

УДК 624.131:551.4:552.5(476.6)

Результаты комплексных инженерно-геологических исследований территории Витебска и его окрестностей

И.А. Красовская, А.Н. Галкин, П.А. Галкин

Представлены результаты комплексных инженерно-геологических исследований территории Витебска и его окрестностей, детально описаны геоморфологические условия, геологическое строение исследуемой территории, характер слагающих ее пород, современные геологические процессы и явления, как природные, так и вызванные деятельностью человека, рассмотрены некоторые причины деформаций отдельных зданий и сооружений в городе. Делается вывод о том, что территория города характеризуется довольно сложными инженерно-геологическими условиями, что в совокупности с мощным техногенным воздействием на геологическую среду предопределяет особенности градостроительства.

Проблема рациональной застройки территории Витебска на современном этапе особенно актуальна: отмечается рост города – как жилого сектора, так и промышленных зон, наблюдается тенденция расширения городской территории за счет освоения пригородной зоны.

Особенности градостроительства определяются конкретными инженерно-геологическими условиями, которые, в свою очередь, слагаются из большого комплекса природных факторов. Наиболее важными из них являются геологическое строение территории, характер слагающих ее пород (условия залегания, состав, состояние, свойства и др.), рельеф, гидрогеологические условия (глубина залегания подземных вод, водообильность, агрессивность и др.), современные геологические процессы и явления (как природные, так и вызванные деятельностью человека). Закономерное сочетание этих основных параметров и формирует инженерно-геологическую обстановку любого региона, любого участка.

Комплексная инженерно-геологическая характеристика территории г. Витебска является целью исследований, которые на протяжении ряда лет проводятся сотрудниками кафедры географии ВГУ им. П.М. Машерова. Следует отметить, что на территории города подобные работы выполняются впервые.

Объектом исследований являются инженерно-геологические условия территории Витебска; предметом исследований – геологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, а также современные экзогенные геологические процессы, оказывающие неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию инженерных объектов.

Геоморфологические условия. В геоморфологическом отношении исследуемая территория представляет собой денудационную столово-останцовую равнину с выходами девонских доломитов на поверхность в районе г.п. Руба. Своеобразие современной гидрографической сети свидетельствует о наличии локальных тектонических структур. Эти факторы во многом предопределили сложную динамику поозерского ледника, формирование крупных приледниковых бассейнов, неравномерность седиментации четвертичной толщи.

В целом территория представляет собой сложное сочетание различных комплексов и форм рельефа (табл.) [1]. Основные орографические черты территории сформировались в конце плейстоцена – начале голоцена, в процессе сложной динамики отступающего поозерского ледникового покрова и деградации крупных приледниковых бассейнов (Полоцкий, Суражский, Лучосинский). Значительна также роль флювиальной морфоскульптуры, которая в основном контролирует динамику рельефа в настоящее время.

В пределах Витебска долина Западной Двины имеет трапециевидную форму и в плане представляет собой врезанный сундучный меандр. Излучины унаследовали долину прорыва вод Суражского приледникового бассейна в процессе его деградации.

Таблица

Генетическая классификация рельефа территории Витебска

Класс	Группа	Тип	Форма
Экзогенный	Гравитационная	Обвально-осыпной	Ниши обвально-осыпного сноса, коллювиальные шлейфы
		Оползневой	Ниши оползневого сноса, оползневые террасы, уступовые останцы отседания
		Комплексных склоновых процессов	Ниши комплексной осложненной денудации, сложные шлейфы подножий
	Аквальная	Делювиальный	Делювиальные шлейфы
		Пролювиальный	Овраги, балки, конусы выноса
		Аллювиальный	Террасы различного генезиса, русловые формы, глубоковрезанные речные долины
		Озерный	Озерные низины, котловины
		Ледниково-озерный (лимногляциальный)	Лимнокамы, звонцы, лимнокамовые террасы, ледниково-озерные равнины
		Потоково-ледниковый (флювиогляциальный)	Озы, флювиокамы, флювиогляциальные террасы, ложбины стока талых ледниковых вод, долины прорыва талых ледниковых вод, флювиогляциальные покровы

Окончание табл.

	Гляциальная	Ледниково-седиментационный	Моренные увалы и холмы, моренные равнины
	Криогенная	Посткриогенный (термокарстовый)	Термокарстовые западины
	Эоловая	Переветренные эоловые образования	Эоловые холмы, дюны
		Наветренные эоловые образования	Лессовидные покровы
	Биогенная	Фитогенный	Современные болотные массивы
Техногенный	Техногенная	Собственно-техногенный	Карьеры, каналы, насыпи дамбы, канавы и т.д.

Долина реки имеет глубину примерно 15–25 м, крутизна склонов составляет 5–8°. Ширина русла в пределах города изменяется от 120 до 180 м, падение на этом участке составляет около 2,1 м, уклон русла составляет 0,097%, коэффициент меандрирования 1,85–1,9. Современная пойма неширокая от 5 до 30 м, одноуровневая, максимальной ширины достигает в периоды межени. Поверхность слабо задернована, полого наклонена в сторону русла (1–2°), осложнена конусами выноса временных водных потоков и мелкими эоловыми буграми. Пойма возвышается над урезом воды (126,1–125,1 м над уровнем моря) на 0,5–2,5 м, сложена разнородными аллювиальными песками с прослоями гравия и гальки, встречается валунный материал. Пойма имеет четко выраженный тыловой шов в месте смыкания с уступом флювиогляциальной террасы.

Флювиогляциальная терраса развита локальными участками вдоль правого и левого борта долины и приурочена к абсолютным отметкам 140–144 м, возвышаясь над урезом воды на 18–25 м. Поверхность террасы слабо наклонена в сторону русла (1–3°), рельеф волнистый, осложненный овражно-балочной сетью, ложбинами стока, конусами выноса, камами и заболоченными изометрическими понижениями. На правобережье в пределах флювиогляциальной террасы в юго-западной части города хорошо выражены останцы отседания, сформировавшиеся в результате активного подмывания моренной равнины мощным потоком, сформировавшим долину прорыва в процессе дренирования Суражского приледникового бассейна.

