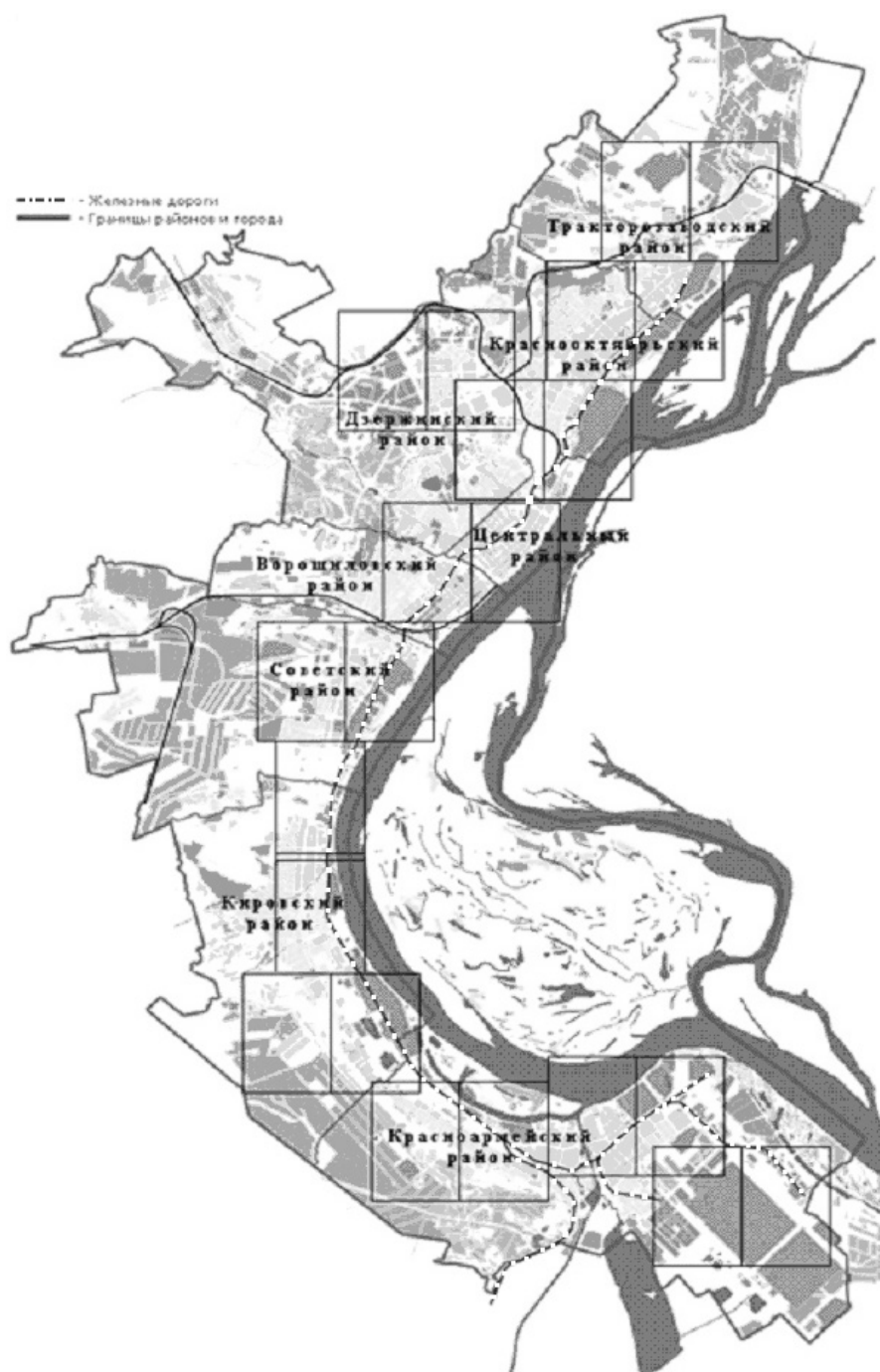


ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ ВОЛГОГРАДА



Волгоград 2007

Федеральное агентство по образованию
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ ВОЛГОГРАДА

Волгоград 2007

УДК 624.131.1+504.5](470.45-25)(075.8)
ББК 26.3я73+20.1я73
И 622

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук, зав. сектором индикаторных исследований
ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть» *И.В. Воронцова*;
кандидат геолого-минералогических наук,
консультант Управления развития предпринимательства Волгоградской области *С.В. Новикова*;
кандидат геолого-минералогических наук, директор ООО «ГАЗпроект» *М.Е. Чурсина*

Авторы:

В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, С.В. Честнов, С.И. Махова, А.П. Долганов

И 622

**Инженерная геология и геоэкология Волгограда / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, С. В. Честнов, С. И. Махова, А. П. Долганов ; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. 126 с.
ISBN 978-5-98276-195-8**

Освещены инженерно-геологические и геоэкологические особенности Волгограда и прилегающих территорий. Охарактеризованы пространственные закономерности инженерно-геологических условий территории города и дана оценка распространения структурно-неустойчивых грунтов, опасных геологических и инженерно-геологических процессов, а также зон повышенной радоноопасности.

Для научных работников, специалистов, занимающихся проблемами инженерно-геологического обоснования строительства, а также для широкого круга лиц, интересующихся вопросами защиты окружающей среды.

УДК 624.131.1+504.5](470.45-25)(075.8)
ББК 26.3я73+20.1я73

ISBN 978-5-98276-195-8



© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2007
© Синяков В.Н., Кузнецова С.В., Честнов С.В.,
Махова С.И., Долганов А.П., 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Характеристика инженерно-геологических особенностей Волгограда.....	6
1.1. Геоморфологические условия и рельеф.....	6
1.2. Геологическое строение.....	9
1.3. Гидрогеологические условия.....	14
1.4. Состав и физико-механические свойства грунтов.....	36
1.5. Геологические и инженерно-геологические процессы.....	48
1.5.1. Экзогенные геологические процессы природного характера	48
1.5.2. Природно-антропогенные процессы и явления.....	51
1.5.3. Инженерно-геологические (антропогенные) процессы.....	53
2. Пространственные закономерности инженерно-геологических условий	65
2.1. Инженерно-геологическое районирование.....	65
2.2. Распространение структурно-неустойчивых грунтов.....	73
2.3. Распространение геологических и инженерно-геологических процессов.....	80
3. Оценка радоноопасности территории Волгограда.....	88
3.1. Современное состояние изученности проблемы радоноопасности	88
3.2. Природные и техногенные источники радоноопасности.....	94
3.3. Методы определения концентрации радона.....	99
3.4. Пространственные закономерности объемной активности радо- на на территории города.....	103
3.5. Инженерно-геологическое районирование территории города по степени радоноопасности.....	107
3.6. Рекомендации по защите от радона в новых и реконструируе- мых зданиях.....	112
Заключение.....	117
Библиографический список.....	117

ВВЕДЕНИЕ

Волгоград — крупнейший индустриальный центр Нижнего Поволжья с населением более одного миллиона человек, расположен на правом берегу Волги, в том месте, где она наиболее сближается с Доном и круто поворачивает на восток, образуя изгиб. Протяженность города более 85 км, ширина 3...10 км, общая площадь около 400 км², площадь освоенной территории примерно в 2 раза меньше. В административном отношении Волгоград подразделяется на 8 районов: Тракторозаводский, Краснооктябрьский, Центральный, Дзержинский, Ворошиловский, Советский, Кировский и Красноармейский (рис. 1.1). Между отдельными административными районами и микрорайонами в городе существуют разрывы, достигающие нескольких километров — это долины рек (Сухая и Мокрая Мечетка, Царица), балки (Ельшанка, Отрада, Горная Поляна), крупные овраги (Долгий, Банный, Дедушенковский и др.), заболоченные пространства (Бекетовская низина, Сарпинская низменность), оползни по берегам Волги и ее притоков.

Большинство промышленных предприятий города сосредоточено вдоль Волги в пределах нижней части волжского склона Приволжской возвышенности и Ергеней — денудационной равнины плиоценового возраста — и на аккумулятивной равнине раннехвалынского возраста. В последние 30—50 лет крупный промышленный центр, включающий машиностроительные предприятия и предприятия стройиндустрии, сформировался в Дзержинском районе в приводораздельной части Приволжской возвышенности.

Послевоенный период характеризуется значительным ростом жилищного строительства — индивидуального и многоквартирного (2...5-этажные здания, иногда выше, преимущественно без централизованного горячего водоснабжения, на ленточных фундаментах). Наибольшее развитие этот вид строительства получил в Центральном районе.

В 70—80 гг. прошлого столетия развивается застройка 5...16-этажными зданиями, оборудованными централизованным горячим водоснабжением. Располагается эта застройка как на свободных территориях (склоны и приводораздельная часть на Приволжской возвышенности), так и на территории, освобожденной от индивидуальной застройки. Встречаются отдельные здания, вклинивающиеся в предыдущий тип застройки. Как правило, все здания современной застройки строятся на свайных фундаментах или монолитных плитах.

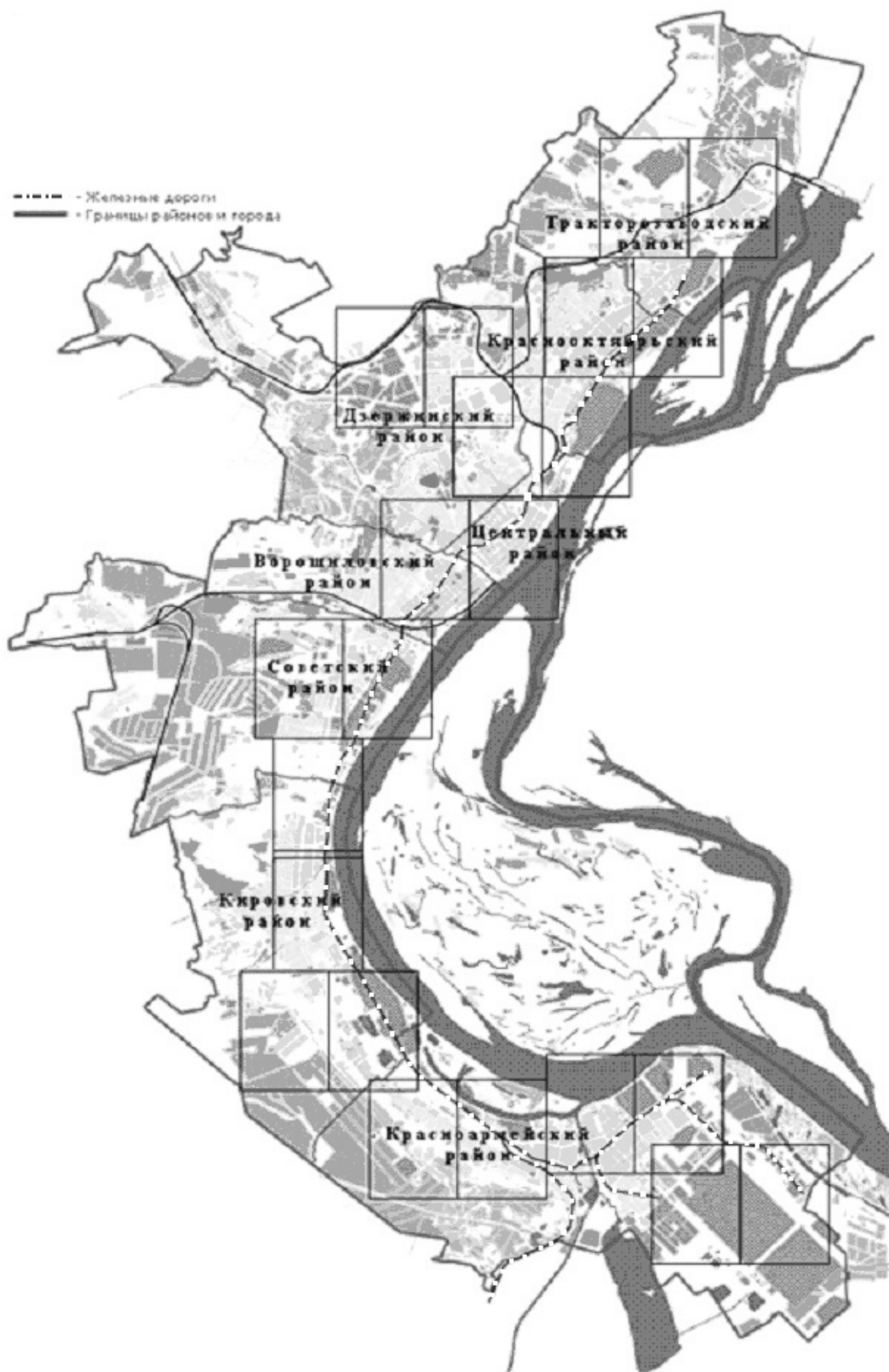


Рис. 1.1. Схема административного деления территории Волгограда

Большинство районов города газифицировано. Волгоград связывают трамвайные, троллейбусные, автобусные линии, электрифицированная пригородная и междугородняя железные дороги. В городе выполнены большие работы по благоустройству: созданы парки, скверы, бульвары; закреплены оползнеопасные участки берега Волги на протяжении более 30 км.

В климатическом отношении территория Волгограда находится в засушливой зоне с резко континентальным климатом, характеризующимся жарким продолжительным летом и холодной зимой. Средняя годовая температура воздуха $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$; средняя температура января $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднее годовое количество осадков составляет 330...400 мм, большая часть которых носит ливневый характер и приходится на теплый период года. Высота снежного покрова в среднем составляет 24 см. В холодный период года преобладают ветры юго-восточного направления, в теплый — западного.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЛГОГРАДА

1.1. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И РЕЛЬЕФ

Рассматриваемая территория находится на юго-востоке Русской равнины, в месте сочленения крупных морфоструктур, генетические типы которых представлены аккумулятивной морской равниной раннехвалынского возраста, денудационной равниной Приволжской возвышенности и Ергеней плиоценового возраста и эрозионно-аккумулятивной долиной р. Волга (рис. 1.2).

Аккумулятивная морская равнина раннехвалынского возраста является частью Прикаспийской низменности, в пределах города широко распространенной в заканальной части Красноармейского района. Севернее долины р. Царица она встречается небольшими участками, приуроченными в основном к устьям рек и балок, южнее распространена в пределах полосы шириной от 100...200 м до 1,5...2,0 км. Отметки поверхности равнины изменяются от 23...27 м на севере города до 11...17 м на юге.

Вдоль Волжского склона в пределах Кировского, Красноармейского районов прослеживается узкая, до 1 км, западина с отметками 5...10 м, называемая Бекетовской низиной. А вдоль Ергеней выделяется аналогичная ложбина — Сарпинская, сформировавшаяся на месте одного из рукавов р. Волга.

Денудационная равнина Приволжской возвышенности и Ергеней плиоценового возраста в пределах Волгограда простирается в меридиональном направлении вдоль правого берега Волги и представлена крутым и коротким Волжским склоном с отметками поверхности 27...154 м.

Донские пологие склоны территорией города не захватываются. Водораздельное пространство между Волгой и Доном — это плоские или слабовыпуклые плато с отметками поверхности 154...140 м в северной части, а южнее балки Отрада — 130...115 м, доходящими до 85 м. Водораздел удален от р. Волга на 13...19 км в северных районах города (Тракторозаводский, Дзержинский) и 3...5 км в южных (Кировский, Красноармейский). Соответствен-

но изменяется и крутизна склонов: севернее б. Отрада — $3...4^\circ$, а южнее — $6...7^\circ$. Исключение составляет Мамаев курган, где крутизна склонов достигает $8...9^\circ$.

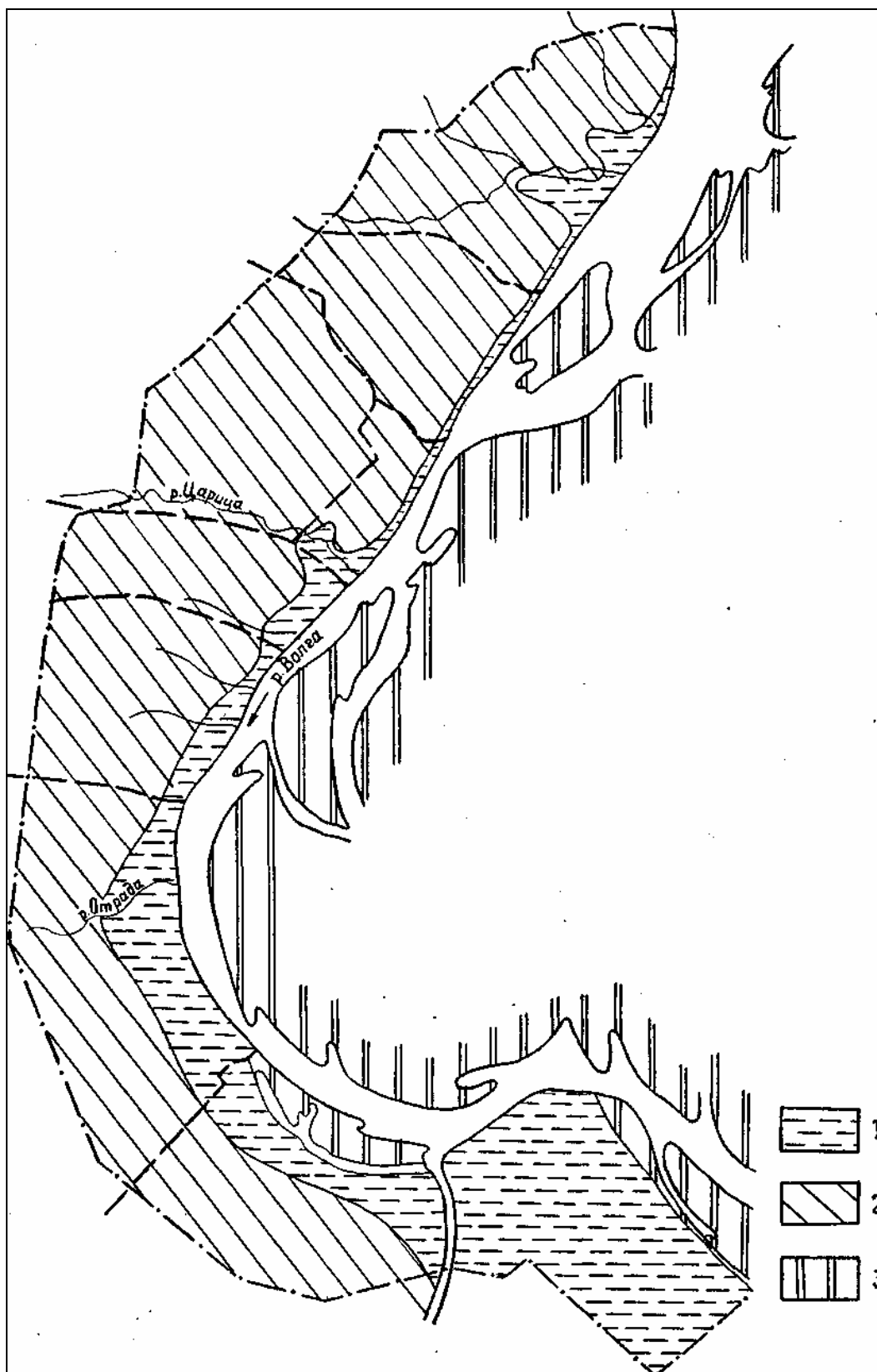


Рис. 1.2. Схема распределения генетических типов рельефа: 1 — аккумулятивная морская равнина ранневалхальского возраста; 2 — денудационная равнина Приволжской возвышенности и Ергеней; 3 — эрозионно-аккумулятивная долина Волги

Для волжского склона Приволжской возвышенности характерна значительная расчлененность, глубина которой достигает 120 м. Факторами, способствующими развитию эрозионных форм, являются следующие: значительный перепад высот на небольшом расстоянии; низкая водопроницаемость горных пород, обуславливающая высокий модуль стока; податливость пород к размыву; ливневый характер осадков. Особенно эродирована северная часть склона. В современном рельефе здесь хорошо выражены долины рек Сухая и Мокрая Мечетка, Царица, оврагов и балок Банный, Долгий, Крутой, Ельшанка, Купоросная, Горная Поляна, Отрада и другие, которые были заложены в среднечетвертичное время.

Для этого склона характерно также наличие погребенных долин различного возраста — от неогена до верхнечетвертичного возраста. В современном рельефе многие из этих долин не выражены. Одной из таких глубоко врезанных долин является неогеновая долина, ориентированная от пос. Орловка до Тракторного завода, выполненная в основном неоген-четвертичными песчаными отложениями с прослоями глин.

Эрозионно-аккумулятивная долина р. Волга в пределах рассматриваемой территории представлена Волго-Ахтубинской поймой, которая образовалась в результате эрозионной и аккумулятивной деятельности рек Волга и Ахтуба.

Мощным фактором, преобразующим рельеф города, стала инженерно-хозяйственная деятельность человека — благоустройство городской территории, рост промышленно-гражданского строительства. Изменение естественного рельефа вызвано вертикальной планировкой территории, засыпкой оврагов, устьев рек. Все это приводит к нарушению поверхностного стока атмосферных вод, изменению режима грунтовых вод, вызывающих возникновение специфического комплекса инженерно-геологических процессов. Наиболее существенные преобразования рельефа отмечаются на эродированном Волжском склоне и в долинах рек и оврагов.

Строительство жилых и промышленных зданий также предполагает первичную планировку территории со значительным объемом перемещенных грунтов. Только в районе завода «Красный Октябрь» они составили около 105 000 м³. Ликвидируются овраги и их отвершки. Так, например, в нижнем течении долины р. Царица ликвидировано более 16 км боковых ответвлений, преобразуются многие склоны — в основном проводится их выполаживание, террасирование.

Имеются формы рельефа, связанные с открытой разработкой минерального сырья — глины, песка. Такие карьеры общим объемом свыше 3,5 млн м³ находятся в Краснооктябрьском, Дзержинском районах. Многие из них не эксплуатируются и представляют собой затопленные грунтовыми водами выемки. Транспортные сооружения (железнодорожные выемки, дамбы) также приводят к созданию новых форм рельефа.

Таким образом, общая тенденция изменения рельефа города — нивелировка территории. К началу восьмидесятых годов коэффициент горизонтальной эрозионной расчлененности для застроенной части Волгограда умень-

шился с 1,5 до 0,8. За последние пятьдесят лет в зоне городской застройки полностью ликвидировано более 100 км оврагов, а многие частично. Вместе с уменьшением линейной эрозионной расчлененности уменьшилась и глубина врезов овражно-балочной сети.

Связь естественной радиации с рельефом выражается в том, что уровень естественной радиации городской территории на водораздельных повышенных участках соответствует фоновым значениям, присущим слагающим породам. На участках территории, имеющих в составе грунтов покровные суглинки, фоновые активности варьируются в пределах от 5 до 15 мкР/ч, а содержание в них радионуклидов находится в пределах кларковых значений. Более низкие значения фоновых активностей имеют низинные участки территорий, сложенные осадками речного аллювия.

1.2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Сложность геологического строения Волгограда обусловлена тем, что он расположен в прибортовой зоне Прикаспийской синеклизы. Промышленно-гражданское строительство ведется на территориях отложений палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем (рис. 1.3).

Палеогеновая система. Из отложений палеогеновой системы наиболее древними являются отложения пролейской свиты, сложенные кварцевыми и глауконитово-кварцевыми песками с прослоями песчаника, а также глинами и алевролитами общей мощность до 41...45 м. В пределах города отложения пролейской свиты на поверхность не выходят. Минимальная глубина залегания их кровли отмечается в долинах рек Сухая и Мокрая Мечетка, Царица, Ельшанка, где она составляет примерно 10...15 м. Эоценовые отложения подразделяются на царицынскую и волгоградскую свиты.

Царицынская свита делится на нижнецарицынские и верхнецарицынские слои. *Нижнецарицынские слои* представлены аргиллитами, аргиллитоподобными глинами, в подошве которых залегает неравномерно сцементированный песчаник мощностью до 0,7...1,2 м.

Тонкослоистые, темно-серые аргиллиты, аргиллитоподобные глины в пределах города являются региональным водоупором. Мощность их примерно выдержана 6...8 м. В долинах рек Царица и Мокрая Мечетка отмечается увеличение мощности соответственно до 9,5 и 13,0 м. Отметки кровли аргиллитов изменяются от -10 до 8 м в Тракторозаводском районе, а в районе б. Отрада поднимаются до 33 м.

В строении *верхнецарицынских слоев* выделяются песчано-алевритовые породы различной степени цементации, алевролиты. В кровле этих отложений залегает песок, заключенный в прослой (плиты) крепкого, сливного песчаника мощностью от 0,5 до 1...1,5 м каждый. На отдельных участках, например в районе завода «Красный Октябрь», наблюдается выклинивание песков, и в разрезе остаются только плиты сливного песчаника. Мощность песков и песчаников изменяется от 2 до 7 м. Общая мощность отложений верхнецарицынских слоев составляет 20...28 м.

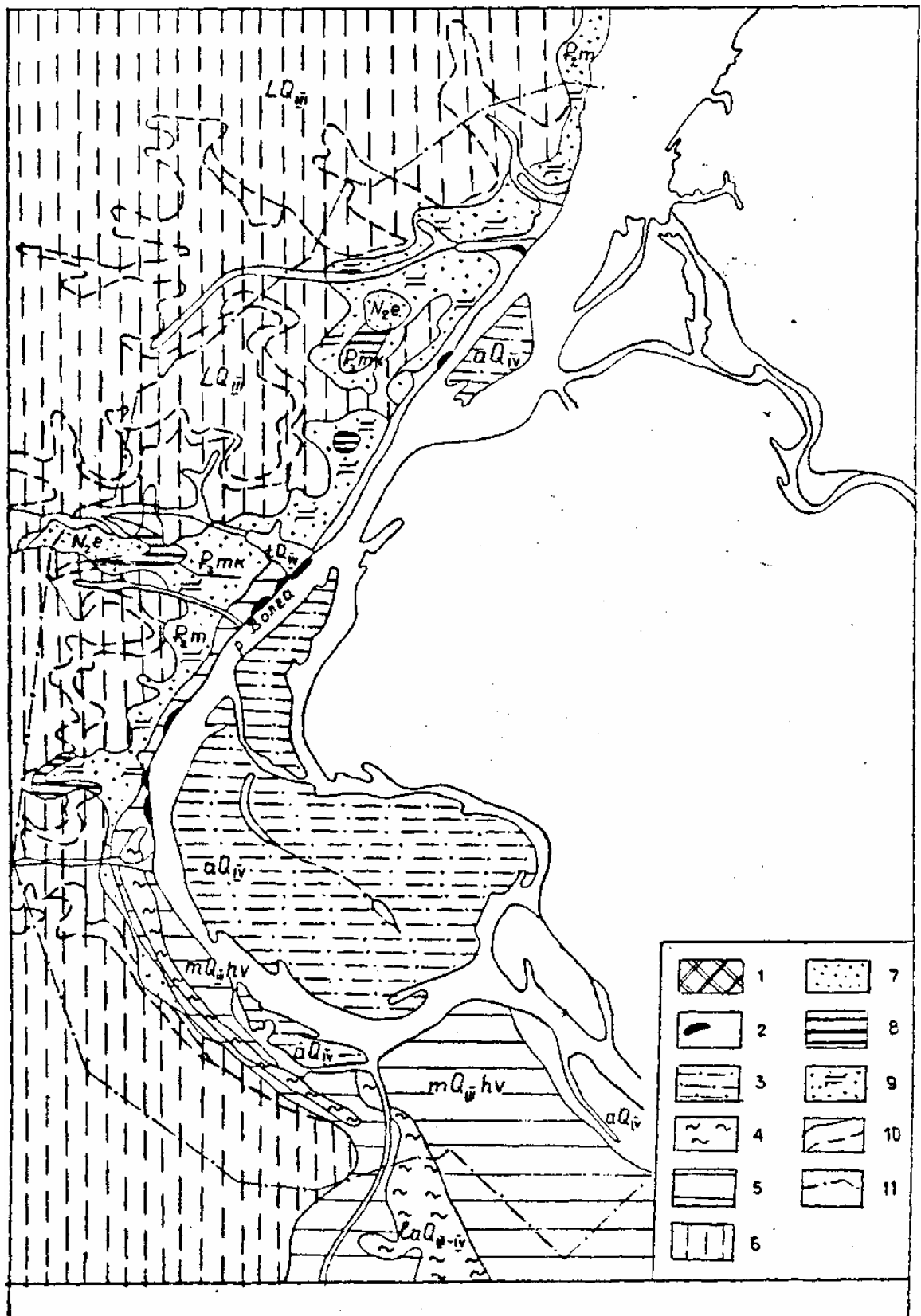


Рис. 1.3. Схематическая геологическая карта территории Волгограда: 1 — tQ_{IV} — техногенные современные накопления (намывные пески, насыпные грунты, отходы производства); 2 — dpQ_{IV} — оползневые современные образования; 3 — aQ_{IV} — аллювиальные современные пески, глины, суглинки; 4 — laQ_{III-IV} — озерно-аллювиальные верхнечетвертичные современные глины и суглинки; 5 — $mQ_{III}hv$ — морские нижнехвалынские глины и суглинки; 6 — LQ_{III} — лессовые верхнечетвертичные породы; 7 — N_{2e} — песчаные отложения ергенинской свиты плиоцена; 8 — P_{3mk} — глины майкопской серии палеогена; 9 — P_{2m} — песчано-алевритовые породы мечеткинских слоев волгоградской свиты эоцена. Границы: 10 — стратиграфические (~~~~ — установленные, - - - - - — предполагаемые); 11 — городской черты

Выходы отложений верхнецарицынских слоев на дневную поверхность отмечаются в бортах рек Сухая и Мокрая Мечетка, в нижней части правого обрывистого берега р. Волга. Кровля этих отложений на севере города находится на отметках от $-4 \dots 0$ м у Волги до 33 м в водораздельной части и в районе б. Отрада соответственно на отметках 18 и 48 м.

Фоновые содержания естественных радионуклидов (ЕРН) по данным гамма-спектрометрических измерений на почвогрунтах, перекрывающих породы царицынской свиты, реже в коренных выходах, составляют [143]: К — $1,5 \pm 0,4$ %, U(Ra) — $2,4 \pm 0,8$ г/т, Th — $5,2 \pm 1,0$ г/т. Уровень гамма-фона с поверхности составляет $10 \pm 2,8$ мкР/ч, в шпурах — $13 \pm 4,5$ мкР/ч. Уровень объемной активности Rn в почвенном воздухе над этими породами составляет $8,3 \pm 5,4$ кБк/м³ при коэффициенте вариации 64 %. В пяти пунктах выявлены уверенно аномальные объемные активности $Rn > X_{cp} + 3\sigma$, где σ — стандартное отклонение от среднего.

Волгоградская свита эоцена подразделяется на мечеткинские и киевские (ельшанские) слои.

Мечеткинские слои — это неравномерно сцементированные песчано-алевритовые породы с прослоями крепких сливных песчаников.

На отметках от 15 (у Волги) до 56 м (в приводораздельной части склона) спорадически распространены слоистые оливково-зеленые глины с линзами глинистого песка и рыхлого песчаника. В кровле, а иногда и в подошве, залегают плиты крепкого сливного песчаника мощностью от 0,3 до 1,0 м.

