотных зданий будут рассматриваться именно характеристики отложений в основании фундаментных плит. Вне зависимости от параметров сооружений их опирание на породы, обладающие хорошей несущей способностью, позволит передать большую часть нагрузки на плитную часть, что значительно удешевит строительство.

Для оценки степени благоприятности предполагаемого основания конструктивных элементов фундаментов высотных зданий был проанализирован весь массив горных пород, расположенных в зоне взаимодействия с инженерными сооружениями. Далее в статье приводятся некоторые особенности различных отложений, которые оказывают определяющее влияние на условия освоения подземного пространства для целей высотного строительства. Геохронологическая индексация отложений осуществлена в рамках легенды Геологического атласа г. Москвы масштаба 1:10 000.

Особенности геологического строения территории г. Москвы

На территории г. Москвы в пределах глубины освоения подземного пространства и взаимодействия с сооружениями распространены осадочные породы, относящиеся к каменноугольному, меловому, юрскому и четвертичному возрастам.

По своим физико-механическим свойствам все *карбонатно-глинистые отложения верхнего и среднего карбона* при условии их сохранности могут служить надежной опорой как для фундаментных плит, так и для нижних концов (пят) свай-стоек. При этом заглубление фундаментных плит в отложения среднего отдела каменноугольной системы, представленные известняками и доломитами с подчиненными прослоями глин, относящиеся к нерасчлененным подольской и мячковской свитам (C_2pd-mc), а также в залегающие выше карбонатно-глинистые отложения суворовской подсвиты кревкинской свиты

(C_3kr_1) может быть затруднено тем, что они служат коллектором для подольско-мячковского водоносного комплекса. Этот горизонт характеризуется значительной величиной напора, большой водопроницаемостью и водообильностью и является хранилищем стратегических запасов подземных вод г. Москвы и Московской области. Вскрытие этих пород в строительном котловане будет сопряжено с проведением откачек колоссальных объемов воды с целью недопущения возникновения водопритоков, что, во-первых, является сложной задачей в техническом плане, а во-вторых, может привести к образованию депрессионных воронок многокилометрового радиуса. Это было подтверждено результатами гидрогеологического моделирования, выполненного в рамках проведения инженерно-геологических изысканий на участках № 17, 18 ММДЦ «Москва-Сити», по результатам которого было принято решение о пересмотре проекта на стадии разработки рабочей документации с исправлением глубины фундаментной плиты с 48,5 м на 30,5 м [4].

В то же время невыветрелые и незакарстованные среднекаменноугольные известняки и доломиты могут служить хорошим основанием для опирания свай-стоек. В этом случае необходимо проведение тщательного анализа гидрогеологической обстановки с проведением расчета объемов возможных притоков в котлован на стадии устройства свайного поля в случае заложения фундаментной плиты ниже установившегося уровня подольско-мячковского горизонта.

В основании разреза мезозойских пород залегают имеющие весьма ограниченное распространение континентальные отложения юрской системы, относящиеся к кудиновской (J_2kd), люблинской (J_2lb) и москворецкой (J_2mr) толщам. Шире распространены несогласно перекрывающие их породы морского генезиса, относящиеся к криушской (J_2kr) свите. Однако в целом комплекс этих отложений выполняет роль заполнителя углублений древнего рельефа и приурочен к доюрским долинам, в пределах которых, как правило, развиты карстово-суффозионные процессы и явления.

Выше залегает толща глинистых пород, относящихся к нерасчлененным великоворской и ермолинской свитам ($J_{2-3}vd-er$). В технических отчетах и научных публикациях эта толща часто называется «келловей-оксфордскими глинами». Представлены они глинами

черными, полутвердыми, твердыми, реже тугопластичными с карбонатным детритом, редкими желваками глинистых фосфоритов и конкрециями пирита и марказита. Эти отложения распространены повсеместно, за исключением тальвегов крупных палеодолин р. Москвы и р. Яузы. Преобладающая мощность этих отложений на территории г. Москвы составляет 16–20 м, на юго-востоке в пределах палеодолины р. Москвы она увеличивается до 30–32 м, а на водоразделах палеозойского рельефа уменьшается до 5–10 м. Выдержанность по простиранию, однородность, мощность этой толщи и свойства слагающих ее пород (нормативные значения модуля деформации E для них колеблются в интервале 20–22 МПа; значения угла внутреннего трения ϕ и удельного сцепления C при консолидированно-дренированном срезе равны 17–18° и 0,06–0,07 МПа соответственно [5]) позволяют считать ее благоприятной для устройства фундаментных плит.

Залегающие выше отложения, относящиеся к егорьевской (J_3eg) и филевской (J_3fl) свитам, развиты повсеместно, за исключением днищ крупных речных долин. Во многих публикациях и технических отчетах по проведению инженерно-геологических изысканий комплекс этих отложений часто называется «волжским ярусом», что не вполне соответствует современной схеме глобальной стратификации.

Егорьевская свита представлена песками черными, черно-зелеными, глауконит-кварцевыми с редкими включениями песчаника и конкреций черных глинистых фосфоритов; реже алевроитовыми глинами, суглинками. Мощность отложений в основном колеблется в пределах 1,5–3,0 м. Эти породы служат коллектором для егорьевского водоносного горизонта, величина напора которого может превышать 10 м. Несмотря на это, данный водоносный горизонт мало изучен и редко фиксируется в процессе бурения инженерно-геологических скважин.