Реки Лучоса, Витьба и другие в пределах города имеют глубоко врезаемые долины (глубина вреза 12–18 м), которые часто унаследуют долины прорыва озерно-ледниковых суббассейнов и маргинальные ложбины стока талых ледниковых вод. Кроме того, долины рек в пределах городской территории представляют собой естественные геоморфологические границы, отграничивающие различные по своему геоморфологическому строению участки.

Для левобережья Западной Двины и правобережья Лучосы характерны гляциальный, флювиогляциальный, лимногляциальный и озерный рельеф.

Краевые ледниковые образования периферийной части Витебской возвышенности занимают в пределах города абсолютные отметки 165–205 м и возвышаются над зандровой террасой на 15–20 м. Поверхность их мелкохолмистая, реже грядовая или

увалистая, густота расчленения составляет $0,34 \text{ км/км}^2$, крутизна склонов $2-6^\circ$, длина $0,4-0,8 \text{ км}$. Рельеф несколько сглажен маломощным чехлом покровных лессовидных образований мощностью до $0,5 \text{ м}$, осложнен ложбинами стока талых вод, овражно-балочной сетью, термокарстовыми западинами. По периферии краевых образований выделяются зандровые равнины, осложненные камами, озами, ложбинами стока, балками, встречаются закрепленные перигляциальные дюны.

Зандровые равнины окаймляют краевые образования неширокой полосой ($0,4-0,8 \text{ км}$), расчленены балками глубиной $5-15 \text{ м}$, длиной $0,8-1,5 \text{ км}$ и шириной по бровкам склонов от 50 до 150 м , склоны пологие и задернованные, днища плоские, местами наблюдаются выходы грунтовых вод. Камы имеют овальную, иногда изометричную форму высотой $5-10 \text{ м}$, шириной по длинной оси $200-350 \text{ м}$, короткой – $50-200 \text{ м}$. Ложбины стока талых ледниковых вод слабоврезанные глубиной $10-15 \text{ м}$, длиной до $1,5 \text{ км}$ и шириной $100-200 \text{ м}$ с короткими склонами и плоским дном. Перигляциальные дюны имеют небольшие размеры (высота не более 5 м , длина $30-70 \text{ м}$) и представляют собой участки сохранившихся береговых озерных валов.

В бассейне реки Витьба, в результате сложной динамики отступающего ледника и наличия крупных массивов «мертвого» льда, в конце плейстоцена сформировался небольшой приледниковый бассейн, который был дренирован Витьбой, и на его месте образовалась озерно-ледниковая равнина. Она занимает отметки $146-150 \text{ м}$, относительные превышения $2-3 \text{ м}$, в местах скопления лимнокамов, моренных останцов превышения достигают $10-15 \text{ м}$. Поверхность равнины заболочена, самые низкие отметки занимает плоская современная озерная равнина. Встречаются покатые участки озерных абразионных террас шириной от первых метров до $30-50 \text{ м}$. В рельефе четко выражены долины прорыва озерно-ледниковых вод глубиной $10-15 \text{ м}$ и шириной $100-200 \text{ м}$, одна из которых унаследована Витьбой в нижнем течении. К долинам приурочены флювиокамовые комплексы, представляющие собой беспорядочные скопления невысоких овальных холмов высотой $10-15 \text{ м}$ и диаметром $50-150 \text{ м}$.

На левобережье Западной Двины и Лучосы, в юго-западной части городской территории, развита флювиогляциальная равнина, занимающая отметки $150-180 \text{ м}$, относительные превышения составляют $5-10 \text{ м}$. Рельеф полого-волнистый, осложненный ложбинами стока, камовыми холмами и озовыми грядами, встречаются останцы моренной равнины. Последние представляют собой небольшие увалы, возвышающиеся над прилегающей равниной на $8-12 \text{ м}$, длиной $0,8-1,0 \text{ км}$ и шириной $0,4-0,7 \text{ км}$; склоны их слабовыпуклые длиной $0,2-0,5 \text{ км}$ и крутизной $4-7^\circ$. Территория, прилегающая к речным долинам, расчленена овражно-балочной сетью глубиной $10-18 \text{ м}$, густота расчленения $0,34-0,4 \text{ км/км}^2$. Часто встречаются термокарстовые западины диаметром $300-500 \text{ м}$ и глубиной $1,5-2,5 \text{ м}$ и заболоченные межхолмные понижения.

Практически все правобережье Западной Двины в пределах города занимает моренная равнина с абсолютными отметками $160-180 \text{ м}$; глубина расчленения в ее пределах составляет $5-10 \text{ м}$, средняя густота расчленения $0,27 \text{ км/км}^2$. Рельеф в основном полого-волнистый, осложненный термокарстовыми западинами, пологими изометрическими или линейными заболоченными и задернованными понижениями, образование которых связано с неравномерной аккумуляцией моренного материала. Встречаются

ложбины стока талых ледниковых вод, а в северной части – долина прорыва озерно-ледниковых вод. К ложбинам и долинам приурочены флювиокамовые и озовые комплексы, а к озеровидным расширениям лимнокамы и заболоченные участки современной озерной равнины с остаточными озерами. Прибортовые части речных долин расчленены овражно-балочной сетью.

Современный рельеф территории города в значительной мере изменен техногенными процессами. Это, прежде всего, вертикальная планировка городских территорий, а также техноморфы – формы рельефа, созданные в процессе хозяйственной деятельности человека. Наиболее типичными техноморфами являются карьеры глубиной 5–15 м и площадью 0,01–0,06 км², насыпи транспортных коммуникаций высотой 10–15 м, а также площадки вертикальной планировки, поля фильтрации, отстойники, пруды, каналы различных площадных и линейных размеров.