В освоенной части города оливково-зеленые глины являются водоупором для грунтовых вод, сформировавшихся в результате инженерно-хозяйственного освоения территории за счет искусственных факторов обводнения. Общая мощность мечеткинских слоев 40...50 м. Ими сложена значительная часть волжского склона Приволжской возвышенности.

Киевские (ельшанские) слои (свита) эоцена в пределах города представлены опоковидными глинами, реже песками. Пески мелкие кварцевые, в подошве слоя с включением фосфоритов, в которых известны природные накопления урана до 10...20 г/т, редко до 50 г/т, залегают на слаборазмывтой поверхности мечеткинских слоев на отметках 68...74 м. Глины светло-серые, мелкотрещиноватые, с выцветами ярозита. Переход от песков к глинам постепенный. Общая мощность этих отложений 6...8, реже 10...12 м. Из-за незначительной мощности свиты площадь ее выходов значительно меньше, чем других. На поверхность земли слои выходят на склонах балок и оврагов, отмечаются выходы на Мамаевом кургане и севернее его.

Фоновые содержания ЕРН составляют: К — $1,7 \pm 0,5$ %, U(Ra) — $2,4 \pm 0,7$ г/т, Th — $5,5 \pm 1,3$ г/т. Уровень гамма-фона с поверхности и в шпурах соответственно $11 \pm 2,6$ и $14 \pm 4,3$ мкР/ч. Средняя объемная активность Rn в почвенном воздухе над породами этой свиты — $9,9 \pm 6,3$ кБк/м³. Коэффициент вариации средних значений Rn, как и для царицынской свиты, — 64 %. Из-за небольшого объема измерений ($N = 29$) уверенно аномальных концентраций Rn не установлено.

Майкопская свита олигоцена-миоцена сложена темно-серыми тонкослоистыми глинами с прослойками светлого алевролита, с включением в выветрелой зоне гипса, ярозита, гидроокислов железа. Распространены они в верхней части волжского склона Приволжской возвышенности. Мощность глин изменяется от 0 до 20...30 м в северной части города до 90...100 м на юге. Важно отметить, что аналогичные глины майкопской серии на территории сопредельной Калмыкии являются специализированными на уран отложениями, и с ними связан ряд месторождений урана органогенно-фосфатного типа.

Суммарная мощность отложений киевской и майкопской свит колеблется от 20 до 30 м, глубина залегания кровли майкопской свиты на водораздельных участках до 50 м, редко глубже. Обнажаются обе свиты в пределах овражно-балочной сети.

Фоновые концентрации ЕРН в рыхлых отложениях над глинистыми породами майкопской свиты мало отличаются от царицынской и киевской свит: К — $1,6 \pm 0,5$ %, U(Ra) — $2,2 \pm 0,5$ г/т, Th — $5,5 \pm 1,1$ г/т. Отсутствуют различия и в гамма-фонах с поверхности и в шпуре: $10 \pm 2,8$ и $13 \pm 4,5$ мкР/ч. Однако по Rn отмечены несколько более высокие значения объемной активности — $11,9 \pm 8,2$ кБк/м³ (коэффициент вариации 69 %). И хотя математически выявлено всего два аномальных пункта, по абсолютным значениям свыше 25 кБк/м³ установлено 18 пунктов — существенно больше, чем для других свит. Связано это, по-видимому, с более низкой проницаемостью глинистых пород вкрест их напластования, в результате чего Rn накапливается в самой породе (почве), что и фиксируется эманационным методом [143].

Неогеновая система. Строение *ергенинской свиты* очень сложно. В основном это кварцевые пески различной крупности, часто слоистые. На водораздельных участках (Дзержинский район) пески в основном мелкие, переслаиваемые пылеватыми алевролитами, с прослоями серой глины мощностью от долей метра до 2...6 м, которые на освоенных участках являются местными водоупорами для спорадически распространенных грунтовых вод. Общая мощность ергенинских отложений изменяется от 0 до 49 м. Залегают они на размытой поверхности мечеткинских слоев (Тракторозаводский, Краснооктябрьский районы) и майкопских глин (Дзержинский, Центральный районы). Подошва ергенинских песков в бассейне р. Мокрая Мечетка находится на отметках 48...55 м, в бассейне р. Царица — 106...120 м, а южнее б. Отрада, в тектонически опущенной зоне, — от -16 до -42 м.

Фоновые содержания ЕРН, значения гамма-фона и объемной активности Rn в породах аналогичны царицынской и харьковской свитам. Установлено семь уверенно аномальных пунктов по радону [143].

Скифская свита (глины) залегают на сильно размытой поверхности ергенинских песков в эрозионных углублениях рельефа. Это плотные, жирные глины с включением известковистых стяжений и кристаллического гипса. Местами глины замещаются суглинками, супесями, песками крупными и средней крупности. Мощность скифских глин изменяется от 0 до 15...25 м.

Четвертичная система. Среди отложений четвертичной системы наиболее существенное развитие имеют отложения среднего и верхнего плейстоцена и голоцена.

К среднему плейстоцену относятся *аллювиальные хазарские отложения*, распространенные в пределах морской аккумулятивной равнины. Залегают они на сильно размытой поверхности палеогеновых пород. Представлены аллювиальными кварцевыми песками мелкими, с незначительным содержанием зерен глауконита, плохо окатанной гальки кварца, с мелкими обломками крепкого песчаника. В толще песков встречаются прослой глины.

Мощность хазарских отложений достигает 20 м. Отмечаются выходы аллювиальных хазарских песков в береговом уступе Волги.

В пределах Приволжской возвышенности к среднему плейстоцену отнесены лессовые среднечетвертичные отложения, которые представлены преимущественно суглинками буровато-коричневыми, выполняющими древние эрозионные понижения. Мощность их изменяется от долей метра до 35 м. От лессовых верхнечетвертичных пород нередко отделяются слоем погребенной почвы, однако проведение границы между лессовыми породами верхне- и среднечетвертичного возраста не всегда возможно.

Верхний плейстоцен в пределах морской аккумулятивной равнины представлен лессовыми породами ательского горизонта, которые сложены лессовидными суглинками и супесями, макропористыми, сильно известковистыми. В нижней части разреза суглинки и супеси постепенно переходят в мелкие и пылеватые пески. В пределах Волгограда мощность ательских отложений изменяется в пределах от 2...5 до 19...24 м.

Перекрываются ательские отложения *морскими нижнехвалынскими шоколадными глинами и суглинками*. Шоколадные глины тонкослоистые с очень тонкими прослоями или налетами по плоскостям напластования алевролита, с включением кристаллического или мучнистого гипса. Мощность нижнехвалынских отложений изменяется в широких пределах от 5...6 м (Красноармейский район, заканальная часть) до 15...25 м в глубоких депрессиях вдоль тылового шва нижнехвалынской аккумулятивной равнины (Кировский район).

На Приволжской возвышенности и Ергенях ательским и нижнехвалынским отложениям стратиграфически соответствуют *верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта*. Суглинки макропористые, известковистые, со скрытовыраженной слоистостью, с линзами и прослоями супесей. Мощность лессовых пород в пределах города изменяется от 0 до 12...15 м. Значительное увеличение мощности лессовых пород отмечается в древних эрозионных долинах, где она достигает 30...50 м.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные верхнечетвертичные и современные отложения распространены в пределах Бекетовской низины и Сарпинской низменности. Сложены они преимущественно иловатыми карбонатизированными глинами, суглинками и песками. Общая мощность отложений от 3...10 до 15 м.

Овражно-аллювиальные современные отложения, выполняющие современные балки и овраги, представлены песками различной крупности, супесями, суглинками. Общая мощность отложений не превышает 10 м.

Аллювиальные современные отложения распространены в долине Волги и ее притоков — рек Мокрая и Сухая Мечетка, Царица, Ельшанка и др. В их строении выделяются русловая (пески), пойменная и старичная (глины, суглинки) фация. Мощность аллювия в притоках Волги не превышает 10 м, а в пойме доходит до 25 м.

Эолово-делювиальные современные отложения — лессовидные суглинки и супеси — перекрывают слоем мощностью до 3 м морские нижнехвалынские отложения на аккумулятивной нижнехвалынской равнине, а в пределах Приволжской возвышенности — отложения палеогена и плиоцена. Лессовидные суглинки и супеси макропористые с включением карбонатов, тонкокристаллического и мучнистого гипса.

Современные оползневые образования, распространенные в пределах долины Волги, связаны с морскими нижнехвалынскими отложениями, а в пределах Приволжской возвышенности и с палеогеновыми, реже с неогеновыми и четвертичными отложениями. Мощность оползневых накоплений составляет 5...10, реже 15...20 м.

Появление *техногенных современных отложений* в пределах города связано со значительными работами по преобразованию рельефа — планировкой территории, засыпкой оврагов, строительством дамб, насыпей и т.п. По составу эти отложения подразделяются на следующие виды: а) намывные пески; б) грунтовая насыпь с включением строительного мусора (обломки кирпича, куски бетона, щебень, древесные опилки и щепы и т.п.); в) грунтовая насыпь без включений (качественная насыпь — суглинки, супеси, пески); г) литейные шлаки; д) формовочные пески.

Намывные пески широко распространены в приустьевых частях рек Мокрая и Сухая Мечетка, Царица, в балках Ельшанка, Купоросная, в оврагах Долгий, Крутой. Мощность их до 10 м, реже 15...19 м. В овраге Крутой отмечается максимальная их мощность 21,65 м.

Грунтовые насыпи в пределах города встречаются повсеместно. Мощность их изменяется в широких пределах от 0...5 до 8...16 м. Максимальная мощность — 26,7 м — отмечается в долине р. Царица.

Формирование насыпей, сложенных литейными шлаками и формовочными песками, связано с отходами литейного производства. Общая мощность этих образований составляет 10...15 м. Максимальная мощность металлургических шлаков — 27,5 м — отмечается в долине р. Мокрая Мечетка, а формовочных песков — 10,7 м — в б. Забазная.

1.3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Современные гидрогеологические условия городской территории характеризуются пестрым составом водовмещающих грунтов, представленных практически всеми генетическими комплексами — от верхнецарицынских

среднего палеогена до современных четвертичных. Высокнапорные воды в отложениях пролейской свиты нижнего палеогена располагаются ниже регионального водоупора, имеют глубину порядка 10...15 м на участке долин рек Сухая и Мокрая Мечетка, Царица, Ельшанка и в настоящей главе не рассматриваются.

По условиям формирования, распространения и взаимосвязи отдельных водоносных горизонтов друг с другом и с поверхностными водотоками в пределах северной части городской территории условно выделяется, как правило, два водоносных комплекса: верхний — в грунтах от современного четвертичного до средне-палеогенового (включая мечеткинский горизонт Волгоградской свиты палеогена) — и нижний — в отложениях того же мечеткинского горизонта (ниже оливково-зеленых глин) и верхнецарицынской подсвиты. К югу от р. Царица оба комплекса сливаются в единый палеоген-четвертичный. Оливково-зеленые глины в северной части территории являются граничным слоем выделенных водоносных комплексов. Повсеместным региональным водоупором выделенных комплексов являются аргиллитоподобные глины нижнецарицынской подсвиты среднего палеогена толщиной до 9...13 м, ограничивающие снизу обводненную толщу грунтов, представляющих зону активного водообмена. Ниже дается характеристика водоносным горизонтам, входящим в состав выделенных водоносных комплексов.

Верхний (палеоген-четвертичный) водоносный комплекс. *Подземные воды в техногенных отложениях (tQ_{IV})* имеют распространение на участках засыпанных эрозионных форм рельефа, служивших естественными дренами поверхностного стока и подземных вод, но ликвидированных засыпкой или замывом в ходе инженерной подготовки при застройке территории. Примерами обводнения насыпных грунтов после засыпки эрозионных форм рельефа (рис. 1.4) являются балка Забазная, левый борт р. Мокрая Мечетка, овраг Крутой, балка Дубовая в районе моторного завода (Дзержинский район) и др. Водовмещающими являются насыпные песчано-глинистые грунты с отходами производства или без них (отработанные формовочные пески, металлургический шлак, древесный и строительный мусор), а также намывные пески.

В силу неоднородности состава материала засыпки эрозионных форм (рек, оврагов, балок) в плане и разрезе неоднородны и водовмещающие грунты. Качественный материал засыпки отдельных участков эрозионных форм (например, р. Пионерка, б. Забазная) не обеспечивает в целом дренаж подземных вод.

Современное положение уровня воды горизонта соответствует глубинам от 0 до 15 м и более. Горизонт является вновь формирующимся и нередко участвует в подтоплении территории.

Подземные воды в оползневых накоплениях (dpQ_{IV}) имеют распространение на береговых участках р. Волга и ее правобережных притоках в пределах хвалынской абразионно-аккумулятивной террасы в местах оползания берегового склона, а также на водоразделе (Мамаев курган) и в северной части города на правобережье Волгоградского водохранилища (старые оползни).

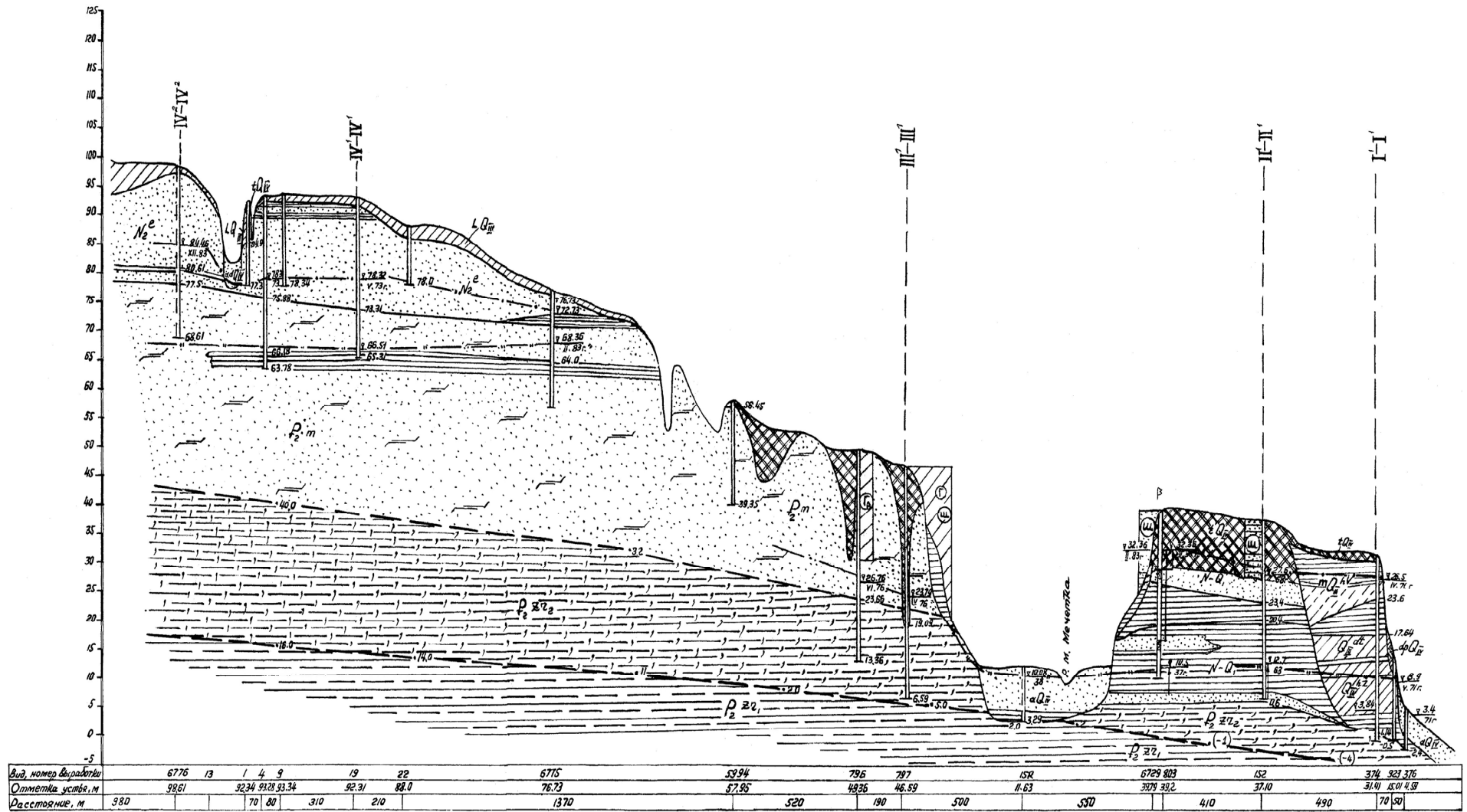


Рис. 1.4. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по Тракторозаводскому району

Состав водовмещающих пород оползневых накоплений соответствует составу материнских пород склонов, подвергшихся оползанию. В их числе хвалынские глины и пески, хазарские пески, майкопские глины, отложения мечеткинской и царицынской свит среднего палеогена. Основное питание горизонт получает за счет притока из смежных горизонтов со стороны коренного берега. Глубина уровня воды горизонта составляет 0...3 м, иногда более.

Подземные воды в овражно-балочных и аллювиальных отложениях ($fs-aQ_{IV}$) имеют распространение в долинах рек, балок и оврагов гидрографической сети территории. Водовмещающими являются, как правило, пески, реже — супеси и суглинки. Благодаря различиям в ориентации эрозионных форм, гидрометрическом положении их долин, различны и условия взаимодействия этих горизонтов со смежными на бортах долин. Так, аллювий рек Сухая и Мокрая Мечетка, будучи врезан в обводненные верхнецарицынские алевроиты и даже в аргиллитоподобные глины нижнецарицынской подсвиты, играет дренирующую роль относительно нижнего (палеогенового) водоносного комплекса.

В другом случае аллювиальный горизонт принимает на себя воды мечеткинского горизонта верхнего комплекса и дренирует при этом верхнецарицынский горизонт на его пути к Волге. Таким образом, горизонты овражно-балочных и аллювиальных отложений обязаны своим происхождением смежными с ними горизонтам на бортах долин и играют относительно них дренирующую роль. В отдельных случаях воды горизонтов обладают местным напором, будучи перекрыты сверху суглинками или глинами (долины Мокрой и Сухой Мечетки соответственно). Разгрузка горизонтов осуществляется в Волгу.

Глубина уровня воды горизонта может составлять от 0 до 8 м и более, а его отметка зависит от гипсометрического положения каждой эрозионной формы. Аллювиальный горизонт, обладая напором, может иметь пьезометрический уровень выше дневной поверхности, не превышающий 1 м, что указывает на недостаточную обеспеченность его подземного стока (дренирования).

Подземные воды в бекетовских отложениях ($laQ_{III-IV}bk$) распространены и ограничены в пределах Бекетовской низины от пос. Бекетовка до Красноармейска (рис. 1.5). Основное питание горизонта осуществляется за счет бокового подтока со стороны смежного с ним горизонта — ергенинского — по наслоению бекетовских отложений.

Весьма слабая дренированность территории данного участка в связи с засыпкой здесь двух глубоких оврагов, некогда отводивших из низины воду в Волгу вблизи пос. Сарепта ведет к заболачиванию низины и континентальному засолению ее грунтов и подземных вод с образованием солонцов и солончаков [17]. Горизонт напорно-безнапорный в силу изменчивого состава и мощности водовмещающих грунтов (пески и суглинки), располагается на слоистых хвалынских глинах и имеет связь с водами Волго-Донского судоходного канала (ВДСК). Амплитуда колебания уровня воды горизонта по данным многолетних режимных наблюдений в период 1959—1982 гг. составляет 0,19...1,7 м в Кировском и 0,09...3,37 м в Красноармейском районах.

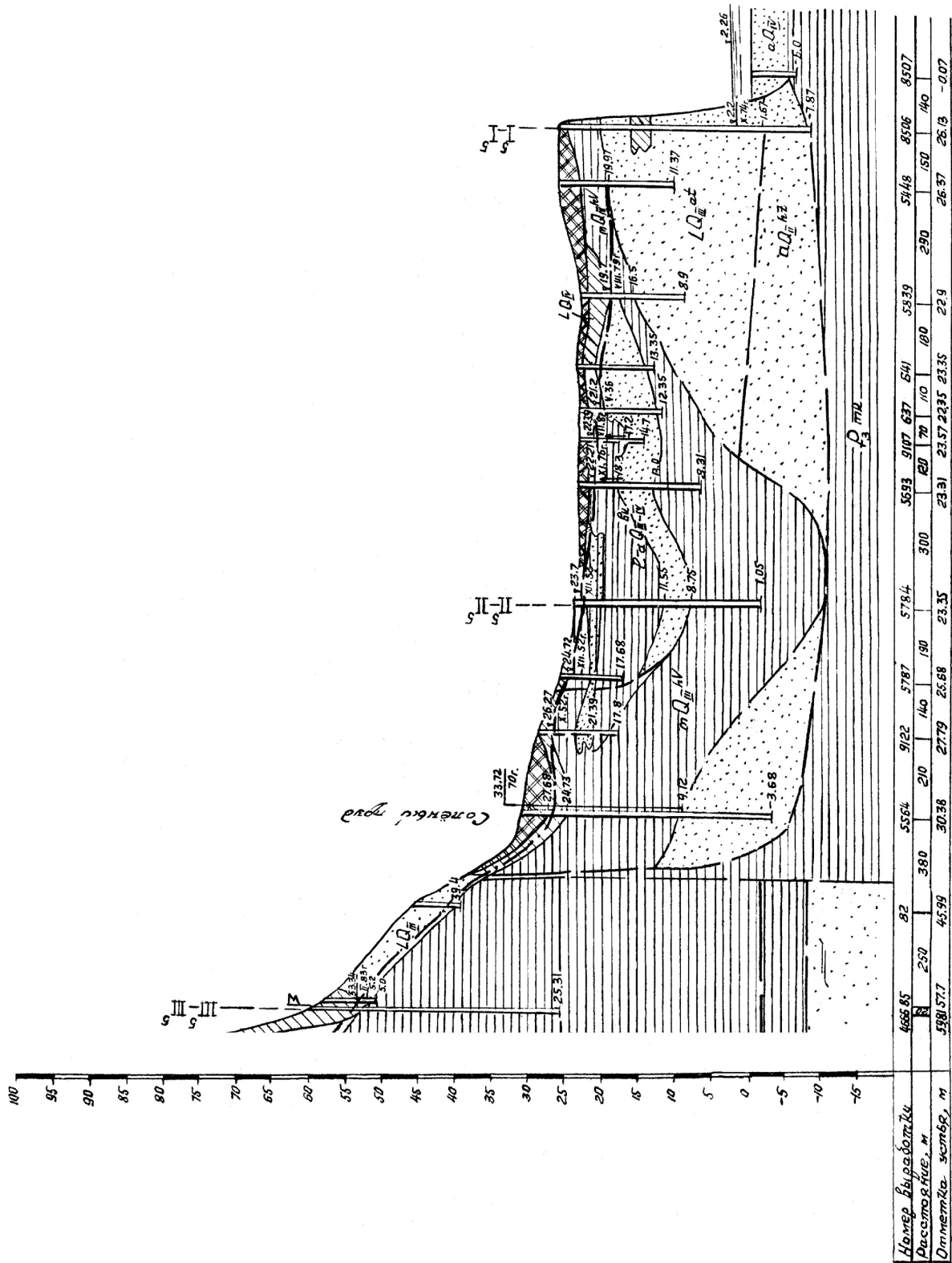


Рис. 1.5. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по Бекетовской низине

Уровень воды горизонта располагается, как правило, близко от поверхности земли (0,3...1 м), а на участке канала — глубже 5 м. Горизонт принимает участие в подтоплении территории.

Подземные воды в сарпинских отложениях ($laQ_{III-IVS}$) имеют также ограниченное распространение и развиты в южной части города (Красноармейский район) в пределах Сарпинской низины южнее устья р. Сарпа (рис. 1.6). В связи с изменением направления течения Волги к юго-востоку естественный сток по ложбине прекратился. Конусами выноса балок, расчленяющих восточный склон Ергеней, ложбина была перегорожена, залитые водой понижения образовали систему Сарпинских озер. После сооружения ВДСК р. Сарпа перестала существовать. С созданием многочисленных прудов, шлакоотстойников, карьеров и т.п. низина покрылась множеством водоемов, подвергается дополнительному обводнению и заболачиванию [17].

Водовмещающими являются все литологические разности данного генетического комплекса — от песков до слоистых глин. Горизонт напорно-безнапорный, гидравлически связан с водами канала. Относительным водупором горизонта снизу являются слоистые хвалынские глины. Основное питание горизонта осуществляется из смежных с ним горизонтов и, в частности, ергенинского, со стороны водораздела. За период с 1951 по 1982 гг. уровень воды горизонта поднялся на 4 м.

Подземные воды в хвалынских отложениях ($mQ_{III}hv$) имеют ограниченное распространение и развиты в пределах хвалынской аккумулятивной равнины: спорадически в северной части города до р. Царица — в виде узкой полосы от ее устья до балки Купоросная, а южнее — на большей площади (рис. 1.7). Основное питание горизонт получает со стороны смежных с ним горизонтов на участке причленения аккумулятивной террасы к коренному склону. В их числе неоген-нижнечетвертичный, мечеткинский и верхнецарицынский горизонты преимущественно в северной части территории, а также ергенинский горизонт и поверхностные воды низин — в южной.

Водовмещающими являются, как правило, все разности данного комплекса пород: от песков до слоистых и трещиноватых глин. При этом глинистые разности горизонта (слоистые глины), будучи расположенными на пути потоков со стороны смежных горизонтов, препятствуют их нормальному продвижению к месту разгрузки, а сами при этом замачиваются по прослоям песков и испытывают подпор, нередко являющийся одной из причин оползнеобразования. Горизонт, как правило, безнапорный. Местный напор связан с фациальной изменчивостью водовмещающих пород. Дренируется горизонт высачиванием на склоне аккумулятивной террасы (мочажины, поросшие камышом), а также балками и оврагами, прорезающими террасу. Глубина уровня воды горизонта составляет от долей метра до 8...10 м, иногда больше.

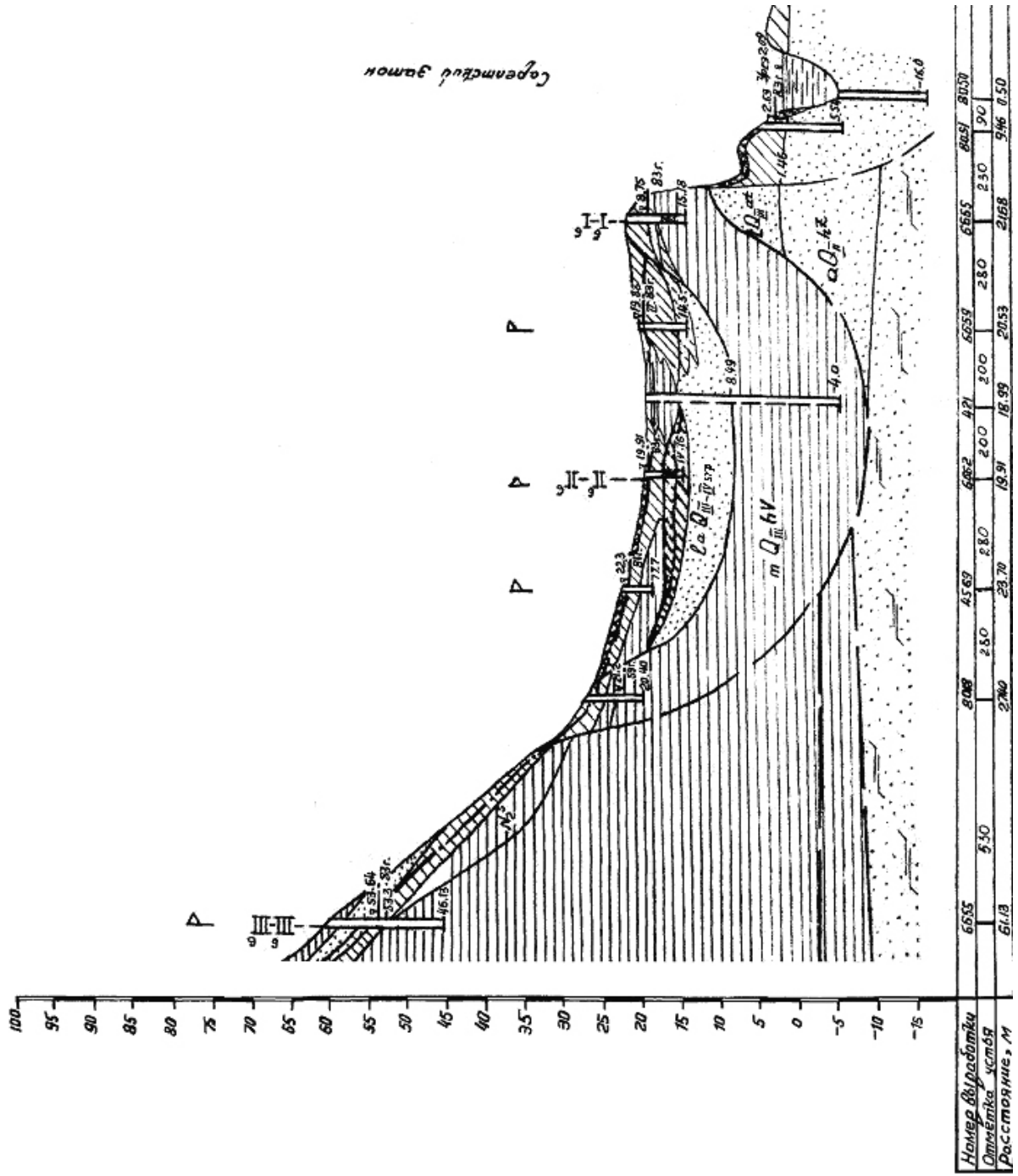


Рис. 1.6. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по Сарпанкской низине (Красноармейский район)

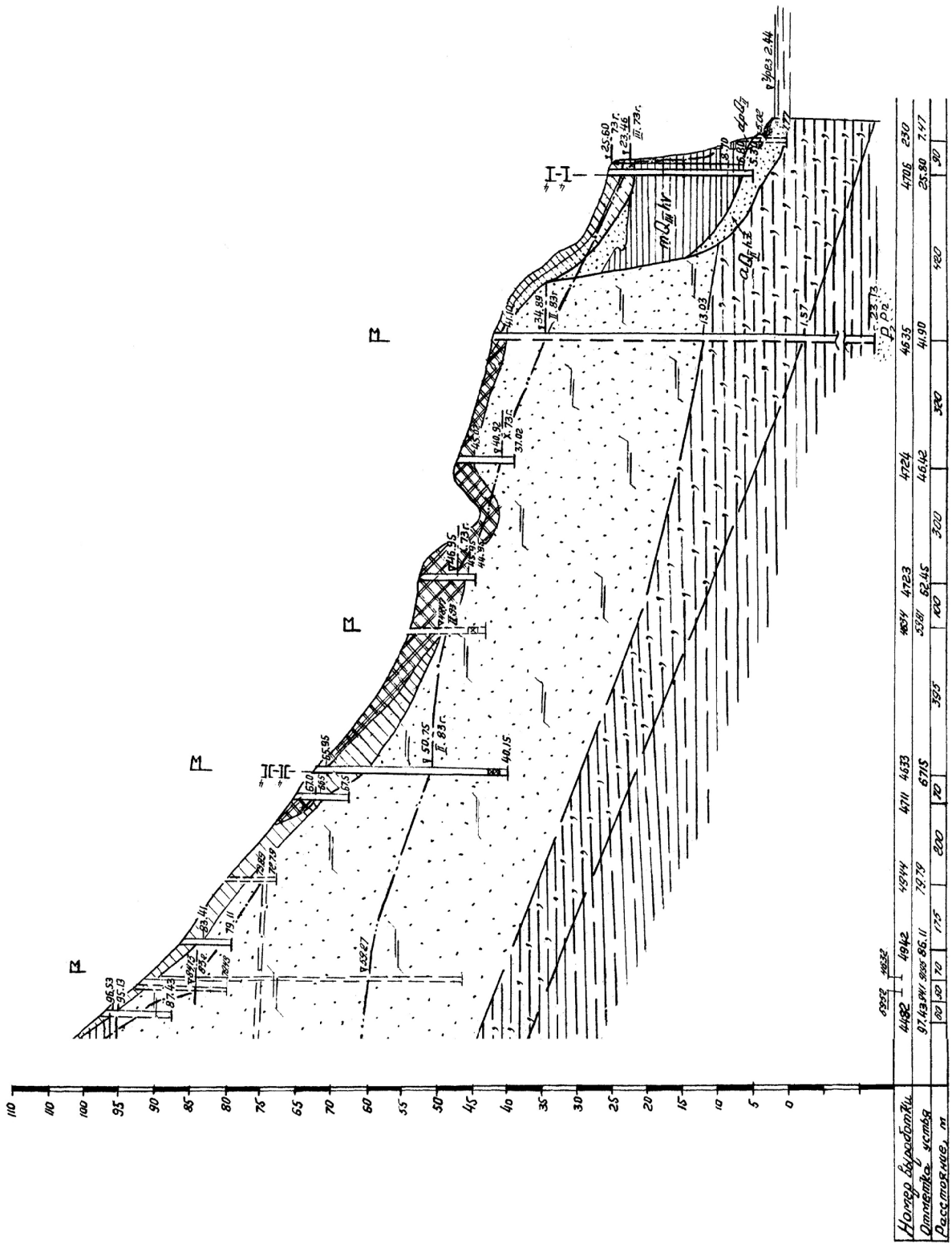


Рис. 1.7. Схематический геолого-гидрогеологический разрез хвалынской аккумулятивной террасы

По данным многолетних режимных наблюдений за период 1956—1982 гг. амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта составила 0,15...1,22 м в Тракторозаводском, 0,46...2,05 м в Центральном, 0,22...3,76 м в Советском, 0,27...2,79 м в Кировском и 0,11...3,39 м в Красноармейском районах. Повышенные значения амплитуд могут являться следствием нарушенного режима.

