

На правах рукописи

ЖИДКОВ РОМАН ЮРЬЕВИЧ

**ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ НА
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
(НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ)**

25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном
учреждении высшего профессионального образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ)

Научный доктор геолого-минералогических наук, профессор
руководитель: **Экзарьян Владимир Нишанович**

Официальные доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры
оппоненты: инженерной геологии РГГРУ им. С. Орджоникидзе
Пашкин Евгений Меркурьевич
кандидат геолого-минералогических наук, заместитель
Генерального директора ООО «ГеоИнжСервис»
Козловский Сергей Викторович

Ведущая федеральное государственное бюджетное образовательное
организация: учреждение высшего профессионального образования
«Московский Государственный Строительный Университет»

Защита состоится 27 апреля 2012 г. в 15 часов 00 минут, в ауд. 473 на заседании
Диссертационного совета ДМ 212.121.01 при ФГБОУ ВПО «Российский
государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по
адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского
государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе» по
адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. Электронная версия
автореферата доступна по адресу: <http://www.msgpa.ru/science/protection>.

Автореферат разослан 23 марта 2012 г.

Отзыв на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба
направлять по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, Российский
государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
ученому секретарю Диссертационного совета Вязковой О.Е.

Телефон: (495) 433-65-44 (добавочный 11-60; 12-05)

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

Ольга Евгеньевна Вязкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Сегодня в крупных городах мира, и в том числе в г. Москве, все сильнее назревает проблема дефицита территории, отводимой под застройку. Приоритетными градостроительными направлениями становятся высотное и подземное строительство. При всей их перспективности, процесс проектирования и строительства высотных и заглубленных сооружений сопряжен с рядом трудностей, в значительной мере predetermined инженерно-геологическими условиями. К особенностям высотных зданий, определяющим специфику инженерно-геологических изысканий, относятся повышенные, часто неравномерные нагрузки на фундаментные основания, в большинстве случаев значительные величины их заглубления, и, как следствие, большие радиусы влияния сооружений, уязвимость от сейсмических воздействий. Все эти факторы сложным образом взаимосвязаны, вследствие чего процесс проведения инженерно-геологических изысканий для строительства высотных объектов переходит на качественно новый уровень и перестает укладываться в традиционную схему.

В процессе проведения инженерно-геологических изысканий для строительства высотных сооружений на урбанизированных территориях часто невозможно проведение всеобъемлющего комплекса полевых работ, что обусловлено наличием на строительных площадках существующих сооружений, перегруженностью подземного пространства тоннелями и коммуникациями, административными ограничениями. В то же время территории крупных городов характеризуются высокой степенью геологической изученности – наличием в геологических фондах значительных массивов архивных материалов (результатов инженерно-геологических изысканий прошлых лет) и крупномасштабных геологических карт, которые при условии их унификации и аналитической обработки могут служить хорошей основой для осуществления геологического обеспечения градостроительной деятельности, в том числе с применением технологий трехмерного компьютерного моделирования.

Современный этап развития высотного строительства как градостроительного направления в России характеризуется значительной интенсивностью на фоне последних десятилетий, в результате чего проектирование высотных зданий ведется в условиях наличия минимального практического опыта и несовершенства научно-методической базы в области проведения инженерно-геологических изысканий.

Инженерно-геологические изыскания часто выполняются формально и в полном отрыве от процесса проектирования, в результате чего возможно принятие экономически неэффективных проектных решений и увеличение рисков, связанных со строительством и эксплуатацией высотных зданий. Не менее важен вопрос временных затрат – по статистике на строительство подземной части высотных сооружений тратится 10-30 % от бюджета проекта и до 40% времени строительства.

В свете вышеизложенного, актуален вопрос разработки научно-методической базы инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий и сооружений, основанной на опыте геологического сопровождения крупнейших зарубежных и отечественных высотных проектов.

Цель работы заключается в разработке научно-методических положений, направленных на оптимизацию процедуры проведения инженерно-геологических изысканий на всех этапах проектирования высотных зданий и апробации их в условиях современной геологической изученности г. Москвы.

Для достижения указанной цели решались следующие **задачи**:

- аналитический обзор и обобщение отечественных и зарубежных материалов, посвященных проблеме проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства;
- разработка принципов и обобщенного алгоритма проведения инженерно-геологических изысканий при проектировании высотных зданий, учитывающих специфику их строительства и эксплуатации;
- разработка специальной объемной компьютерной инженерно-геологической модели территории г. Москвы для создания геологической основы территориального планирования высотного строительства;
- анализ применимости различных методов инженерно-геологических изысканий при проектировании и строительстве высотных зданий в г. Москве;
- апробация выполненных научно-методических разработок при проведении инженерно-геологических изысканий для проектирования высотных объектов в г. Москве.

Научная новизна проведенного исследования заключается в следующем:

- Сформулированы принципы проведения инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства высотных сооружений.