Геологическое строение четвертичных отложений. Изучение горных пород при планировании и строительстве городов имеет свои особенности, так как их состав, строение, условия залегания, современное состояние и свойства во многом определяют характер рельефа, распространение и водообильность водоносных горизонтов, развитие комплекса современных экзогенных процессов и, как следствие, инженерно-геологическую обстановку территории в целом. Для этих целей в условиях Витебска, как и всей Беларуси, наибольший интерес представляют отложения верхней части разреза платформенного чехла, особенно четвертичные комплексы различного состава и генезиса, поскольку они определяют условия возведения и эксплуатации промышленных, гражданских, дорожных и других инженерных сооружений [2]. В то же время, их изучение часто сопряжено с определенными трудностями, особенно в городах, где они на значительных площадях перекрыты техногенными образованиями.

Отложения четвертичной системы на территории Витебска распространены повсеместно и представлены средним, верхним и современным звеньями, их мощность изменяется от первых десятков до 120 м, составляя в среднем 30–40 м. Подстиляется четвертичная толща доломитами, известняками и глинами верхнего девона (D_{3sr+sm-br}), которые в долинах реки Витьба и ручья Гапеевский залегают на глубине 10–15 м, а на северо-восточной окраине города в г.п. Руба выходят на дневную поверхность (карьер «Гралево»).

Современное звено представлено техногенными, аллювиальными, озерно-болотными, болотными и делювиально-пролювиальными отложениями (рис. 1).

Техногенные образования (tIV) пользуются повсеместным распространением, особенно в центральной части города, в виде отсыпанных грунтов, к которым относят разрушенные и перемещенные на новое место отложения, сюда же входят насыпи шоссейных и железных дорог, отходы производств и др. Представлены они, в основном, супесчано-суглинистыми образованиями, разнозернистыми песками, песчано-гравийным материалом вперемежку с почвенно-растительным слоем, включениями строительного мусора из битого кирпича, извести, бетона, древесины и др. Иногда встречаются культурные слои. Мощность техногенных образований колеблется в широких пределах от 0,5–3,5 м до 9 м на участках исторической части города.

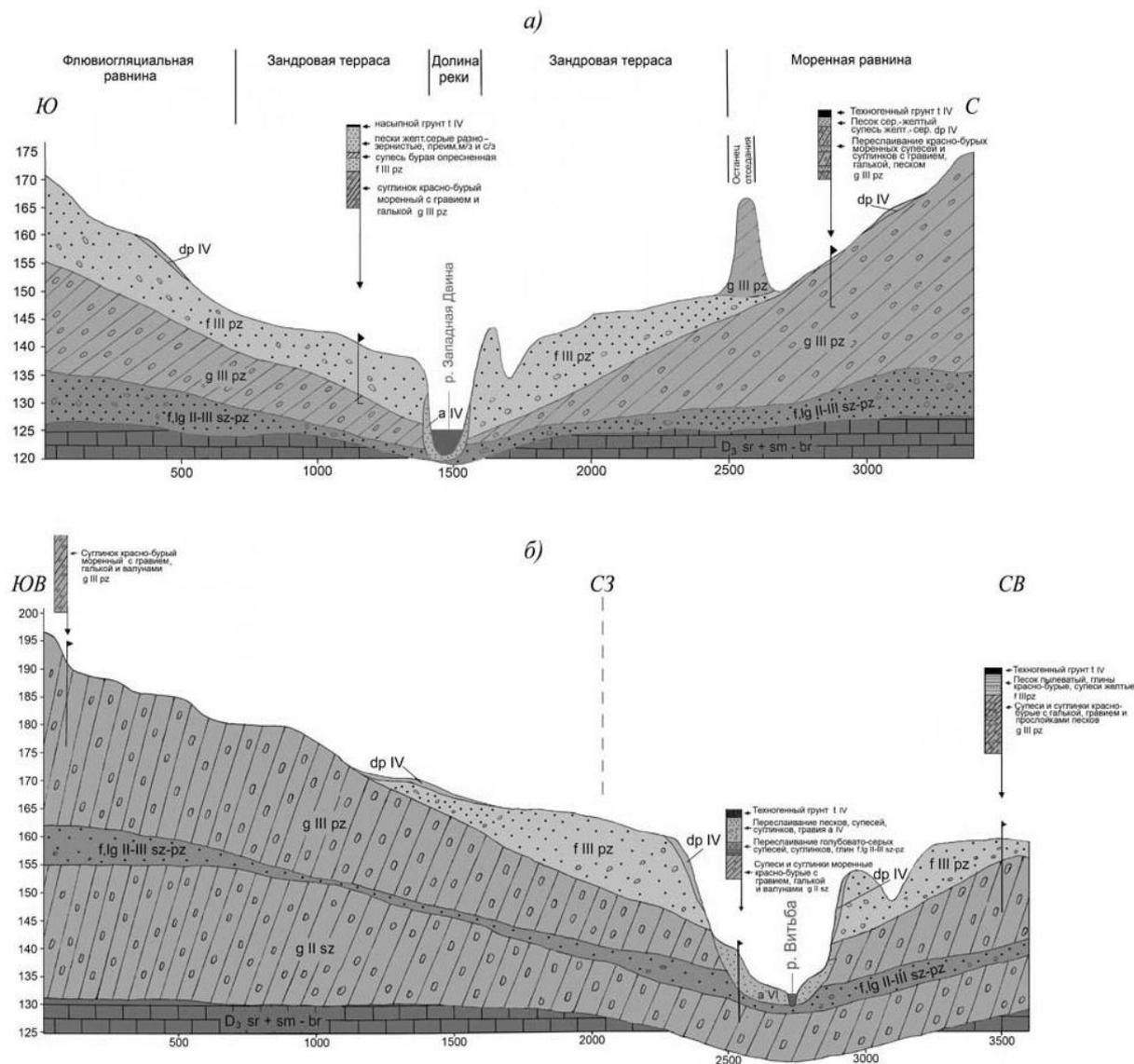


Рис. 1. Геологические разрезы: а) по линии I – I (микрорайон Зеленый Городок – ул. М. Горького); б) по линии II – II (ул. Клиническая – ул. Суражская).