Филевская свита представлена глинистыми алевроитами, иногда супесями, алевроитовыми глинами сильно слюдистыми с включениями пирита и ископаемой фауны. Несмотря на то что эти породы, как правило, характеризуются значительной величиной модуля деформации (в среднем 20 МПа), они обладают тиксотропными свойствами [2], что существенно усложняет условия освоения подземного пространства, в частности процесс прокладки тоннелей

и, что особенно актуально для высотного строительства, устройство свайных полей. Нормативные значения показателей ϕ и C для глин филевской свиты составляют 21° и 0,04 МПа соответственно [5]. Такие специфические свойства, а также наличие в основании свиты егорьевского водоносного горизонта, уровень которого, как правило, выше кровли филевских отложений, не позволяют рассматривать эти отложения в качестве надежного основания для фундаментов высотных зданий.

Залегающие выше отложения, относящиеся к нижнему отделу меловой системы (объединенному с верхним отделом юрской системы для лопатинской свиты J_3-K_1lp), характеризуются достаточно высокой степенью неоднородности состава и свойств. В региональном масштабе нижнемеловые породы представляют собой неравномерно переслаивающиеся песчано-глинистые породы с преобладанием песков, иногда с включениями песчаных фосфоритов, стяжениями и редкими прослоями песчаников, со сложными структурными и текстурными особенностями. Пески преимущественно пылеватые и мелкие, плотного сложения. Глинистые отложения, как правило, по составу и свойствам схожи с породами филевской свиты и представлены в основном глинистыми алевроитами, по гранулометрическому составу — супесями, суглинками.

Исключение составляет парамоновская свита K_1pr , залегающая в кровле нижнемеловых отложений и представленная мощной, выдержанной по простиранию толщей черных жирных глин, преимущественно полутвердой и тугопластичной консистенции. В подошве свиты встречаются прослои песков, в кровле — глинистых алевроитов. Эти отложения имеют ограниченное распространение и встречаются только в пределах водораздельной поверхности в юго-западной части города. Глинистые породы парамоновской свиты служат водупором для надпарамоновского водоносного комплекса, в то время как вся толща нижнемеловых грунтов, залегающих ниже, как правило, обводнена.

Таким образом, нижнемеловые породы с позиции устройства оснований высотных зданий могут быть разделены на два структурных этажа. Комплекс песчано-глинистых отложений нижнего мела характеризуется преобладанием в разрезе обводненных тонкодисперсных песков и глинистых алевроитов. Пески плотного сложения характеризуются хорошими деформаци-

ционными характеристиками, однако способны проявлять плавунные свойства при вскрытии в строительном котловане. Проходка такого рода котлована возможна под защитой противофильтрационной завесы, заглубленной в толщу относительно водоупорных пород, распространенных повсеместно в пределах контуров заглубленной части сооружения. В то же время эти отложения могут служить надежной средой для свай, в особенности передающих нагрузку по боковой поверхности. Достоверный расчет конфигурации свайного фундамента в таких отложениях может быть произведен с использованием метода статического зондирования на значительную глубину.

Толща глинистых пород парамоновской свиты, напротив, представляет собой надежное основание для плитных частей фундаментов высотных зданий. При этом, скорее всего, конфигурация фундамента будет плитно-свайной с заглублением концов свай в толщу песчано-глинистых отложений, залегающих ниже, однако окончательный выбор конструкции фундамента возможен только по результатам инженерно-геологических изысканий с проведением полевых и лабораторных исследований, геомеханического и гидрогеологического моделирования.

Над отложениями парамоновской свиты в пределах Теплостанской возвышенности залегают породы яхромской (K_j *jah*), загорской (K_z *zg*) и дмитровской (K_d *dm*) свит верхнего мела, представленные преимущественно песками, а также ограниченно распространены останцы кремнистых пород (трепелы, опоки) тенькинской свиты (K_t *tn*). В целом верхнемеловые отложения по составу и свойствам схожи с «допарамоновскими» нижнемеловыми породами, но в них в большей степени преобладает песчаная составляющая.

Среди *четвертичных пород* по генетическому признаку наиболее распространенными являются аллювиальные отложения, слагающие долины р. Москвы и ее притоков, и комплекс ледниковых и водно-ледниковых образований донского и московского оледенений. Более древние отложения залегают в основном в понижениях дочетвертичного рельефа и не всегда поддаются расчленению. Частично наследуя формы палеорельефа, а частично заполняя и нивелируя их, четвертичные образования формируют современный рельеф территории г. Москвы.

К грунтам четвертичного возраста, представляющим собой объективно не-

благоприятное основание для фундаментов высотных зданий, можно отнести обвальное-оползневые отложения (dl III-H), приуроченные к зонам развития гравитационных процессов, и специфические грунты болотного и озерно-болотного генезиса (pl H; l, pl III-H), а также пойменные отложения (aH), по составу часто близкие к болотным. Впрочем, современные аллювиальные и болотные отложения имеют приповерхностное залегание и мощность их редко превышает 10 м, из чего следует, что в области их распространения, как правило, возможна проходка строительных котлованов под защитой противофильтрационных ограждений с заглублением дна в подстилающий их водоупор.

Отложения трех надпойменных террас р. Москвы и ее притоков, водно-ледниковые образования, а также нерасчлененный комплекс флювиогляциальных, ледниково-озерных, ледниковых и аллювиальных отложений, залегающий в основании четвертичного чехла (a, f *Ivk-ds*¹), не могут быть однозначно охарактеризованы в этом отношении ввиду существенной вариативности состава и свойств. При анализе инженерно-геологических условий участка строительства в области распространения этих пород необходимо учитывать некоторые их специфические особенности. Отложения первой (a¹ III *ln-os*) и второй (a² III *kl*) надпойменных террас могут перекрывать древние котловины, заполненные озерно-болотным материалом (pl, l III *mk*). Породы нерасчлененного комплекса a, f *Ivk-ds*¹, как правило, являющегося коллектором для напорного водоносного горизонта ввиду своего заглубленного залегания, при преобладании в гранулометрическом составе мелких и пылеватых песчаных фракций могут проявлять плавунные свойства.