- Разработан обобщенный алгоритм проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства.
- Впервые построена трехмерная модель геологической среды г. Москвы, позволяющая выполнить оценку благоприятности размещения высотных сооружений в пределах городской территории.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертации положены материалы, полученные организациями НПО "НОЭКС" и НПП "Георесурс" при проведении инженерно-геологических изысканий под крупнейшие в России высотные объекты, осуществлении геологического картографирования территории г. Москвы в масштабе 1:10 000 и трехмерного компьютерного моделирования геологической среды городской территории. Автор принимал непосредственное участие в проведении полевых работ, камеральной обработке материалов исследований, разработке программ инженерно-геологических изысканий для строительства ряда сооружений ММДЦ "Москва-Сити", обобщении и интерпретации фондовых материалов, построении геологических карт и компьютерных моделей. В работе использованы опубликованные отечественные и зарубежные материалы, посвященные разным аспектам методологии проведения инженерно-геологических изысканий для высотного и подземного строительства, проблематике применения геоинформационных систем в инженерной геологии и особенностям регионально- геологических условий Московского региона.

Практическая значимость и применение результатов работы. Результаты работы были использованы в процессе проведения инженерно-геологических изысканий и осуществления геотехнического сопровождения проектирования высотных сооружений комплекса ММДЦ "Москва-Сити". Результаты исследования могут быть применены при проведении инженерно-геологических изысканий для строительства высотных объектов в г. Москве и других регионах и использованы для совершенствования нормативно-правовой базы инженерно-геологических изысканий для высотного и подземного строительства.

Защищаемые положения

1. Локализацию высотных зданий и их комплексов в пределах городской территории на стадии градостроительного проектирования следует производить с

учетом их размещения в подземном пространстве на основе крупномасштабной трехмерной модели геологической среды.

2. Инженерно-геологические изыскания для высотного строительства должны быть направлены на разработку, поэтапную детализацию и трансформацию трехмерной модели взаимодействия проектируемого сооружения и геологической среды.

3. Разработку программы инженерно-геологических изысканий на поздних стадиях проектирования высотных зданий следует осуществлять с позиций реализации принципа многовариантного проектирования и обеспечения кондиционными материалами прогнозных геомеханической и геофильтрационной моделей.

Публикации. Основные положения и выводы работы были изложены в 7 публикациях, из них 3 – в журналах, реферируемых ВАК.

Апробация. Результаты работы были доложены на конференциях: «4-е Денисовские чтения» (Москва, МГСУ, 2008); «11-е Сергеевские чтения» (Москва, Институт Геоэкологии РАН, 2009), «10-я и 11-я международные конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, РГГРУ им с. Орджоникидзе, 2009 и 2011), «Геоинформатика-2011» (Киев, ВАГ).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 118 наименований, 2 табличных приложений. Работа объемом 203 стр., содержит 44 рисунка, 5 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук В.Н. Экзарьяну и кандидату геолого-минералогических наук М.Н. Бучкину за чуткое руководство и всестороннее содействие на всех этапах диссертационного исследования. Также автор благодарит за помощь и поддержку к.г.-м.н. Р.В. Вильковича, Е.Н. Леонова, А.К. Петрова, В.Н. Селезнева, к.т.н. М.И. Карабаева, всех сотрудников компаний НПО «НОЭКС» и НПП «Георесурс», сотрудников кафедр экологии и природопользования и инженерной геологии РГГРУ им С. Орджоникидзе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современное состояние проблемы инженерно-геологических изысканий для высотного строительства

Высотное строительство зародилось в США в конце XIX в. Во второй половине XX в. это градостроительное направление получило развитие в Европе, прежде всего, в Германии, Франции и Англии. Начиная с 1970-х гг., в связи с развитием технологий сейсмоустойчивого проектирования, была начата постройка высотных зданий в Японии, а в 1990-х гг. в свете бурного экономического развития азиатских стран началось активное строительство небоскребов в ОАЭ, КНР, Сингапуре, Малайзии.

Развитие высотного строительства на территории бывшего СССР и в России можно разделить на три этапа. Первый период строительства высотных зданий в г. Москве приходится на 1947-1953 гг. С середины 1950-х гг. вплоть до распада СССР, в связи с политикой индустриализации строительства и типизации проектирования, в крупных городах осуществлялась в основном типовая малоэтажная застройка. С начала 1990-х гг. начался современный этап, связанный с активным строительством высотных зданий в г. Москве и других городах России.

Современная ситуация в области *нормативно-правового обеспечения проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства* характеризуется изменчивостью и нестабильностью в связи с переходом к техническому регулированию градостроительной деятельности. В соответствии с техническим регламентом «О безопасности зданий и сооружений» (Федеральный закон №384-ФЗ от 31.12.2009), на территории России формально действуют только строительные нормативные документы, вошедшие в «перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований регламента» (распоряжение Правительства РФ от 21.07.2010 г. № 1047-р). Таким образом, все территориальные нормы признаются недействительными, однако на практике используются при составлении программ инженерно-геологических изысканий и осуществлении экспертизы их результатов. Анализ существующих нормативных документов, показывает, что учет особенностей инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий в них сводится в основном к ужесточению отдельных

требований по сравнению с изысканиями под малоэтажную застройку. Это ужесточение представляется логичным, но недостаточным шагом для раскрытия специфики высотного строительства. Процесс проектирования фундаментных оснований высотных зданий требует применения принципиально новых подходов к самой процедуре проведения инженерно-геологических изысканий.