Аллювиальный комплекс (aIV) широко распространен в долинах Западной Двины, Витьбы, Лучосы, фрагментами встречается в устьях ручьев Гапеевский и Дунай (рис. 1). Представлен он преимущественно разнозернистыми песками, песчано-гравийно-галечным материалом (русловая фация), реже тонко- и мелкозернистыми песками и супесями (пойменная фация). В руслах рек встречаются крупные валуны. Мощность аллювиальных отложений незначительна и составляет 2–8 м.

Проходка шурфов и бурение мелких скважин в долине р. Витьба (отрезок улиц Советская и Ленина) позволили в разрезе изучить характер залегания современных аллювиальных отложений. Здесь выработками были вскрыты (сверху вниз):

- tIV – темно-серые разнозернистые пески и супеси с включениями строительного мусора и прослоями погребенных почв, суммарной мощностью 0,5–2,5 м;
- aIV – переслаивание светло-желтых, светло-серых разнозернистых песков, часто гравелистых, с прослоями супесей и суглинков с растительными остатками и линзами слаборазложившегося торфа, общей мощностью 2,5–5,5 м.

Современные озерно-болотные и болотные отложения (IbIV, bIV) развиты фрагментарно в пределах моренной равнины и озерно-ледниковой низины, реже краевых ледниковых образований. Представлены они сильногумусированными с растительными остатками мелкозернистыми песками и супесями с линзами слаборазложившегося торфа, иногда мелкозалежными торфяниками. Мощность отложений составляет 0,5–2,4 м.

Отложения комплексной склоновой денудации (dpIV) залегают плащеобразно у подножья склонов (рис. 1). Их литологические особенности определяются, главным образом, составом материнских пород, морфометрическими параметрами рельефа и интенсивностью геоморфологических процессов. Наиболее часто встречаются ритмично-слоистые толщи разнозернистых песков, супесей и суглинков. Мощность отложений весьма изменчива – от 0,7–1,8 м у плащеобразных форм до 1,8–2,3 м при островном распространении.

Для верхнего звена (Шрз) характерно распространение гляциальных, флювиогляциальных и лимногляциальных типов отложений.

Гляциальные отложения (gШрз) характерны для моренной равнины – западная правобережная часть территории города – и краевых ледниковых образований – восточная левобережная часть Витебска. Они представлены супесями и суглинками красно-бурого и бурого цвета с включениями гравия, гальки, валунного материала с линзами и прослоями внутриморенных мелко- и тонкозернистых песков и супесей мощностью от 0,1 до 1,0 м (рис. 1). Вскрытая мощность моренных отложений достигает 20 и более метров.

Типичным является разрез, пройденный скважинами в районе проспекта Генерала Людникова и микрорайоне ЮГ-7, где сверху вниз вскрываются следующие слои:

- tIV – светло-серые мелко- и тонкозернистые пески с прослоями и линзами моренных супесей, суглинков красно-бурого цвета с включениями гравийно-галечного материала, строительных отходов и органики, общей мощностью не более 1 м;
- gШрз – красно-бурые и бурые супеси и суглинки с гравием, галькой и валунами (до 15%) с прослоями и линзами светло-серых разнозернистых, преимущественно среднезернистых песков, вскрытой мощностью до 20 м.

Флювиогляциальные отложения (fШрз) развиты в пределах зандровых террас (на левобережье и правобережье Западной Двины вдоль долины) и флювиогляциальной равнины (юго-западная часть города). Среди отложений преобладают разнозернистые пески, песчано-гравийный и гравийно-галечный материал. Залегают флювиогляциальные образования преимущественно на поозерской морене (рис. 1). Мощность их изменяется от 3 до 5 м, а в пределах зандровых террас может возрастать до 7 м.

В районе ул. Заречная скважинами были вскрыты (сверху вниз):

- tIV – маломощный (0,3–0,5 м) насыпной грунт из разнозернистых песков с включением строительного мусора и перемятого гумусированного слоя;

- fШрз – переслаивание желтовато-серых, желтых и серых разнозернистых песков с включениями, в отдельных случаях линзами, гравия и гальки, мощностью 3,0–3,7 м;
- gШрз – красно-бурые и бурые моренные суглинки, массивные, с включениями гравийно-галечного материала (до 15%) и единичных валунов, вскрытой мощностью 1,2–1,6 м.

Лимногляциальные отложения (lgШрз) характерны для восточной и северо-восточной части города, сформировались они на месте небольших приледниковых бассейнов, в основном представлены песками, супесями и суглинками, иногда глинами, часто вскрываются под техногенными или аллювиальными современными отложениями. Типичными являются разрезы в районе ул. Суражской и ручья Гапеевский (сверху вниз):

- tIV – техногенные образования из разнозернистых песков вперемежку со строительным мусором и почвенно-растительным слоем, мощностью 0,3–1,7 м;
- aIV – темно-серые, заторфованные тонкозернистые пески, супеси, суглинки с карманами и гнездами гравия и многочисленными растительными остатками, мощностью 0,5–1,4 м;
- lgШрз – переслаивающиеся голубовато-серые, буроватые, зеленовато-серые супеси и суглинки, местами глины (ленточноподобные) с прослоями и линзами тонкозернистых песков, с включениями гравия и гальки, вскрытой мощностью до 5 м.

В разрезе четвертичного комплекса в пределах города и его окрестностей выделяются и более древние осадки (рис. 1). Это образования средне-верхнего и среднего звеньев. Первые из них представлены нерасчлененным сожско-поозерским комплексом водно-ледниковых, озерно-ледниковых и аллювиальных отложений, среди которых преобладают пески и песчано-гравийные породы мощностью 5–10 м. Вторые – это сожская морена, сложенная супесями и суглинками красно-бурого цвета, массивными, плотными, в кровле толщи опесчаненными, с включениями гравийно-галечного и валунного материала. Мощность моренной толщи составляет 20–40 м.

Особенности проявления современных экзогенных процессов. Экзогенные геологические процессы (ЭГП) представляют собой сложную открытую многокомпонентную систему, в которой проявление любого процесса обусловлено взаимодействием всех факторов. Являясь одним из наиболее динамичных агентов преобразования земной поверхности, ЭГП существенно влияют на инженерно-геологическую обстановку. Их пространственное распространение, масштабы и интенсивность проявления, глубина воздействия и размеры последствий становятся с каждым годом все ощутимее, нередко нанося значительный материальный и моральный ущерб.