Подземные воды в ательских отложениях (LQ_{IIIat}) имеют ограниченное распространение на аккумулятивной хвалынской террасе. Водовмещающими являются пески и супеси. Горизонт гидравлически связан со смежными хазарским и мечеткинским и является безнапорным. Горизонт разгружается в Волгу и ее правобережные притоки, например Сухую Мечетку. Амплитуда колебания уровня воды горизонта по данным многолетних режимных наблюдений за период 1976—1982 гг. составляет 0,17...2,8 м в Тракторозаводском и 0,10...1,37 м в Красноармейском районах. Глубина уровня воды обычно превышает 5...10 м.

Подземные воды в лессовых верхнечетвертичных отложениях (LQ_{III}) имеют ограниченное распространение и развиты, в основном, в северной части городской территории, реже — в южной. Основное питание горизонта осуществляется со стороны смежных с ним горизонтов — мечеткинского и ергенинского. Относительным водоупором могут быть майкопские глины или глины лессовых среднечетвертичных отложений. Воды горизонта нередко сливаются с водами мечеткинских и верхнецарицынских отложений. Разгрузка горизонта осуществляется в речки, овраги и балки, а также в нижележащие горизонты. Глубина уровня воды горизонта может составлять от долей метра до 10 м и более. Амплитуда колебания уровня за многолетний период наблюдений 1962—1982 гг. составляет 0,38...1,93 м в Краснооктябрьском, 0,42...1,28 м в Центральном, 0,24...0,95 м в Дзержинском и 0,3...0,41 м в Советском районах.

Подземные воды в лессовых среднечетвертичных отложениях (LQ_{II}) имеют ограниченное распространение и приурочены к участкам древних эрозионных врезов гидрографической сети — долины рек (Сухая и Мокрая Мечетка, Царица), оврагов и балок (Баный, Долгий, Крутой, Ельшанка, Купоросная, Отрадная и др.). Водовмещающими являются пески, суглинки и глины. Горизонт тесно связан с вышеописанным, а также с аллювиальным и палеогеновыми, смежными с ним. На этих участках горизонты существуют в комплексе. Воды могут обладать напором в песках, перекрытых суглинками или глинами.

Подземные воды в хазарских отложениях (aQ_{IIhz}) — также ограниченно распространения, приурочены к пескам, реже суглинкам на участке хвалынской аккумулятивной террасы. В южной части города горизонт развит на всем протяжении от Волги до склонов Ергеней.

В северной части города (до б. Отрадная) горизонт питается за счет подтока вод со стороны смежных горизонтов (мечеткинских и верхнецарицынского). Горизонт тесно связан с Волгой и ее правобережными притоками, куда он осуществляет свою разгрузку. Нередко разгрузка горизонта бывает затруднена в связи с образовавшимися оползнями на участке берегового

склона Волги и ее притоков. В этом случае горизонт обладает напором. На участке от р. Царица до балки Букатинская напор может достигать 11...13 м, а ниже по течению Волги горизонт становится, как правило, безнапорным. В южной части города (южнее б. Отрадная) его питание осуществляется за счет ергенинского горизонта. Здесь хазарский горизонт безнапорный. Мощность горизонта меняется от 0 до 4 м в северной части города и от 0 до 20 м — в южной. В паводковый период горизонт подпирается водами Волги и питание его становится обратным, что особенно характерно для южной части города.

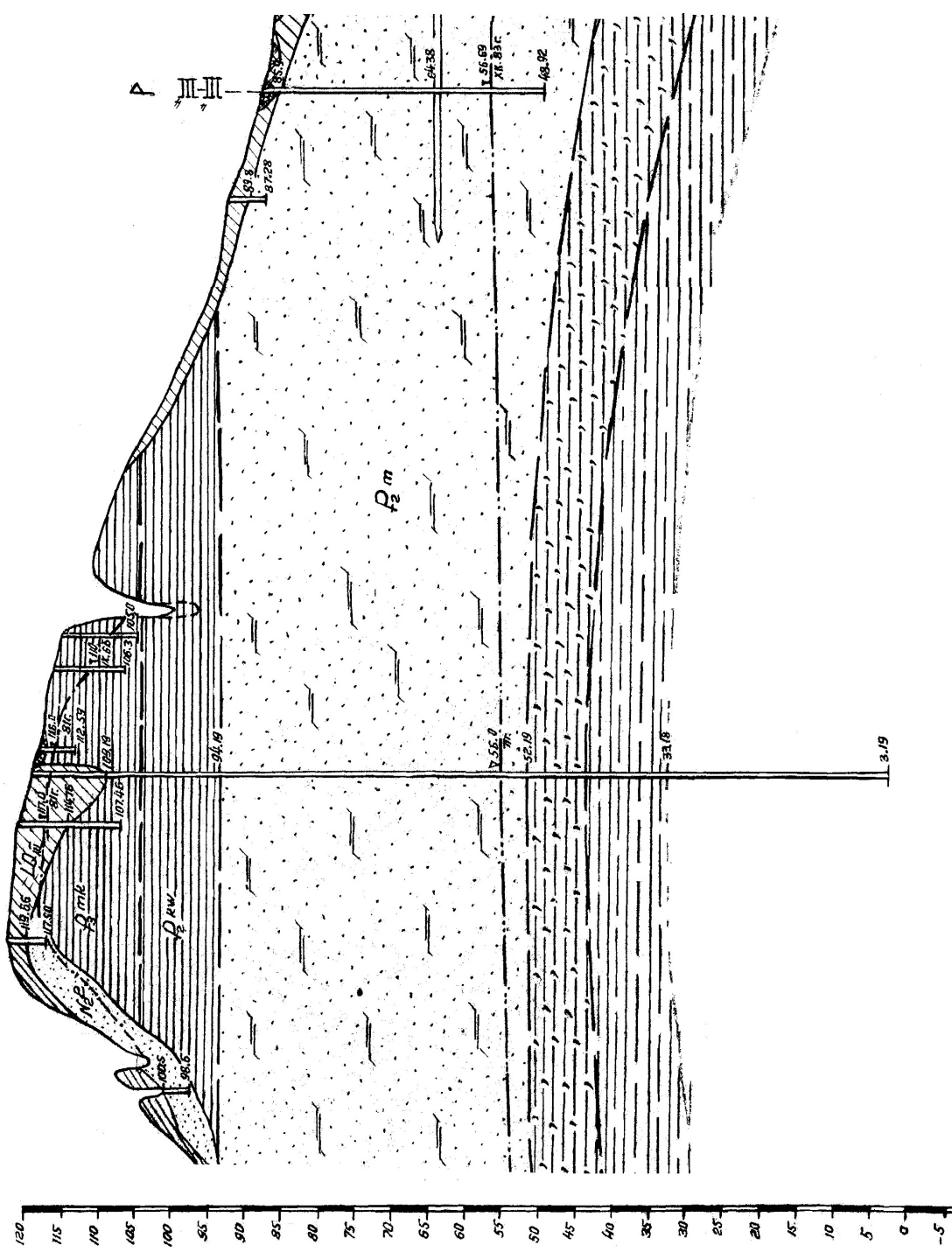
Амплитуда колебания уровня горизонта по данным многолетних режимных наблюдений в период 1954—1982 гг. составляет 0,12...0,65 м в Тракторозаводском, 0,39...3,45 м в Центральном, 0,18...1,96 м в Ворошиловском, 1,13...7,38 м в Советском, 0,13...6,90 м в Кировском и 0,15...3,43 м в Красноармейском районах. Наибольшая амплитуда соответствует южной части городской территории, где горизонт подчиняется режиму главных водотоков, находясь в тесной гидравлической связи с ними.

Подземные воды в нерасчлененных неоген-нижнечетвертичных отложениях ($N-Q_1$) — ограниченного распространения, имеют место в Тракторозаводском районе города и приурочены преимущественно к пескам с прослоями глин. Горизонт, как правило, безнапорный, но на участках с прослоями глин обладает местным напором. Относительным водоупором горизонта снизу является подстилающая толща песчано-алевритовых пород палеогена. На участках береговых склонов рек Сухая и Мокрая Мечетка горизонт испытывает подпор со стороны хвалыньских глин аккумулятивной террасы, что затрудняет его нормальную разгрузку. В этих специфических условиях имеет место перелив вод данного горизонта в пески над кровлей хвалыньских глин.

Амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений 1965—1982 гг. в пределах Тракторозаводского района составляет 0,15...1,37 м. Прямого участия в подтоплении территории горизонт не принимает и характеризуется глубиной залегания уровня воды от 3 до 10 м и более.

Подземные воды в скифских отложениях (N_2sk) имеют ограниченное распространение на склоне водораздела и приурочены к прослоям песков и слоистым глинам данного комплекса. Горизонт характеризуется ярусным строением водовмещающих песков в толще глин, обладает напором и имеет нередко несколько уровней воды. Питание он получает из ергенинского горизонта, а разгружается в смежные горизонты. Глубина уровня воды горизонта изменяется от 1 до 40 м.

Подземные воды в ергенинских отложениях (N_2e) приурочены, в основном, к пескам различной крупности, залегающим на размывтой поверхности майкопских глин (рис. 1.8), реже — на песчано-алевритовых породах мечеткинской свиты, являющихся относительным водоупором данного горизонта. Горизонт имеет распространение на участках водораздела и в верхней части Волжского склона. Горизонт, как правило, безнапорный. Его мощность составляет от 0 до 15 м в северной части города и достигает 30 м в южной (район б. Веселая). Перепад мощности объясняется неравномерной расчлененностью подстилающего водоупорного ложа.



Конец буровых работ	51.71	79.0	42.90	64.53	42.97	41.56	4.82	51.58	49.22	52.21
Отметка скважины	101.5	122.15	124.16	119.19	118.39	116.74	115.12	92.28	97.92	95.95
Расстояние, м	35.0	27.0	42.0	5.0	15.0	8.0		25.0		19.0

Рис. 1.8. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по Ворошиловскому району

В числе специфичных особенностей данного горизонта отмечается наличие в нем прослоев алевроитов и глин в толще песков, обеспечивающих ярусное строение данного горизонта в Дзержинском районе города. При этом верхний ярус горизонта представляется в виде локально развитого, формирующегося под влиянием инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций в процессе эксплуатации территории промышленными объектами (заводы моторный, ЖБИ-1 и др.). Нижний ярус горизонта существует в форме потока, направленного в овраги и балки эрозионной сети, например в б. Демидова. Основное питание нижнего яруса горизонта — инфильтрационное и за счет перелива вод верхнего яруса на краевых участках распространения глин (местных водоупоров).

Кроме того, имеет место выклинивание вод горизонта на склонах водораздела, где горизонт распространяется близко к поверхности земли. В этом случае обводняются выветрелые и элювиированные майкопские глины, что нередко служит причиной образования в них оползней. Горизонт принимает активное участие в питании смежных — хвалынского, бекетовского, сарпинского — горизонтов, а также лессовых верхнечетвертичных отложений и др.

Амплитуда колебания уровня воды горизонта по данным многолетних режимных наблюдений 1963—1982 гг. составляет 0,17...2,87 м в Краснооктябрьском, 0,5...2,4 м в Центральном и 0,18...1,06 м в Дзержинском районах.

Глубина уровня подземных вод горизонта различна и в условиях его ярусного строения составляет от долей метра до 5...8 м для верхнего яруса (типа верховодки) и свыше 10 м — для нижнего яруса (основного горизонта). В подтоплении территории принимает участие верхний ярус горизонта типа верховодки. При этом уровень воды нижнего яруса горизонта за период 1941—1983 гг. практически не изменил своего положения.

Подземные воды в майкопских отложениях (Р_{3тк}) также ограниченного распространения, развиты на водораздельных участках и приурочены к выветрелым и элювиированным зонам нередко слоистых майкопских глин (рис. 1.9). Воды горизонта обязаны своему происхождению смежным горизонтам, например ергенинскому, а также дополнительной инфильтрации воды на участках выхода майкопских глин на дневную поверхность. Разгрузка горизонта осуществляется в смежные горизонты, например в лессовые верхнечетвертичные. Амплитуда колебания кровли подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений 1967—1982 гг. составляет 0,32...0,77 м в Краснооктябрьском, 0,11...2,35 м в Центральном, 0,28...2,22 м в Дзержинском, 0,82...1,3 м в Советском и 0,48...2,6 м в Кировском районах. Глубина уровня подземных вод горизонта изменяется от долей метра до 6...7 м и более. Горизонт принимает участие в подтоплении территории.

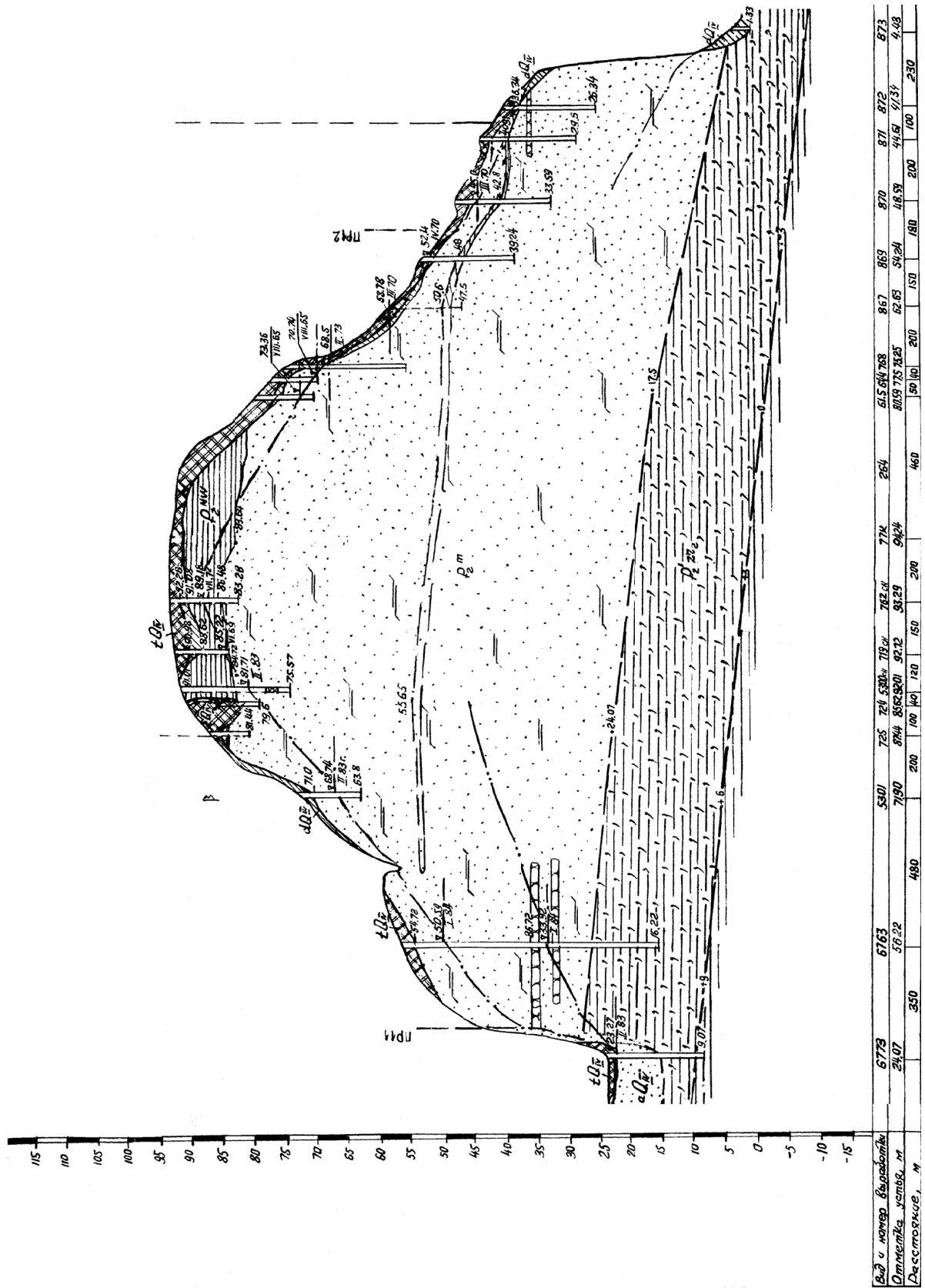


Рис. 1.9. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по Краснооктябрьскому району

Подземные воды в киевских отложениях ($P_2kw(e)$) распространены ограничено на участках водораздела (рис. 1.9). Водовмещающими являются тонкослоистые алевроитовые глины с прослоями песков, залегающие на кровле песчано-алевритовых пород мечеткинского горизонта палеогена. Своим происхождением горизонт обязан боковому подтоку вод из смежных горизонтов, например ергенинского, лессового, и дополнительной инфильтрации вод на участках выхода киевских глин на дневную поверхность, где глины являются выветрелыми и элювиированными. Амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений за 1979—1982 гг. составляет 0,31...0,84 м в Краснооктябрьском, 0,42...2,14 м в Центральном и 0,79 м в Дзержинском районах. Глубина уровня составляет 1...3 м и выше, что определяет влияние горизонта в подтоплении территории.

Подземные воды мечеткинского горизонта волгоградской свиты палеогена (P_2m) имеют практически повсеместное распространение и характеризуются двухъярусным строением водовмещающей толщи песчано-алевритовых пород выше и ниже оливково-зеленых глин этого генетического комплекса. Оливково-зеленые глины толщиной около 2 м являются относительным водоупором верхнего яруса мечеткинского горизонта и, как правило, разделяют ярусы друг от друга, что особенно характерно для северной части территории.

Верхний ярус ($t(P_2m)$) приурочен к неравномерно-сцементированной и трещиноватой толще песчано-алевритовых пород мечеткинского горизонта палеогена, содержащих в своем составе прослой «кофейных» глин, усложняющих строение данного горизонта, особенно на участках с близким от поверхности земли залеганием этих глин (рис. 1.10). Горизонт безнапорный, питание его инфильтрационное, существует в форме потока в неразрывной связи со смежными горизонтами.

Амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений за 1967—1982 гг. составляет 0,2 м в Тракторозаводском, 0,19...2,32 м в Краснооктябрьском, 0,29...1,79 м в Центральном, 0,16...0,52 м в Дзержинском и 0,22...2,16 м в Ворошиловском районах. Глубина уровня воды горизонта от долей метра до 7 м и больше, что указывает на существенный (до 10 м) подъем по сравнению с 1938 г.

Итак, все охарактеризованные выше водоносные горизонты входят в состав верхнего (палеоген-четвертичного) водоносного комплекса, существующего в северной части городской территории (ориентировочно до оврага Проломный). Здесь водоносный комплекс существует в форме грунтового потока с различным сочетанием входящих в его состав водоносных горизонтов и имеет общее направление в сторону р. Волга и других эрозионных форм рельефа. В связи с несовершенством их как дрен разгрузка частично проявляется на склонах в виде мочажин, родников и т.п. Комплекс осложнен ярусным строением отдельных его горизонтов (например, ергенинского, верхнее-мечеткинского и др.) и формируется под влиянием интенсивного освоения территории, подтапливая ее.

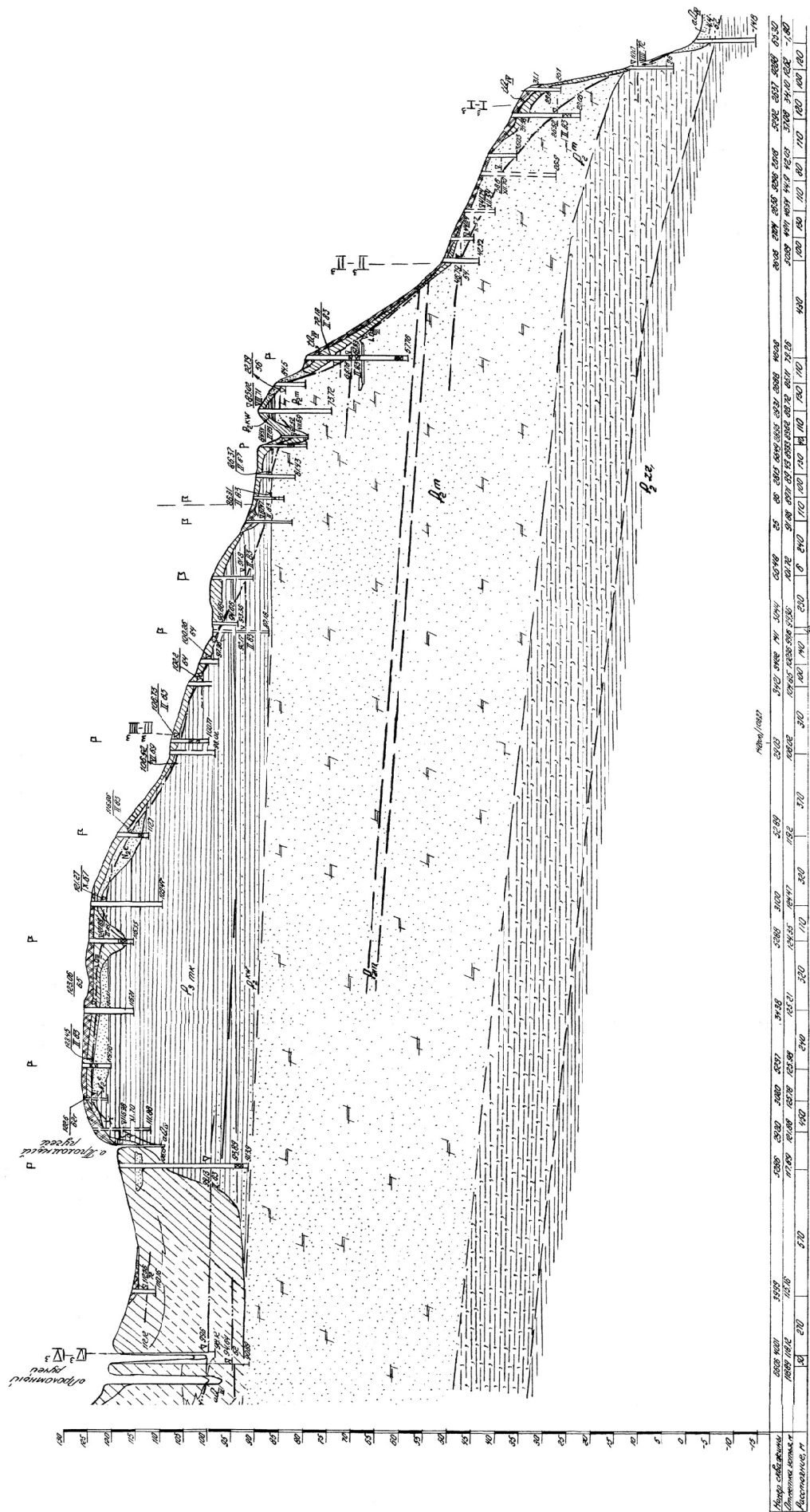


Рис. 1.10. Схематический геолого-гидрогеологический разрез мечеткинского горизонта

Режим подземных вод верхнего палеоген-четвертичного комплекса формируется под влиянием в основном техногенных факторов — инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций в пределах застроенной части города (промышленной и селитебной) и поливов в зоне одноэтажной застройки. Влияние природных режимобразующих факторов, в особенности атмосферных осадков, касается в основном незастроенной части территории и частного сектора. Влияние крупных водотоков на режим подземных вод верхнего водоносного комплекса распространяется, как правило, на смежные с ним горизонты в пределах участков долин. Свободные от засыпки мелкие балки и овраги на бортах долин и на водоразделе в большей степени контролируют положение уровня подземных вод комплекса, чем более крупные водотоки, относящиеся к основной гидрографической сети территории.

Площади формирования и распространения вод комплекса в пределах городской территории, как правило, совпадают. Комплекс преимущественно безнапорный и лишь отдельные его горизонты могут иметь местный напор. Воды комплекса, будучи первыми от поверхности земли, активно влияют на подтопление территории в результате воздействия основных режимобразующих факторов (утечки и полива, а также атмосферных осадков).

Нижний (палеогеновый) водоносный комплекс. *Подземные воды нижнего яруса мечеткинских слоев волгоградской свиты палеогена (P_{2m})* приурочены к неравномерно сцементированным и трещиноватым песчано-алевритовым породам, залегающим ниже оливково-зеленых глин. Воды горизонта безнапорные, практически повсеместного распространения, наиболее тесно (по сравнению с подземными водами верхнего водоносного комплекса) связаны с основными водотоками гидрографической сети территории, разгружаясь в них на своем пути движения к Волге. На участке берега Волги горизонт испытывает подпор со стороны хвалыньских глин, что затрудняет его разгрузку в водоток (например, в Волгу) и вызывает местный напор. В этих условиях разгрузка горизонта осуществляется с переливом в надхвалыньские пески, в слоистые хвалыньские глины и хазарские пески.

Глубина уровня воды горизонта на склонах речных долин составляет от нескольких метров до 20 м, а ближе к водоразделу — до 60...70 м. Амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений за 1973—1982 гг. составляет 0,18...1,34 м в Тракторозаводском, 0,13...1,36 м в Краснооктябрьском, 0,2...1,67 м в Центральном, 0,32...1,2 м в Дзержинском, 0,18...0,57 м в Ворошиловском, 0,10...1,29 м в Советском и 0,24...0,94 м в Кировском районах.

По данным сравнительного анализа уровень воды горизонта по состоянию на 1983 г. стал выше почти на 10,5 м относительно своего положения в 1936 г. (вблизи засыпанного оврага Банный).

Подземные воды в верхнецарицынских отложениях палеогена (P_{2zr_2}) распространены повсеместно и приурочены к пескам, песчаникам, песчано-алевритовым породам и алевритам, залегающим, как правило, на размытой поверхности аргиллитоподобных глин нижнецарицынской подсвиты (регио-

нальном водоупоре). Формирование данного горизонта, как и предыдущего, осуществляется на Донском склоне водораздела, т.е. за пределами городской территории. На своем пути к Волге горизонт частично разгружается в реках, оврагах и балках. На участках хвалынской аккумулятивной террасы горизонт испытывает подпор со стороны хвалынских и хазарских глин, слагающих террасу, аналогично предыдущему горизонту, вынужден передвигаться в надхвалынские пески, обводнять хвалынские слоистые глины по наслоению и частично разгружаться в хазарские пески. При этом воды горизонта могут обладать напором порядка 4,5 м или иметь более низкий уровень в алевроитах, чем в перерывающих песчано-алевроитовых породах, за счет повышенной трещиноватости и водопроницаемости. Амплитуда колебания уровня подземных вод горизонта по данным многолетних режимных наблюдений за 1976—1982 гг. составляет 0,19...1,96 м в Тракторозаводском и 0,74...1,47 м в Ворошиловском районах.

Основное питание нижнего (палеогенового) водоносного горизонта комплекса осуществляется на Донском склоне водораздела, откуда поток по уклону слоев и водоупорного ложа направляется в сторону Волги — месту своей разгрузки. На пути подземный поток комплекса частично дренируется правобережными притоками Волги. Дополнительное питание комплекс получает за счет перетока вод из палеоген-четвертичного комплекса на краевых участках раздельного слоя оливково-зеленых глин и в долинах рек. В южной части городской территории воды комплекса тесно связаны с водами вышележащих горизонтов и Волгой. Участие вод комплекса в подтоплении городской территории касается, как правило, лишь участков причленения хвалынской террасы к коренному склону и долинам рек.

На основе сбора данных о водопроницаемости грунтов изучаемой территории, по материалам изысканий прошлых лет и настоящей работы выполнено обобщение, результаты которого приведены в табл. 1.1. В его основе — 139 результатов полевых и лабораторных испытаний водопроницаемости грунтов зоны аэрации и 384 — водовмещающих грунтов. Разнообразный состав грунтов, слагающих городскую территорию, характеризуется широким диапазоном показателя водопроницаемости (коэффициента фильтрации K_f , м/сут.). В особенности это касается насыпных грунтов, ательских верхнечетвертичных, хазарских среднечетвертичных, ергенинских, майкопских, мечеткинских и верхнецарицынских горизонтов палеогена. Водовмещающие по наслоению глинистые разности отдельных горизонтов характеризуются неоднородной водопроницаемостью в горизонтальном и вертикальном направлении: озерно-аллювиальные, хвалынские, лессовые верхнечетвертичные, неоген-нижнечетвертичные, неогеновые, майкопские, киевские и др.