Анализ зарубежного опыта показывает, что универсальной методики проведения инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий не существует. Каждый высотный проект в конкретных геологических условиях совместно с окружающей застройкой формирует уникальную природно-техническую систему. При проектировании и строительстве каждого высотного здания осуществляется индивидуальное научно-техническое сопровождение. Тем не менее, обобщение мирового опыта и результатов инженерно-геологических работ, выполненных для строительства крупнейших высотных объектов в г. Москве, позволило сформулировать ряд принципов, реализация которых позволит сократить сроки и уменьшить стоимость проведения инженерно-геологических работ и при этом обеспечить проект сооружения кондиционной инженерно-геологической информацией.

Глава 2. Принципы проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства

Практика проведения инженерных изысканий для строительства зданий и сооружений предполагает соблюдение стадийности работ, увязанной с процессом проектирования – это основополагающее положение методологии инженерных изысканий. Каждая из стадий включает в себя комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, обеспечивающий постепенную детализацию изучения массива грунтов. Однако в современных условиях, в особенности в крупных городах этапность работ соблюдается редко, что обусловлено сжатостью сроков строительства объектов и высокой степенью бюрократизации процедуры регистрации и проведения полевых исследований в пределах городской черты. Предпроектные изыскания, как правило, не проводятся вовсе, а на стадиях «проект» и «рабочая документация» часто объединяются. При проектировании высотных зданий такая практика приводит либо к необходимости проведения дополнительных изысканий на завершающих этапах проектирования, либо к заложению в проект значительных

коэффициентов запаса прочности, исключая строительных риски, но существенно удорожающие строительство. Отсюда следует *принцип этапности работ*: инженерно-геологические изыскания для строительства высотных зданий должны быть неразрывно связаны с основными этапами проектирования их подземных частей.

Пример башен Петронас (г. Куала-Лумпур, Малайзия), построенных в створе эрозионного вреза позволяет говорить о том, что строительство высотных зданий возможно в крайне сложных инженерно-геологических условиях. Однако реализация высотного проекта в заведомо неблагоприятной инженерно-геологической обстановке обуславливает увеличение стоимости строительства и его сроков за счет необходимости проведения специальных многостадийных исследований, проведении мероприятий по инженерной защите территории и укрепления фундаментов зданий в зоне влияния и разработки сложных конфигураций фундаментного основания. Исходя из этих соображений, был сформулирован *принцип альтернативности местоположения высотных зданий*: при планировании их размещения на стадии градостроительного проектирования в расчет должны приниматься не только функциональные соображения, но и инженерно-геологические условия в разных точках городской территории.

Принцип перманентного моделирования определяется особенностью проведения инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий в любых регионально-геологических условиях – они всегда неразрывно связаны с процессом проектирования фундаментного основания сооружения и направлены на разработку геомеханической и геофильтрационной прогнозных моделей взаимодействия проектируемого сооружения, геологической среды и окружающей застройки. Более того, как, показывает опыт крупных зарубежных городов, таких как Лондон, Глазго, Турин и др., наиболее актуальный и функциональный способ обоснования градостроительной деятельности на ранних стадиях проектирования заключается в разработке баз геотехнических данных и компьютерных трехмерных моделей геологического пространства городских территорий. Это могут быть крупномасштабные общегородские модели и локальные модели участков строительства наиболее сложных и ответственных сооружений. В соответствии с указанным принципом в процессе проведения инженерно-геологических изысканий

целесообразно осуществления компьютерного моделирования геологической среды на всех стадиях проектирования. Задачи и содержание моделей на разных стадиях в соответствии с предлагаемой методикой приведены в таблице 1.

Таблица 1. Задачи и содержание объемных моделей геологической среды на разных стадиях проектирования высотных зданий

Стадия проектирования	Вид модели	Масштаб	Информационное содержание модели	Задачи моделирования
Градостроительное проектирование	Региональная модель геологической среды	1:50000 – 1:10000	Пространственное положение региональных литолого-стратиграфических комплексов пород и зон развития инженерно-геологических процессов, основных водоносных комплексов	Размещение участков строительства высотных зданий в пределах городской территории по результатам сравнительного анализа условий освоения подземного пространства
Предварительное проектирование	Инженерно-геологическая модель района строительства	1:2000	Пространственное положение существующих подземных сооружений, литологических толщ, характеризующихся относительной однородностью классификационных показателей, их нормативные физико-механические свойства	Размещение высотного здания в пределах участка строительства, разработка многовариантного проекта фундаментного основания, предварительная оценка осадок сооружения с применением линейных схем работы грунта; разработка программы полевых и лабораторных испытаний
	Основа для геофильтрационного моделирования, включающая район строительства		Пространственное положение водоупорных, водоносных и дренированных отложений, сведения о режиме подземных вод полученные по результатам гидрогеологического мониторинга городской среды и архивным материалам, положение существующих подземных сооружений	Разработка основы для осуществления прогнозного моделирования изменения гидрогеологических условий в результате строительства сооружения; разработка программы полевых гидрогеологических исследований, предварительная оценка изменения гидрогеологических условий в результате строительства