В настоящее время на территории Витебска и его окрестностей достаточно широко развиты разнообразные геологические процессы и явления, возникшие, с одной стороны, по естественным причинам, а с другой – в результате активной хозяйственной деятельности. На участках проявления интенсивного техногенеза первые причины играют подчиненную роль, однако в местах, где воздействие человека на природную среду невелико, они главенствуют.

Исходя из сказанного, все процессы и явления на территории города можно объединить в две группы [3]:

- имеющие как природное (естественное), так и техногенное происхождение – эрозия, суффозия, оползни, крип, подтопление, заболачивание;
- непосредственно связанные с объектами городской инфраструктуры – морозное пучение, оседание земной поверхности и др.

Среди комплекса природно-техногенных геологических процессов своей масштабностью и интенсивностью обращают на себя внимание эрозионные, которые проявляются в виде плоскостного смыва, оврагообразования и русловых процессов.

Плоскостной эрозии в большей степени подвержена левобережная часть города, характеризующаяся холмистым рельефом и значительным перепадом высот (до 80 м). Здесь величина плоскостного смыва составляет в среднем 0,6 мм/год. В отдельные периоды, в условиях обильных дождей или снеготаяния, этот показатель может возрасти до 1,0 мм и выше. В то же время следует отметить, что плоскостной смыв в условиях города несколько ослаблен за счет планировки и застройки территории, создания искусственных покрытий, посадки зеленых насаждений и др.

Оврагообразование на территории Витебска приурочено преимущественно к склонам речных долин Западной Двины, Лучосы, Витьбы, ручьев Дунай и Гапеевский. В настоящее время количество линейных эрозионных форм в городе составляет порядка 70, общая протяженность – более 17 км. Длина наиболее крупных оврагов достигает 1200 м, а глубина в приустьевой части – 10–40 м. Овраги находятся в стадии молодости, имеют V-образный поперечный профиль с крутыми и обрывистыми бортами. Рост оврагов наблюдается в основном в периоды весеннего снеготаяния и сильных ливневых дождей вследствие концентрации воды и создания размывающих скоростей потоков по межам и бороздам у бровок склонов.

Немаловажная роль в проявлении овражной эрозии принадлежит техногенному фактору. Неорганизованный сброс на склоны ливневых и производственно-бытовых вод, утечки и прорывы из коммуникационных систем способствуют быстрому росту оврагов, которые могут формироваться в течение нескольких лет, но при отсутствии водосбора их рост резко сокращается или прекращается вообще.

Русловые процессы, представленные преимущественно боковой эрозией, характерны для всех постоянных водотоков в городе. При этом следует отметить, что в долинах рек в пределах городской черты эрозионные процессы имеют весьма ограниченное распространение, поскольку речные берега в большинстве своем защищены от размыва (устройство набережных, выполаживание берегов и т.д.). Весьма интенсивно русловые процессы протекают в долинах ручьев Дунай и Гапеевский.

Процессы боковой эрозии действуют круглогодично, но наибольшая их интенсивность отмечается в периоды половодий и паводков, когда происходит увеличение расходов и скоростей течения. Уровни в водотоках повышаются над меженными на несколько метров, в результате чего затапливается пойма, происходит подмыв и поступательное разрушение склонов коренных берегов.

Важными факторами боковой эрозии служат геоморфологическое строение, со-

став и свойства отложений, слагающих берега и склоны долин, а также хозяйственная деятельность человека.

Весьма распространенным и опасным процессом в городе является *суффозия*. Развивается она в неоднородных по гранулометрическому составу грунтах с размером пор, достаточным для передвижения тонкодисперсных частиц, при значительном градиенте напора фильтрационного потока и наличии условий для разгрузки.

Суффозию можно наблюдать на склонах берегов рек и оврагов – в местах выхода на поверхность подземных вод. Особенно широко данный процесс проявляется на склонах долины ручья Гапеевский – в районе улицы Правды. Это ослабляет склоны и способствует их сползанию, а на равнинных участках – оседанию и провалам.

Нередко причиной суффозии в городе является хозяйственная деятельность. Причем техногенная суффозия по своей интенсивности часто превосходит природную. Утечки из водонесущих коммуникаций, вскрытие водоносных горизонтов выработками, работа дренажных систем способствуют активному развитию суффозионных процессов.

Очень быстро образуются суффозионные провалы при авариях водопроводных и канализационных систем, когда вода вырывается из труб под высоким давлением. В этом случае струйный размыв грунта способен приобретать катастрофический характер, распространяется по всем подземным каналам и сопровождается интенсивным выносом дисперсных частиц. Формирующиеся при этом полости мгновенно обрушаются. Так, в марте 2000 г. в районе дома 45 на улице М. Горького из-за прорыва канализационного коллектора, залегающего на глубине 3,5 м, под трамвайными путями образовалась суффозионная воронка глубиной около 1 м и диаметром более 1,5 м. В результате движение трамваев было парализовано на три часа до устранения аварии.

Благоприятные условия для протекания суффозии создаются в процессе строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений, когда осуществляются отсыпка песчаных и крупнообломочных пород на слабопроницаемое основание, перекапывание глинистых грунтов, создание поверхностей контакта грунта с различными искусственными материалами и многое другое. Суффозия, возникающая в грунтах отсыпки, зачастую приводит к деформации тротуаров, отмостков, лестниц. Такие явления в городе можно наблюдать на улицах Правды, Жесткова, проспектах Московский, Победы и др.

Активизация суффозионных процессов происходит, как правило, весной и осенью после выпадения значительного количества атмосферных осадков, что, с одной стороны, повышает уровни подземных вод, а с другой – увеличивает расход воды в ливневой канализации и, соответственно, объем утечки из нее.

Активно в городе проявляют себя *гравитационные процессы*, среди которых наиболее опасными и ущербноносящими являются оползни.