На фоне остальных пород четвертичного чехла относительной выдержанностью состава и свойств характеризуются моренные отложения московского (g II *ms*²) и донского (gI *ds*²) оледенений, представленные в большинстве случаев суглинками, реже грубыми песчанистыми глинами с гравием, галькой и валунами.

Отложения донского и московского оледенений разделены толщей донско-московских флювиогляциальных, аллювиальных и озерных отложений (f, lg I *ds*³-II *ms*¹). Представлены они преимущественно песками серыми, желтовато-серыми, часто глинистыми, слабо сортированными, иногда содержащими включения гравия и гальки, реже супе-

сями и суглинками. В единичных скважинах на западе территории г. Москвы в толще водно-ледниковых отложений донско-московского межледниковья были отмечены линзы и прослои озерно-болотных отложений, относящихся к лихвинскому горизонту (l, pl II *lh*).

Как правило, в зоне обоюдного развития ледниковых отложений донского и московского оледенений донско-московские межморенные отложения имеют мощность, не превышающую 2–3 м. И наоборот, в местах размытия донской морены их мощность может достигать 20 м и более. В случае если межледниковые породы отсутствуют, грунты московской и донской морен, залегающие непосредственно друг на друге, плохо поддаются расчленению. Незначительные различия в составе глинистых ледниковых грунтов донского и московского оледенений в малой степени влияют на их инженерно-геологические свойства. В среднем для моренных суглинков угол внутреннего трения φ изменяется в пределах от 18 до 20°, а сцепление *C* составляет 0,05 МПа [2]. На протяжении всего периода освоения территории г. Москвы при застройке водораздельных территорий эти грунты использовались в качестве оснований для фундаментов мелкого и среднего заложения.

В связи со всем вышеизложенным комплекс ледниковых отложений донского и московского возраста рассматривается как единая толща, характеризующаяся относительно благоприятными для устройства оснований высотных зданий свойствами. При этом при распространении моренных отложений обоих оледенений должно быть учтено наличие межледниковых грунтов, а на северо-западе и северо-востоке территории — горизонтов московских внутриморенных песчаных отложений. Кроме того, нужно понимать, что моренные грунты московского и донского оледенений, как правило, имеют приповерхностное залегание и ориентация на них в качестве опорных толщ может накладывать ограничения на заглубленность строительного котлована, а следовательно, и на подземную этажность высотного здания.

Анализ распространения опасных инженерно-геологических процессов

К опасным инженерно-геологическим процессам и явлениям, распространенным на территории г. Москвы, относятся карстово-суффозионные процессы, оползнеобразование, подтопление и заболачивание территории.

Карстово-суффозионные процессы на территории г. Москвы связаны с наличием в разрезе растворимых и проницаемых карбонатных пород каменноугольного возраста. Наиболее интенсивно процесс карстообразования развивался на протяжении длительных континентальных перерывов, когда происходил размыв ранее отложившихся осадков, сопровождавшийся образованием глубоких речных врезов, и создавались благоприятные условия для проникновения пресной воды в толщу карбонатных пород. В связи с этим участки, в наибольшей степени подверженные карстово-суффозионным процессам, приурочены к придолинным участкам и бортам древних речных врезов.

К условиям, теоретически служащим предпосылками для образования поверхностных карстово-провальных явлений, относятся: наличие в каменноугольных отложениях карстовых пустот, их повышенная трещиноватость, пониженная мощность перекрывающих водоупорных отложений (в первую очередь юрского возраста), наличие незначительных положительных структур. Несмотря на то что этим условиям удовлетворяют несколько участков на территории г. Москвы, все карстовые провалы, достоверно известные в настоящее время, сосредоточены в Северо-Западном округе (в районе Хорошевского шоссе) на территории, не превышающей 1,7% площади города. Здесь насчитывается около 50 провальных воронок, 13 из которых были детально изучены. Их диаметры в некоторых случаях достигают 70 м, глубина меняется в интервале от 1,5 до 5,0–8,0 м, а иногда и больше.

Аналогичные по геологическим условиям участки, в пределах которых, однако, не было зафиксировано поверхностных проявлений карстово-суффозионных форм, выделяются в районах Строгино, Троице-Лыково, Силикатного проезда, Краснопресненской набережной, площади Киевского вокзала, Нагатинской поймы и др.

Необходимо помнить, что, так как для высотных зданий характерны одновременно глубокое заложение фундаментов и увеличенная по сравнению с другими сооружениями глубина взаимодействия с литосферой, необходимо крайне аккуратно подходить к оценке карстово-суффозионной опасности на строительной площадке.

При построении карты распространения геологических процессов и явлений на территории г. Москвы были оконтурированы зоны, в пределах которых

в процессе бурения инженерно-геологических скважин были зафиксированы закарстованные и кавернозные карбонатные породы каменноугольного возраста. Практически все эти зоны приурочены к потенциально опасным в карстово-суффозионном отношении геоморфологическим элементам, сформированным в результате эрозивно-аккумулятивной деятельности системы притоков р. Москвы (в свою очередь, имеющих некоторую преемственность от древних дочетвертичных и домезозойских потоков). В то же время нужно понимать, что эта территория характеризуется наиболее близким к поверхности залеганием каменноугольных отложений, а следовательно, и максимальной их изученностью. Это означает, что за ее пределами возрастает вероятность обнаружения не вскрытых ранее проявлений карстово-суффозионных процессов. Таким образом, исследования карстово-суффозионной опасности участка строительства высотного здания должны быть проведены независимо от его местоположения, что и оговорено в соответствующих нормативных документах.

В то же время в пределах значительной части территории, относящейся к долинному комплексу (в особенности в восточной его части), нарушений в толще карбонатных пород выявлено не было.