Разработка проектной и рабочей документации	Геомеханическая модель участка строительства	1:500 и крупнее	Пространственное распределение физико-механических свойств в массиве грунтов, полученных по результатам полевых и лабораторных определений, положение существующих подземных сооружений, сведения о возможных источниках и характере динамического воздействия на массив грунтов	Оценка напряженно-деформируемого состояния грунтового массива и прогноз его изменения в результате строительства проектируемого сооружения с учетом многовариантного проекта
	Геофильтрационная модель участка строительства		Пространственное распространение всех водоносных горизонтов, сведения об их гидрогеодинамических параметрах, о распределении фильтрационных свойств грунтов, полученные по результатам проведения опытно-фильтрационных работ, сведения о возможных источниках внешнего воздействия на режим подземных вод	Прогноз изменения гидрогеологических условий в результате строительства проектируемого сооружения с учетом многовариантного проекта

Современные методики моделирования напряженно-деформированного состояния грунтового массива, основанные на применении метода конечных элементов и нелинейных схем работы грунтового массива, требуют заложения в геомеханическую модель специфической информации о физико-механических свойствах грунтов. В первую очередь это результаты испытаний методом трехосного сжатия, схема проведения которых определяется характером передачи нагрузок от проектируемого сооружения на грунтовый массив на разных этапах строительства и эксплуатации проектируемого сооружения. В то же время эти параметры напрямую связаны с конструктивными особенностями проектируемого сооружения, которые могут быть окончательно утверждены только по результатам прогнозного геомеханического моделирования. Возникает противоречие, решение которого кроется в применении *принципа многовариантного проектирования*, заключающегося в том, что на этапе, предшествующем проведению полевых работ,

необходима разработка многовариантного проекта конструкции подземной части сооружения. Таким образом, осуществляется выбор приоритетной конфигурации фундаментного основания, в наибольшей степени удовлетворяющей функциональным требованиям, реализация которой сопряжена с минимальными экономическими затратами. По результатам предварительного геомеханического моделирования с применением линейных схем работы грунта, предлагаются альтернативные варианты, которые могут характеризоваться более сложной конструкцией фундамента и меньшей функциональностью, но заведомо минимизируют вероятность возникновения неблагоприятных последствий, связанных с взаимодействием сооружения, геологической среды и окружающей застройки. Программа полевых и лабораторных исследований при этом должна разрабатываться исходя из соображений получения данных, достаточных для проектирования и прогнозного моделирования всех разработанных вариантов фундаментного основания. Выбор окончательного варианта осуществляется по результатам сравнительного многовариантного технико-экономического анализа, выполняемого с учетом прогноза изменений природно-техногенных условий под влиянием строительства проектируемого сооружения и разработки мероприятий по предотвращению негативных последствий этого процесса.

Нормативные документы устанавливают обязательное проведение мониторинга отдельных компонентов геологической среды (*принцип мониторинга*), и, в первую очередь, опасных инженерно-геологических процессов и динамики подземных вод в процессе проектирования, строительства и эксплуатации высотных зданий. Гидрогеологический и геотехнический мониторинги и мониторинг инженерно-геологических процессов должны осуществляться на протяжении всего периода строительства и эксплуатации. Результаты этих работ не только позволяют осуществлять верификацию данных моделирования и корректировку расчетных схем при выполнении изысканий для проектирования новых сооружений, но в перспективе должны стать источником информации при построении постоянно действующих моделей геологической среды.

Принцип научно-методического сопровождения можно назвать ключевым: при разработке проектов высотных зданий на всех стадиях проектирования, начиная с

этапа локализации сооружения и разработки эскизного проекта, должно осуществляться непрерывное научно-методическое сопровождение.

Реализация предложенных принципов позволит оптимизировать процесс проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства – осуществить размещение каждого высотного проекта в максимально благоприятных инженерно-геологических условиях, сократить временные и финансовые затраты. Обобщение принципов позволило разработать алгоритм проведения инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства высотных зданий (рисунок 1).

Глава 3. Оценка условий освоения подземного пространства г. Москвы для целей высотного строительства

Территория г. Москвы характеризуется высоким уровнем *изученности инженерно-геологических условий* и в то же время крайней разрозненностью и неравномерностью распределения архивных данных о состоянии геологической среды, полученных преимущественно в результате точечных изысканий для строительства зданий и сооружений. Проведение региональных исследований требует критической оценки и унификации исходной информации при осуществлении работ на основе фондовых материалов. Трехмерное компьютерное моделирование геологической среды территории г. Москвы выполнено на основе комплекта геологических карт масштаба 1:10 000 и базы данных, включающей в себя более чем 80 000 архивных колонок буровых скважин.

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. Осуществленный анализ геологического строения территории г. Москвы направлен на оценку возможности использования тех или иных отложений в качестве оснований для фундаментов высотных сооружений. За основу был принят тезис о том, что оптимальным естественным основанием для конструктивных частей фундаментов высотных зданий может служить выдержанная по простиранию толща пород достаточной мощности, характеризующаяся благоприятными инженерно-геологическими свойствами и расположенная вне зоны влияния опасных инженерно-геологических процессов.