Оползневые процессы в Витебске наиболее широко представлены на склонах долин рек и ручьев, а также на площадях развития крупных оврагов. Основными причинами их возникновения, как показали наши исследования, служат: 1) высокие крутые (30° и более) склоны и наличие в геологическом разрезе четвертичных глинистых отложений; 2) эрозионный подмыв склонов во время паводков; 3) наличие водоносных горизонтов, которые обуславливают смачивание поверхности глинистых пород в раз-

резе, результатом чего является снижение сил трения и сцепления, увеличение гидродинамического давления в сторону водотока и возникновение суффозии.

В пределах города встречаются оползни различного генезиса, формы и величины: суффозионные, оплывины, обвалы и др. Наиболее широко распространены относительно небольшие по объему смещенных земляных масс оползни, в отдельные годы в особо благоприятных условиях они могут достигать значительных объемов.

Основная роль в образовании современных оползней в Витебске принадлежит природным формам. Однако хозяйственная деятельность способствует их активному развитию. Техногенные причины, вызывающие возникновение оползней: 1) подрезка склонов и устройство различных выемок; 2) дополнительное увлажнение пород за счет утечек из подземных коммуникаций; 3) увеличение нагрузок на склоны из-за застройки; 4) уничтожение растительного покрова; 5) динамические нагрузки (вибрация, транспорт и др.).

Так, например, 23 августа 2006 года 15-этажный жилой дом по улице Правды оказался в аварийной, точнее катастрофической ситуации, созданной техногенным оползнем-обвалом [3]. Образовавшийся в близко расположенном от здания глубоком (до 30 м) овраге, в условиях проливного дождя этот оползень «съедал» до 1 м грунта в час. В результате в течение нескольких часов образовалась выемка глубиной 18–20 м и шириной до 50 м, угрожавшая за короткое время вплотную подойти к фундаменту высотного дома. Возникла опасность для всего здания, и потребовалась эвакуация жителей. Своевременно принятые меры (засыпка выемки 2,5 тыс. м³ скальной породы) позволили избежать катастрофы.

Широкое развитие на склонах речных долин и оврагов в городе получил *крип*, или медленное перемещение дезинтегрированных рыхлых отложений вниз по склону вследствие периодического изменения термического режима и увлажнения [2]. В подобное перемещение вовлекается слой покровных отложений мощностью около 0,5 м. В результате смещения материала образуются ступенеобразные и микробугристые наплывы, или террасеты.

По данным наблюдений и информации, содержащейся в опубликованных картографических работах, скорости смещения материала на склонах в городе составляют от 2 до 4 мм/год, в отдельные годы этот показатель может превышать 4 мм.

Наличие в верхней части геологического разреза моренных и озерноледниковых глинистых толщ с многочисленными линзами и прослоями обводненных песков в совокупности с техногенными и другими природными факторами (увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод в результате преобразования верхней части разреза; значительное количество атмосферных осадков; подпор подземных вод в паводковый период; уничтожение существующей гидрографической сети: ликвидация мелких водотоков, канализирование рек, засыпка оврагов; заиление и засорение естественных дренажей; устройство снежных свалок и отсыпка техногенных грунтов; утечки из водонесущих коммуникаций; сокращение испарения с поверхности грунтовых вод за счет зданий и асфальтовых покрытий и т.д.) создают проблему *подтопления*, причем, по нашим оценкам, подтопленной может считаться практически вся территории города, за исключением сильно расчлененных и хорошо дренированных участков. Так, напри-

мер, в августе 2006 г. из-за проливных дождей в Витебске произошло более 90 случаев подтопления жилых и производственных зданий и сооружений. В результате были подтоплены 15 домов на улице 2-я Полоцкая, 20 – на улице Войкова, 5 – на улице Тракторная, 40 – на улице Красного Партизана, 10 – на улице Заводская, здания комбината «Мастацтва», больницы скорой помощи и областной больницы и др.

Опасность подтопления в городе заключается не столько в причинении морального и материального ущерба, сколько в провоцировании возникновения других опасных процессов: овражной эрозии, суффозии, оползней и др., которые могут его усугубить.

С подтоплением в Витебске связан и такой процесс, как заболачивание, но хозяйственное освоение территории часто приводит к его исчезновению. Так, в результате застройки и благоустройства отдельных кварталов города многие болота и заболоченные земли прекратили свое существование (например, низинное болото вблизи ветеринарной академии на улице Доватора, болото внутри квартала в районе средних школ № 12 и 38 на Московском проспекте, заболоченный участок в районе Юрьевой Горки, ныне застроенный частными домами, и др.). Этому способствовало и способствует осуществление ряда мероприятий: канализирование и засыпка мелких водотоков, вертикальная планировка, регулирование стока атмосферных осадков.

Довольно активно на территории Витебска протекают процессы, непосредственно связанные с объектами городской инфраструктуры, среди которых определенным интересом представляет *морозное пучение*. Происходит оно за счет объемных деформаций водонасыщенных глинистых, пылеватых и мелкопесчаных грунтов при их замерзании и проявляется главным образом в виде деформаций тротуарных плиток и асфальтового покрытия, а также «легких» зданий и сооружений [2].

Проявление рассматриваемого процесса на территории города наблюдалось, например, вблизи главного корпуса Витебского госуниверситета на Московском проспекте. Здесь зимой в 2005–2006 гг. имело место пучение грунтов, в результате чего тротуарная плитка приподнялась на 150 мм, а в основании подпорных стоек навеса парадной галереи образовались трещины шириной до 15 мм. Подобные явления можно наблюдать на улицах Ленина, Правды, проспектах Победы, Строителей и др.

Опыт строительства и эксплуатации объектов, расположенных на территории Витебска. Сооружение и грунт представляют собой единую систему, составляющие элементы которой находятся в тесной взаимосвязи. Органическую связь единой системы сооружение–основание, как правило, осуществляет фундамент сооружения. Таким образом, долговечность, устойчивость и прочность сооружения в первую очередь зависят от незыблемости основания и высокого качества устройства фундамента. Факты из строительной практики показывают, что нельзя добиться высокого качества работ, не зная конкретных инженерно-геологических условий площадки, отведенной под сооружаемый объект.