Водопроницаемость грунтов

№ п/п	Грунты		Гидрогеологические параметры		
	Стратиграфический индекс горизонта	Наименование	K_{ϕ} , м/сут.	a , м ² /сут.	μ
1	tQ_{IV}	Пески	1,5...28,8	12	0,22
		Песчано-гли- нистые породы	0,0014...0,93	—	—
		Глины	$5,6 \times 10^{-4} \dots 4,6 \times 10^{-4}$	—	—
2	dpQ_{IV}	Пески	1,6...18,5	—	—
		Пески	1,35...24,8	590	0,15
3	aQ_{IV}	Супеси	0,12...0,37	26	0,019
		Суглинки	0,005...0,03	—	—
4	$laQ_{III-IVbk(3)}$	Пески	0,5...7,0	—	—
		Супеси	0,01...0,8	2...19	0,05...0,1
		Глины	0,0021...0,0085	—	—
5	mQ_{IIIhv}	Пески	0,5...7,0	—	—
		Супеси	0,03...0,8	—	0,01
		Суглинки (слоистые глины)	0,003...0,01	188,5	0,0003
		Глины	0,00022...0,0025	—	—
6	LQ_{IIIat}	Пески	1,2...31,0	—	0,05
		Супеси	0,1...0,49	—	—
7	LQ_{III}	Пески	2,3...8,4	—	—
		Супеси	0,15...0,6	—	—
		Суглинки	0,009...0,1	—	—
8	aQ_{IIhz}	Пески	0,05...20,1	69,5...232,3	0,003...0,006
		Супеси	0,15...0,7	—	—
		Суглинки	0,01...0,071	—	—
		Глины	0,0017...0,0031	—	—
9	$N-Q_1$	Пески	1,1...12,0	—	—
		Глины слоистые	0,053...0,55	—	—
10	N_{2e}	Пески пылев. и мелкие	0,3...4,3	25...640	0,004...0,13
		Пески ср.кр. и крупные	4,3...37,0	—	—
11	P_3mk	Глины	0,0017...0,0085	26,4	0,00054
		Глины слоистые	0,016...0,59	8...25	0,0028...0,01
12	P_2kw	Глины слоистые	0,011...0,19	90	0,014
13	$t(P_2m)$	Песчаники	До 10	—	—
		Песчано- алевр. породы	0,22...2,0	75...169	0,02...0,2
		То же, с просл. глин	0,0017...0,094	12...101	0,001...0,05
14	P_2m	Песч.-алевр. породы	0,19...2,59	4...600	0,02...0,03
		То же, с просл. глин	0,001...0,03	—	—
		Пески	0,54...35,4	750,9	0,0053
		Песчаники	0,062...39,3	—	—
15	P_2zr_2	Песчано- алеврит. породы	0,047...23,5	—	—
		Алевролиты	0,2...22,1	21...887,5	0,0023...0,07

16	P_{2zr_1}	Алевролиты	0,30	—	—
		Аргиллиты слоистые	0,065	—	—

Режим подземных вод обоих водоносных комплексов изучался по скважинам режимной сети города, оборудованным в разное время Волгоградской геолого-разведочной экспедицией Мингео РСФСР и НижневолжТИСИЗ совместно с ТулаТИСИЗ. Результаты стационарных режимных наблюдений обобщены в форме соответствующих таблиц и графиков после их систематизации по наблюдаемым горизонтам в пределах административных районов города, отдельно срочные и за многолетний период. Общее количество режимных скважин, использованных для обобщения урвненного режима горизонтов, распределилось в соответствии с данными табл. 1.2.

Таблица 1.2

Распределение режимных скважин по административным районам

№ п/п	Административный район	Количество использованных наблюдательных скважин с данными срочных замеров многолетних наблюдений		
		ВГРЭ	НижневолжТИСИЗ	ВГРЭ
1	Тракторозаводский	32	11	27
2	Краснооктябрьский	36	12	39
3	Центральный	40	3	38
4	Дзержинский	32	4	25
5	Ворошиловский	26	—	21
6	Советский	28	10	25
7	Кировский	32	3	27
8	Красноармейский	43	13	30
Итого:		269	52+4	232

Обобщенные данные амплитуд колебания уровня горизонтов выделенных комплексов подземных вод за многолетний период (1954—1982 гг.) приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Амплитуды колебаний уровня горизонтов

№ п/п	Стратиграфический индекс горизонта	Количество скважин	Амплитуда, м	№ скважины (год установ- ленной ам- плитуды)	Местоположение скважин
1	$laQ_{III-IV}bk$	12	0,09...3,37	$\frac{4699}{38}$ (82), $\frac{6726}{3068}$ (76)	П-42, Р-43
2	$mQ_{III}hv$	18	0,11...3,76	$\frac{4702}{35}$ (80), $\frac{6743}{4555}$ (80)	П-43, К-28

3	Q_{IIIat}	25	0,10...2,80	$\frac{4693}{7a}$ (82), $\frac{2281}{80}$ (81)	Т-40, Ц-7
4	LQ_{III}	11	0,24...1,93	$\frac{3508a}{3508a}$ (80), $\frac{5293}{258}$ (82)	К-15, Н-12
5	aQ_{IIhz}	20	0,12...7,38	$\frac{2284}{83}$ (82), $\frac{6739}{2280a}$ (55)	Х-7, З-27
6	$(N-Q_I)$	4	0,15...1,37	$\frac{6729}{4545}$ (80), $\frac{6730}{3716}$ (65)	Ф-9, Ф-9
7	N_{2e}	17	0,17...2,87	$\frac{19a}{19a}$ (76), $\frac{54}{54}$ (76)	Р-10, Р-12
8	P_{3mk}	28	0,11...2,60	$\frac{4147}{4147}$ (68), $\frac{4660}{78}$ (81)	О-16, П-16
9	P_{2kw}	7	0,31...2,14	$\frac{5297}{262}$ (82), $\frac{6648}{254}$ (82)	О-13, М-18
10	$t(P_{2m})$	42	0,16...2,32	$\frac{58}{58}$ (75), $\frac{58}{58}$ (84)	Л-19, Л-19
11	P_{2m}	44	0,10...1,67	$\frac{104a}{104a}$ (82), $\frac{4608}{140a}$ (81)	И-24, Н-19
12	P_{2zr_2}	4	0,19...1,96	$\frac{2289}{90}$ (80), $\frac{2278}{63}$ (79)	Х-7, Ц-8

Сравнительный анализ разновременных (за многолетний период) уровней подземных вод горизонтов выявил следующие особенности их современного положения. Так, водоносный горизонт в насыпных грунтах северной части городской территории является вновь сформировавшимся под влиянием насыпки эрозионных форм рельефа (оврагов, балок, речек). По-прежнему остается высоким уровень вод бекетовского и сарпинского горизонтов в южной части города в условиях ликвидации их естественных дрен и подпора водами канала Волго-Дон. Повысился уровень воды хвалынского и ательского горизонтов, особенно на оползневых участках и вблизи канала Волго-Дон соответственно. Уровень ергенинского горизонта мало изменился, зато на его глинистых и алевроитовых прослоях сформировалась верховодка с близким от поверхности земли залеганием уровня воды. Стал выше уровень воды майкопского и киевского горизонтов. Поднялся уровень воды мечеткинского (верхний ярус) горизонта, появилась верховодка на прослоях и линзах кофейных и зеленовато-серых глин. Все вышеназванные горизонты располагаются, как правило, на освоенных или осваиваемых участках городской территории и принимают активное участие в ее подтоплении.

Основными режимобразующими факторами, обеспечивающими подъем уровня подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов (комплексов) или новообразование техногенных горизонтов в пределах осваиваемой части городской территории, являются в первую очередь антропогенные, связанные с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Это — утечки из водонесущих коммуникаций, чрезмерный полив насаждений, ликвидация эрозионных форм рельефа (естественных дрен), сохранение поверхностного и ухудшение подземного стока, ухудшение фильтрационных свойств грунтов под сооружениями в связи с их уплотнением под нагрузкой, барражный эффект от заглубленных сооружений или их элементов (свай и т.п.), конденсация водяных паров под застройкой, искусственный режим водотоков и др. Роль природных режимобразующих факторов (инфильтрация атмосферных осадков) наиболее ощутима на незастроенных территориях.

Минерализация и солевой состав вод отдельных горизонтов формируется под дифференцированным воздействием процессов выщелачивания, химического и биологического выветривания горных пород, рассоления, континентального засоления, ионного водообмена, перетока между горизонтами, утечками из коммуникаций и отстойников, в том числе утечками загрязненных вод.

Основные показатели агрессивности подземных вод выделенных горизонтов обобщены и сведены в табл. 1.4. По имеющимся данным, подземные воды верхнего (палеоген-четвертичного) водоносного комплекса имеют, как правило, повышенную агрессивность и характеризуются при этом высоким содержанием закисного железа, мг/л: в насыпных грунтах — до 30, в бекетовских и сарпинских — до 20, в хвалынских — до 60, в лессовых верхнечетвертичных — до 40, в ергенинских — до 12, в майкопских — до 60, в киевских — до 30, в мечеткинских (верхний ярус) — до 40. Содержание закисного железа в подземных водах нижнего (палеогенового) водоносного комплекса — до 40 мг/л.

Показатели агрессивности подземных вод

Водовмещающие грунты горизонты	Стратиграфический индекс горизонта	Кол-во используемых анализов ВГРЭ/НВИСИЗ	Основные показатели агрессивности						Общ. содерж. солей, г/л
			Жестк. общ. <i>H</i>	pH	CO ₂ агр., мг/л	Mg, мг/л	SO ₄ , мг/л		
Суглинки	<i>tQ_{IV}</i>	—/16	27,1...296,8	3,1...7,9	0...124,8	5,8...107,3	144,8...2548,0	0,5...2,9	
Пески, супеси, суглинки	<i>fs-aQ_{IV}</i>	—/13	9...134,4	6,9...8,7	0...30,8	4,9...209,1	63,4...2794,1	0,4...8,7	
Пески, супеси, суглинки	<i>laQ_{III-IVbk}</i>	31/34	11,8...987,0	2,7...8,8	0...118,8	24,5...3838,3	111...18004,8	0,7...47,1	
Супеси, суглинки	<i>mQ_{IIIhv}</i>	42/9	3,9...538,0	4,0...8,2	0...57,2	10...1838,6	53...13660,0	0,4...37,1	
Пески, супеси, суглинки	<i>LQ_{IIIat}</i>	30/—	2,8...299,6	3,0...7,6	Не опр.	7...730,0	11...2315,0	0,3...11,5	
Пески, суглинки, супеси	<i>LQ_{III}</i>	14/16	5,1...201,9	2,8...8,3	0...124,8	11,2...511,0	48,2...3219,6	0,4...6,9	
Пески с просл. суглинков	<i>aQ_{IIIhz}</i>	36/3	5,0...246,4	3,0...7,0	13,2...30,8	5,0...742,0	До 935,0	0,4...5,4	
Пески	<i>(N-Q_I)</i>	17/—	4,5...19,0	5,6...6,7	Не опр.	10,0...41,0	7,0...106,0	0,3...0,7	
Пески	<i>N_{2e}</i>	34/16	11,2...145,6	4,2...8,1	0...66,0	5,6...505,0	48,0...4619,0	0,3...11,2	
Глины	<i>P_{3mk}</i>	31/24	2,8...582,0	2,6...8,3	0...70,4	6,0...1722,0	31,0...5818,6	0,3...18,8	
Глины	<i>P_{2kw}</i>	8/4	34,4...196,0	4,3...7,1	8,8...79,2	122,6...559,0	2312...5154,0	4,3...9,0	
Песчано-алевр. порода (выше ал.-зел. глин)	<i>t(P_{2m})</i>	65/32	5,15...448,0	2,6...8,5	0...101,2	3,9...985,0	39,5...5586,0	0,3...15,9	
Песчано-алевр. порода (ниже ал.-зел. глин)	<i>P_{2m}</i>	70/37	4,5...135,5	3,4...7,9	0...66,0	5,0...391,0	112,0...4646,0	0,4...9,2	
Пески, алевролиты, песчаники	<i>P_{2z12}</i>	8/14	3,9...225,8	4,6...7,7	0...79,2	15...420,2	12,0...1419,7	0,3...2,8	
Итого:		386/208							

1.4. СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Характеристика состава и свойств грунтов, распространенных в пределах города, приводится по ранее выполненным работам [61, 62, 69, 82—88 и др.], в которых для основных типов грунтов были разработаны региональные таблицы обобщенных характеристик, в том числе для просадочных грунтов — таблицы относительной просадочности, а для набухающих хвалынских глин — таблицы относительного набухания.

В геологическом строении территории города принимают участие преимущественно дисперсные отложения четвертичной, неогеновой и палеогеновой систем. Они представлены подгруппами глинистых и лессовых пород и осадочных несвязных пород.

Характерной особенностью территории Волгограда, вызванной засушливостью климата, низкой увлажненностью грунтов, является высокая чувствительность глинистых и лессовых грунтов к изменению влажности.

В связи с крайне высокой неоднородностью техногенных накоплений, представленных грунтовой насыпью с включением строительного мусора, литейного шлака, формовочных песков, обобщение их физических свойств не представляется возможным.

Среди *глинистых пород четвертичного возраста* в пределах города наиболее изученными и распространенными являются породы аллювиального, озерно-аллювиального и морского происхождения.

Глинистые породы современных аллювиальных отложений представлены глинами и суглинками пойменной и старичной фаций. Содержание глинистой фракции в глинах пойменной и старичной фаций составляет в среднем 20,6...24,6 %, в пойменных суглинках в среднем 14,8 %. Характерной особенностью глинистых разновидностей аллювия является высокое содержание песчаных частиц, в основном пылеватых — 25...26 % в глинах и 45 % в суглинках. Показатели свойств пород приведены в табл. 1.5, 1.6 и 1.7. Для них характерно изменение физико-механических свойств в вертикальном разрезе — увеличение влажности с глубиной, сопровождающееся соответствующими изменениями объемной массы, консистенции, степени влажности и др.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные верхнечетвертично-современные глинистые породы распространены в пределах Бекетовской низины и Сарпинской низменности и представлены преимущественно темно-серыми иловатыми, карбонатизированными глинами и суглинками. Глины характеризуются значительным разбросом показателей физических свойств: влажность на границе текучести колеблется от 0,31 до 0,81, на границе пластичности от 0,18 до 0,39, число пластичности от 0,17 до 0,42. Природная влажность изменяется от 0,17 до 0,52, степень влажности от 0,75 до 1,0, консистенция от твердой до текучей, но преимущественно мягкопластичная. Для пород характерна высокая сжимаемость и низкое сопротивление сдвигу. Показатели свойств пород приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.5

Физико-механические свойства современных аллювиальных глинистых пород пойменной и старичной фаций (по [105])

Показатели	Пойменная фация						Старичная фация			
	Глина			Суглинок			Глина			
	\bar{x}	δ	n	\bar{x}	δ	n	\bar{x}	δ	n	
Природная влажность	0,31	0,06	172	0,26	0,05	162	0,38	0,11	254	
Плотность, т/м ³	1,83	0,09		1,86	0,09		1,83	0,11		
Коэффициент пористости	0,95	0,17		0,85	0,11		1,07	0,29		
Степень влажности	0,88	0,10		0,85	0,14		0,96	0,04		
Граница текучести	0,45	0,06		0,34	0,04		0,52	0,09		
Граница пластичности	0,23	0,04		0,21	0,03		0,26	0,05		
Число пластичности	0,22	0,04		0,13	0,03		0,26	0,06		
Показатель текучести	0,40	0,27		0,41	0,45		0,69	0,44		
Модуль общей деформации, МПа	11,0	14,0	76	11,0	8,00	27	1,62	1,35	54	
Сопротивление консолидированному сдвигу:	угол внутреннего трения, град.	18	—	48	24	—	27	18	—	133
	удельное сцепление, кПа	37	—	48	29	—	27	55	—	133

Примечание: \bar{x} — среднее значение показателя; δ — среднеквадратическое отклонение; n — число определений.

Таблица 1.6

Зависимость сжимаемости современных аллювиальных глин пойменной фации от коэффициента пористости (по [105])

Коэффициент пористости	Модуль общей деформации, 10 ⁵ Па	Коэффициент пористости	Модуль общей деформации, 10 ⁵ Па
0,550	19	0,850	11
0,650	16	0,950	8
0,750	13	1,050	5
		1,150	3

Таблица 1.7

Зависимость сжимаемости и сопротивления сдвигу современных аллювиальных глин старичной фации от плотности (по [105])

	Плотность, т/м ³			
	1,65	1,75	1,85	1,95
Модуль общей деформации, 10 ⁵ Па	9	16	22	29
Угол внутреннего трения, град.	3	4	6	7
Удельное сцепление, кПа	13	33	60	97

Глинистые породы морского происхождения представлены глинами и суглинками нижнехвалынского возраста, имеющими широкое распространение в пределах Прикаспийской низменности (Красноармейский, Кировский районы, небольшие участки в Тракторозаводском, Центральном, Ворошиловском, Советском районах).

Физико-механические свойства аллювиальных и озерно-аллювиальных верхнечетвертично-современных глинистых пород (по [105])

Показатели	Глины			Суглинки			
	\bar{x}	δ	n	\bar{x}	δ	n	
Природная влажность	0,32	0,04	101	0,25	0,04	71	
Плотность, т/м ³	1,86	0,04		1,96	0,05		
Коэффициент пористости	0,94	0,09		0,70	0,09		
Степень влажности	0,93	0,05		0,97	0,05		
Граница текучести	0,49	0,06		0,31	0,05		
Граница пластичности	0,25	0,03		0,19	0,03		
Число пластичности	0,24	0,03		0,12	0,03		
Показатель текучести	0,29	0,20		0,50	0,35		
Модуль общей деформации, МПа	42	—	22	4,7	3,0	14	
Сопротивление консолидированному сдвигу:	угол внутреннего трения, град.	17	—	14	24	—	11
	удельное сцепление, кПа	31	—	14	20	—	11

Морские нижнехвалынские глины по условиям залегания, значительно влияющим на их свойства, подразделяются на два типа. Глины первого типа лежат в относительно глубоких депрессиях. В пределах города они залегают на породах хазарского горизонта и ниже уровня грунтовых вод. Мощность глин на некоторых участках достигает 25 м.

Второй тип глин распространен на более высоких отметках, перекрывает породы ательского горизонта и находится выше уровня грунтовых вод. Мощность глин невелика и изменяется от 0 до 5 м.

Глины разбиты сетью трещин, сильно выветрелые. Нижняя часть разреза представляет частое переслаивание глин тонкими прослоями пылеватого песка.

Минералогический и гранулометрический составы глин обеих разновидностей не имеют существенных отличий. Различие в гидрогеологических условиях обусловило и различное содержание в глинах легко- и среднерастворимых солей, которое составляет в глинах первого типа 1,01 %, а в глинах второго — 0,2 %.

Наиболее значительны различия физико-механических свойств этих глин. Так, глины первого типа имеют более высокую влажность и пористость, повышенную глинистость, низкие значения угла внутреннего трения, удельного сцепления и модуля деформации. Глинистость глин второго типа (положительных структур) меньше, влажность невелика, пористость низкая, показатели механических свойств высокие (табл. 1.9, 1.10).

Сравнительные характеристики хвалынских глин (по [105])

Тип залега- ния	При- родная влаж- ность	Коэф- фици- ент по- ристо- сти	Грани- ца те- куче- сти	Грани- ца пла- стич- ности	Число пла- стич- ности	Пока- затель теку- чести	Мо- дуль общей де- форма- ции, град.	Угол внут- ренне- го тре- ния, град.	Удельное сцепле- ние, кПа
Первый	0,49	1,26	0,73	0,28	0,45	0,46	5,0	11	30
Второй	0,28	0,85	0,52	0,25	0,27	0,1	20,0	16	39

Т а б л и ц а 1.10

Физико-механические свойства
морских нижнехвалынских глин и суглинков (по [105])

Показатели	Глина			Суглинок			
	\bar{x}	δ	n	\bar{x}	δ	n	
Природная влажность	0,35	0,10	405	0,20	0,05	132	
Плотность, т/м ³	1,84	0,10		1,93	0,09		
Коэффициент пористости	1,04	0,26		0,68	0,08		
Степень влажности	0,94	0,07		0,78	0,15		
Граница текучести	0,56	0,08		0,31	0,03		
Граница пластичности	0,28	0,03		0,17	0,02		
Число пластичности	0,28	0,04		0,14	0,02		
Показатель текучести	0,23	0,31		0,18	0,36		
Модуль общей деформации, МПа	5,0	3,5	218	7,3	3,6		
Сопротивле- ние консоли- дированному сдвигу:	угол внутрен- него трения, град.	15	—	263	27	—	73
	удельное сцеп- ление, кПа	36	—	263	22	—	73

В глинах обеих разновидностей четко выражена однотипная изменчивость показателей физико-механических свойств от глубины. Показатели пластичности возрастают к середине толщи глин и затем снижаются к подошве. Отмечается увеличение влажности, пористости и консистенции, которые к подошве убывают в связи с более высокой уплотненностью и низкой глинистостью пород. Прочность пород закономерно уменьшается к центру разреза и снова возрастает к подошве в соответствии с изменением влажности и пористости пород.

Хвалынские глины являются набухающе-усадочными, и их набухаемость также зависит от состава и состояния. При увлажнении прочностные и деформационные характеристики резко снижаются (табл. 1.11).

Представляют интерес также процессы, имеющие обратную направленность и приводящие к снижению влажности грунта (при эксплуатации с горячим технологическим режимом, при понижении грунтовых вод с помощью дренажа, за счет транспирации влаги растениями и т.п.). Они ведут к упрочению и снижению сжимаемости грунтов, т.е. к улучшению их несущих

свойств, которое может быть учтено при проектировании сооружений. Показатели свойств грунтов приведены в табл. 1.12 и 1.13.

Т а б л и ц а 1.11

Зависимость относительного набухания морских хвалыньских глин от влажности и пористости (по [105])

Граница текучести	Нагрузка на грунт, МПа	Коэффициент пористости					
		0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15
0,40...0,50	0,0	0,105	0,076	0,048	0,021	—	—
	0,1	0,052	0,038	0,013	—	—	—
	0,3	0,027	0,015	0,003	—	—	—
0,50...0,60	0,0	0,131	0,103	0,075	0,047	0,019	—
	0,1	0,068	0,048	0,029	0,010	—	—
	0,3	0,035	0,023	0,011	—	—	—
0,60...0,70	0,0	0,157	0,129	0,101	0,073	0,045	0,017
	0,1	0,084	0,064	0,046	0,026	0,008	—
	0,3	0,043	0,031	0,019	0,007	—	—
0,70...0,75	0,0	0,176	0,148	0,120	0,092	0,064	0,036
	0,1	0,095	0,076	0,058	0,038	0,019	—
	0,3	0,049	0,037	0,035	0,013	0,001	—

Т а б л и ц а 1.12

Зависимость показателей сопротивления сдвигу хвалыньских глин от влажности (по [105])

Природная влажность	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, кПа
0,15	21	41
0,25	18	40
0,35	14	37
0,45	12	33
0,55	10	27
0,65	10	19

Т а б л и ц а 1.13

Зависимость модуля деформации морских хвалыньских глин от влажности (по [105])

Природная влажность	Модуль общей деформации, МПа
0,25	26
0,29	14
0,33	10
0,37	7
0,41	6
0,45	5

Морские хвалыньские суглинки в пределах города залегают в виде линз и прослоев среди шоколадных глин. Типичная коричневая окраска местами переходит в желтую, буровато-желтую. Для суглинков характерна повсеместная засоленность как легкорастворимыми, так и среднерастворимыми соля-

ми, содержание которых соответственно изменяется от 0,1...3 до 4...5 % и от 0,1 до 10...14,8 %.

Условия залегания суглинков относительно уровня грунтовых вод значительно влияют на их свойства: консистенция их выше уровня грунтовых вод твердая и полутвердая, ниже — тугопластичная-текучая. Прочностные и деформационные характеристики суглинков, как и у хвалыньских глин, зависят от влажности: угол внутреннего трения, удельное сцепление и модуль общей деформации с повышением влажности снижаются. Модуль деформации суглинков также существенно зависит от влажности. Показатели свойств пород приведены в табл. 1.10.

Среди дочетвертичных глинистых пород наиболее распространенными являются *глины майкопской серии олигоцена-миоцена*. В северной части города эти глины залегают почти с поверхности или перекрыты толщей лессовых и неогеновых пород. Мощность их здесь не превышает 20...30 м. Сверху они, как правило, выветрелые. Типичная темная окраска их сменяется бурой или ржаво-бурой. В зоне выветривания отмечается значительная трещиноватость, образование вторичных минералов — гипса, ярозита, гидроокислов железа.

Южнее б. Отрада мощность глин увеличивается до 90...100 м, увеличивается и глубина их залегания. Эти различия в условиях залегания отражаются и на свойствах глин. Среднее значение коэффициента пористости глин, залегающих на глубине более 20 м (на юге города) равно 0,95...0,99, а для глин с глубиной залегания 1...18 м (Дзержинский, Краснооктябрьский районы) — 1,26...1,28 (табл. 1.14).

Т а б л и ц а 1.14

Физические свойства майкопских глин

Показатели	Естественная влажность, %	Объемный вес, т/м ³	Удельный вес, т/м ³	Вес скелета, т/м ³	Коэффициент пористости	Коэффициент водонасыщенности	Предел текучести	Предел раскатывания	Число пластичности	Коэффициент консистенции
Максимальные значения	48,0	2,02	2,86	1,65	1,319	1,0	95,6	50,7	56,0	+0,72
Минимальные значения	24,0	1,71	2,64	1,19	0,687	0,84	48,3	19,7	18,2	-0,49
Средние значения	38,0	1,87	2,72	1,38	0,951	0,96	77,5	33,4	39,3	+0,06
Количество исследований	311	233	236	235	225	229	318	318	318	—

Майкопские глины относятся к набухающе-усадочным грунтам. В естественных условиях эти глины находятся выше уровня грунтовых вод. Консистенция их твердая и полутвердая. На застроенной территории в результате обводнения при утечках из водопроводящих коммуникаций, поливе зеленых насаждений и т.д. они набухают. Причем для глин, залегающих на неболь-

шой глубине (Ангарский поселок, Дзержинский район, микрорайон № 317 Краснооктябрьского района), характерно сравнительно небольшое набухание: при нагрузке 0,05 МПа их относительное набухание редко достигает 0,02...0,03. Давление набухания обычно не превышает 0,3 МПа, чаще 0,15...0,2 МПа. Влажность набухания по ограниченному количеству данных составляет 0,44...0,63. При увлажнении глин отмечается снижение модуля деформации. Так, например, модуль деформации при нагрузке 0,2 МПа с природной влажностью равен 20 МПа, а при замачивании снижается до 13,0 МПа. Прочностные и деформационные свойства глин приведены в табл. 1.15, 1.16 и 1.17.

Т а б л и ц а 1.15

Модуль деформации майкопских глин (по [62])

Место отбора	Волжская ГЭС	Мамаев курган	Ангарский поселок	Микрорайон № 371
Количество определений	40	23	58	51
Модуль деформации:				
минимальный	48	37	38	15
средний	109	133	109	112
максимальный	639	434	274	484

Т а б л и ц а 1.16

Прочностные свойства майкопских глин (по [62])

Место отбора	Волжская ГЭС	ВДСК	Мамаев курган	Ангарский поселок	Микрорайон № 317
Количество определений	163	64	40	29	57
Угол внутреннего трения φ	$\frac{15^\circ}{5^\circ 33'}$	$\frac{17^\circ}{—}$	$\frac{18^\circ}{2^\circ 10'}$	$\frac{18^\circ}{8^\circ 50'}$	$\frac{19^\circ}{5^\circ 48'}$
Сцепление C , кг/см ²	$\frac{0,56}{0,38}$	$\frac{0,45}{—}$	$\frac{0,60}{0,25}$	$\frac{0,43}{0,23}$	$\frac{0,33}{0,18}$

Примечание: в числителе даны средние значения, в знаменателе — их средние квадратические основания.

Т а б л и ц а 1.17

Сжимаемость майкопских глин

Показатели	Коэффициент пористости ϵ при различных нагрузках P , кг/см ²			Относительное сжатие i в интервале нагрузок 1...5 кг/см ² , %	Модуль деформации E , кг/см ² , в интервале нагрузок 1...5 кг/см ²
	$P=1$	$P=3$	$P=5$		
Максимальные значения	1,383	1,372	1,186	8,3	48,3
Минимальные значения	0,696	0,684	0,675	1,3	323,0
Средние значения	0,950	0,930	0,894	1,8	139,0
Количество исследований	54	54	27	—	—

Опоковидные глины волгоградской свиты эоцена (ельшанские слои) в пределах города залегают под мощной толщей глин майкопской серии олигоцена-миоцена, и только в северной части города (Краснооктябрьский район, незначительно Дзержинский, Ворошиловский) на склонах балок и оврагов они выходят на поверхность или перекрыты небольшим чехлом лессовых пород. Как правило, глины ненабухающие, но в единичных случаях при увеличении влажности отмечается слабое их набухание. Физико-механические свойства глин приведены в табл. 1.18, 1.19 и 1.20.

Т а б л и ц а 1.18

Физические свойства киевских глин

Значения показателей	W, %	γ_0 , т/м ³	ϵ	g	Пластичность, %			$\frac{W - W_p}{W_n}$	Количество образцов
					W _T	W _p	W _n		
Район Мамаева кургана									
Среднеарифметическое	28,9	1,85	0,909	0,87	56,0	28,0	28,0	0,03	26
Максимальное	42,1	2,02	1,291	0,94	80,0	46,0	44,0	0,28	
Минимальное	20,7	1,60	0,644	0,69	36,0	18,0	16,0	-0,36	
Квартал № 827 Тракторозаводского района									
Среднеарифметическое	24,4	1,84	0,850	0,79	42,6	25,3	17,3	-0,08	11
Максимальное	33,1	1,95	1,175	0,97	57,0	39,0	28,0	0,16	
Минимальное	15,3	1,65	0,691	0,35	27,0	17,0	7,0	-0,42	
Квартал № 443 Советского района									
Среднеарифметическое	24,2	1,67	0,940	0,67	51,5	28,9	22,6	-0,19	13
Максимальное	35,1	1,81	1,134	0,79	65,0	42,0	33,0	0,22	
Минимальное	14,9	1,44	0,730	0,34	41,0	19,0	16,0	-0,40	

Т а б л и ц а 1.19

Сопротивление сдвигу киевских глин по схеме консолидированного сдвига

Значения показателей	Консолидированный сдвиг			Неконсолидированный сдвиг		
	tgφ	φ	C, кг/см ²	tgφ	φ	C, кг/см ²
Нормативные (среднее арифметическое)	0,424	23° 00'	0,693	0,502	26° 40'	0,828
Расчетные (среднее минимальное)	0,324	18° 00'	0,580	0,441	23° 45'	0,378
Минимальные	0,207	11° 40'	0,581	0,156	8° 52'	0,370

Сжимаемость киевских глин

Коэффициент пористости ε	Модуль деформации E , кг/см ²	
	по компрессионной кривой	скорректированный
0,85	220	310
0,90	190	260
0,95	170	220
1,00	145	180
1,05	120	145
1,10	100	115

Оливково-зеленые глины волгоградской свиты эоцена (мечеткинские слои) слоистые, трещиноватые, ожелезненные по трещинам. Мощность их не выдержана и изменяется от 0,1 до 2,9 м. В нижней части глины опесчанены. В естественном состоянии глины имеют твердую и полутвердую консистенцию. Влажность их в среднем составляет 0,36. Залегают они выше уровня грунтовых вод.