Таким образом, можно сделать вывод, что выявленное развитие карстово-суффозионных процессов и явлений на каком-либо участке территории города можно отнести к фактору, исключающему его выбор на этапе градостроительного обоснования в качестве площадки строительства высотных зданий. Значительная степень кавернозности и трещиноватости отложений, характеризующая территорию как потенциально подверженную карстово-суффозионным процессам, может служить сигналом, который необходимо предусмотреть на этапе составления программы работ по проведению инженерно-геологических изысканий, например, включив в нее исследование массива методом сейсмической томографии.

Вторая группа инженерно-геологических процессов, распространенных на территории г. Москвы, связана с действием гравитационных сил. Это *оползневые процессы и явления*. В пределах городской территории Москвы распространены как глубокие оползни с заложением поверхности скольжения в десятках метров от бровки склона, так и мелкие и приповерхностные.

Глубокие оползни развиты в долинах и на излучинах р. Москвы на правом ее берегу. Площадь их изменяется от 0,2 до 1,0 км². По своему механизму они относятся к оползням выдавливания или сдвига. Развиты такие оползни на склонах высотой 15–70 м и крутизной 9–17°. Основным деформирующимся горизонтом являются юрские глины (J₂₃vd-er). Они залегают на различной высоте по отношению к урезу воды в реке — от 8–12 м ниже него до почти полного сложения ими всего склона.

На момент написания статьи по результатам мониторинга ОАО «Геоцентр-Москва» и работ Института геоэкологии и Института физики Земли РАН из 14 участков, пораженных глубокими оползнями, на 7 отмечается активность оползневых процессов.

Оползни глубокого заложения представляют серьезную опасность для высотных объектов. Независимо от степени их активности в настоящее время, строительство сооружения, оказывающего столь серьезное давление на основание, с большой вероятностью может привести к изменению НДС массива с переводением оползневого склона в активную фазу. Отметим, что в нормативных документах содержится соответствующее ограничение. Учитывая, что территории, расположенные в пределах зон влияния глубоких оползней (активных, пассивных или потенциально возможных), занимают незначительную часть территории города, строительство высотных сооружений в их пределах должно быть исключено еще на этапе градостроительного регулирования.

Подтопление территории грунтовыми водами является наиболее динамично развивающимся инженерно-геологическим процессом в пределах г. Москвы. Этот процесс имеет преимущественно техногенный характер и связан с изменением гидродинамического режима приповерхностных горизонтов подземных вод вследствие возникновения барражного эффекта в результате строительства подземных сооружений, засыпки оврагов, утечек из водонесущих коммуникаций и т.д.

В настоящее время в постоянно подтопленном состоянии находится около 30% городской территории (это означает, что уровень грунтовых вод (УГВ) на протяжении всего годового цикла залегает на глубине, не превышающей 3 м). И 20–25% площади периодически подтапливается грунтовыми водами (то есть УГВ залегает на указанной глубине на протяжении периодов па-

водков и половодий или по техногенным причинам).

Нужно заметить, что строительство высотных зданий, как правило, предполагает значительное заглубление подземной части (10 м и более), которая в большинстве случаев контактирует с подземными водами. При этом ограждение строительного котлована практически всегда выполняет гидроизоляционные функции.

Таким образом, при проектировании высотных зданий явление подтопления территории должно быть рассмотрено прежде всего не с точки зрения опасности по отношению непосредственно к строящемуся объекту, а с позиций прогнозного расчета и принятия мер по минимизации рисков для окружающей застройки, возникающих в результате динамического изменения уровня грунтовых вод, обусловленного барражным воздействием противофилтрационных конструкций.

Еще одно распространенное, но малоизученное явление на территории г. Москвы — наличие в разрезе *пльвунно-неустойчивых грунтов*. К ним отно-

сятся прежде всего водонасыщенные пылеватые и мелкие пески мелового и реже четвертичного возраста, которые при вскрытии в процессе проходки строительных котлованов, тоннелей и горных выработок теряют устойчивость и поступают в свободные объемы, образуя так называемые «фильтрационные выпоры».

Строительство высотных зданий как сооружений повышенной заглубленности связано с риском возникновения плавунных явлений. Недочет гидрогеологических условий при проектировании подземной части может привести на этапе устройства свайных полей к прорыву в строительный котлован под воздействием гидростатического давления больших объемов водонасыщенных грунтов.

Методика инженерно-геологического районирования территории г. Москвы для целей высотного строительства с применением ГИС-технологий

По результатам проведенного исследования весь объем литосферы, распо-

ложенный в зоне взаимодействия с существующими высотными и проектируемыми высотными сооружениями, был разделен на 11 структурно-литологических этажей, выделенных в зависимости от степени благоприятности для использования в качестве опоры для фундаментных плит высотных зданий (рис. 1, 2). Толщи, охарактеризованные как обладающие благоприятными свойствами, предпочтительны для использования в качестве естественных оснований высотных сооружений. Низкая степень благоприятности, наоборот, означает, что по возможности следует избегать использования данных отложений в качестве опорных.