Рассмотрим несколько примеров из практики строительства и эксплуатации гражданских и промышленных объектов, расположенных на территории Витебска [4].

Здание районного отдела внутренних дел по проспекту Черняховского представляет собой 3-этажное строение и относится к постройкам послевоенного времени (конец 1940-х – начало 1950-х гг.), расположено на левобережье Западной Двины в

пределах флювиогляциальной равнины. По данным инженерно-геологических изысканий, в разрезе площадки размещения здания вскрыты маломощные насыпные слои, состоящие из смеси разнозернистых песков с примесью глинистых частиц и строительного мусора, позднечетвертичные водно-ледниковые супеси, мелко- и среднезернистые пески, моренные супеси с гравием и галькой. Подземные воды встречены на глубине 3,3–3,7 м в толще флювиогляциальных мелкозернистых песков. Основанием фундамента служат водно-ледниковые супеси пластичной консистенции. Фундамент здания ленточный бутобетонный глубиной заложения 1,4–1,5 м.

За весь период эксплуатации конструкции наружных стен здания неоднократно подвергались разрушениям и деформациям, особенно со стороны его фасада.

В мае 2005 года были организованы изыскательские работы по выявлению причин деформаций здания [4]. Результаты детальных исследований показали, что деформации наружных стен здания обусловлены значительной неравномерной осадкой фундамента, вызванной существенными повреждениями его конструкции в виде многочисленных трещин с шириной раскрытия до 10 мм. Причиной этому послужило наличие в основании фундамента со стороны фасада здания линзы сильносжимаемых древесных опилок. Известно, что использование данных отложений в качестве основания не допустимо.

По результатам исследований было рекомендовано выполнить усиление фундамента на «проблемном» участке, путем его пересаживания на выносные буронабивные сваи.

Рассматриваемый объект – типичный пример ошибок изыскателей. Вероятнее всего, изыскания были проведены недолжным образом с минимальным объемом работ или вовсе не проводились, что не позволило выявить и оконтурить положение линзы биотехногенных образований и в последующем провести мероприятия по их удалению и заглублению фундамента, исключающие проявление существенных деформаций всех конструкций здания.

Административное здание Витебского отдела унитарного предприятия «Гео-сервис» расположено в пределах позднечетвертичной зандровой равнины, в правобережной части города, имеющей длительную историю хозяйственного освоения. За весь период своего существования, начиная с XVIII века, здание неоднократно подвергалось ремонту и реконструкции. Первоначально это было одноэтажное строение с фундаментом из бутового камня. В 1982 г. часть здания была разобрана, и на ее месте возведено новое одноэтажное сооружение с монолитными и сборными железобетонными фундаментами на основании из маловлажных пылеватых песков. После реконструкции в процессе эксплуатации в стеновых конструкциях вновь возведенной части здания появились трещины с шириной раскрытия до 10 мм, произошло частичное отклонение стен от вертикали. Причем, как показали наблюдения, развитие этих деформаций носило характер не затухающего во времени процесса.

В 1996 г. выполнено усиление фундаментов и осуществлена перекладка части торцевой стены. Однако в последующие годы деформации в конструкциях здания продолжали развиваться.

Дополнительные инженерно-геологические изыскания, проведенные в декабре 2000 г., позволили установить причину длительных деформаций конструкций здания.

Как показали исследования [4], эти деформации были вызваны значительными неравномерными осадками фундаментов современной пристройки из-за наличия в их основании грунтов культурного слоя мощностью более 2,5 м со следами процессов интенсивного разложения биомассы (рис. 2).

В целях дальнейшей безаварийной эксплуатации здания рекомендовано выполнить усиление его фундаментов путем устройства буриинъекционных свай.

Как и в предыдущем случае, длительные деформации конструкций административного здания Витебского отдела УП «Геосервис» – это результат ошибок изыскателей. Не исключена ошибка и проектировщиков, поскольку в отчетах инженерно-геологических изысканий, выполненных на момент реконструкции здания, отмечалось наличие в инженерно-геологическом разрезе данного участка насыпных грунтов, состоящих из смеси пылеватых песков и растительных остатков (до 10%) с включениями бытовых отходов.

Здание общежития Витебского госуниверситета им. П.М. Машерова на 246 мест по Московскому проспекту – типичный пример ошибок производителей строительных работ. Его строительство началось в 1994 г., но так и не завершилось. В 2003 году было принято решение осуществить перепланировку здания под 101-квартирный жилой дом.