Оливково-зеленые глины относятся к набухающе-усадочным грунтам. По величине свободного набухания (до 0,078) они относятся к средненабухающим. Давление набухания глин достигает 0,5 МПа, влажность набухания 0,51. Прочностные и деформационные характеристики оливково-зеленых глин приведены в табл. 1.21 и 1.22.

Т а б л и ц а 1.21

Обобщенные значения модуля деформации оливково-зеленых глин (по [105])

Коэффициент пористости ε	Модуль деформации E , МПа
0,60	11,8
0,70	11,3
0,80	10,8
0,90	10,3
1,00	9,8
1,10	9,3
1,20	8,8
1,30	8,3
1,40	7,8
1,50	7,3
1,60	6,8

Т а б л и ц а 1.22

Обобщенные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения оливково-зеленых глин (по [105])

Сопrotивление консолидированному сдвигу: угол внутреннего трения, град. удельное сцепление, кПа	Природная влажность				
	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
	23	20	18	15	12
	51	42	32	23	11

Лессовые породы. Типичные лессовые породы верхнечетвертичного валдайского горизонта, имеющие повсеместно покровное залегание, слагают водоразделы и склоны Приволжской возвышенности и Ергеней. Представлены они толщей макропористых и известковистых суглинков палево-желтого цвета с подчиненными прослоями и линзами супесей. Мощность лессовых пород, как правило, не превышает 12 м, в некоторых случаях увеличивается до 50 м.

Лессовые породы Прикаспийской низменности, известные под названием ательского горизонта, представлены лессовидными суглинками и супесями желто-бурого и желто-серого цвета, макропористыми, сильно известковистыми. Взаимозамещающиеся суглинки и супеси в нижней части разреза постепенно переходят в мелкие и пылеватые пески. Мощность суглинков и супесей колеблется от 4 до 8 м, реже до 12 м.

Ательские отложения в большинстве случаев перекрыты верхнечетвертичными хвалынскими морскими глинами и суглинками, в связи с этим они, как правило, залегают на глубине от 1 до 10 м ниже поверхности земли. Подстилающими являются среднечетвертичные континентальные отложения хазарского горизонта.

Показатели физико-механических свойств обоих типов лессовых пород обладают заметным сходством (табл. 1.23).

Оба типа отложений, в природных условиях являющиеся необходимыми, весьма чувствительны к дополнительному замачиванию, которое приводит к резкому снижению показателей прочности и сжимаемости, а также к просадочным деформациям. Так, например, средняя величина модуля деформации лессовых и ательских отложений, составляющая при влажности 0,05 соответственно 37 и 59 МПа, при увлажнении снижается до 5 МПа.

Т а б л и ц а 1.23

Физико-механические свойства лессовых пород Прикаспийской низменности и Приволжской возвышенности (по [105])

Показатели	Прикаспийская низменность			Приволжская возвышенность		
	\bar{x}	δ	n	\bar{x}	δ	n
Природная влажность,	0,11	0,048	249	0,09	0,036	357
Плотность, т/м ³	1,750	0,110		1,740	90	
Коэффициент пористости	0,72	0,09		0,70	0,09	
Степень влажности	0,42	0,18		0,35	0,12	
Граница текучести	0,24	0,044		0,22	0,041	
Граница пластичности	0,16	0,021		0,14	0,023	
Число пластичности	0,08	0,03		0,08	0,026	
Показатель текучести	0,62	0,88		0,62	0,64	
Модуль деформации, МПа	21	13	115	19	10,4	250
Угол внутреннего трения, град.	24	—	223	27	—	294
Удельное сцепление, кПа	24	—	223	10	—	294

Соппротивление сдвигу этих пород также существенно зависит от влажности; коэффициент внутреннего трения ательских суглинков и супесей, испытанных на сдвиг при естественной влажности, составляет при влажности 0,08 — 0,65, а при влажности 0,22 — 0,21. Удельное сцепление снижается при этом с 60 до 20 кПа.

Характерным показателем снижения прочности пород при обводнении является несущая способность свай. По результатам их испытаний статическими нагрузками с замачиванием было установлено, что в лессовых породах ательского и валдайского горизонтов несущая способность свай длиной 7...9 м, составляющая в грунтах природной влажности 60...70 т, снижается после даже кратковременного их замачивания (около месяца) до 35...40 т.

Важно отметить, что некоторое снижение несущей способности свай при замачивании характерно и для облессованных ательских песков при их высокой несущей способности в целом.

Просадочность этих отложений практически одинакова, что установлено не только по обобщенным значениям просадочности, но также и по одинаковой зависимости относительной просадочности от пористости и влажности (табл. 1.24).

Т а б л и ц а 1.24

Зависимость относительной просадочности лессовых пород Приволжской возвышенности (1) и Прикаспийской низменности (2) от коэффициента пористости и влажности (по [105])

Природная влажность	Горизонт	Коэффициент пористости					
		0,60...0,70		0,71...0,80		0,81...0,90	
		Просадочность при нагрузках, МПа					
		2	3	2	3	2	3
0...0,05	1	0,023	0,033	0,032	0,048	—	—
	2	0,017	0,029	0,026	0,046	—	—
0,05...0,10	1	0,017	0,025	0,026	0,040	—	—
	2	0,014	0,022	0,022	0,039	—	—
0,10...0,15	1	0,011	0,018	0,020	0,033	0,029	0,047
	2	0,010	0,015	0,019	0,032	0,027	0,050
0,15...0,20	1	0,005	0,010	0,014	0,025	0,023	0,039
	2	0,006	0,008	0,015	0,025	0,024	0,042

Верхнехвалынские современные лессовые породы представлены покровными лессовидными суглинками и супесями, перекрывающими слоем мощностью до 3 м на нижнехвалынской равнине морские нижнехвалынские отложения. Лессовидные суглинки и супеси макропористые, буровато-желтые, палевые, желтовато-коричневые, коричневые с включением карбонатов в виде прожилков, натеков, стяжений, тонкокристаллического и мучнистого гипса, обломков шоколадной глины в подошве слоя, что указывает на элювиальный генезис образования этих пород.

В гранулометрическом составе их преобладает пылеватая фракция до 56,3 %. Содержание песчаной и глинистой фракций соответственно составляет 13,2 и 30,5 %.

По физическим свойствам породы сходны с лессовыми породами ательского горизонта, отличаясь несколько большей пористостью (коэффициент пористости 0,45...0,98) и меньшей влажностью (0,03...0,19) (табл. 1.25). Породы просадочны. В отдельных случаях относительная просадочность при нагрузке 3×10^5 Па превышает 0,12.

Т а б л и ц а 1.25

Физические свойства верхнехвалынских современных лессовых пород (по [105])

Показатели	\bar{x}	δ	n
Природная влажность,	0,10	—	58
Плотность, т/м ³	1,79		
Коэффициент пористости	0,75		
Степень влажности	0,35		
Граница текучести	0,23		
Граница пластичности	0,15		
Число пластичности	0,08		
Показатель текучести	0,62		

Песчаные породы на территории города в пределах Прикаспийской низменности представлены аллювиальными, озерно-аллювиальными, морскими современными и верхнечетвертичными отложениями.

Среди песчаных отложений Приволжской возвышенности и Ергеней распространены нерасчлененные неоген-нижнечетвертичные песчаные отложения, ергенинские пески, а также своеобразные песчано-алевритовые породы мечеткинских слоев волгоградской свиты эоцена.

Нерасчлененные неоген-нижнечетвертичные песчаные отложения заполняют древние эрозионные врезы в палеогеновых породах. Пески в основном средней крупности с редкими линзами мелких, светло-желтые, серовато-зеленые с включением гравелистых зерен кварца.

Песчано-алевритовые породы мечеткинских слоев волгоградской свиты эоцена — весьма своеобразный тип отложений. Они состоят из смеси песка и алеврита, сцементированной опаловым и глинистым цементом. Разновидности песчано-алевритовых пород с глинистой цементацией обладают пластичностью, породы с опаловым цементом непластичны. Общепринятой классификации песчано-алевритовых пород не существует. Стандартное определение границ пластичности для этих пород мало приемлемо, поскольку при подготовке проб к анализу происходит разрушение цементационных связей, определяющих основные свойства пород.

Обработка фактического материала выполнена В.Н. Синяковым [87] отдельно для двух разновидностей песчано-алевритовых пород, различающихся по характеру цементации. Породы с глинистым цементом условно названы пластичными, с опаловым цементом — непластичными. В табл. 1.26 приведены обобщенные значения модуля деформации песчаных и песчано-алевритовых пород.

**Нормативные значения модуля деформации песчаных
и песчано-алевритовых пород (по [105])**

Геоморфологический элемент	Инженерно-геологический вид	Значение модуля деформации грунтов E , МПа, при коэффициенте пористости						
		0,575	0,625	0,675	0,725	0,775	0,825	
Хвалынская аккумулятивная равнина	Пески мелкие	54	43	32	21	—	—	
Приволжская и Ергенинская денудационная равнина плиоценового возраста	Песчано-алевритовые породы:	пластичные	26	24	22	20	18	16
		непластичные	—	55	47	38	29	20

1.5. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Среди экзогенных процессов на территории города можно выделить геологические и вызванные деятельностью человека инженерно-геологические, или антропогенные, процессы. Выделяется также категория природно-антропогенных процессов, обусловленных совместным действием природных и антропогенных причин [43].

Экзогенные геологические процессы природного характера представлены выветриванием, речной эрозией и аккумуляцией, овражной эрозией, плоскостным смывом, озерной аккумуляцией, засолением, заболачиванием, суффозионно-просадочными процессами, оползанием, набуханием и усадкой.

К природно-антропогенным процессам отнесены изменения под влиянием деятельности человека эоловых процессов, изменение гидрологического режима рек, речной эрозии и аккумуляции, овражной эрозии, выветривания, заболачивания, засоления и оползания.

Антропогенные процессы представлены 5 группами, 12 классами и 27 видами в соответствии с классификацией [43], с некоторыми дополнениями.

1.5.1. Экзогенные геологические процессы природного характера

Выветривание, преимущественно физическое, является весьма распространенным процессом в связи с резко континентальным климатом. Мощность элювия, образовавшегося в течение верхнехвалынского голоценового времени на нижнехвалынских отложениях, достигает 3 м. В местах отсутствия элювия хвалынские глины сильно выветрелые, с образованием мелкообломочной (до глубины 0,5...1,5 м) и глыбовой зон выветривания, распространенной ниже кровли глин на глубину 2,5...3 м. Скорость выветривания глин составляет 10...15 см в месяц. Выветриванию хвалынских глин способствует их сильная набухаемость.

Речная эрозия и аккумуляция. Суммарная длина участков берегов Волги, подверженных боковой эрозии на отрезке Волгоград — Астрахань, составляет 35 % от общей длины берега при среднегодовой величине отступления от 0,5 до 1,5 м.

Речная эрозия усиливается на участках долины, представленных так называемыми «ярами» — высокими отвесными подмываемыми берегами. Величина боковой эрозии здесь является максимальной — например, у поселка Светлый Яр она составляет 4,0...6,4 м/год.

Речная эрозия по берегам рек Волга и Ахтуба техногенно активизирована режимом поверхностного стока, зарегулированного Волжской ГЭС. Ежегодное отступление бровки правого берега р. Волга в черте Волгограда составляет в среднем 0,3...0,5 м, достигая в отдельные годы 2,5 м, при протяженности размываемого берега около 30 км. Отступление бровки левобережья, сложенного аллювием Волго-Ахтубинской поймы, до 5,5...8,5 м/год (участок острова Крит). По р. Ахтуба отступление береговой линии от 0,3 до 1,6 м/год.

Речная аккумуляция является наибольшей в Волго-Ахтубинской пойме, расчлененной бесчисленными рукавами, протоками и ериками на ряд островов по всей ее ширине, достигающей 30 км. Аккумуляция дифференцирована: русловой аллювий представлен песками, старичный и озерный — иловатыми супесями, пойменный — песками с прослоями супесей и суглинков.

Овражная эрозия. Оврагообразование преимущественно развито на Волжском склоне Приволжской возвышенности и выражено каньонообразными оврагами и балками. Балки простираются от основания склона к водоразделу на расстояние от 3 до 16 км, достигая ширины 200 м; глубина эрозионного вреза оврагов по склонам балок от 5 до 20...30 м. Интенсивность роста оврагов 7...10 м/год, густота овражно-балочной сети по правобережью достигает 2,2 км/км².

Территория Волгограда на 48 % поражена овражной эрозией, интенсивность роста составляет 8 м/год. Способствующими развитию этого процесса факторами являются большие уклоны местности, преобладание легкоразмываемых горных пород (лессовых, песчаных) и сильные ливни.

Необходимо указать, что Приволжская возвышенность является вторым по значению районом интенсивной эрозии на Русской равнине.

В Прикаспийской низменности оврагообразование практически отсутствует, за исключением участков, обращенных к Волге и Ахтубе.

Плоскостной смыв, также как и овражная эрозия, в силу указанных выше причин характерен для Приволжской возвышенности, кроме того, развитию этого процесса способствует легкая выветриваемость майкопских и хвалыньских глин. Смыв почвы, вызываемый неурегулированным стоком талых вод, достигает 4,2...5,5 т/га.

Озерная аккумуляция наблюдается в многочисленных озерах Волго-Ахтубинской поймы.

Заболачивание распространено в Бекетовской низине в южной части города, являющейся крупным очагом разгрузки ергенинского водоносного горизонта. Здесь же наблюдается проявление такого процесса, как *континентальное засоление* с образованием солонцов и солончаков, обусловленное интенсивным испарением подземных вод в условиях аридного климата.

Суффозионно-просадочные процессы, средой для развития которых являются лессовые породы валдайского, ательского и верхнехвалыньско-

голоценового возраста, а также облессованные хвалынские суглинки, выражаются в выщелачивании хлоридных, сульфатных и карбонатных солей и вымывании в глубину с нисходящими токами воды тончайших частиц пород в сочетании с просадочными явлениями. Хотя формы их проявления на территории города неизвестны в связи с антропогенными преобразованиями рельефа, в литературе имеются указания о распространении западин, микрозападин или степных блюдечек на Ергенях, Приволжской возвышенности и Прикаспийской низменности [33—37].

Набухание и усадка в связи с широким распространением набухающих глин хвалынского горизонта, майкопской серии и волгоградской свиты палеогена в условиях аридного климата являются достаточно распространенными процессами. В природных условиях они носят сезонный характер, вызывая усадку жарким летом, а набухание дождливыми осенью и весной.

Оползание. Наиболее известны и неоднократно описаны в литературе оползни в долине Волги, связанные с хвалынскими глинами. Следует отметить, что в основном образование оползней здесь связано с деятельностью человека: из 112 оползней, произошедших в 1935—1981 гг., 90 имеют антропогенное и природно-антропогенное происхождение, и лишь 22 — природное.

По механизму образования природные оползни подразделяются на три типа: оползни-потоки, оползни сдвига и разжижения. Другие типы оползней, как, например, выплывания, имеют антропогенное происхождение и будут рассмотрены ниже.

Оползни-потоки являются наиболее распространенным типом оползней в хвалынских глинах (16 из 23). Это неглубокие (максимум до 7...8 м) оползни, часто называемые оплывинами, образование которых связано с переувлажнением выветрелых трещиноватых разностей верхней части разреза хвалынских глин. Поверхность скольжения обычно приурочена к подошве водоносного горизонта, развитого в трещинах толщи глин. Примерами таких оползней являются оползни в районе стадиона «Монолит», на 10—11 км железной дороги Волгоград — Краснодар, у оврага Большой Купоросный и др.

Древние погребенные оползни — потоки, связанные с майкопскими глинами, — были обнаружены при изысканиях и строительстве Волго-Донского судоходного канала (шлюз 3, канал 103, 104), на восточной окраине пос. Разгуляевка в западной части города, на Мамаевом кургане.

Реже встречаются оползни сдвига (5 оползней), которые захватывают почти всю толщу шоколадных глин и вышележащих пород. Их форма фронтальная, реже циркообразная. Размеры отдельных оползней вдоль Волги достигают 400...500 м, а глубина захвата пород не превышает 20 м. Примерами таких оползней являются оползни 1954 г. на 10—13 км железной дороги Волгоград — Краснодар.

К этому же типу относятся старые (100—200 лет) оползни, связанные с глинами царицынской свиты палеогена в долине Волги в северной части города: Лоташинский длиной 1250 м, Винновский (500 м) и Акатовский (850 м). Амплитуда смещения всех этих оползней составляла 15...20 м, при-

чиной появления была интенсивная речная эрозия и увлажнение глин, по которым и произошло оползание.

Кроме вышеописанных оползней в Волгограде зарегистрирован оползень разжижения, характеризуемый большой скоростью смещения. Он произошел на 10-м километре железной дороги Волгоград — Краснодар 12 июля 1941 г., когда в течение 30...40 минут в Волгу вытекло более полумиллиона кубометров грунта и образовался цирк площадью 5,6 га (длиной 260 м, шириной 220 м). Горловина оползня почти в 2 раза уже его верхней части. Оползнем были захвачены только разжиженные хвалынские глины и вышележащие породы, а подстилающие их хазарские пески не были затронуты. Причиной оползня явилась мгновенная потеря прочности хвалынских шоколадных глин, имеющих на этом участке максимальную мощность, высокую влажность и низкую прочность.

Эоловые процессы. Комплекс процессов, включающий развевание (дефляцию), перенос и аккумуляцию частиц горных пород, распространен на песчаных островах и осередках Волго-Ахтубинской поймы, в местах выхода на дневную поверхность песков ергенинской свиты, а также на почвах ряда пахотных угодий.

Способствующими развитию вышеописанных процессов факторами являются следующие.

1. Аридность климата, что препятствует зарастанию песчаных массивов и, вследствие низкой влажности воздуха, способствует ускорению отрыва песчаных частиц от массива.

2. Специфический ветровой режим, при котором ветры со скоростью более 4 м/с являются среднегодовыми, в летний период часто возникают вихревые смерчи, а количество дней в году с сильными ветрами, пыльными бурями колеблется от 15 до 25, достигая в отдельные годы 50...60 дней.

Характерной особенностью эоловых процессов в Прикаспии являются дефляция, перенос и аккумуляция не только мелких фракций нерастворимых пород, но часто также солей, в изобилии представленных в многочисленных солончаках и сорах Прикаспийской впадины. Например, при пыльной солевой буре, возникшей 18—22 апреля в Западном Казахстане и достигшей Поволжья (от Нижнего до Верхнего), в Прикаспии осел слой соли толщиной от 1...2 до 3...4 мм, состоящий из глауберовой и поваренной соли, солей магния, частичек кремния и гипса [45]. Одна из пыльно-солевых бурь, возникшая под влиянием мощного ветра юго-восточного направления восточнее Гурьева в марте 1978 г., достигла Волгограда в виде пыльно-солевой мглы.

По данным Л.Б. Аристарховой [2], ежегодное выпадение солей в регионе составляет в среднем 47 т/км².

1.5.2. Природно-антропогенные процессы и явления

К этим процессам, согласно Ф.В. Котлову [43], относятся геологические процессы, количественно и качественно измененные деятельностью человека.

Изменение гидрологического режима Волги в связи с ее зарегу-

лированностью оказывает существенное влияние на другие процессы и поэтому заслуживает хотя бы краткого упоминания. По данным И.А. Шикломанова [130], с 1956 до 1970 гг. годовой сток у Волгограда уменьшился на 23 км^3 , или на 9 %, в связи с потерей воды из водохранилища на испарение, питание подземных вод, а также интенсивным отбором воды для орошения.

Характер весенних половодий резко изменился в сторону сокращения их продолжительности и снижения уровня воды с $2 \dots 2,5$ до $1 \dots 1,5$ м, а в 1975 г. до $0,25$ м [15], что привело к снижению затопляемости поймы с $60 \dots 80$ до $20 \dots 30$ % ее площади. Как следствие этого наблюдаются следующие процессы: понижение уровня грунтовых вод и наметившаяся тенденция к увеличению их минерализации, усыхание древесной растительности и остепнение, а также дефляция песчаных отложений под влиянием остепнения.

Изменение речной эрозии и аккумуляции связано с изменением гидрологического режима Волги (амплитуда колебания уровня воды в паводок составляет $6,3 \dots 7,8$ м, суточные колебания уровня воды в межень, связанные с работой ГЭС, составляют $1,5 \dots 2,0$ м), сокращением живого сечения русла при строительстве берегоукрепительных, причальных, спортивных и других сооружений (например, в районе Волгограда бровка набережной выдвинута в русло на $50 \dots 100$ м), влиянием волн от речного флота (в том числе и маломерного) и другими факторами. В этих условиях происходит активизация эрозионных процессов, достигающая средней скорости отступления береговой линии $45 \dots 50$ и даже 60 м/год. Размытый материал откладывается ниже по течению, образуя косы и острова, скорость роста которых достигает 50 м/год.

Овражная эрозия претерпевает под влиянием антропогенных факторов изменения различной направленности. При общей тенденции усиления эрозионных процессов под влиянием деятельности человека в отдельных городских районах отмечается обратный процесс, связанный с ликвидацией овражно-балочной сети.

На городских территориях рост оврагов обусловлен в основном неупорядоченным сбросом ливневых вод и различными утечками — например, на Мамаевом кургане и ряде других мест. Вместе с тем на территории Волгограда овражная эрозия значительно уменьшилась в результате засыпки и замыва многих оврагов, вследствие чего общая протяженность овражно-балочной сети снизилась с 205 до 120 км, а коэффициент эрозионной расчлененности уменьшился с $1,44$ до $0,813 \text{ км/км}^2$ [15]. Следует отметить, что этот положительный аспект снижения интенсивности овражной эрозии сопровождается уменьшением дренированности территории почти в два раза и, как следствие этого, подъемом уровня грунтовых вод.

Активизация выветривания антропогенного характера в подавляющем большинстве случаев связана с вскрытием горных пород при земляных работах, неизбежном при любом виде строительства. Особенно подвержены выветриванию хвалыньские и майкопские глины, превращающиеся в стенках котлованов, траншей, откосов и т.д. в сравнительно короткий срок в мелкообломочную, осыпающуюся массу. Усиление выветривания взаимосвязано с

такими антропогенными процессами, как набухание, а также овражной эрозией. Например, в двух антропогенных оврагах на Мамаевом кургане набухающие майкопские глины в результате выветривания превращены в мелкообломочную легкоразмываемую породу, активно подвергающуюся эрозии, а развитие эрозии влечет за собой обнажение и выветривание все новых массивов пород.

Активизация заболачивания отмечается в Бекетовской низине Волгограда, где этот природный процесс ускорен ликвидацией двух естественных дренажей — балки Отрада и Бекетовского оврага. По этой же причине здесь активизировано засоление пород в летнее время под влиянием интенсивного испарения влаги.

Активизация оползневых процессов связана с изменением физического состояния пород при их увлажнении в результате освоения территории распространения хвалыньских шоколадных глин и одновременной подрезкой основания склона в период паводка на Волге и ее притоках (р. Мокрая Мечетка). Чем выше и продолжительнее паводок, тем значительнее активизация оползневых процессов.

Мелкие оползни-потоки (25 оползней) захватывают только верхнюю часть берегового откоса. Их длина изменяется от 10...30 до 80 м, а ширина — от 80 до 180...200 м.

Наибольшее развитие эти оползни получили в крутой излучине Волги на 12—13 км железной дороги Волгоград — Краснодар. Здесь к бровке откоса близко подходят дома частной застройки с поливными приусадебными участками, промышленные предприятия и полотно железной дороги. Как и на других участках, здесь в результате освоения формируется верховодка, вызывающая увеличение влажности пород, набухание и снижение прочностных характеристик глин. Размыв старых оползневых накоплений у подножья склона и подмыв коренного берега обуславливает образование новых и активизацию старых оползней. Примером этих оползней являются оползни 1955—1957 гг. с последующими периодически повторяющимися подвижками в последующие годы. В настоящее время многие из этих оползней ликвидированы.

Аналогичные оползни встречаются в Тракторозаводском, Красноармейском районах. Так, например, в Тракторозаводском районе в 1964 г. произошел оползень в районе яхтклуба, в результате чего было разрушено здание клуба и лестница к лодочной станции.

1.5.3. Инженерно-геологические (антропогенные) процессы

К антропогенным геологическим процессам и явлениям относятся те, проявление и развитие которых связано с инженерно-хозяйственной и культурно-бытовой деятельностью человека [43]. Ф.В. Котловым разработана детальная классификация антропогенных геологических процессов и явлений, которой мы и будем придерживаться при дальнейшем изложении.

Антропогенный литогенез. К классу наземного литогенеза относятся такие процессы, как *стихийное накопление антропогенных отложений, регулируемое накопление насыпных антропогенных отложений и искусственный намыв грунта на поверхности земли*. Эти процессы наиболее развиты на территории крупных городов. Например, на территории Волгограда и Волжского суммарный объем перемещений грунта составляет, млн м³: выемки и срезки грунта — 8,2; крупные дамбы и насыпи — 6,1; откосы на берегоукрепительных работах — 9,1; замывы и засыпанные овраги — 28; карьеры местных строительных материалов — 22; земляные работы при сооружении Волжской ГЭС — 146,3 [17]. Эти же цифры дают представление о существенном антропогенном преобразовании рельефа Волгограда.

Процесс осадкообразования в искусственных водоемах, относящийся к классу подводного (субаквального) литогенеза, в наибольшей степени развит в Волгоградском водохранилище, где в виде отмелей шириной от 7 до 130 м накапливаются продукты разрушения берегов, отступление которых происходит со скоростью от 0,2 до 8,8 м/год.

Образование искусственных грунтов в естественных водоемах довольно часто на участках берегоукрепительных работ, в качестве примера можно назвать контрбанкет завода «Красный Октябрь» в Волгограде длиной 1340 м и площадью 151 200 м².

Группа геотермических процессов и явлений, класс процессов, вызванных обогревом, обжигом и плавлением грунтов, представлены *термоусадкой глинистых грунтов*. В южной части Волгограда на территории нефтеперерабатывающего завода эксплуатируется большое количество сооружений с горячим технологическим режимом работы (печи, дымовые трубы), где происходит интенсивный (до 50...130 °С) многолетний прогрев хвалыньских шоколадных глин, залегающих в основании сооружений. На 35 участках этот прогрев привел к термоусадке глин за счет уменьшения их влажности, снижение которой в верхней части слоя достигает 19...27 % по сравнению с естественной влажностью. Усадка глин в основании сооружений вызвала значительные деформации труб и печей с образованием трещин и смещением от вертикали до 1200 мм при крене до 0,03 [112].

Термоусадка характерна не только для четвертичных хвалыньских глин, но и других набухающе-усадочных грунтов, например олигоценовых глин майкопской серии, которые, будучи использованными в качестве оснований сооружений с горячим технологическим режимом, дают усадку, что привело к деформациям и крену дымовой трубы школы-интерната № 2 в Дзержинском районе Волгограда. Аналогичные деформации наблюдались на 30-метровой трубе котельной в квартале № 131 в результате термоусадки оливково-зеленых глин эоцена.

Гидролитогенные процессы и явления, вызванные изменением подземной гидросферы. Процессы и явления, относящиеся к этой группе и классу, распространены на территории агломерации чрезвычайно широко, что связано с резким антропогенным изменением водного баланса, особенно

контрастным в аридной зоне, а также с литологическими особенностями горных пород — преобладанием в разрезе слабопроницаемых глинистых и лесовых пород.

Первые работы, оценивающие серьезность и значимость этих процессов на территории Волгограда в связи с появившимися деформациями сооружений, относятся к 1960-м гг. [14, 33, 109]. Изучение их было продолжено в 1970-е гг. [82, 84, 106].

Повышение уровня грунтовых вод на территории агломерации происходит со скоростью от 0,15 до 1,3 м/год и более. При этом *формирование верховодки и новых водоносных горизонтов* происходит практически во всех инженерно-геологических районах города, за исключением района распространения аллювиальных, преимущественно песчаных, отложений Волго-Ахтубинской поймы.

Верховодка, сливающаяся затем в постоянный водоносный горизонт, неизбежно появляется в результате промышленного и гражданского строительства на полностью безводных ранее хвалынских, майкопских и эоценовых глинах, а также в лессовых породах.

Способствующими накоплению влаги факторами являются анизотропная водопроницаемость лессовых пород (в вертикальном направлении выше, чем в горизонтальном), значительная выветрелость верхней части разреза глинистых пород, конденсация влаги под зданиями и сооружениями в результате нарушения природного процесса тепловлагоденоса, утечек воды из коммуникаций, искусственных поливов, ухудшения условий поверхностного и подземного стока, ликвидации естественных дренажей при засыпках оврагов и т.д.

В зоне влияния Волгоградского водохранилища формирование нового водоносного горизонта на городских территориях происходит от суммарного влияния градостроительных факторов и подпора от водохранилища. Так, например, в Волжском за время существования водохранилища сформировался единый водоносный горизонт в хазарских и ательских отложениях с глубиной залегания 8...9 м, а в полосе промпредприятий, примыкающих к жилой зоне города — 3,4...5,0 м. Скорость подъема уровня грунтовых вод здесь составляет 0,15...0,93 м (в среднем 0,3...0,5 м).

При подъеме уровня грунтовых вод до отметок заглубления подземных частей сооружений наблюдается *подтопление территории*. В пределах застроенной территории этот процесс развивается неравномерно и преобладает под зданиями, сооружениями, а также в местах прохождения водонесущих коммуникаций.

По имеющимся данным, с учетом фондовых и опубликованных источников, в Волгограде зафиксировано более 400 участков подтопления как отдельно стоящих зданий и сооружений, так и территорий заводов и жилых кварталов.

Заболачивание в результате подтопления территории грунтовыми водами представляет прогрессирующий антропогенный процесс. Большие массивы заболоченных земель тянутся вдоль Волго-Донского канала, сопровождают

многочисленные пруды, отстойники в различных районах Волгограда и развиты в ряде заброшенных карьеров.

В связи с подъемом уровня грунтовых вод заболочены долины рек Царица, Мокрая и Сухая Мечетка и других мелких речек в Волгограде, участки неумеренного полива на Мамаевом кургане. Некоторые ликвидированные овраги не только способствуют заболачиванию, ухудшая дренированность территории, но и сами имеют заболоченную поверхность — например, овраг Долгий, Безымянный овраг в районе ул. Кубанская и др.