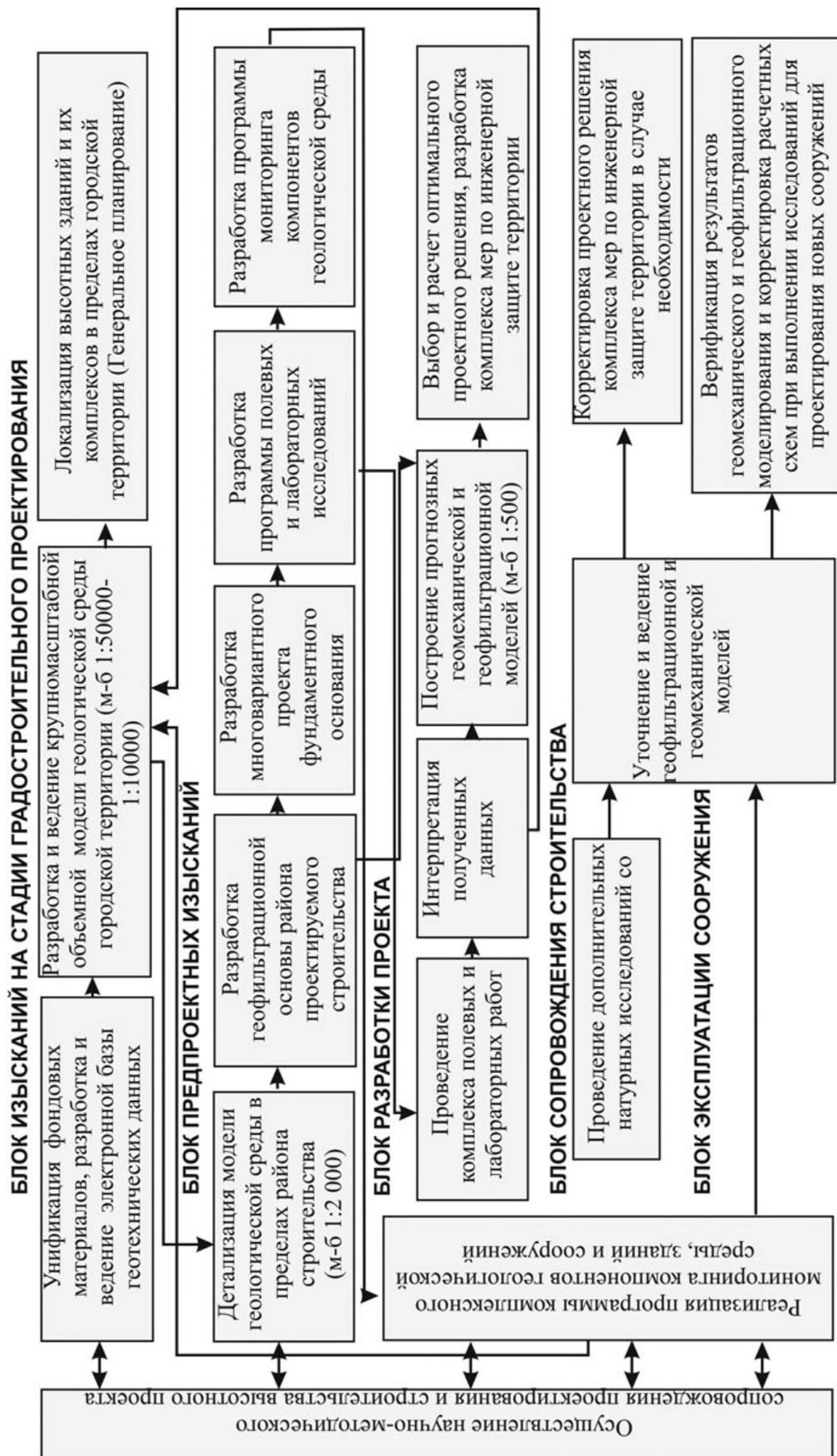


Рис. 1. Обобщенный алгоритм проведения инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства высотных зданий

Весь массив пород, расположенный в пределах глубины зоны взаимодействия с инженерными сооружениями был проанализирован на предмет соответствия этим критериям. В расчет были взяты нормативные физико-механические свойства грунтов, характер их залегания, способность проявлять специфические свойства – такие как тиксотропность, плавунность. Были выделены участки развития опасных инженерно-геологических процессов.

По результатам проведенного анализа было осуществлено построение *специальной компьютерной геологической модели* территории г. Москвы. Вся толща горных пород, расположенная в зоне потенциального взаимодействия с 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 (таблица 2). С использованием картографического материала и базы данных архивных скважин были описано положение кровли и подошвы каждого из них и сформированы объемные тела, характеризующие пространственное распространение соответствующих литолого-стратиграфических комплексов.

В качестве основного показателя, характеризующего вариативность параметров высотных зданий, была выбрана заглубленность фундаментных плит. Для оценки изменчивости инженерно-геологических условий на основе модели были построены карты-срезы на глубинах 10, 20 и 30 м от земной поверхности, каждая из которых характеризует территорию в отношении условий строительства высотных зданий с соответствующим заглублением фундаментной плиты. На картах-срезах показаны залегающие на соответствующей глубине литолого-стратиграфические комплексы пород и их остаточная мощность, области распространения карстово-суффозионных и оползневых процессов, плавунных грунтов, участки устьев древних доюрских долин, не перекрытых чехлом мезозойских отложений.