Отдельных пояснений требует разделение чехла четвертичных отложений. В качестве опорного горизонта при этом был принят комплекс ледниковых образований донского ($g\ I\ ds^2$) и московского ($g\ II\ ms^2$) оледенений. Данные отложения картировались как единая толща с выделением локальных участков увеличения мощности межморенных флювиогляциальных отложений до 5 м и более. В пределах участков

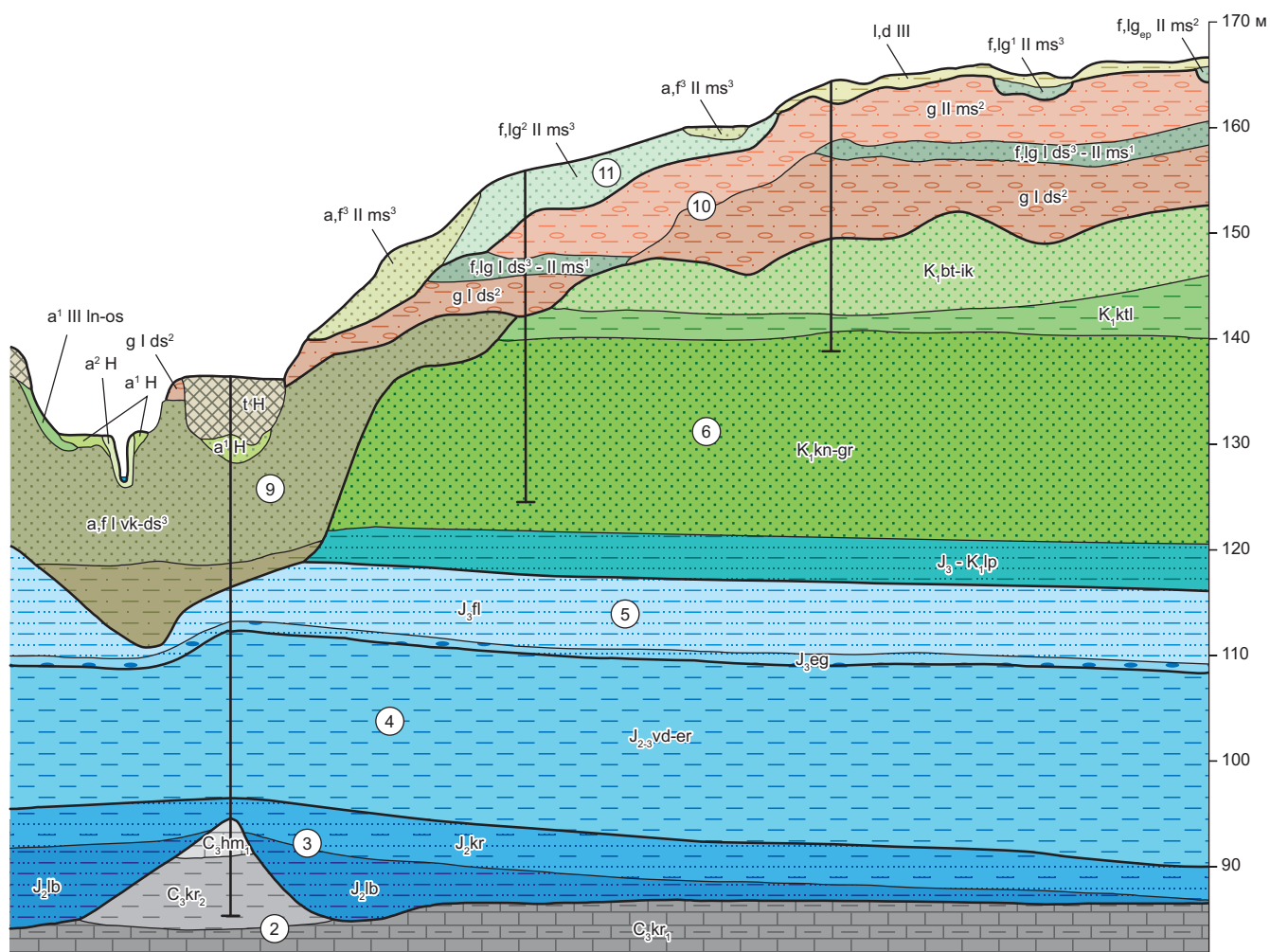
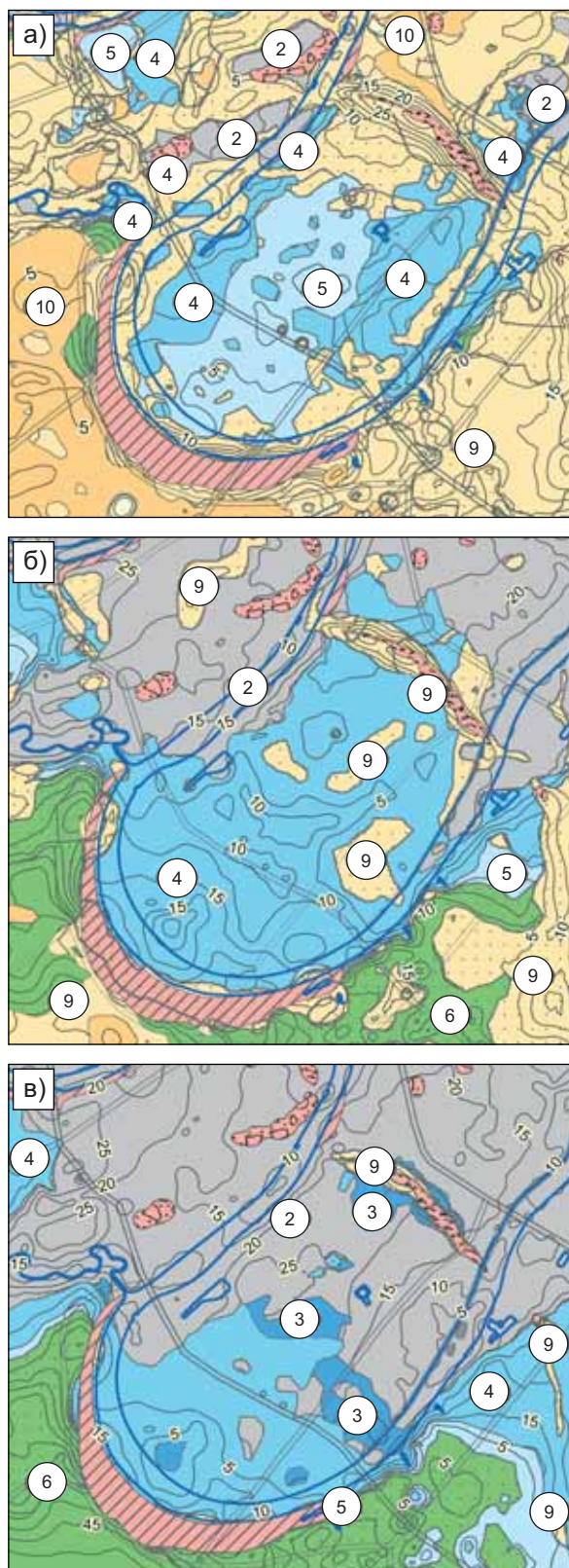