Набухание грунтов, поднятие поверхности земли в связи с обширным распространением на территории агломерации высокодисперсных хвалынских и палеогеновых глин (майкопских, мечеткинских, киевских) является активным процессом, причиняющим немалый ущерб зданиям и сооружениям. В районах их распространения на застроенных территориях при изменении естественной влажности пород наблюдаются объемные деформации грунтов, в результате чего происходит поднятие поверхности земли, различных зданий и сооружений, асфальтовых покрытий, выпор полов, появление трещин различных размеров и т.д. Только в Волгограде и Волжском в результате набухания хвалынских глин было серьезно деформировано (часто до аварийного состояния) соответственно 82 и 10 здания и сооружения.

Отмечается также 6 участков деформации сооружений в результате совместного влияния процессов периодического набухания и усадки при сезонном изменении влажности (две школы в Красноармейском районе Волгограда, три жилых дома, цех Ремстройтреста). Как правило, проявление деформаций наблюдается через год после начала строительства.

С олигоценовыми глинами майкопской серии связаны деформации и, как следствие, аварийное состояние 56 сооружений в Волгограде под влиянием набухания, а также сезонные набухающе-усадочные деформации, в результате которых пострадало 7 зданий.

Набухание менее распространенных эоценовых мечеткинских и ельшанских глин явилось причиной деформаций соответственно 11 и 1 сооружения.

Основными причинами набухания глинистых пород послужило изменение их влажности в результате подтопления, утечек из коммуникаций, конденсации влаги под зданиями в процессе тепловлагоденоса и других факторов.

Как показала практика строительства, в этих условиях наиболее надежным и эффективным способом безаварийного строительства является применение свайных фундаментов с полной прорезкой набухающих грунтов. Наиболее эффективным и экономичным является использование буронабивных свай. В случае неполной прорезки сваями набухающих глин или недостаточного заглубления в подстилающие породы может происходить выпор свай, что отмечалось, например, на территории ВППЗ и многих зданий химкомбината ВПО «Каустик», где образовались большие трещины в несущих стенах, неравномерный подъем фундаментов оборудования, подъем перегородок, поверхности пола [1].

Просадки лессовых пород, возникающие в результате увеличения их влажности, наблюдаются на территории агломерации достаточно часто и связаны с лессовыми породами валдайского и ательского горизонтов. Например, на территории Волгограда и Волжского в результате просадки лессовых пород ательского горизонта под фундаментами 36 сооружений произошли деформации вследствие недоучета возможного замачивания, и в настоящее время строительство в этих условиях осуществляется либо с предварительным уплотнением, либо на сваях.

Недооценка просадочности лессовых пород валдайского горизонта привела к деформациям 27 зданий в Волгограде, причем есть случаи аварий в зданиях, выстроенных на свайных фундаментах, например в жилых домах в микрорайоне № 135. На этом участке во время изысканий в 1970 г. грунтовые воды в лессовых породах не были вскрыты до глубины 15 м. Вследствие неверного определения нижней границы просадочности были запроектированы 7-метровые сваи, часть из которых не была забита до проектной отметки. В настоящее время острия свай находятся в воде, а в результате неравномерной осадки грунта под сваями дома разрушаются.

Размокание, уменьшение прочности связных грунтов при увеличении их влажности свойственно практически всем типам глинистых и лессовых пород города. Влияние влажности на прочностные и деформационные свойства морских, аллювиальных, озерно-аллювиальных и лессовых отложений было установлено ранее [82—98] методами корреляционно-регрессионного анализа. Из этих данных, а также непосредственных исследований грунтов штампами и на сдвиг при естественной влажности и после замачивания следует, что модуль деформации, угол внутреннего трения и сцепление, а также сопротивление конусу снижаются в несколько раз [84, 85, 88].

Подобные явления наблюдались на территории Волгограда, Волжского в хвалынских глинах и суглинках, вдоль трассы Волго-Донского канала, где лессовые породы, имевшие в период изысканий твердую консистенцию, после 20-летней эксплуатации приобрели текучую консистенцию и свойства, типичные для слабых грунтов.

Характерным показателем снижения прочности пород при обводнении является несущая способность свай. По результатам полевых испытаний свай статическими нагрузками с замачиванием было установлено, что в лессовых породах ательского и валдайского горизонтов несущая способность свай длиной 7...9 м, составляющая в грунтах природной влажности 60...70 т, снижается после их даже кратковременного замачивания (около месяца) до 35...40 т. В хвалынских глинах тугопластичной консистенции сваи длиной 7...8 м несли нагрузку 40...50 т, которая снижалась до 30...35 т при мягкопластичной и текучепластичной консистенции. Твердые хвалынские глины обеспечивают нагрузку 56...68 т при длине свай 5 м. Важно отметить, что некоторое снижение несущей способности свай при замачивании характерно и для облессованных ательских песков при их высокой несущей способности в целом.

Гидратационное оседание в наибольшей степени проявляется в насыпных грунтах и связано с доуплотнением их под влиянием потери прочности в результате увлажнения, т.е. представляет процесс, аналогичный просадке лессовых пород. При естественной влажности породы имеют достаточную прочность для передачи давления от фундамента, но при замачивании прочность грунта снижается, и происходит деформация. По этой причине в Волгограде имели место деформации внутренних и наружных стен 5 жилых зданий, 4 детских садов и яслей, 8 частных домовладений, двух дамб и фундаментов заводских установок завода технического углерода. Аналогичные явления наблюдались в Волжском.

Развитие склоновых процессов (оползней, оплывин), вызванных *повышением уровня грунтовых вод, обводнением и увлажнением грунтов*. Оползни данного вида, связанные с хвалынскими и майкопскими глинами, представляют наиболее распространенную категорию как антропогенных оползней, так и оползней в целом; их количество составляет соответственно 37 и 8.

Оползни в хвалынских глинах. В природном залегании эти глины не обводнены. В результате освоения территории (строительство и эксплуатация промышленных предприятий, жилых массивов) на глинах и нередко в верхней элювиированной их части формируется верховодка, значительно увеличивается влажность глин, что вызывает их набухание и снижение прочностных характеристик.

Большинство антропогенных оползней, связанных с хвалынскими глинами, относится к оползням-потокам (33 оползня), в единичных случаях это оползни-сдвиги (2 оползня).

Размеры оползней-потоков изменяются в следующих пределах: длина от 10 до 45 м, реже до 70...100 м; ширина от 10...50 до 100...810 м и больше; глубина захвата 3...5 м. Нередко кроме основной поверхности смещения наблюдаются и более мелкие, по которым происходят повторные подвижки.

Все эти оползни приурочены к освоенным городским территориям жилой и промышленной зон города. В жилой зоне эти оползни распространены по правому берегу р. Царица, в поселках Купоросный, Татьяна и в других районах, создавая угрозу существующим сооружениям. Например, оползень 1962 г. у больницы № 3 угрожал разрушению ее территории; в результате оползня 1970 г. по ул. Карьерной разрушены дом и дворовые постройки; в поселке Татьяна оползни 1970, 1971, 1972, 1973 гг. угрожают жилым домам по ул. Адлерская, Волжская и др.

На Волжском склоне оползни, связанные с подъемом уровня грунтовых вод и обводнением хвалынских песчаных и глинистых грунтов, угрожают территории речного порта (оползни 1955 г. с последующей активизацией в 1956, 1961—1964, 1971 гг.), базе Облпотребсоюза (оползень 1957 г. с повторными подвижками почти ежегодно).

Крупный оползень произошел в 1962 г. у Дома техники завода «Красный Октябрь». Им были разрушены каменная лестница, ресторан и асфальтовые дорожки. В течение 5...6 минут было смещено более 100 тыс. м³ грунтов.

Обводнение грунтов уположенного склона произошло в результате неорганизованного сброса промышленно-ливневых вод открытым способом.

По главному направлению движения оползня рядом с засыпанным оврагом грунты опустились на 10...12 м и переместились по горизонтам на 65...70 м, а у лестницы, расположенной в 80 м вверх по течению Волги от борта оврага и правого борта оползня, амплитуда смещения составила 1,5...2,0 м по вертикали и около 5...6 м по горизонтали (рис. 1.11).

Образование оползня произошло в результате соскальзывания блока разупроченных хвалынских отложений по наклонной под углом до 10...15° поверхности палеогеновых пород [26].

Аналогичный крупный оползень произошел в августе 1969 г. в поселке Ельшанка, в районе ул. Ельшанская, Горячеводская, Карла Маркса, Татарская [37]. Этим оползнем с размерами в плане 270×120 м было разрушено 30 частных домовладений и создана угроза еще 70 таким же домам.

Крупный оползень, охвативший около 6000 м³ ергенинских отложений и перекрывающих их лессовых пород, произошел в отвершке балки Дубовая в результате активизации эрозии сбросными канализационными и техническими водами моторного завода и увлажнения глин ергенинской свиты [70]. Этот оползень, как и оползни в майкопских глинах, относится к оползням сдвига.

Для промышленной зоны также характерно развитие оползней-потоков. Например, в результате формирования верховодки в хвалынских отложениях в районе топливных баков завода «Красный Октябрь» в 1950 г. произошел оползень с повторными подвижками в 1961, 1963 и 1964 гг.

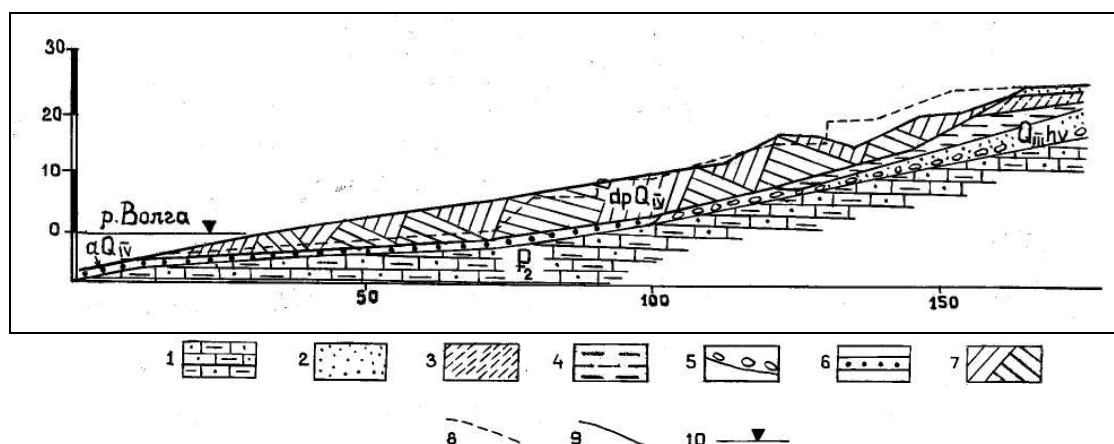


Рис. 1.11. Геологический разрез участка оползня у Дома техники: 1 — палеогеновые породы; 2—5 хвалынские отложения (2 — пески мелкие и пылеватые; 3 — суглинки; 4 — глины; 5 — базальный валунный горизонт); 6 — современный аллювий (разнозернистые пески); 7 — современные оползневые накопления (преимущественно глины и суглинки); 8, 9 — рельеф склона до и после оползневой подвижки соответственно; 10 — уровень Волги на момент возникновения оползня

На территории деревообрабатывающего комбината им. Ермана в результате подъема уровня грунтовых вод до глубины 4,5 м и разупрочения грунтов в 1962 г. произошел оползень с последующими подвижками в 1966, 1967, 1969, 1971 гг.

На территории завода им. Кирова первые оползневые подвижки появились в послевоенное время, через 6—7 лет после начала его строительства, что связано с формированием водоносного горизонта хвалыньских глин, их набуханием и разупрочением. В 1967 г. были зарегистрированы 2 оползня с размерами подвижек в длину от 18 до 35 м, в ширину от 25 до 50 м.

Оползни, связанные с майкопскими глинами, распространены в основном в селитебной зоне в пределах склонов Волго-Донского водораздела. Основной причиной возникновения оползней здесь является обводнение элювиированной части майкопских глин в пределах освоенных территорий. В природных условиях склоны, сложенные майкопскими глинами, устойчивы при крутизне 8...10°, а более крутые склоны при длительном увлажнении неизбежно деформируются, уполаживаясь до устойчивых откосов [36].

Оползни в майкопских глинах обычно мелкие (ими захватывается верхняя элювиированная часть толщи мощностью до 5 м [122]) и относятся к оползням-потокам. Длина оползней изменяется от 30 до 150...177 м, а ширина от 20...50 до 100...225 м. Так, например, в 1957 г. отмечены оползни по ул. Шмеринская и Третьяковская [4, 120], в 1958, 1964, 1968, 1977 гг. произошли оползни в левом борту оврага Проломный между улицами Хорошева и Колесниковой, на ул. Щаденко, Братьев Толмачевых, Исетская; в 1960 г. в верховье оврага Банный в пределах старого оползневого цирка (размером до 500 м) после его застройки произошла активизация оползня на небольшом участке в правом его борту.

Аналогичный оползень-поток, вызванный переувлажнением грунтов склона, произошел в 1971 г. на южном склоне Мамаева кургана, в 420 м от скульптуры «Родина-мать». Обводнение произошло в результате утечек из водопроводной магистрали. Длина оползня составила 120 м, а ширина 55 м.

Процессы, вызванные изменением химического режима подземных вод.
Формирование гидрогеохимических аномалий наблюдается в основном на территории больших заводов. Например, по данным изысканий НВ ТИСИЗ, на шламонакопителе металлургического завода проточными загрязнен ергенинский водоносный горизонт, где минерализация воды возросла в 10 раз и составляет 32 г/л при резко увеличенном содержании закисного железа и меди.

Промышленными стоками алюминиевого завода загрязнен тот же ергенинский водоносный горизонт, где отмечается повышенное содержание фтора (в грунтовых колодцах — от 1 до 7 мг/л, в пруде-испарителе — 40 мг/л). Хазарский водоносный горизонт пресных вод загрязняется промышленными стоками из шламонакопителя сталепроволочно-канатного завода на юге города, а также другими крупными предприятиями (в основном химической промышленности).

Еще одним крупным источником загрязнения являются канализационные сети, утечки из которых обуславливают резкое увеличение содержания в воде нитратов, нитритов, аммиака, хлора, сульфатов, железа и других вредных компонентов.

Коррозия. В связи с засоленностью горных пород они проявляют заметную коррозионную активность по отношению к металлам, а формирующиеся в них воды обладают агрессивностью, обуславливающей коррозию к бетону. Современный аллювий в связи с его промытостью обладает низкой коррозионной активностью, а все остальные породы различного возраста — в основном средней и повышенной активностью при размахе от низкой до весьма высокой. Среди отложений одного генетического типа и возраста наибольшая коррозионная активность свойственна глинам, наименьшая — пескам при промежуточных значениях у супесей и суглинков.

По данным В.И. Бондаренко [11] и Н.А. Самуся [72], наиболее распространенным типом агрессивности формирующихся антропогенных водоносных горизонтов является сульфатная агрессия, свойственная практически всем водоносным горизонтам территории Волгограда (среднемаксимальное содержание сульфат-иона составляет 2,2...4,3 г/л). Кроме того, для палеогеновых водоносных горизонтов характерна общекислотная и выщелачивающая агрессивность (содержание свободной углекислоты 0,5...0,85 г/л, содержание гидрокарбонат-иона 0,4 мг-экв/л).

Антропогенное засоление связано с подъемом уровня грунтовых вод до критической глубины и их интенсивным испарением в условиях жаркого климата. Проявление этого процесса наблюдается в Бекетовской низине на юге города.

Гравитационные процессы и явления, вызванные статическими нагрузками. Гравитационное сжатие грунтов и оседание поверхности земли, вероятно, распространено в различной степени во многих районах города, однако деформации зданий по этой причине незначительны, особенно в сравнении с просадкой и набуханием, и поэтому не получили должного отражения в литературе.

Гравитационные оползни, возникающие в результате искусственного нагружения склонов и откосов, наблюдались на одном участке ВДСК, где вблизи бровки откоса, сложенного хвалынскими глинами, был намыт кавальер песка. Пригрузка склона, сопровождаемая обводнением глин при намыве, привела к образованию оползня длиной 350 и шириной 18...20 м при высоте 2...3 м [61]. К этому же виду относится оползень у консервного завода в Волгограде, возникший под влиянием насыщения водой свалки грунтов в промоине, образовавшейся в хвалынских глинах. Замерзание воды (оползень произошел в декабре 1970 г.) препятствовало дренированию пород и способствовало скапливанию влаги и увеличению веса насыпи, что и повлекло за собой ее оползание по смоченной поверхности хвалынских глин, причем сами глины затронуты оползнем не были [16].

Литодинамические процессы и явления, вызванные динамическими и ударными нагрузками. *Антропогенное землетрясение* наблюдалось в мае 1979 г. в северной части Волгограда, прилегающей к плотине Волжской ГЭС, когда под влиянием максимального заполнения водохранилища и длительного

массового ($34\ 140\ \text{м}^3/\text{с}$) сброса вод уникального паводка происходили колебания 9-этажных зданий, особенно ощутимые на верхних этажах, где раскачивались люстры, мебель и вибрировали стекла окон.

Субтерральные процессы, вызванные вскрытием массива грунтов подземными выработками.

Обрушение грунтов, образование мульд проседания, трещин и провальных воронок на поверхности земли наблюдаются в различных подземных полостях, например в Волгограде на участке крупного бомбоубежища на левом берегу р. Царица, на участке подземного склада на левом склоне Ельшанки.

Процессы, вызванные вскрытием массива грунтов открытыми выработками. *Сдвиговые явления в откосах выемок (оползни)* имеют место при заложении чрезмерно крутых откосов строительных выемок, котлованов и т.д. Например, при строительстве памятника-ансамбля на Мамаевом кургане наблюдались деформации подрезанного откоса главного монумента, сложенного майкопскими глинами, которые удалось предотвратить лишь восстановлением природной крутизны склона с устройством на некоторых участках подпорных стенок. Здесь же наблюдался оползень в котловане Зала воинской славы. Аналогичные оползни, связанные с подрезкой хвалынских глин мощностью 5...10 м до крутизны 1:2—1:2,5, произошли у сталепроволочно-канатного завода, шлюза № 1 ВДСК и пристани Волжского, в то время как устойчивые склоны в обводненных глинах наблюдаются при крутизне 1:5 [36].

Примером крупного оползня данного типа является оползень у Иркутского оврага в 1971 г., возникший в результате подрезки склона при берегоукрепительных работах до крутизны 1:1,5 и удаления естественного аллювиального контрфорса оползня [69]. В результате этих действий и, возможно, вскрытия хазарского водоносного горизонта и выплывания хазарских песков произошла катастрофическая подвижка около 0,5 млн м^3 грунта, из которых пятая часть была вынесена в Волгу на расстояние 135 м (рис. 1.12). Всего на территории Волгограда известно 6 оползней данного типа — 4 в хвалынских глинах, 2 — в майкопских.

Затопление выемок и образование озер наблюдается во многих отработанных карьерах строительных материалов на территории города, например в п. Разгуляевка, Рынок, на ул. Еременко и др.

Процессы и явления, вызванные изменением поверхностной гидросферы. *Затопление, подтопление и заболачивание местности* развиты в зоне Волгоградского водохранилища, где были затоплены сельскохозяйственные угодья и перенесены населенные пункты, оказались заболочены пониженные участки, прилегающие к водохранилищу, а направление движения подземных вод, ранее дренируемых Волгой, сменилось на обратное. В несколько меньшей степени, но также значительны эти процессы вдоль Волго-Донского судоходного канала.

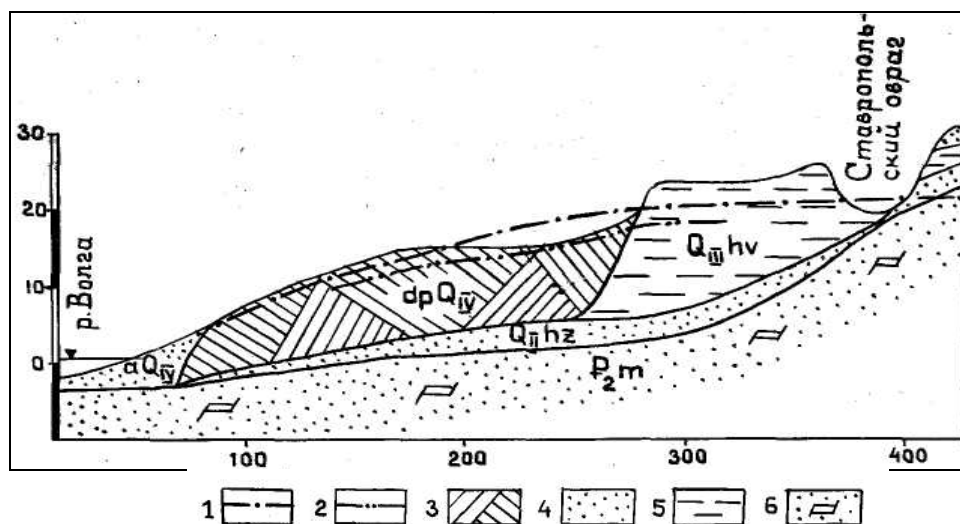


Рис. 1.12. Геологический разрез крупного оползня, связанного с подрезкой склона: 1 — пьезометрический уровень хазарского водоносного горизонта; 2 — уровень грунтовых вод в хвалынских и оползневых породах; 3 — оползневые накопления; 4 — хазарские пески; 5 — хвалынские шоколадные глины; 6 — песчано-алевритовые породы палеогена

Переработка берегов Волгоградского водохранилища зависит в наибольшей степени от геологического строения берега, энергии волнения, уровня режима и повторяемости волн высотой свыше 0,5 м [142]. Геологическое строение и, следовательно, величина переработки для правого и левого берегов существенно различны. Высокий (до 55 м над уровнем водохранилища) правый берег сложен преимущественно слабонеразрушаемыми дочетвертичными породами, и лишь в долинах древних балок и оврагов наблюдаются четвертичные глины, суглинки и пески. Формирование этого берега происходит в основном по абразионному типу [40], участками — по абразионно-оползневому. Высота абразионного уступа составляет до 4...7 м в хвалынских глинах и до 15...18 м в палеогеновых отложениях.

Среднегодовая величина отступления колеблется от 0,4 до 1,8 м в палеогеновых отложениях и от 2,5 до 4,2 м в хвалынских глинах и суглинках. На отдельных участках побережья наблюдаются береговые оползни, преимущественно связанные с хвалынскими глинами. Коэффициент пораженности берега абразией составляет 0,85...0,9, оползнями — 0,25...1,01.

Левый берег пологий и низкий (преимущественная высота от 1 до 6 м над урезом воды, иногда 10...18 м) и сложен легкоразрушаемыми четвертичными отложениями — шоколадными глинами, песками, — также преимущественно абразионного типа, с образованием обвалов и осыпей у подножья уступа [40], а также береговыми оползнями, например в районе Кислово. Среднегодовая величина переработки составляет от 1...1,5 до 4...7 м, коэффициент пораженности абразией 0,6...1,0, оползнями — 0...0,1.

Хотя наиболее интенсивная переработка берегов наблюдалась в первые 2—3 года наполнения водохранилища, а в дальнейшем уменьшилась, тем не менее суммарная величина отступления берега достигает 60...95 м [40], что причиняет немалый ущерб.

Антропогенные сели, связанные с накоплением пульпы методом гидромеханизации в оврагах и внезапным прерывом искусственных дамб, неоднократно наблюдались в Волгограде при замыве оврагов и долин мелких речек, например Мокрой и Сухой Мечетки и притока Царицы. В последнем случае масса намывтого грунта, внезапно двинувшаяся вниз, разрушила трамвайные пути, откос насыпи и перекрыла автомобильную дорогу слоем более 1 м, мешая проезду транспорта.

Антропогенная эрозия (овраги, рывтины, промоины) довольно часто наблюдается на городских территориях и связана с нарушением естественного стока поверхностных вод. В северных и центральных районах Волгограда она достигает, по [46], 4,2 км на 1 км² в застроенной части города и 2,5 км на 1 км² в окрестностях.

Овражная эрозия в основном распространена на территории, занятой индивидуальной застройкой. Вдоль улиц, выходящих к существующей гидрографической сети, возникают и растут боковые овраги. Образование оврага происходит как посередине улицы, так и путем их вершинного роста (ул. Сальская, Вычугова, Чебоксарская и др.).

При изменении планировки наблюдается возникновение и рост оврагов на улицах, выходящих к растущему оврагу (ул. Аткарская, Елецкая, Касимовский овраг).

Приводораздельные овраги образуются вдоль улиц, спускающихся по крутым склонам водоразделов и террасам (ул. Новоузенская, Алексеевская).

В период сильных ливней рост оврагов значительно усиливается. Отмечались продвижения оврагов после одного ливня на 30 и 100 м (ул. Зеленая и Астраханский взвоз).

Значительный рост оврагов наблюдается севернее моторного завода, где на склон оврага, сложенного лессовыми породами с высокой степенью размокаемости, производится сброс ливневых вод.

На Мамаевом кургане утечки воды из водоемов городской водопроводной сети также приводят к активизации овражной эрозии.

Ликвидация почвенно-растительного слоя на склонах ведет к образованию промоин глубиной 0,7...0,8 м, например на южном склоне Мамаева кургана, сложенного элювирированными ельшанскими глинами.

Антропогенные оползни и оплывины, связанные с нарушением поверхностного стока. К этому виду антропогенных оползней относятся овражные оползни, возникновение которых или активизация старых связана с режимом овражных водотоков, обусловленных сбросом из канализационных, промышленных или иных водонесущих коммуникаций. Сбрасываемые из сетей воды эродуют борта оврагов и вызывают оползневые процессы.

Оползни, связанные с хвалынскими глинами, развиты вблизи устья Дедушенковского оврага, в приустьевых частях оврагов Купоросный, Большой Купоросный и Малый Купоросный, Кировский. По механизму образования это типичные оползни-потоки.

Оползни, связанные с майкопскими глинами, развиты в двух оврагах на северном и южном склоне Мамаева кургана и обусловлены стоками поливных и дренажных вод по тальвегу оврагов.

2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

2.1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

В соответствии со схемой типологического инженерно-геологического районирования Нижнего Поволжья, разработанной В.Н. Синяковым и С.В. Кузнецовой [92], Волгоград располагается в пределах трех инженерно-геологических областей первого порядка, выделенных с учетом истории геологического развития территории за новейший этап, характера неотектонических движений, особенностей рельефа и геологического строения поверхностной толщи:

области аккумулятивных равнин, сложенных морскими четвертичными отложениями;

области денудационных равнин, сложенных дочетвертичными отложениями, преимущественно перекрытыми толщей лессовых пород;

области крупных речных долин, сложенных аллювиальными четвертичными отложениями.

Первая из инженерно-геологических областей, в четвертичное время будучи зоной унаследованных опусканий, чередовавшихся с поднятиями небольшой амплитуды, неоднократно затапливалась морем в результате трансгрессий Каспия. Максимальная трансгрессия — хвалынская — произошла относительно недавно, в верхнечетвертичное время.

Эта область в пределах рассматриваемой территории представлена областью второго порядка — северной Прикаспийской аккумулятивной равниной раннехвалынского возраста. С поверхности равнина сложена преимущественно глинистыми отложениями современного субаквального происхождения и морскими набухающе-усадочными глинами, подстилаемыми лессовыми породами ательского горизонта.

В северной части города, где долина Волги, прорезая равнину, наиболее близко подходит к Приволжской возвышенности, она встречается небольшими участками, приуроченными, в основном, к устьям рек (Мокрая и Сухая Мечетка, Царица) и балок (Забазная и др.); южнее долины р. Царица равнина распространена в пределах полосы шириной от 100...200 м до 1,5...2,0 км, имея сплошное распространение в заканальной части Красноармейского района.

В плиоценовое и четвертичное время в результате устойчивых положительных движений на окраинах Прикаспийской впадины из-под уровня моря выходили все новые и новые участки суши, и Прикаспийская низменность оказалась окруженной денудационными равнинами, названными областью денудационных равнин, сложенных дочетвертичными отложениями, преимущественно перекрытыми толщей лессовых пород (вторая область первого порядка).

На территории Волгограда эта область представлена денудационной равниной Приволжской возвышенности и Ергеней плиоценового возраста. В ос-

новании рельефообразующей толщи здесь залегают породы палеогена и неогена, почти повсеместно перекрытые чехлом лессовых просадочных пород мощностью до 30...50 м и более. Глубина залегания подземных вод находится в прямой зависимости от рельефа местности и изменяется в широких пределах до 40 м.

Область крупных речных долин, сложенных аллювиальными четвертичными отложениями, выделена в самостоятельную область первого порядка в связи с тем, что геологическая история формирования ее в неотектоническое время, рельеф и геологическое строение существенно отличаются от ранее выделенных областей. В пределах города она представлена областью второго порядка — долиной р. Волга, сложенной мощной толщей аллювиальных четвертичных отложений.

В пределах всех трех областей на территории города выделено 7 типов инженерно-геологических районов, различающихся по геологическому строению, рельефу, гидрогеологическим условиям, составу и физико-механическим свойствам пород, геодинамическим процессам, что создает существенно различные условия для протекания геологических процессов и является необходимым условием типизация геологической среды с целью прогноза ее изменений. Районы выделялись в пределах границ распространения отложений одного стратиграфического горизонта, при этом учитывались также подстилающие отложения с общей глубиной характеризующей толщину 20...30 м. В области денудационной равнины Приволжской возвышенности и Ергеней, где с поверхности широко распространены лессовые породы, границы районов соответствуют границам развития отложений дочетвертичных формаций, нередко оказывающих влияние на вид и характер геологического процесса.

Схема инженерно-геологического районирования территории Волгограда и характеристика выделенных инженерно-геологических районов приведены на рис. 2.1 и в табл. 2.1.

Районы I типа — районы распространения морских нижнехвалынских набухающих глин, а также суглинков, супесей, песков, залегающих на просадочных лессовых породах ательского горизонта.

С поверхности районы этого типа сложены нижнехвалынскими шоколадными глинами мощностью от нескольких сантиметров до 20 м, часто перекрытых слоем суглинков, супесей и песков мощностью до 3 м. Максимальная мощность шоколадных глин отмечается в Кировском и Красноармейском (до канала Волго-Дон) районах. В заканальной части Красноармейского района мощность глин не превышает 5...6 м. Подстилаются нижнехвалынские глины просадочными лессовыми породами ательского горизонта, среднечетвертичными хазарскими глинами и песками. До освоения территории подземные воды в хвалынских и ательских отложениях отсутствовали. Подземные воды здесь отмечались только в хазарских отложениях на глубине 20...27 м. В настоящее время подземные воды залегают на глубине от 1 до 7...10 м.