На основе этих материалов вся территория г. Москвы была охарактеризована в отношении благоприятности инженерно-геологических условий для строительства высотных зданий с соответствующим заглублением (рис. 2). Карты строились по комплексу признаков в соответствии с критерием наихудшего показателя, т.е. в качестве определяющего принадлежность той или иной территории к какому-либо классу, выбирался параметр, характеризующийся наименьшей степенью благоприятности.

Таблица 2. Литолого-стратиграфические комплексы пород, выделенные по степени благоприятности при использования в качестве оснований для фундаментных плит высотных зданий

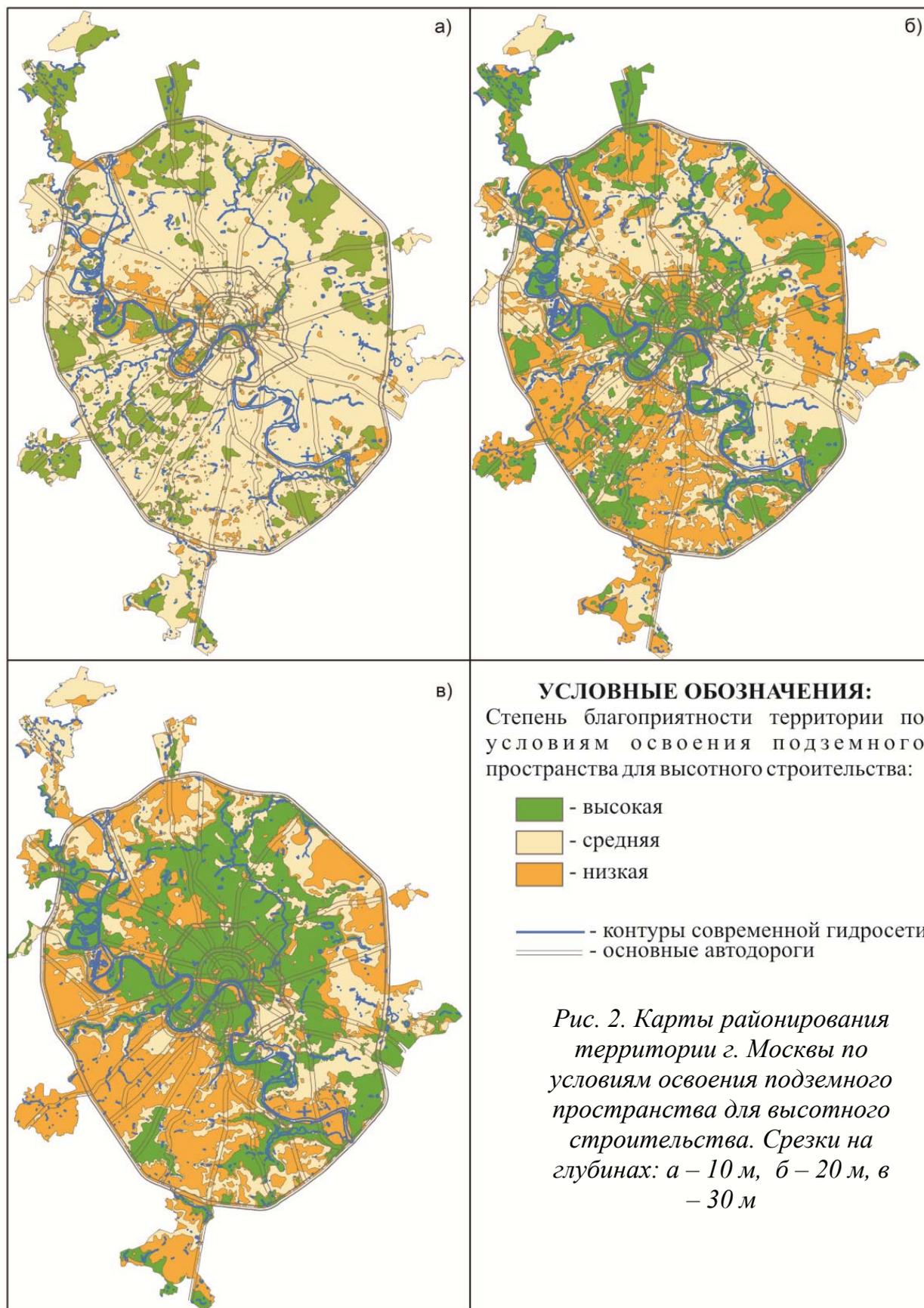
№ толщи	Стратиграфические подразделения	Литологическая характеристика и инженерно-геологические особенности	Степень благоприятности для устройства фундаментных плит
1	В зоне развития моренных отложений: f,lgIms ³ – tH.	Песчано-глинистые отложения, характеризующиеся высокой степенью неоднородности состава и свойств	Средняя
2	gIds ² + gIms ² с подчиненными прослоями f,lg Ids ³ - Pms ¹	Суглинки и глины, в основном тугопластичной и полутвердой консистенции, с вкл. обломочного материала и песчаными прослоями	Высокая
3	В зоне развития моренных отложений - a,f Ivk-ds ₁ , вне ее – весь комплекс четвертичных образований.	Песчано-глинистые грунты, характеризующиеся высокой степенью неоднородности состава и свойств. В обводненном состоянии могут проявлять плавунные свойства	Средняя; в водонасыщенном состоянии при заглубленности подстилающего водоупора более 10 м - низкая
4	K ₂ jah – K ₂ tn	Преимущественно пески, местами останцы кремнистых пород	Средняя
5	K ₁ pr	Глины, преимущественно полутвердой и тугопластичной консистенции, с прослоями песков в подошве и глинистых алевритов в кровле слоя	Высокая
6	J ₃ -K ₁ lp – K ₁ gv	Пески, преимущественно мелкие и пылеватые, с прослоями глинистых алевритов, вкл. фосфоритов. В обводненном состоянии могут проявлять плавунные свойства	Средняя; в водонасыщенном состоянии при заглубленности подстилающего водоупора более 10 м - низкая
7	J ₃ eg – J ₃ fl	Глинистые алевриты, супеси с прослоями песков, с вкл. фосфоритов. Тиксотропны. Пески могут служить коллектором для напорного водоносного горизонта	Низкая
8	J ₂₋₃ vd-er.	Глины полутвердой, твердой, реже тугопластичной консистенции	Высокая