Рис. 1. Вариант соотношения литолого-стратиграфических комплексов, выделенных по степени благоприятности для устройства фундаментных плит высотных зданий. Нумерация комплексов выполнена в соответствии с условными обозначениями к рис. 2. Соотношение вертикального и горизонтального масштабов составляет 1:20



Обозначение	Стратиграфические подразделения, вошедшие в комплекс, их литологическая характеристика и инженерно-геологические особенности	Степень благоприятности*
11	В зоне распространения моренных образований – f,lgllms ³ - tH. Песчано-глинистые отложения, характеризующиеся высокой степенью неоднородности состава и свойств.	Средняя
10	glds ² + glms ² с подчиненными прослоями f,lglds ³ - llms ¹ . Суглинки и глины, в основном тугопластичной и полутвердой консистенции, с большим содержанием обломочного материала и песчаными прослоями.	Высокая
9	В зоне распространения моренных отложений – a,flvk-ds ³ , в зоне их отсутствия – весь комплекс четвертичных образований. Песчано-глинистые грунты, характеризующиеся высокой степенью неоднородности состава и свойств. В обводненном состоянии могут проявлять плавунные свойства.	Средняя**
8	K ₃ ah - K ₂ tn. Преимущественно пески, местами останцы кремнистых пород (трепелы, опоки).	Средняя
7	K ₃ pr. Глины, преимущественно полутвердой и тугопластичной консистенции, с прослоями песков в подошве и глинистых алевроитов в кровле слоя.	Высокая
6	J ₃ - K ₁ lp - K ₁ gv. Пески, преимущественно мелкие и пылеватые, с прослоями глинистых алевроитов, включениями фосфоритов. В обводненном состоянии могут проявлять плавунные свойства.	Средняя**
5	J ₃ eg - J ₃ fl. Глинистые алевроиты, супеси с прослоями песков, с включениями фосфоритов. Породы тиксотропны. Пески могут служить коллектором для напорного водоносного горизонта.	Низкая
4	J ₂₋₃ vd-er. Глины полутвердой, твердой, реже тугопластичной консистенции.	Высокая
3	J ₂ kd - J ₂ kr. Чередование пачек глинистых и песчаных пород. Отложения приурочены к древним эрозионным долинам, понижениям доюрского рельефа.	Низкая
2	C ₃ kr ₂ - C ₃ rc ₁ . Чередование пачек карбонатно-глинистых пород.	Высокая
1	C ₂ pd-mc - C ₃ kr ₁ . Известняки, доломиты с подчиненными прослоями глин и мергелей. Породы служат коллектором для подольско-мячковского водоносного комплекса.	Низкая

*при использовании в качестве основания для фундаментных плит
 **в водонасыщенном состоянии, при заглубленности подстилающего водоупора более 10м – низкая

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Инженерно-геологические особенности, определяющие освоения подземного пространства:

- участки развития карстово-суфозионных процессов:
- участки развития глубоких оползней
- участки устьев доюрских долин, не перекрытых глинистыми юрскими отложениями
- зоны вскрытия в дне котлована плавунных грунтов

- 5 ——— изолинии остаточной мощности литолого-стратиграфического комплекса
- контуры современной гидросети
- ===== основные автодороги

Рис. 2. Фрагменты карт условий освоения подземного пространства для целей высотного строительства (р-н Воробьевы горы — Хамовники). Срезки на глубинах: а — 10 м; б — 20 м; в — 30 м

развития моренных грунтов только московского оледенения вышеупомянутые межледниковые отложения залегают либо непосредственно на дочетвертичных образованиях, либо на комплексе флювиогляциальных, ледниково-озерных, ледниковых и аллювиальных пород $a, f, l, k-ds^1$. Таким образом, в пределах участков развития ледниковых отложений образования четвертичного чехла были разделены на три толщи: (1) «доледниковую», включающую в себя породы комплекса $a, f, l, k-ds^1$, а в зоне отсутствия донской морены еще и флювиогляциальные отложения f, lg, I, ds^3-II, ms^1 ; (2) собственно моренные грунты; (3) надморенный комплекс f, lg, II, ms^3-III . В зоне отсутствия ледниковых отложений в связи с отсутствием опорного горизонта разделение четвертичных пород на нижнюю и верхнюю толщи не производилось и весь их комплекс включался в толщу № 11.

Затем с использованием крупномасштабных геологических карт и обобщенного фактического материала (колонок буровых скважин и разрезов, переиндексированных в соответствии с принятой в работе системой стратификации) была построена трехмерная цифровая модель, описывающая пространственное распространение каждой из этих толщ. Она создавалась путем погоризонтного построения кровли каждой из выделенных толщ полуавтоматическим методом с использованием инструментов компьютерной аппроксимации, заложенных в программном комплексе ArcView, и ручным приведением полученных результатов к соответствию структурно-геологическим закономерностям и известным особенностям геологического строения территории города.