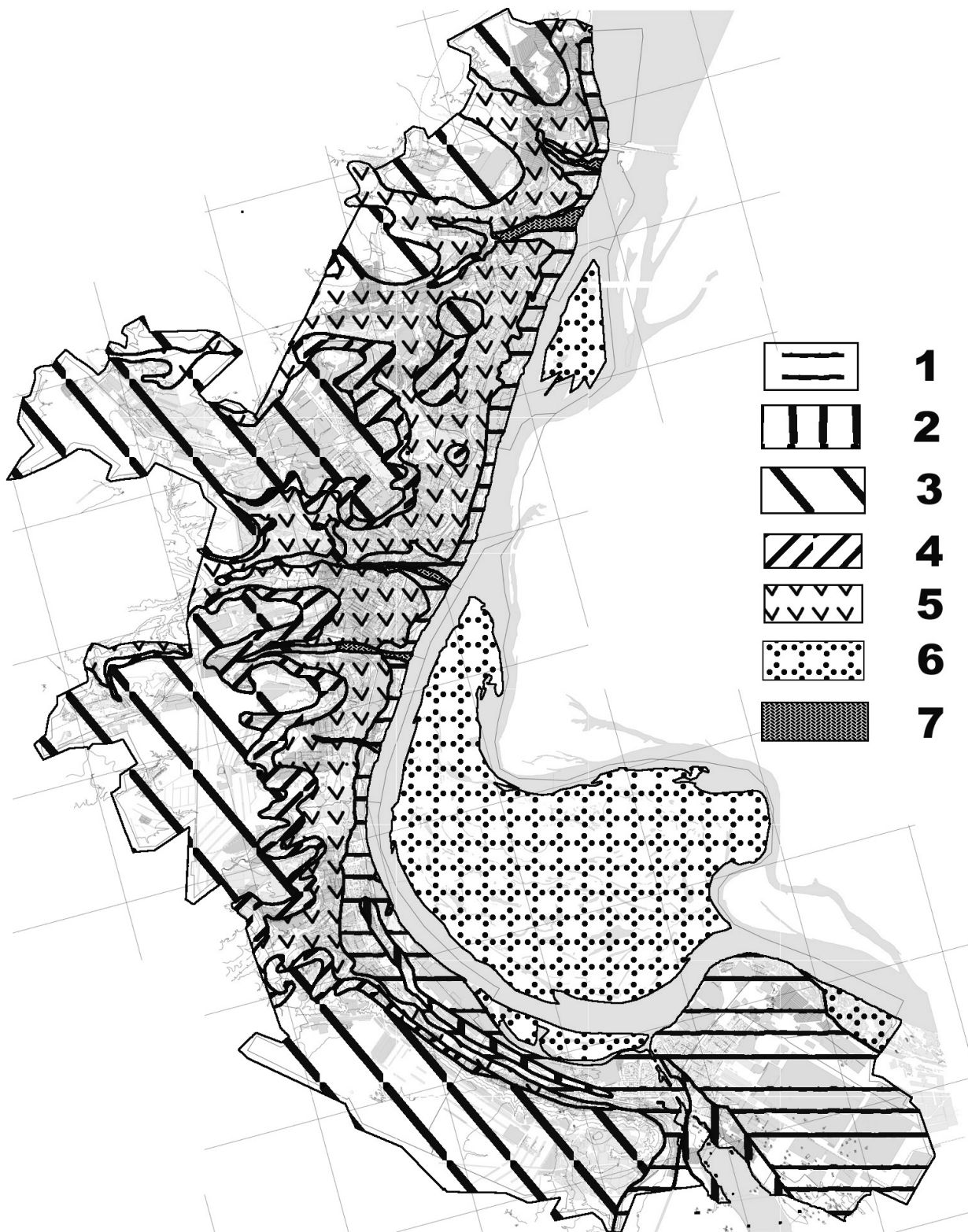
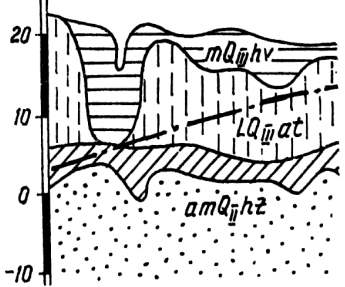
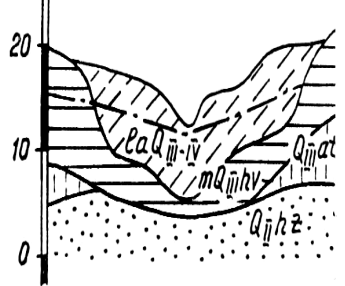


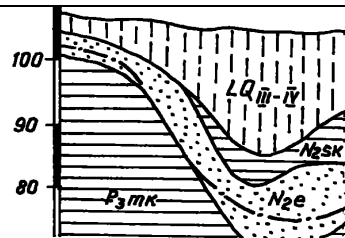
Рис. 2.1. Схема инженерно-геологического районирования территории Волгограда по типам:
 1 — районы I типа; 2 — II типа; 3 — III типа; 4 — IV типа; 5 — V типа; 6 — VI типа; 7 — VII типа

Т а б л и ц а 2.1

Характеристика типов инженерно-геологических районов

Геологическое строение	Рельеф	Гидрогеологические условия	Современные геологические процессы и явления	Структурно-неустойчивые грунты	
I тип. Районы преимущественного распространения морских нижнехвалынских набухающих глин, а также суглинков, супесей и песков, залегающих на лессовых просадочных породах ательского горизонта					
	Морские хвалынские глины, суглинки, супеси и пески (до 20 м), лессовые породы ательского горизонта (7...10 м)	Морская аккумулятивная равнина с отметками от 0 до +25 м	Грунтовые воды на глубине от 1 до 7...10 м (вблизи долины Волги 20...27 м); минерализация вод от 1...3 до 10 г/л, состав хлоридно-натриевый, сульфатно-хлоридно-натриевый	Выветривание, заболачивание, засоление, речная эрозия, оползни. Появление новых водоносных горизонтов, верховодки, подтопление, набухание, просадка, уменьшение прочности пород, коррозия металла и бетона, активизация выветривания, заболачивание, засоление, антропогенные оползни, перестроение берегов водохранилища	Набухающие морские нижнехвалынские глины, просадочные лессовые породы ательского горизонта
II тип. Районы преимущественного распространения озерно-аллювиальных верхнечетвертичных и современных песков, супесей с прослоями и линзами слабых грунтов (суглинков, илов), залегающих на морских нижнехвалынских глинах					
	Верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные, пролювиальные суглинки, супеси и пески мощностью от 3...4 до 10 м; нижнехвалынские глины и суглинки мощностью до 10 м	Плоскостная равнина с долинами рек, озерами и болотами. Отметки 0...20 м	Грунтовые воды на глубине от 0,1 до 5...7 м. Минерализация 3...50 г/л. Состав хлоридно-натриевый	Заболачивание, засоление. Подтопление, активизация заболачивания, засоления, коррозия металла и бетона	Слабые озерно-аллювиальные верхнечетвертичные суглинки, илы (показатель текучести J_L больше 0,75)

III тип. Районы распространения глин, суглинков и песков верхнего плиоцена, преимущественно перекрытых лессовыми просадочными породами валдайского горизонта



Лессовые породы валдайского горизонта мощностью 1...50 м, суглинки и глины, пески верхнего плиоцена (3...30 м), глины майкопской серии олигоцена-миоцена

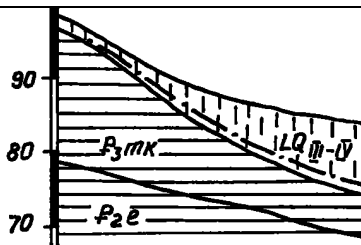
Крупноувалистая, холмистоувалистая или волнистая денудационная равнина с развитой овражнобалочной сетью. Отметки рельефа от 50...60 до 160 м

На неосвоенных территориях грунтовые воды до глубины 20 м, как правило, отсутствуют. На застроенных территориях воды спорадического распространения на глубине 3...6 м. Минерализация 0,5...10 г/л, состав сульфатно-кальциевый, сульфатно-натриевый, хлоридно-натриевый

Овражная эрозия, плоскостной смыв, просадка. Появление верховодки, новых водоносных горизонтов, подтопление, просадка, коррозия металла и бетона, активизация овражной эрозии, оползни

Просадочные лессовые породы валдайского горизонта. Набухающие глины майкопской серии палеогена-миоцена

IV тип. Районы распространения набухающих глин майкопской серии олигоцена-миоцена, преимущественно перекрытых лессовыми просадочными породами валдайского горизонта



Лессовые породы валдайского горизонта мощностью 1...10 м, реже до 15...30 м, глины майкопской серии олигоцена-миоцена мощностью до 10...105 м

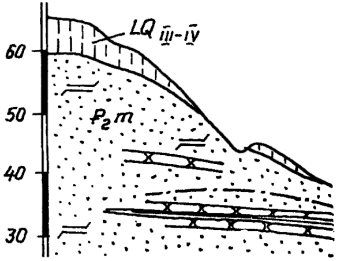
Пологая денудационная равнина с развитой овражнобалочной сетью и отметками 80...130 м

На неосвоенной территории грунтовые воды до глубины 20 м отсутствуют. На застроенных территориях формируется верховодка или постоянный водоносный горизонт в лессовых породах и выветрелых майкопских глинах

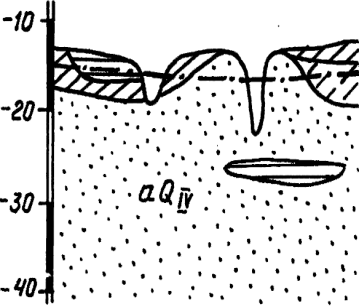
Выветривание майкопских глин, овражная эрозия, плоскостной смыв, оползни. Проявление верховодки, новых водоносных горизонтов, подтопление, заболачивание, набухание и термоусадка глин, просадка лессовых пород, коррозия металла и бетона, активизация выветривания, овражная эрозия, оползни

Просадочные лессовые породы валдайского горизонта. Набухающие глины майкопской серии олигоцена-миоцена

V тип. Районы распространения песков, алевритов, песчаников, глин и опок эоцена, частично перекрытых лессовыми породами валдайского горизонта

	<p>Лессовые породы валдайского горизонта мощностью 0...12 м. Пески, песчаники, песчано-алевритовые породы оливково-зеленые, глины, аргиллиты, опоки эоцена мощностью более 100 м</p>	<p>Холмисто-увалистая денудационная равнина, расчлененная долинами мелких рек и овражно-балочной сетью. Отметки рельефа 40...80 м</p>	<p>На неосвоенных территориях грунтовые воды на глубине от 10...18 до 50...70 м. Минерализация 0,8...5 г/л, вода гидрокарбонатно-кальциевого, сульфатно-гидрокарбонатного типа. На застроенных территориях формируется верховодка и новые водоносные горизонты в лессовых породах и отложениях эоцена</p>	<p>Овражная эрозия, плоскостной смыв, просадка. Формирование верховодки и нового водоносного горизонта, подтопление, просадка, набухание, термоусадка, коррозия металла и бетона, переформирование берегов водохранилища</p>	<p>Просадочные лессовые породы валдайского горизонта. Набухающие оливково-зеленые глины эоцена</p>
---	--	---	---	--	--

VI тип. Районы преимущественного распространения аллювиальных и современных песков с линзами и прослоями слабых грунтов, суглинков, глин и илов

	<p>Верхнехвалынские и современные пески с линзами и прослоями супесей, суглинков и глин мощностью от 6...8 до 20...30 м</p>	<p>Плоские или слабо-всхолмленные поверхности I надпойменных и пойменных террас с отметками: I н.т. Волги — 0...25 м, Урала — 0...40 м, поймы Волги и Урала — от 0 до 22 м</p>	<p>Грунтовые воды на глубине 0...7 м. Минерализация до 1 г/л, состав гидрокарбонатный кальциевый, натриевый, магниевый</p>	<p>Речная и овражная эрозия и аккумуляция, подтопление и затопление, слабые эоловые процессы. Активизация эрозии, эоловых процессов, затопление при пропусках из водохранилища, подтопление, заболачивание, коррозия металла и бетона</p>	<p>Слабые аллювиальные современные суглинки, глины и илы (показатель текучести J_L больше 0,75)</p>
--	---	--	--	---	--

VII тип. Районы преимущественного распространения искусственных намывных и насыпных пород

	<p>Современные намывные и насыпные накопления мощностью до 23...28 м</p>	<p>Ликвидированные долины мелких речек и оврагов</p>	<p>Грунтовые воды на глубине 0...10 м в искусственных грунтах. Минерализация 1...5 г/л. Состав преимущественно сульфатный</p>	<p>Овражная эрозия. Появление новых водоносных горизонтов, подтопление, заболачивание, антропогенные сели, эоловые процессы, уменьшение овражной эрозии</p>	<p>Искусственные техногенные неоднородные накопления</p>
--	--	--	---	---	--

Районы II типа — районы распространения озерно-аллювиальных верхнечетвертичных и современных песков, супесей, суглинков и глин, залегающих на глинистых нижнехвалынских отложениях. Эти районы узкой полосой пересекают южную часть Волгограда. Характерной особенностью районов этого типа является то, что их территория даже в естественных условиях подтоплена. Грунтовые воды в озерно-аллювиальных отложениях, выполняющих русло послехвалынского потока вдоль тылового шва нижнехвалынской аккумулятивной равнины, залегают на глубине 0,1...7,0 м.

Районы III типа — районы распространения глинистых и песчаных отложений плиоцена, преимущественно перекрытых лессовыми породами, залегающими на Ергенинских песках, реже на сыртовых глинах. Мощность лессовых пород в пределах рассматриваемой территории изменяется в широких пределах от 1...2 до 15...20 м, а в отдельных случаях и больше.

Для этой территории в период до ее освоения было характерно спорадическое распространение грунтовых вод в нижней части ергенинских песков.

Районы IV типа — районы распространения глин майкопской серии олигоцена-миоцена, преимущественно перекрытых лессовыми породами. Районы выделены в верхней части Волжского склона, сложены темно-серыми майкопскими глинами мощностью от 1...10 до 90...100 м. С поверхности майкопские глины перекрыты лессовыми породами (суглинки, супеси) мощностью от 0...10 до 15...30 м.

На неосвоенных территориях грунтовые воды в лессовых породах и майкопских глинах отсутствуют.

Районы V типа — районы распространения глин, песчаников, песчаных и алевритовых пород палеогена, преимущественно перекрытых лессовыми породами. Палеогеновые отложения — в основном песчаные и алевритовые породы мечеткинских слоев волгоградской свиты эоцена — почти повсеместно перекрыты лессовыми породами мощностью до 12 м, увеличивающейся в погребенных оврагах до 50 м.

Для этой территории в период до ее освоения было характерно распространение царицынско-мечеткинского водоносного комплекса, который объединял воды, содержащиеся в песчано-алевритовых породах в трещиноватых песчаниках верхнецарицынской подсвиты и мечеткинских слоев. Нижним водоупором для этого комплекса служат нижнецарицынские аргиллиты и аргиллитоподобные глины. Как правило, воды этого комплекса безнапорные. Глубина их залегания в зависимости от рельефа местности изменяется от 5...6, реже 1...2 м у Волги, до 60...70 м ближе к водоразделу.

Районы VI типа — районы распространения аллювиальных песков с линзами и прослоями суглинков и глин поймы р. Волга и ее притоков.

Мощность аллювиальных отложений изменяется от 2...10 м в долинах притоков Волги до 25 м в ее пойме. Гидрогеологические условия районов этого типа находятся в значительной зависимости от гидрологического режима Волги. Грунтовые воды залегают на глубине от 0 до 5...10 м.

Районы VII типа — районы распространения искусственных пород мощностью до 27,5 м, подстилаемых аллювиальными современными отложениями притоков Волги. Возникновение этих районов связано с ликвидацией оврагов и балок путем их засыпки и замыва. За последние 45 лет в Волгограде ликвидировано значительное количество оврагов, в результате чего модуль линейной эрозионной расчлененности, выражающийся отношением длины оврагов к единице площади геоморфологического района, снизился с 1,5 до 0,6 и продолжает снижаться. За счет засыпки и нивелировки боковых ответвлений сократили свои размеры такие крупные овраги, как Долгий, Банный, Купоросный, Дедушенковский, Букатинский, Бекетовский и др., балка Капустная, устьевая часть долин рек Царица, Мокрая Мечетка и др. Большие массивы намывных песков возникли в связи с берегоукрепительными работами, со строительством дамб через балки и овраги и т.д.

2.2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВ

К структурно-неустойчивым грунтам (по СНиП 25.100—95) относятся просадочные, набухающие, слабые, вечномерзлые, засоленные, элювиальные и искусственные. Под ними понимают такие грунты, у которых при изменении параметров внешней среды (например, влажности при подтоплении, затоплении, а также вибрации, сейсмических воздействий, температурно-влажностных условий) происходит ослабление либо полное нарушение структурных связей между частицами, в результате чего грунт переходит в качественно новое состояние. Такой переход сопровождается, как правило, ухудшением его строительных свойств и изменением общей геоэкологической обстановки участка.

Существуют особые требования к изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации сооружений на этих грунтах.

К структурно-неустойчивым грунтам на территории Волгограда относятся просадочные, набухающие, слабые и искусственные.

Просадочные грунты. Из ранее описанных грунтов просадочными свойствами обладают лессовые породы валдайского горизонта и верхнечетвертичные ательские суглинки. Кроме того, некоторые другие типы грунтов могут обрести незначительную просадочность в верхней части слоя в зоне аэрации вследствие их облессования.

Явление просадки заключается в изменении объема грунта вследствие его доуплотнения при повышении влажности. При этом различают истинно-просадочные грунты и просадочные под дополнительной нагрузкой. Первые характеризуются тем, что толща грунтов проседает при замачивании под действием собственного веса. К таким грунтам относятся преимущественно эоловые грунты-лессы. Под дополнительной нагрузкой могут проседать лессовидные грунты (суглинки, супеси, глины и пески).

Для унифицирования понятия просадочности ГОСТом 25100—95 введен термин «лессовый грунт». К нему относятся пылевато-глинистые грунты

преимущественно пылеватого состава (по данным гранулометрического анализа при наибольшей пептизации) различного происхождения, обладающие просадочностью ($\varepsilon_{sl} > 0,01$). Нагрузка, при которой определяется величина относительной просадочности, не регламентируется и на практике равна 0,3 МПа — для лессовых толщ мощностью менее 15 м — и соответствует природной (бытовой) нагрузке при мощности лессовых толщ более 15 м.

Лессовые грунты распространены на описываемой территории в пределах I, III, IV и V типов ИГР очень широко (за исключением пойм и ряда водораздельных пространств). Мощность их изменяется в широких пределах и может достигать в отдельных переуглублениях 20...35 м (для лессовых пород валдайского горизонта). Тем не менее просадочными свойствами обладают только грунты верхней части геологического разреза, и максимальная глубина просадочных грунтов не превышает 16...18 м. По номенклатурному виду среди данных отложений преобладают суглинки с числом пластичности 0,08...0,14, реже встречаются супеси, глины и пески. Структура грунтов [49] зернисто-агрегативная и зернисто-плитчатая. Непросадочные разновидности имеют агрегативную структуру. Среди дисперсных минералов преобладают монтмориллонит и гидрослюда. Лессовые грунты такого типа характеризуются замедленной просадочностью. Просадочные деформации в основаниях сооружений могут протекать месяцы и годы. Мощность ательских лессовых просадочных пород изменяется от 2...5 до 19...24 м; их свойства аналогичны валдайским лессам.

Большое влияние на ход развития просадочности оказывает характер обводнения грунтов. При замачивании грунтов сверху (утечках водонесущих коммуникаций, фильтрации из искусственных водоемов и др.) просадочные деформации велики по абсолютному значению и непродолжительны по времени. Деформации сооружений могут достигать при этом значительных величин, осадки фундаментов характеризуются значительной неравномерностью. Неравномерная просадка грунтов основания может привести к авариям на инженерных сооружениях, перекосам фундаментов, разрывам трубопроводов. Все это создает реальную угрозу загрязнения окружающей среды. При замачивании лессовых толщ снизу, что может происходить вследствие подтопления территории подземными водами, просадочные деформации более продолжительны по времени и меньше по абсолютному значению. Осадки сооружений в данном случае невелики и более равномерны, но могут продолжаться длительное время.

Вместе с тем процесс подтопления лессовых территорий и происходящие при этом просадочные деформации могут существенно осложнить геолого-экологическую обстановку различных объектов. Это неизбежно повлечет за собой дополнительные затраты на ликвидацию аварийных ситуаций и ремонт сооружений. Такие деформации широко распространены в Волгограде и других населенных пунктах области.

Профилактика просадочности должна осуществляться в период проектирования и строительства сооружения, а также в процессе его эксплуатации.

Проектирование на просадочных грунтах должно осуществляться в соответствии с требованиями [115]. В процессе эксплуатации сооружения, возведенного на просадочных грунтах, следует выполнять следующие мероприятия, позволяющие исключить замачивание грунтов оснований за счет инфильтрации в грунт атмосферных и промышленно-хозяйственных вод:

1) не допускать неправильной планировки поверхности, способствующей накоплению ливневых и талых вод вблизи сооружения и их инфильтрации в грунт;

2) сохранять в исправности отмостки вокруг сооружений, что позволит отвести от фундаментов атмосферные осадки;

3) не допускать складирования насыпных грунтов и снега вблизи строящихся и построенных сооружений, что создает благоприятные условия для инфильтрации в грунт атмосферных осадков;

4) не допускать скопления воды в подвалах зданий за счет аварийных утечек из водопроводно-канализационной сети, для чего производить ее своевременный ремонт;

5) не допускать строительство вблизи зданий резервуаров воды, в т.ч. бассейнов, фонтанов и др.;

6) на участках, прилегающих к зданиям, исключить бесконтрольный полив зеленых насаждений.

Набухающие грунты. Набухающими называются грунты, которые при воздействии на них воды, кислот, щелочи и различных солей увеличиваются в объеме. Способностью набухать при внешних воздействиях обладают преимущественно пылевато-глинистые грунты. Особенностью их структуры является наличие дисперсных частиц (менее 0,005 мм), являющихся химически активными веществами (гуминовые кислоты, карбонаты, гипс, глинистые материалы с подвижной кристаллической решеткой (монтмориллониты) и др.) и окруженных пленкой связанной воды. Связность грунтов обеспечивается пластифицированно-коагуляционными, коагуляционно-цементационными и цементационными типами структурных связей. Структурные связи цементационного типа обеспечиваются силами химической природы при кристаллизации солей кальция, магния, кремния и др.

При повышении влажности дисперсного грунта толщина пленок связанной воды увеличивается, неводостойкие связи между частицами, обусловленные ионно-электростатическими, молекулярными, капиллярными и др. силами, разрушаются, и частицы раздвигаются. Молекулы воды, проникая внутрь кристаллической решетки глинистых минералов типа монтмориллонита, раздвигают ее. Все эти процессы ведут к увеличению грунта в объеме.

Процесс набухания резко активизируется, если вода содержит щелочи или кислоты. В этом случае дополнительно разрушаются структурные связи цементационного типа, обеспечивающиеся нерастворимыми в воде соединениями кальция, магния, кремния и др., что может привести к полной дезинтеграции грунта и превращению его в рыхлый осадок, похожий на ил.

При уменьшении влажности пылевато-глинистого грунта происходит обратное явление — усадка. При этом объем грунта уменьшается, а прочность увеличивается, сжимаемость — уменьшается.

Таким образом, пылевато-глинистые грунты являются сенсорными, т.е. любое изменение температурно-влажностного режима непременно ведет к изменению их свойств. И чем чаще происходят такие циклические изменения типа набухание-усадка, тем более набухающими становятся грунты.

Активность процесса набухания грунтов зависит от количества дисперсных частиц, их минерального состава, химических особенностей, вида структурных связей, исходной влажности и плотности. Набухающими при замачивании (в соответствии с ГОСТ 25100—95) называются грунты, величина относительного набухания ε_{sw} которых в условиях свободного набухания (без пригрузки) составляет 0,04 и более. Из всех грунтов, распространенных на территории Волгограда, набухающими являются верхнечетвертичные хвалынские глины и глины майкопской серии палеогена-миоцена, оливково-зеленые глины Волгоградской свиты эоцена.

Важнейшим показателем, определяющим условия эксплуатации территорий, сложенных набухающими грунтами, является давление набухания P_{sw} . При его невысоких значениях (0,05...0,1 МПа) существует опасность деформации легких сооружений, в том числе трубопроводов. При значениях P_{sw} равных 0,1...0,3 МПа, такие деформации могут происходить и на других, более тяжелых сооружениях.

В соответствии с классификацией массивов набухающих грунтов по величине относительного набухания и давлению набухания, в соответствии с требованиями ГОСТ 25100—95, хвалынские глины являются сильнонабухающими, что требует повышенного внимания при освоении территории.

Набухание и усадка причиняют немалый ущерб. В аналогичных условиях на застроенных территориях при увеличении влажности глин наблюдаются объемные деформации грунта, в результате чего происходит поднятие поверхности земли, выпор полов, деформация сооружения. Только в Волгограде к началу 1990-х гг. в результате набухания хвалынских глин было деформировано 88 зданий и сооружений и 63 здания, возведенных на глинах майкопской серии.

Набухание и усадка грунтов основания могут происходить по следующим причинам:

- 1) набухание грунтов за счет подъема уровня подземных вод или инфильтрации — увлажнения грунтов производственными или поверхностными водами;
- 2) набухание за счет накопления влаги под сооружениями в ограниченной по глубине зоне вследствие нарушения природных условий испарения при освоении территории;
- 3) набухание и усадка грунта в верхней части зоны аэрации за счет изменения водно-теплового режима (сезонных климатических факторов);
- 4) усадка за счет тепловых источников.

Таким образом, участки распространения усадочно-набухающих грунтов в геолого-экологическом отношении являются чрезвычайно сложными. Неизбежное повышение влажности грунтов и подтопление территории осваиваемых земель влекут за собой изменение инженерно-геологических свойств грунтов, их набухание, снижение прочности, повышение сжимаемости. Такие изменения состояния грунта могут привести к деформациям существующих зданий и сооружений, снижению устойчивости грунтов на склонах и образованию оползней. При уменьшении влажности набухающих грунтов и происходящей при этом усадке строительные свойства грунта улучшаются, однако объемные деформации могут повлечь за собой деформацию сооружений.

Мониторинг процессов набухания-усадки заключается в контроле и управлении влажностью набухающих грунтов на застроенной территории. В основе такого мониторинга лежат водозащитные мероприятия в процессе строительства сооружения и профилактические мероприятия, направленные на борьбу с набуханием в процессе его эксплуатации. Перечень мероприятий, препятствующих локальному замачиванию грунтов основания, аналогичен приведенному выше для просадочных грунтов.

Следует также подчеркнуть, что особенно опасно замачивание набухающих грунтов химическими растворами.

Слабые грунты. К слабым грунтам, распространенным на описываемой территории, могут быть отнесены пылевато-глинистые с показателем текучести больше 0,75, рыхлые пески, а также различные водонасыщенные грунты с высоким содержанием органических веществ. Указанные грунты могут находиться среди современных отложений пойменных террас речек и ручьев. Особенно широко они распространены в пределах Волго-Ахтубинской поймы, долин речек, впадающих в Волгу, где достигают мощности более 3...5 м.

Характерной особенностью данных грунтов является их большая сжимаемость, медленное развитие осадок во времени, что создает возможность возникновения нестабилизированного состояния, существенной изменчивости и анизотропии прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик и изменения их в процессе консолидации оснований сооружений. Подземные воды, содержащиеся в них, как правило, сильно агрессивны.

Водонасыщенные пески и супеси, содержащие коллоиды в виде гуминовых кислот, могут обладать пльвунными свойствами и образовывать истинные пльвуны. В статических условиях это достаточно прочный грунт, однако при динамических воздействиях (взрывы, удары, сотрясения) он переходит в текучее состояние и может заполнять котлованы, траншеи, переходы трубопроводов и др. Борьба с пльвунами чрезвычайно сложна тем, что из них невозможно удалить воду при помощи дренажей.

Пылевато-глинистые грунты с показателем текучести больше 0,75 представляют собой рыхлый осадок в стадии формирования. Они характеризуются высокой влажностью, достигающей 0,4...0,6, и высокой пористостью (0,5...0,6). Грунты обладают небольшой несущей способностью и высокой

сжимаемостью, обусловленной фильтрационной консолидацией. Повышенное содержание в них органических веществ в виде гумуса еще больше снижает их прочность и увеличивает сжимаемость.

Геолого-экологическая обстановка на территориях, сложенных слабыми грунтами, зависит от степени их освоения. Чем она выше, тем чаще будут происходить деформации и аварии на сооружениях. Избежать этого возможно только при условии ограничения здесь строительства.

Искусственные грунты. Промышленно-хозяйственное освоение любой территории неизбежно сопровождается образованием и накоплением особых техногенных грунтов, именуемых искусственными. Их состав и физико-механические свойства зависят от характера тех процессов, которые привели к их образованию. В соответствии с ГОСТ 25100—95 искусственные грунты, распространенные на данной территории, разделяются на 2 подгруппы: уплотненные в природном залегании и насыпные.

Грунты, уплотненные в природном залегании, представляют собой особую разновидность техногенных грунтов, целенаправленно образованную в основном по трассам дорог, трубопроводов, каналов и др. с целью повышения их прочности, уменьшения сжимаемости, ликвидации просадочности и снижения фильтрационных свойств. Основными способами уплотнения являются следующие: для пылевато-глинистых грунтов — трамбование, укатка, уплотнение энергией взрыва, буронабивными сваями и др.; для песчаных грунтов — укатка, вибрация, энергия взрыва. Физико-механические свойства таких грунтов задаются предварительно в зависимости от их предназначения. В большинстве случаев данные грунты обладают хорошими строительными свойствами и не требуют контроля и мониторинга, однако необходимо отметить, что лессовые грунты, уплотненные с целью ликвидации просадочности, могут перейти в разряд набухающих и осложнить условия эксплуатации сооружения. При замачивании их в траншеях и котлованах могут наблюдаться деформации отдельных строительных конструкций.

Насыпные грунты являются наиболее часто встречающимися, т.к. образуются при любой техногенной деятельности человека. Они состоят из пород природного происхождения, первоначальная структура которых изменена в результате разработки и вторичной укладки. Насыпные грунты образуются при отрывке котлованов, вскрышных работах на карьерах, планировочных работах. К ним же относятся отходы производства искусственного происхождения — шлаки, золы, шламы, образующие свалки грунтов и отходов производства. Инженерно-геологические свойства таких грунтов зависят от времени их образования и самоуплотнения под действием собственного веса. В свою очередь, продолжительность процесса самоуплотнения зависит от номенклатурного вида исходного грунта, способа отсыпки (табл. 2.2).

Продолжительность процесса самоуплотнения различных грунтов

Гранулометрический состав исходных грунтов	Продолжительность самоуплотнения, годы	
	Планомерно возведенные насыпи	Отвалы грунтов
Крупнообломочные	0,2...1,0	1...3
Песчаные	0,5...1,0	2...5
Пылевато-глинистые	2...5	10...15

По истечении времени, указанного в таблице, насыпные грунты данного типа относятся к слежавшимся и могут использоваться в качестве основания после специального обследования их состава и свойств.