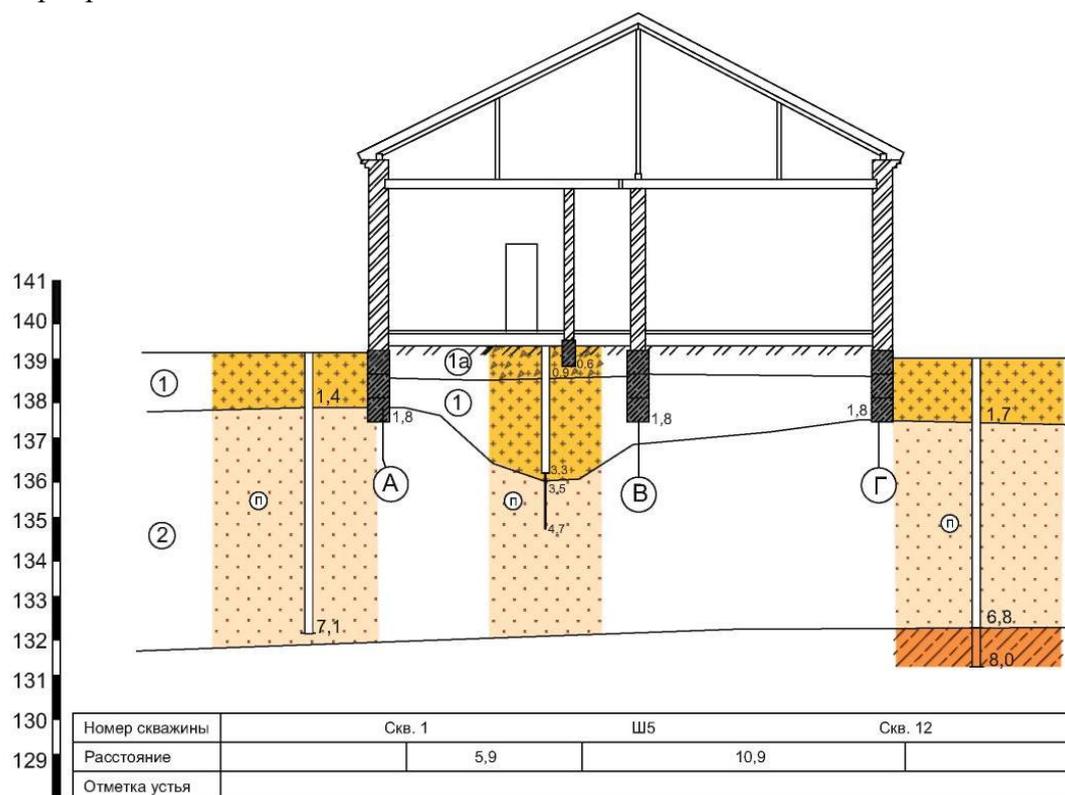


Рис. 2. Геологический разрез участка административного здания Витебского отдела УП «Геосервис».

К этому времени возведенными были только фундаменты и конструкции первого этажа.

Согласно проекту фундамент здания ленточный сборный железобетонный на основании из прочных моренных супесей и суглинков (по результатам инженерно-геологических изысканий на начало строительства) глубиной заложения 3,7 м от поверхности планировки. В уровне образа фундаментов выполнен монолитный железобетонный пояс.

В апреле 2004 года было проведено детальное обследование конструкций фундаментов здания с целью их дальнейшего использования при перепланировке. Результаты обследования показали следующее [4].

Из-за отсутствия консервации конструкций здания в результате периодического замораживания и оттаивания грунтов основания произошло их расструктурирование, что стало причиной неравномерных осадок фундамента и, как следствие, его частичного разрушения, выраженного в образовании многочисленных трещин с шириной раскрытия до 50 мм. Кроме того, конструкции фундаментов имели дефекты в виде: неполного заполнения швов цементным раствором, некачественно выполненной вертикальной гидроизоляции, использования кирпичной кладки между фундаментными блоками, не заполненных бетоном разрывов между блоками.

В таком состоянии дальнейшее использование фундамента не представлялось возможным. В последующем была осуществлена его перезакладка, и менее чем через год 101-квартирный жилой дом был сдан в эксплуатацию.

Перечень таких объектов можно продолжить, однако, во всех случаях главной причиной недостатков и ошибок в устройстве оснований и фундаментов является человеческий фактор.

Заключение. В ходе проведения комплексных инженерно-геологических исследований территории Витебска и его окрестностей, было установлено следующее:

1. Исторически формированию города способствовало исключительное сочетание двух факторов: слияние крупных рек и распространение всхолмленных равнин. Первоосновой города являлись три холма – Замковая гора, площадка восточнее ее, остров в месте слияния Витьбы с Западной Двиной. Окружающие территории застраивались позже. Рост Витебска происходил преимущественно в юго-восточном направлении, что связано с меньшими перепадами высот и более благоприятными гидрологическими условиями (отсутствие подтопления). На современном этапе развития города недостаток комплексной инженерно-геологической информации значительно усложняет проектирование и удорожает строительство.

2. В геоморфологическом отношении исследуемая территория представляет собой сложное сочетание гляциальных, флювиогляциальных и лимногляциальных комплексов рельефа, что создает определенные трудности в инженерно-хозяйственном освоении территории города. Общий план городской территории формируют гляциальная и флювиогляциальная морфоскульптуры с наложенными динамичными флювиальной и техногенной морфоскульптурами.

3. Четвертичные отложения на территории города отличаются довольно сложным строением и комплексностью. Это отражается в частой смене их литолого-генетических типов, как по площади, так и в вертикальном разрезе.

4. В настоящее время на территории Витебска и его окрестностей достаточно широко развиты разнообразные геологические процессы и явления, возникшие, с одной стороны, по естественным причинам, а с другой – в результате активной хозяйственной деятельности. Среди комплекса природно-техногенных геологических процессов наибольшее проявление и интенсивность имеют эрозионные, которые проявляются в виде плоскостного смыва, оврагообразования и русловых процессов.

В целом, территория Витебска и его окрестностей характеризуется довольно сложными инженерно-геологическими условиями, что в совокупности с мощным техногенным воздействием на геологическую среду предопределяет особенности градостроительства.

В заключение отметим, что основными средствами предотвращения развития опасных процессов в условиях города являются грамотное ведение градостроительной политики и применение специальных технических решений, в частности проведение инженерных защитных мероприятий (устройство дренажей, подсыпок, повышение несущей способности грунтов, применение особых конструкций фундаментов и т.д.).

Л и т е р а т у р а

1. Павловский, А.И. Геоморфологическое строение территории г. Витебска / А.И. Павловский, А.Н. Галкин, И.А. Красовская, А.Д. Тимошкова, П.А. Галкин // Літасфера. – 2009. – № 1 (30). – С. 130–134.
2. Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования / А.Н. Галкин, А.В. Матвеев, В.Г. Жогло. – Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2006. – 208 с.
3. Галкин, А.Н. Особенности проявления современных геологических процессов на территории Витебска / А.Н. Галкин, А.Д. Тимошкова, И.А. Красовская, А.Б. Торбенко // Літасфера. – 2007. – № 1 (26). – С. 73–77.
4. Красовская, И.А. Ошибки в устройстве оснований и фундаментов, приводящие к разрушению зданий на территории Витебска / И.А. Красовская, А.Н. Галкин, П.А. Галкин, А.Д. Тимошкова, А.П. Кремнев // Геориск. – 2008. – № 4. – С. 18–21.

Поступило 23.10.2009