В результате было получено 11 трехмерных поверхностей, верхняя из которых соответствует рельефу современной поверхности г. Москвы, а нижняя — кровле отложений суворовской подсвиты (C_3kr_2). При наложении друг на друга они формируют объемные тела, моделирующие пространственное распространение соответствующих литолого-стратиграфических комплексов (при этом методика построения исключала пересечение поверхностей или наличие между ними пустот, что могло бы привести к неоднозначной трактовке модели).

На эту же модель были спроецированы области распространения карстово-суффозионных и оползневых процессов. Всему массиву грунта в пределах этой зоны была присвоена низкая степень благоприятности для устройства

несущих конструктивных элементов фундаментов высотных сооружений. Потенциально карстово-суффозионно-и оползнеопасные районы были отнесены к зонам, требующим детального изучения с учетом специфики района.

Эта модель позволяет решать как общие задачи, такие как районирование городской территории по степени благоприятности инженерно-геологических условий для строительства высотных сооружений, так и более конкретные задачи, например выбора оптимальной с инженерно-геологической точки зрения локализации здания с заданными параметрами. К таким параметрам в первую очередь относится заглубленность фундаментной плиты, за-

висящая от проектируемого количества подземных этажей. То есть при наличии построенных поверхностей литолого-стратиграфических комплексов и областей распространения опасных геологических процессов такая модель может быть в короткий срок разработана под каждое конкретное здание с заданным заглублением.

Для примера были построены три карты-срезки в масштабе 1:50 000 (для глубин 10, 20 и 30 м от земной поверхности), на основании которых может быть осуществлен выбор расположения строительных участков с соответствующими глубинами заложения фундаментных плит. Их фрагменты приведены на рис. 2. На них отобраны литолого-

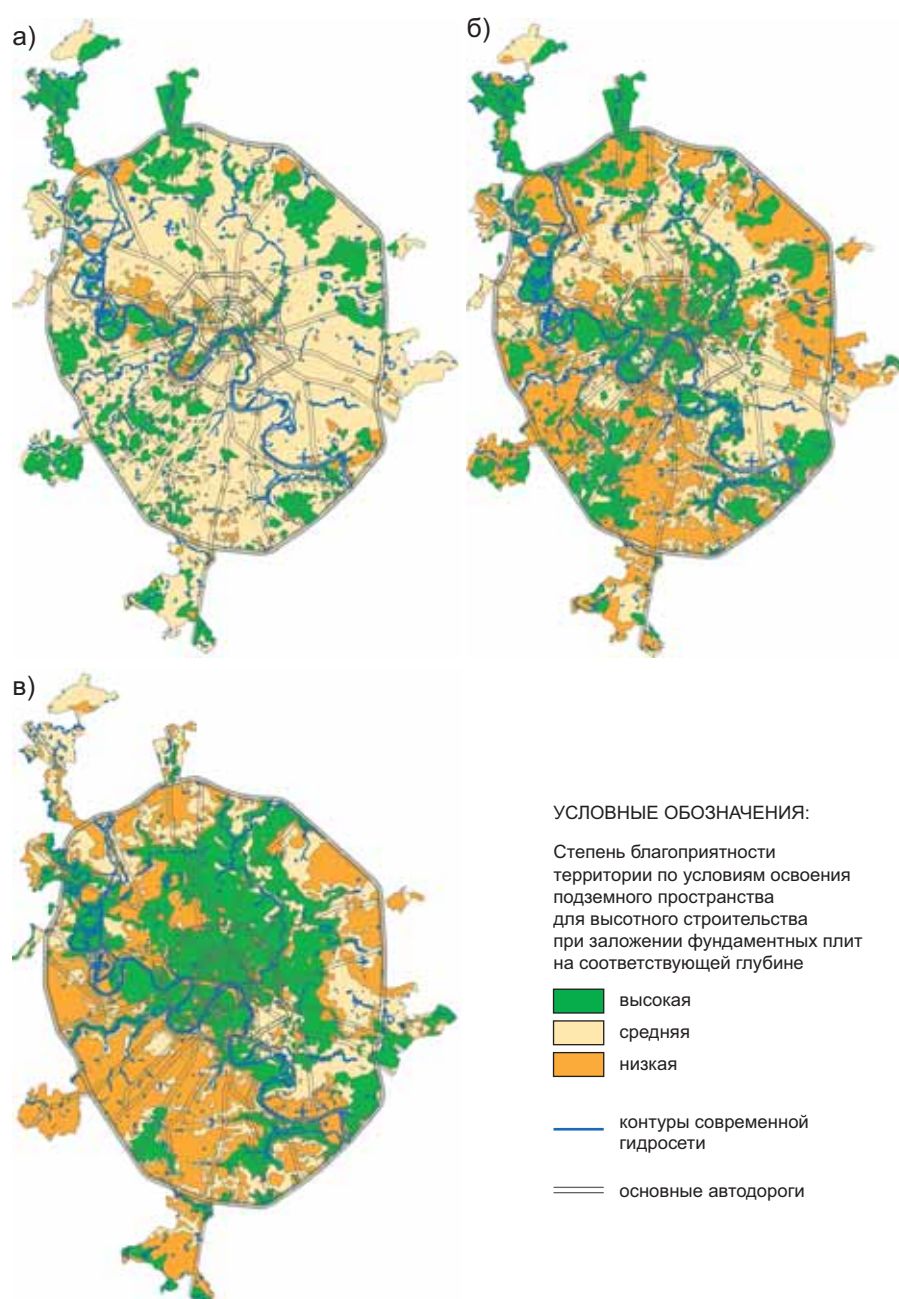


Рис. 3. Карты-схемы районирования территории г. Москвы по благоприятности условий освоения подземного пространства для целей высотного строительства. Срезки на глубинах: а — 10 м; б — 20 м; в — 30 м

стратиграфические комплексы пород, залегающие под фундаментной плитой проектируемого сооружения, и показана их остаточная мощность. Также на карте показаны области распространения карстово-суффозионных процессов и оконтурены оползневые склоны. В пределах зон вскрытия в строительном котловане потенциально плавунных песчаных отложений показаны области их обводненности на соответствующей глубине.