9	J ₂ kd – J ₂ kr.	Чередование пачек песчано-глинистых пород. Приурочены к эрозионным долинам, понижениям доюрского рельефа	Низкая
10	C ₃ kr ₂ – C ₃ rc ₁ .	Чередование пачек карбонатно-глинистых пород.	Высокая
11	C ₂ pd-mc – C ₃ kr ₁ .	Известняки, доломиты с прослоями глин и мергелей. Служат коллектором для эксплуатационного подольско-мячковского водоносного комплекса	Низкая

К неблагоприятным зонам по описанным выше соображениям были отнесены области вскрытия в дне котлована толщ № 7, 9, 11. Территории, в пределах которых распространены карстово-суффозионные, оползневые процессы и выделенные участки палеодолин, также отнесены к неблагоприятным. В качестве заведомо благоприятных были охарактеризованы области распространения под фундаментной плитой на соответствующей глубине одной или нескольких идущих подряд «опорных» благоприятных толщ суммарной мощностью более 5 м.

Из построенных карт видно, что тезис о заведомой благоприятности инженерно-геологических условий водораздельных территорий, в особенности юго-западной части города, сформировавшийся в процессе осуществления массовой типовой застройки, не может быть однозначно принят даже при относительно небольшом для высотных зданий заглублении в 10 м от поверхности земли. Это связано с незначительной мощностью моренных отложений, часто используемых в качестве оснований для сооружений мелкого заложения.

С увеличением предполагаемых глубин заложения фундаментных плит увеличивается «контрастность» условий освоения подземного пространства – если большая часть территории г. Москвы на глубине 10 м можно характеризуется средней степенью благоприятности по предлагаемой методике, то на больших глубинах этот показатель характеризуется в основном низкой и высокой степенями. Этот факт обусловлен тем, что на соответствующих глубинах вскрываются выдержанные толщи грунтов, характеризующиеся значительными мощностями – верхне- и среднекаменноугольные породы, юрские глины, потенциально-пывунные меловые преимущественно песчаные отложения.



Разработанная компьютерная модель соответствует детальности стадии градостроительного проектирования, но может быть уточнена в пределах конкретных

участков строительства и использована в качестве основы для геофильтрационной и геомеханической моделей.

Глава 4. Инженерно-геологические изыскания и сопровождение проектирования и строительства объектов ММДЦ «Москва-Сити»

В главе рассматривается процесс проектирования и строительства сооружений Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити», включающего в себя 13 высотных зданий и их комплексов, большая часть из которых на сегодняшний день построена или находится в заключительной фазе строительства. Деловой центр расположен на Краснопресненской набережной, в геоморфологическом отношении приуроченной к пойме и второй надпойменной террасе р. Москвы. Выбор территории для застройки был осуществлен без учета особенностей строения и состояния геологической среды. Выполненный анализ геолого-гидрогеологического строения территории показал, что условия освоения подземного пространства территории ММДЦ в целом благоприятны.

На всех этапах проектирования и строительства делового центра выполнялось научно-методическое сопровождение, направленное на минимизацию влияния сооружений на геологическую среду и существующую застройку. По результатам инженерно-геологических изысканий на различных участках ММДЦ «Москва-Сити» была осуществлена разработка геофильтрационной и геомеханической моделей. Таким образом, при проведении инженерно-геологических изысканий на территории делового центра были реализованы принципы этапности работ, перманентного моделирования и научно-методического сопровождения.

Показателен как опыт реализации комплексного научно-методического сопровождения, так и изыскания, направленные на проектирование конкретных сооружений. Так, по результатам многовариантного прогнозного моделирования был пересмотрен проект башни «Россия»: первоначальный проект здания предполагал устройство плитно-свайного фундамента с заложением плиты на глубине 48,5 м в толще среднекаменноугольных известняков, служащих коллектором для подольско-мячковского водоносного горизонта. Результаты моделирования показали, что для осушения котлована при этом потребовалось бы полностью сдренировать три верхних водоносных горизонта и понизить уровень подольско-мячковского горизонта на 22-25 м. Водопритоки в котлован при этом составили бы 37 тыс. м³/сут. В результате было принято решение о переносе фундаментной плиты. Окончательные

проектные решения предполагали ее размещение на глубине 30,5 м в толще глинистых пород воскресенской подсветы. Опыт проведения изысканий для строительства башни «Россия» иллюстрирует важность применения принципа многовариантного проектирования.