На базе каждой из карт-срезок были составлены карты районирования территории г. Москвы по благоприятности инженерно-геологических условий для строительства высотных зданий с соответствующим заглублением (рис. 3). Они строились по комплексу признаков в соответствии с принципом наилучшего показателя (в качестве определяющего принадлежность той или иной территории к какому-либо классу выбирался параметр, характеризующийся наименьшей степенью благоприятности).

К неблагоприятным зонам, по описанным выше соображениям, были отнесены области вскрытия в дне котлована толщ № 1, 3, 5. При залегании на соответствующей глубине обводненных потенциально плавунных отложений, относящихся к толщам № 8, 9, рассматривалась принципиальная возможность проходки котлована под защитой противодиффузионного ограждения. При отсутствии в пределах 10-метровой глубины от дна котлована водопорных отложений, в которые можно было бы заглубить противодиффузионные конструкции, территория также относилась к неблагоприятным. Расположение участка в области распространения закарстованных пород или зоны развития оползней было определено как условие, характеризующее его как заведомо неблагоприятный вне зависимости от заглубления. К неблагоприятным зонам также были отнесены территории, приуроченные к устьям древних доюрских долин, не перекрытых чехлом мезозойских отложений (значительная часть Ходынской и Рублевской долин, а также фрагменты ответвлений Главной московской ложбины и Измайловской долины).

К заведомо благоприятным были отнесены области распространения на соответствующей глубине под фундаментной плитой одной или нескольких идущих подряд «опорных» толщ суммарной мощностью более 5 м.

Из полученных карт видно, что тезис о заведомой благоприятности ин-

женерно-геологических условий водораздельных территорий, в особенности в юго-западной части города, использованный в процессе массовой типовой приповерхностной застройки, не может быть однозначно принят даже при относительно небольшом для высотных зданий заглублении, равном 10 м от поверхности земли. Это связано прежде всего с приповерхностным залеганием и не слишком большой мощностью моренных отложений, часто используемых в качестве оснований для сооружений мелкого заложения (в результате чего на значительной части этих территорий для основания фундаментных плит использовались бы толщи четвертичных отложений, характеризующиеся изменчивостью состава и свойств). С увеличением предполагаемых глубин заложения фундаментных плит возрастает контрастность инженерно-геологических условий, что обусловлено тем, что при этом в дне котлованов вскрываются выдержанные толщи грунтов, характеризующиеся значительными мощностями, — верхне- и среднекаменноугольные породы, глинистые юрские породы и потенциально плавунные песчаные меловые отложения.

Выводы

Результаты инженерно-геологических исследований на предпроектной стадии могут быть с большой степенью достоверности заменены результатами анализа архивных и картографических материалов с применением компьютерных ГИС-технологий. При этом следует разделять: (1) исследования для целей градостроительного проектирования; (2) работы, проводимые для пред-

варительного выбора конфигурации фундаментного основания и составления программы инженерно-геологических изысканий на стадии «Проект».

В настоящей работе для решения первой задачи было произведено расчленение геологического разреза в пределах зоны взаимодействия с инженерными сооружениями на 11 литолого-стратиграфических комплексов, выделенных по степени благоприятности для использования в качестве оснований для фундаментных плит высотных зданий. Также было охарактеризовано распространение опасных геологических процессов на территории г. Москвы. По результатам проведенных исследований была разработана компьютерная модель, позволяющая в короткий срок охарактеризовать ту или иную территорию в отношении конкретного высотного здания или комплекса таких зданий с заданным заглублением.

В настоящее время ведется разработка детальной трехмерной геологической модели г. Москвы, учитывающей все тонкости геологического строения каждой из толщ до уровня литологических разностей, гидрогеодинамические особенности и, в перспективе, физико-механические свойства отложений. Впоследствии предполагается ее интеграция с моделями подземных коммуникаций и сооружений. Это позволит детализировать принципы предпроектного обоснования и в значительной степени облегчит процесс предварительного проектирования подземных конструкций сооружений. Такая модель может стать незаменимой основой для геомеханических и геофильтрационных прогнозных расчетов. 

Список литературы

1. Геологический атлас Москвы (в 10 томах). Масштаб 1:10 000. М.: ГУП «Мосгоргеотрест», 2010.
2. Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // Инженерная геология. 1984. № 3.
3. Жидков Р.Ю. Инженерно-геологические изыскания для высотного строительства: зарубежный опыт и его применение в условиях г. Москвы // Вестник МГСУ. 2009. № 4.
4. Жидков Р.Ю., Бучкин М.Н., Экзарьян В.Н., Селезнев В.Н., Карабаев М.И. Инженерно-геологические изыскания и сопровождение проектирования небоскребов на примере башни «Россия» // Инженерные изыскания. 2009. № 1.
5. Игнатова О.И. Деформационные и прочностные характеристики юрских глинистых грунтов Москвы // Инженерные изыскания. 2009. № 12.
6. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве. М.: Комитет по архитектуре и градостроительству Правительства Москвы, 2004.
7. Майоров С.Г., Потанов Б.В. Геологическое картографирование территории г. Москвы // Геопроект. 2010. № 1.
8. Осипов В.И., Антипов А.В. Принципы инженерно-геологического районирования территории Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 1.
9. Трофимов В.Т., Красилов Н.С. Инженерно-геологические карты: учеб. пособ. М.: КДУ, 2007. 384 с.