Инженерно-геологические изыскания, проводившиеся на территории ММДЦ «Москва-Сити» во многом стали основой для разработки принципов, сформулированных в этой работе. Несмотря на то, что в процессе проектирования и строительства сооружений делового центра был проведен всеобъемлющий комплекс изысканий, этот опыт не может быть безоговорочно распространен на всю территорию г. Москвы ввиду специфичности геологического строения территории. В этой связи необходимо еще раз подчеркнуть необходимость применения принципа альтернативности местоположения высотных зданий в процессе генерального планирования застройки городской территории.

ВЫВОДЫ

1. Из проведенного в рамках исследования анализа зарубежных публикаций по тематике работы ясно, что разработка универсальной методики проведения инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий невозможна – наоборот, в процессе реализации каждого высотного проекта необходимо осуществление индивидуального научно-методического сопровождения.

2. Современная ситуация в области нормативно-правового регулирования инженерно-геологических изысканий для строительства высотных зданий характеризуется, с одной стороны, жесткими и противоречивыми требованиями в части касающейся объемов и технологий полевых и лабораторных исследований, с другой стороны – отходом от применения территориальных стандартов. Специфика отрасли и зарубежный опыт свидетельствуют в пользу того, что необходима разработка федерального «рамочного» документа устанавливающего общие принципы проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства и территориальных приложений, конкретизирующих их реализацию в зависимости от региональных инженерно-геологических условий.

3. В рамках диссертационного исследования сформулированы общие принципы проведения инженерно-геологических изысканий для высотного строительства и разработан обобщенный алгоритм их проведения. Эти разработки могут быть использованы при создании федерального «рамочного» нормативного документа.

4. В работе выполнен анализ, направленный на выявление особенностей различных отложений, распространенных на территории г. Москвы, проявляющиеся при их использовании в качестве основания для фундаментов высотных зданий и разработаны критерии типизации территории по условиям освоения подземного пространства для целей высотного строительства. Геологическая среда в зоне взаимодействия с существующими и проектируемыми высотными сооружениями, была разделена на 11 структурно-литологических этажей в зависимости от степени благоприятности для использования в качестве опоры для фундаментных плит высотных зданий.

5. В рамках работы была построена региональная компьютерная трехмерная модель геологической среды г. Москвы, которая может стать основой для реализации предложенных принципов и внедрении разработанного обобщенного алгоритма на стадии градостроительного проектирования.

6. Инженерно-геологические изыскания, выполненные для строительства комплекса сооружений ММДЦ «Москва-Сити» уникальны по своим объемам и детальности и на практике иллюстрируют реализацию части обобщенного алгоритма, связанной с проведением предпроектных изысканий, инженерно-геологическим обеспечением разработки проектов сооружений, сопровождением их строительства и эксплуатации. Однако выбор участка для застройки в свое время был осуществлен без учета геологических ограничений, т.е. принцип альтернативности местоположения высотных зданий в этом случае применен не был. В дальнейшем целесообразно осуществлять локализацию высотных зданий и комплексов при градостроительном проектировании на основе региональной трехмерной модели геологической среды.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Жидков Р.Ю.* Методика инженерно-геологического обоснования строительства высотных зданий на этапе градостроительного проектирования с применением ГИС-технологий (на примере г. Москвы)//Инженерные изыскания – 2011 – №8 – с. 48-58
2. *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 – с. 52-57
3. *Жидков Р.Ю.* Инженерно-геологические изыскания для высотного строительства: зарубежный опыт и его применение в условиях г. Москвы//Вестник МГСУ – 2009 – №4 – с. 101-106
4. *Жидков Р.Ю., Селезнев В.Н., Карабаев М.И., Бучкин М.Н., Экзарьян В.Н.* Геофильтрационное и геомеханическое моделирование при проведении инженерно-геологических изысканий и проектирования башни "Россия"//Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения. Выпуск 11. Моделирование при решении геоэкологических задач». М.: ГЕОС, 2009 - с. 169-173
5. *Жидков Р.Ю.* Мировой опыт инженерно-геологических изысканий для высотного строительства на примере Дубайской башни//Материалы V научно-практической конференции молодых специалистов "Инженерные изыскания в строительстве" – М.: ОАО ПНИИИС, 2009 – с. 23-26
6. *Жидков Р.Ю.* Инженерно-геологические изыскания для небоскребостроения на примере башни «Россия»//Материалы конференции «IV Денисовские чтения. Проблемы обеспечения экологической безопасности строительства».– М.: МГСУ, 2008 – с. 106-112
7. *Жидков Р.Ю.* Применение мирового опыта инженерно-геологических изысканий для высотного строительства в г. Москве//Материалы IX международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», т. 3. – М.: РГГРУ, 2009 – с. 79