Особый вид насыпного грунта — бытовые отходы — представляет собой отсыпки, образовавшиеся в результате неорганизованного накопления различных материалов, в том числе и бытового мусора. Эти грунты сплошным чехлом покрывают территории промышленных площадок. Мощность их весьма различна: от 0,5...1,0 м в черте городов, до нескольких и более метров на месте засыпанных оврагов, ям, каналов. Эти грунты характеризуются весьма неоднородным составом — различные рыхлые грунты, строительный мусор, бытовые отходы — и содержат большое количество неразложившихся органических веществ в виде древесины, бумаги и др., а также гумуса. Особенностью их свойств является большая неравномерная сжимаемость за счет уплотнения и разложения органических веществ. Эти грунты в качестве оснований не используются, однако на них могут возводиться трассы дорог, трубопроводы (только на слежавшихся грунтах). Время их самоуплотнения составляет для крупнообломочного грунта 2...5 лет, песчаного — 5...10 лет, пылевато-глинистого — 10...30 лет.

Отрицательное воздействие насыпных грунтов на геоэкологическую обстановку города заключается в том, что многие сооружения, возведенные на недоуплотненных грунтах (до завершения их самоуплотнения под собственным весом), могут претерпевать деформации за счет неравномерных осадок. Это может повлечь за собой перебои в тепло- и газоснабжении, аварии на водонесущих коммуникациях, деформации трубопроводов, дорожного полотна, что, в свою очередь, может ускорить процессы подтопления, просадки и набухания. Профилактика этих процессов заключается в качественном строительстве, а также в контроле и своевременном ремонте всех инженерных коммуникаций, полотна дорог и площадок.

Пространственное распространение структурно-неустойчивых грунтов в пределах города представлено на рис. 2.1 и в табл. 2.1. Просадочные грунты распространены в ИГР I, III, IV, V; слабые в ИГР II, VI и техногенные в ИГР VII.

Для рассматриваемой территории в значительной степени характерно совместное (комплексное) залегание просадочных и набухающих (ИГР III, IV); просадочных, сильно набухающих, просадочных (ИГР I) грунтов.

Свойства грунтов приведены в п. 1.4.

2.3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ниже дана краткая характеристика распространения геологических процессов по инженерно-геологическим районам; их детальное описание приведено в п. 1.5.

Районы I типа в пределах города наиболее освоены. Здесь встречаются все виды инженерно-хозяйственного воздействия.

Для этой территории в период до ее освоения было характерно отсутствие грунтовых вод в хвалынских и ательских отложениях, лишь на глубине 20...27 м существовал водоносный горизонт в хазарских песках. Освоение территории привело к значительным изменениям подземной гидросферы, которые выражены в возникновении ряда геологических и инженерно-геологических процессов. В этих районах повсеместно распространены такие процессы, как появление новых водоносных горизонтов, верховодки, подтопление, набухание, просадка, уменьшение прочности пород, коррозия металла и бетона.

Появление новых водоносных горизонтов и верховодки связано с обводнением верхней элювиированной зоны хвалынских глин и перекрывающих их суглинков, супесей и песков. Степень развития этих процессов изменяется в зависимости от вида инженерно-хозяйственного воздействия.

Для селитебной зоны характерно спорадическое распространение грунтовых вод элювиированной зоны хвалынских глин и в перекрывающих их суглинках, супесях и песках на глубине от 1...3 до 8 м и более.

В ательских отложениях (в пределах г. Волжский) сформировался водоносный горизонт с глубиной залегания уровня 3,6...5,2 м. Скорость подъема его уровня изменяется от 0,2 до 0,8 м/год. Воды этого горизонта гидравлически связаны с водами Волгоградского водохранилища.

В промышленной зоне грунтовые воды имеют также спорадическое распространение. На территории предприятий с мокрым технологическим режимом работы они очень часто залегают на глубине менее 1 м, в то время как на территории предприятий с полусухим режимом работы минимальная глубина 2...3 м, за исключением отдельных участков (деревообрабатывающая промышленность, завод им. Ермана).

Появление спорадически распространенных вод с глубиной залегания 2...3 м отмечается даже на территории парков в зоне незастроенных и слабо-застроенных территорий.

Высокие уровни грунтовых вод вызывают подтопление сооружений как в селитебной зоне, так и в промышленной, т.к. многие заглубленные подвалы и фундаменты оказываются ниже уровня грунтовых вод или в зоне капиллярного поднятия. Таким образом, районы этого типа являются потенциально подтопляемыми при любом виде освоения.

Появление верховодки неизбежно влияет на влажность хвалынских глин, при увеличении которой происходит их набухание, что влечет за собой де-

формации зданий и сооружений. Необходимо отметить, что увеличение влажности хвалынских глин, вызывающее их набухание, происходит даже в начале эксплуатации сооружений в результате тепловлагопереноса и аварийных утечек из водопроводящих коммуникаций (25 случаев). Сезонное изменение влажности хвалынских глин, вызывающее их периодическое набухание и усадку, также приводит к деформациям зданий и сооружений (6 случаев).

Просадка лессовых пород характерна для ательских отложений и лессовых пород элювиального происхождения, залегающих на хвалынских глинах, что также выражается в деформациях различных сооружений (5 случаев).

Тип грунтовых условий по просадочности — первый с нижней границей просадочности в основном на глубине 7...8 м.

Коррозия металла определяется степенью коррозионной активности грунтов, которая для хвалынских глин изменяется от средней до весьма высокой с преобладанием повышенной, хвалынских суглинков и супесей — средней, ательских суглинков и супесей — от низкой до повышенной с преобладанием средней степени активности.

Спорадически распространенные воды хвалынских и ательских отложений обладают сульфатной агрессивностью к бетонам.

В пределах этого типа районов встречаются и процессы, связанные со специфическими условиями эксплуатации сооружений. Например, на территории нефтеперерабатывающего завода в результате многолетнего интенсивного подогрева хвалынских глин в основании дымовых труб и промышленных печей отмечается термоусадка глин, связанная с уменьшением их влажности в верхней части слоя (1 случай). В единичных случаях отмечается гидратационное оседание искусственных грунтов в основании сооружений при их замачивании (4 случая).

С предприятиями химической, энергетической и металлургической промышленности связан процесс формирования гидрогеохимических аномалий.

На незакрепленном правобережном склоне р. Волга, в устьях ее притоков и оврагах, открывающихся в ее долину, в результате освоения территории, строительства и эксплуатации промышленных предприятий, жилых массивов на протяжении длительного времени наблюдалось оползание пород, вызванное повышением уровня грунтовых вод и обводнением горных пород, статическими нагрузками, нарушением поверхностного стока. Также оползание наблюдалось в откосах открытых выемок. В 80—90 гг. прошлого столетия велись большие берегоукрепительные работы, в результате чего большинство очагов проявления оползания ликвидировано.

Таким образом, при проектировании новых массивов освоения необходимо учитывать все возможные изменения геологической среды для более рационального ее использования. При любом виде освоения могут развиваться следующие процессы и явления:

- 1) появление новых водоносных горизонтов, верховодки;
- 2) подтопление;
- 3) набухание;
- 4) просадка;
- 5) уменьшение прочности пород;
- 6) коррозия металла и бетона;
- 7) гидратационное оседание искусственных грунтов (при наличии их в основании сооружений);
- 8) оползание (в основном оползни II, III, IV видов).

Кроме этих процессов при расширении или строительстве новых предприятий металлургической, энергетической и химической промышленности необходимо учитывать такой процесс, как формирование гидрогеохимических аномалий в местах шламонакопителей, прудов-отстойников, а при строительстве котельных и промышленных печей — термоусадку.

Районы II типа узкой полосой пересекают южную часть Волгограда, захватывая в основном селитебную зону, частично территорию предприятий деревообрабатывающей промышленности и гидротехнического строительства.

Территория районов этого типа даже в естественных условиях подтоплена и в связи с инженерно-хозяйственным освоением существенных изменений в гидрогеологической обстановке не произошло. Наблюдается постоянный подъем уровня грунтовых вод со скоростью до 0,25 м/год (территория современной застройки) до глубины 0,3...1,0 м. В связи с этим наибольшее распространение здесь получили процессы подтопления (13 случаев); заболачивания (1 случай), засоления в летнее время. Эти же процессы развиты и на территории предприятия деревообрабатывающей промышленности (1 случай).

Степень коррозионной активности озерно-аллювиальных глин и суглинков средняя, супесей весьма высокая, хвалыньских глин изменяется от средней до весьма высокой с преобладанием повышенной, суглинков и супесей — средняя.

Грунтовые воды озерно-аллювиальных современных и верхнечетвертичных отложений обладают сульфатной, реже общекислотной агрессивностью ко всем видам цемента и бетонов.

Таким образом, при проектировании новых массивов жилищного строительства, расширении и реконструкции существующего промышленного строительства необходимо учитывать следующие процессы и явления, которые могут развиваться вновь или активизироваться:

- 1) подтопление;
- 2) заболачивание;
- 3) засоление в летнее время;
- 4) коррозию металла и бетона;
- 5) гидратационное оседание искусственных грунтов (при наличии их в основании сооружений).

Районы III типа освоены в пределах северной части Волгограда (Краснооктябрьский, Тракторозаводский, Дзержинский районы). В селитебной зоне здесь встречаются все виды застройки, в промышленной — предприятия с мокрым и полусухим режимами работы.

Для этой территории в период до ее освоения было характерно спорадическое распространение грунтовых вод в нижней части ергенинских песков. Освоение территории привело к значительным изменениям подземной гидросферы в трех случаях:

1) в местах незначительной мощности ергенинских песков (до 3, реже 5 м), подстилаемых глинами майкопской серии палеогена;

2) на участках, где в толще ергенинских песков встречаются прослои алевроитов и глин;

3) на участках, сложенных мощной толщей (более 15 м) лессовых пород.

В этих случаях происходит формирование новых водоносных горизонтов, верховодки с интенсивным подъемом уровня грунтовых вод. Максимальная скорость подъема уровня грунтовых вод (до 2...5 м/год) зарегистрирована на территории предприятия металлургической промышленности с мокрым технологическим режимом работ при геолого-гидрогеологических условиях, соответствующих третьему случаю.

Скорость подъема уровня грунтовых вод в ергенинских песках на алевроитовых и глинистых прослоях (второй случай) на территории предприятий машиностроения и стройиндустрии с полусухим режимом работы не превышает 0,14...0,27 м/год.

Подъем уровня грунтовых вод вызывает подтопление заглубленных частей фундаментов как предприятий промышленной зоны (3 случая), так и жилых домов селитебной зоны (3 случая).

Таким образом, в пределах районов этого типа при любом виде инженерно-хозяйственного освоения можно выделить неподтопляемые и потенциально подтопляемые участки.

К потенциально подтопляемым относятся:

1) участки распространения лессовых пород значительной мощности (более 15 м);

2) участки с незначительной мощностью ергенинских песков (3...5 м), подстилаемых глинами майкопской серии палеогена;

3) участки с прослоями глин и алевроитов в толще ергенинских песков.

Неподтопляемыми являются участки, сложенные мощной толщей ергенинских песков с глубиной залегания уровня грунтовых вод более 10...15 м.

Искусственное увлажнение лессовых пород в основании сооружений (формирование верховодки, утечки из водонесущих коммуникаций и т.д.) приводит к возникновению просадок, что выражается в деформациях различных сооружений (6 случаев). Тип грунтовых условий по просадочности — первый с нижней границей просадочности в основном на глубине 7...8 м.

Степень коррозионной активности лессовых пород изменяется от средней до низкой с преобладанием средней, ергенинских песков — средняя.

Спорадически распространенные воды лессовых пород и грунтовые воды ергенинских песков обладают, как правило, сульфатной агрессивностью к бетонам.

С предприятиями металлургической промышленности связано формирование гидрогеохимических аномалий, которые представляют собой загрязненные зоны подземных вод ергенинского водоносного горизонта (значительное увеличение минерализации — до 32 г/л, повышенное содержание фтора — до 40 мг/л в пруде-испарителе и т.д.), что обусловлено инфильтрацией проток из шламонакопителей и прудов-испарителей (2 случая).

Заполнение выемок водой наблюдается в заброшенных карьерах предприятий стройиндустрии (2 случая).

Таким образом, при проектировании новых массивов освоения необходимо учитывать следующие процессы и явления:

- 1) появление новых водоносных горизонтов, верховодки;
- 2) подтопление;
- 3) просадку;
- 4) уменьшение прочности пород;
- 5) коррозию металла и бетона;
- 6) гидратационное оседание искусственных грунтов (при наличии их в основании сооружений).

При строительстве новых или реконструкции существующих предприятий металлургической промышленности необходимо учитывать возможность формирования гидрогеохимических аномалий.

При изысканиях следует уделять особое внимание выявлению мощности лессовых пород, мощности и площадного распространения алевроитовых и глинистых прослоев в толще ергенинских песков, которые определяют возможность развития подтопления.

Районы IV типа имеют ограниченное распространение в пределах города и в основном заняты селитебной зоной.

Освоение территории привело к существенным изменениям подземной гидросферы. На освоенных площадях появились спорадически распространенные воды в элювирированной зоне майкопских глин, очень часто с глубиной залегания уровня грунтовых вод в зоне фундаментов, вызывая подтопление сооружений (16 случаев). Скорость подъема уровня грунтовых вод местами достигает 0,2 м/год. На участках, сложенных мощной толщей лессовых пород, сформировалась верховодка с уровнем грунтовых вод на глубине 8,3...9,7 м. Скорость подъема уровня грунтовых вод 0,5...0,7 м/год.

Незначительная площадь района занята благоустроенным лесопарком на вершине Мамаева кургана, где майкопские глины в настоящее время обводнены почти на всю мощность.

Таким образом, районы IV типа являются потенциально подтопляемыми как в случаях залегания майкопских глин с поверхности, так и в случаях, когда глины перекрыты мощной толщей лессовых пород, независимо от вида инженерно-хозяйственного освоения.

Набухание майкопских глин, выражающееся в деформации сооружений, наблюдается при увеличении их влажности при подъеме уровня грунтовых вод (4 случая), при искусственном их увлажнении, при утечках воды из неисправных водонесущих коммуникаций (7 случаев), при сезонном увеличении влажности глин (1 случай).

Просадка лессовых пород в основании сооружений отмечается на участках подтопления (3 случая) и при искусственном их увлажнении (4 случая). Тип грунтовых условий по просадочности — первый с нижней границей просадочности в основном на глубине 7...8 м.

Коррозия металла определяется степенью коррозионной активности грунтов, которая изменяется от средней до низкой с преобладанием средней у лессовых пород, а у майкопских глин — от средней до весьма высокой с преобладанием повышенной степени коррозионной активности.

Спорадически распространенные воды лессовых пород обладают сульфатной агрессивностью к несульфатостойким портландцементам, а воды майкопских отложений — сульфатной, общекислотной, углекислотной и выщелачивающей агрессивностью к бетону.

В единичных случаях отмечаются процессы термоусадки майкопских глин (1 случай), гидратационного оседания искусственных грунтов (1 случай).

В пределах селитебной зоны, на территории, расчлененной оврагами, наблюдается процесс оползания майкопских глин, вызванный повышением уровня грунтовых вод и обводнением пород (оползни I вида), реже в откосах открытых выемок (оползни III вида).

При проектировании новых массивов освоения необходимо учитывать потенциальную подтопляемость районов этого типа. При любом виде освоения могут развиваться следующие процессы и явления:

- 1) появление новых водоносных горизонтов, верховодки;
- 2) подтопление;
- 3) набухание;
- 4) термоусадка;
- 5) просадка;
- 6) уменьшение прочности пород;
- 7) коррозия металла и бетона;
- 8) гидратационное оседание искусственных грунтов (при наличии их в основании сооружений);
- 9) оползание (оползни I, III видов).

Районы V типа в пределах городской территории заняты преимущественно селитебной зоной и частично предприятиями металлургической (мокрый технологический режим работы) и машиностроительной (полусухой режим работы) промышленности.

Для этой территории в период до ее освоения было характерно спорадическое распространение грунтовых вод в толще песчаных и алевроитовых пород, на глинах и более плотных разностях этих пород. Освоение территории значительно повлияло на изменение подземной гидросферы. На всех освоенных участках селитебной и промышленной зон наблюдается появление но-

вых водоносных горизонтов, верховодки со скоростью подъема уровня грунтовых вод в селитебной зоне до 0,14 м/год, в промышленной до 0,2...0,46 м/год, вызывающих подтопление сооружений (48 случаев). Таким образом, районы этого типа являются потенциально подтопляемыми при любом виде инженерно-хозяйственного освоения.

Просадка лессовых пород в основании сооружений отмечается на участках подтопления (3 случая) и при искусственном увлажнении их в результате утечек из водонесущих коммуникаций (8 случаев), что выражается в деформациях зданий и сооружений. Тип грунтовых условий по просадочности — первый, с нижней границей просадочности в основном на глубине 7...8 м.

Степень коррозионной активности лессовых пород изменяется от средней до низкой с преобладанием средней. Песчано-алевритовые породы палеогена имеют среднюю степень коррозионной активности, одновозрастные глины — повышенную.

Грунтовые воды песчано-алевритовых пород обладают сульфатной, общекислотной, выщелачивающей и углекислотной агрессивностью к бетону.

В отдельных случаях встречаются процессы набухания глин (6 случаев), термоусадки в основании трубы котельной (1 случай) и гидратационного оседания искусственных грунтов (9 случаев).

При проектировании новых массивов освоения необходимо учитывать потенциальную подтопляемость и возможность возникновения и развития следующих процессов и явлений (независимо от вида инженерно-хозяйственного освоения):

- 1) верховодки;
- 2) просадки;
- 3) набухания;
- 4) термоусадки;
- 5) уменьшения прочности пород;
- 6) коррозии металла и бетона;

7) гидратационного оседания искусственных грунтов (при наличии их в основании сооружений).

Районы VI типа освоены в меньшей степени. Из инженерно-хозяйственного воздействия здесь развито жилищное строительство, в основном индивидуальное, в пределах селитебной зоны, и лесопарк Бакалда, относящийся к зоне незастроенных и слабо застроенных территорий. Эти виды инженерно-хозяйственного освоения практически не оказывают влияния на изменение гидрогеологических условий Волго-Ахубинской поймы, которые находятся в полной зависимости от гидрологического режима Волги.

Значительная часть Волго-Ахтубинской поймы в период паводков затопливается. Для защиты от затопления пониженные места освоенной территории обваловываются дамбами. В результате этого регулируемое накопление антропогенных отложений приобретает все более широкие масштабы.

Степень коррозионной активности аллювиальных современных песков низкая, суглинков — средняя, глин — высокая. Грунтовые воды этих отложений не агрессивные.

Из природно-антропогенных процессов отмечается активизация эрозии и эоловых процессов, что особенно интенсивно проявляется на территории лесопарка Бакалда (1 случай), по данным Гипроводстроя ширина разрушенной береговой полосы здесь за десятилетний период составила более 200 м, достигая местами 400 м.

Здесь же из-за превышения рекреационных норм наблюдается вытаптывание травянистой растительности, нарушение почвенного покрова и, как следствие этого, перевевание песков.

К природно-антропогенным относится и процесс затопления необвалованной территории в период крупных попусков воды из водохранища в паводок.

Таким образом, при освоении новых массивов жилищного строительства и лесопарков могут развиваться следующие процессы и явления:

- 1) накопление регулируемых и нерегулируемых антропогенных отложений;
- 2) коррозия металла;
- 3) активизация эрозии, эоловых процессов;
- 4) затопление необвалованной территории в период крупных попусков из водохранилища.

Возникновение *районов VII типа* связано с ликвидацией оврагов и балок путем их засыпки и замыва. Только за последние 30...40 лет в Волгограде ликвидировано значительное количество оврагов, в результате чего модуль линейной эрозионной расчлененности, выражающийся отношением длины оврагов к единице площади геоморфологического района, снизился с 1,59 до 0,87 и продолжает снижаться [16].

За счет засыпки и нивелировки боковых ответвлений сократили свои размеры такие крупные овраги, как Долгий, Банный, Купоросный, Дедушенковский, Букатинский, Бекетовский и др., балка Капустная, устьевая часть долин рек Царица, Мокрая Мечетка и др. Большие массивы намывных песков возникли в связи с берегоукрепительными работами, строительством дамб через балки и овраги и т.д.

Ликвидация оврагов привела к значительному переформированию подземного стока и подъему уровня грунтовых вод как в насыпных и намывных отложениях, так и на территориях, ранее дренируемых этими оврагами. Скорость подъема уровня грунтовых вод в засыпанных оврагах достигает 1,5...1,8 м/год.

Территория этих районов относится к потенциально подтопляемым. Здесь отмечается регулируемое и нерегулируемое накопление антропогенных отложений (10 случаев), гидратационное оседание искусственных пород (1 случай), антропогенные сели (2 случая), образование искусственных грунтов в естественных водоемах (1 случай).

Хорошо известно, что с увеличением влажности грунтов их механические характеристики изменяются, и в соответствии с этим уменьшается величина сопротивления грунта под острием и по боковой поверхности свай. В наибольшей степени снижение сопротивления характерно для просадочных и набухающих грунтов, но присуще также и другим глинистым грунтам.

3. ОЦЕНКА РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДА

3.1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ РАДОНООПАСНОСТИ

Прежде всего чрезвычайно важно отметить, что проблема радоноопасности является одной из важнейших составляющих более общей проблемы геопатогенеза. К настоящему времени существование геопатогенных зон (ГПЗ) является неоспоримым фактом. Под ГПЗ, как правило, понимаются локальные участки земной поверхности, характеризующиеся тем, что длительное пребывание человека в их пределах отрицательно сказывается на его здоровье. Они формируются вблизи крупных трещин в горных массивах, в оврагах, над месторождениями полезных ископаемых и пустотами в толщах горных пород. Геопатогенез может быть вызван комплексом таких факторов, как изменения геофизических, геохимических, геомагнитных и других полей, а также уровня естественного радиационного фона, обусловленного радоном.

Для уменьшения или предотвращения влияния ГПЗ на здоровье человека требуется определить причину патогенеза и в зависимости от выявленных факторов проводить меры. Изучением данной проблемы занимались как зарубежные, так и отечественные исследователи: М.К. Tolba, R.H. Goldman, V. Fritsch, K. Bachler, M. Curry, E. Hartmann, P. Schweizer, А. Дубров, О. Красавин, Е. Мельников, В.Н. Уткин, А. Куимов, В.С. Яковлев, Н.К. Рыжакова, В.И. Макаров, В.И. Бабак, А.Л. Дорожко, В.М. Бондаренко, Н.В. Демин и др. Исследованием ГПЗ в Волгоградской области занимались В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, В.Е. Ломовских, М.В. Чурсина [102].

В 1997—1999 гг. для территории Волгоградской области (включая Волгоградскую городскую агломерацию (ВГА)) были получены значимые корреляционные связи между показателями здоровья человека и степенью нарушения территории тектоническими структурами — активными разломами осадочного чехла, солянокупольными дислокациями. Это подтвердило гипотезу о геопатогенезе, связанном с подобными структурами, а точнее с вызванными ими аномалиями геофизических и геохимических полей.

Другие зоны биологического дискомфорта возникают на городских территориях в пределах ареалов распространения структурно-неустойчивых грунтов, теряющих при увлажнении прочность, что приводит к деформациям и авариям зданий. Эти просадочные и набухающие грунты почти повсеместно распространены на территории Волгограда и Волжского и, будучи слабопроницаемыми, создают благоприятные условия для развития подтопления. В итоге здесь развит комплекс неблагоприятных процессов: подтопление (420 участков), набухание (167 аварий зданий), просадки (63 аварии). Негативное воздействие подтопления не ограничивается авариями зданий и затоплением подвалов. Следующим звеном этой цепочки является развитие в них болезнетворной флоры и фауны (грибов, комаров) и в результате — заболеваний человека [104].

Третий тип геопатогенеза связан с химическим загрязнением почв. Выбросы в атмосферу промышленными предприятиями, ТЭС, авто- и авиатранспортом продуктов неполного сгорания каменного угля, нефти, мазута, всех марок жидкого топлива в виде твердых частиц и капелек жидкости, содержащих весь спектр тяжелых металлов и их окислов, взвешенных в городском воздухе и выпадающих на землю с дождями и снегом, накапливаясь в почвах, загрязняют приземный воздух, вызывая различные заболевания населения. Очень важно отметить, что тяжелые металлы по токсикологическим оценкам «стресс-индексов» занимают одно из первых мест среди загрязняющих веществ и в будущем могут быть самыми опасными загрязнителями среды, опережая отходы АЭС и органические вещества.

Четвертый тип возможного геопатогенеза обусловлен радоноопасностью. Хорошо известно, что радон по проницаемым зонам земной коры попадает в помещения, является мощным альфа-излучателем и способен вызывать онкологические заболевания людей, в особенности проживающих на нижних этажах зданий.

Таким образом, на территории ВГА выделяются 4 группы зон биологического дискомфорта, приуроченных соответственно к тектоническим дислокациям, участкам развития геодинамических процессов и зонам радиоактивного и химического загрязнения. В пространстве они могут накладываться друг на друга, увеличивая тем самым вероятность заболеваний.

Обеспечение радоновой безопасности — одна из важнейших проблем инженерной геологии и геоэкологии, которая активно обсуждается в последние два десятилетия. В соответствии с оценкой, опубликованной в докладах Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР) в Генеральной Ассамблее ООН за 1982 и 1988 гг., вдыхание короткоживущих продуктов распада радона-222 дает вклад в эффективную эквивалентную дозу, получаемую человеком от естественных источников излучения, равный примерно 50 % [31]. Широкомасштабные исследования, проведенные в начале 1990-х гг. в Западной Европе, подтвердили, что за счет радона формируется от 50 % коллективной дозы для благополучных регионов, до 92 % для регионов с повышенной радоноопасностью [27].

Повышенное внимание к проблеме радона обусловлено и тем, что при радиологическом мониторинге жилых и служебных помещений в США, Англии, Швеции и других развитых странах были установлены высокие концентрации радона, превышающие предельно допустимые даже для персонала урановых рудников. Так, в Англии обнаружено около двадцати тысяч домов с концентрацией радона свыше 400 Бк/м^3 , что в несколько раз превышает принятые там уровни ПДК. По данным радиологов, в США значительная часть смертей от рака легких происходит от вдыхания радона в жилищах. По данным Международного комитета радиационной защиты (МКРЗ), в США число лиц, получающих в бытовых условиях дозу облучения на легкие, превышающую дозу шахтеров урановых рудников, составляет около одного миллиона человек.

В России, по имеющимся данным, обстановка как минимум не лучше. Хотя регулярные исследования начаты относительно недавно, уже известны отдельные регионы, где в жилых постройках уровень концентрации Rn-222 в сотни раз превышает ПДК (Западная Сибирь, Забайкалье, Северо-Кавказский регион, многие области Центрального района, Мурманская и Ленинградская области, юг Карелии и др.).

Коллективная доза для населения Российской Федерации от природных источников составляет около 50 млн. чел.-бэр/год, что в 300 раз больше дозы, получаемой вследствие аварии на Чернобыльской АЭС [58].

Это обстоятельство потребовало разработки Федеральной целевой программы снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников (программа «Радон»), включающей вопросы организации радиационно-гигиенического обследования населения, территорий, объектов, клинико-эпидемиологического исследования состояния здоровья населения и производственного персонала, методического, метрологического и аппаратурного обеспечения, радиационно-геологического обследования и районирования территории Российской Федерации, районов и населенных пунктов с целью выявления и оконтуривания радоноопасных площадей и участков, разработки мер защиты и т.д. [58]. Реализация программы «Радон» предусматривалась за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов РФ, местных бюджетов и внебюджетных источников. Ввиду сложной экономической ситуации в России эта программа до сих пор не реализована, хотя отдельные вопросы районирования территории России в целом и ряда областей и регионов по радоноопасности все-таки были решены [63].

В 1996 г. вышел Закон Российской Федерации «О радиационной безопасности населения» [115], где проблеме радона уделено особое внимание, и в 1996 г. вступили в действие новые нормы радиационной безопасности (НРБ-96), которые в 1999 г. были усовершенствованы и выпущены в виде НРБ-99 [57]. Этими нормативными документами установлено, что эквивалентные равновесные объемные активности (ЭРОА) радона и торона в производственных условиях не должны превышать соответственно 310 и 68 Бк/м³, для новых зданий жилищного и общественного назначения — 100 Бк/м³, в эксплуатируемых зданиях — 200 Бк/м³.

Радон-222 и торон-220 являются бесцветными, без запаха тяжелыми радиоактивными газами, образующимися в результате естественного радиоактивного распада элементов соответственно уранового и ториевого рядов. Период полураспада Rn составляет 3,82 суток, период полураспада Tn — 55,6 секунд [5, 56]. Следовательно, торон в большинстве случаев распадается практически на месте его образования и в редких случаях достигает жилых помещений при их плохой изоляции от грунта. В случае нахождения естественного радионуклида тория-232 в повышенных концентрациях в строительных конструкциях (стенах, перекрытиях) дочерний продукт цепочки его распада — торон — может поступать непосредственно в жилые помещения,

приводя к облучению населения. Таким образом, основным радиоактивным газом, который поступает из почвы в подвальные помещения и первые этажи зданий и оказывает максимальное радиологическое воздействие на жителей, является радон.

Природный газ радон, образующийся в горных породах, постоянно поступает в атмосферу и гидросферу и присутствует в небольших концентрациях повсеместно. По данным [39, 55], концентрация радона в открытом атмосферном воздухе в разных странах колеблется от 0,1 до 9,6 Бк/м³, а ее уменьшение с высотой составляет 95 % на высоте 1 м, 87 % — на высоте 10 м, 69 % — на высоте 100 м от земной поверхности, где концентрация радона принята за 100 %. В закрытых пространствах (подвальных и жилых помещениях) радон имеет свойство накапливаться и достигать до 1—3-х порядков в сравнении с его концентрацией в открытой атмосфере. Например, в Финляндии и Швеции обнаружены величины объемных активностей радона в несколько тысяч Бк/м³ в тысячах незащищенных жилых и производственных зданиях [27], что в несколько раз превышает допустимые ПДК для работников урановых рудников.

При распаде радона образуется цепочка радиоактивных дочерних продуктов (изотопов свинца, висмута и полония), завершающаяся стабильным (нерадиоактивным) изотопом свинца-206. Дочерние продукты распада радона (ДПР) вдыхаются в виде ионов металлов вместе с воздухом и могут задерживаться в легких, дыхательных путях человека, где при распаде выделяют альфа- и бета-частицы и поражают клетки эпителия. Если человек длительное время проживает в доме с высоким уровнем концентрации радона, то он подвергается риску заболеть раком легких или верхних дыхательных путей.

Борьба с накоплением опасных концентрации радона в помещениях заключается в применении превентивных (упреждающих) и корректирующих (защитных) мер. Эти меры заключаются в районировании территорий по степени радиационной безопасности [58], в исследовании и оценке радиационной обстановки в составе инженерно-экологических изысканий для строительства [30], в проведении защитных противорадоновых мероприятий в существующей застройке [27].

Районирование территории России по степени радоноопасности является одним из основных этапов, в связи с чем по программе «Радон» этот этап осуществлен одним из первых. Необходимость и эффективность районирования территории очевидна уже на этапе мелкомасштабной оценки прогнозной радоноопасности. В частности, на карте масштаба 1:32 000 000 не менее трети территории России отнесено к неблагоприятным по ожидаемой величине концентрации радона в грунтовой (почвенной) атмосфере районам (рис. 3.1) [107].

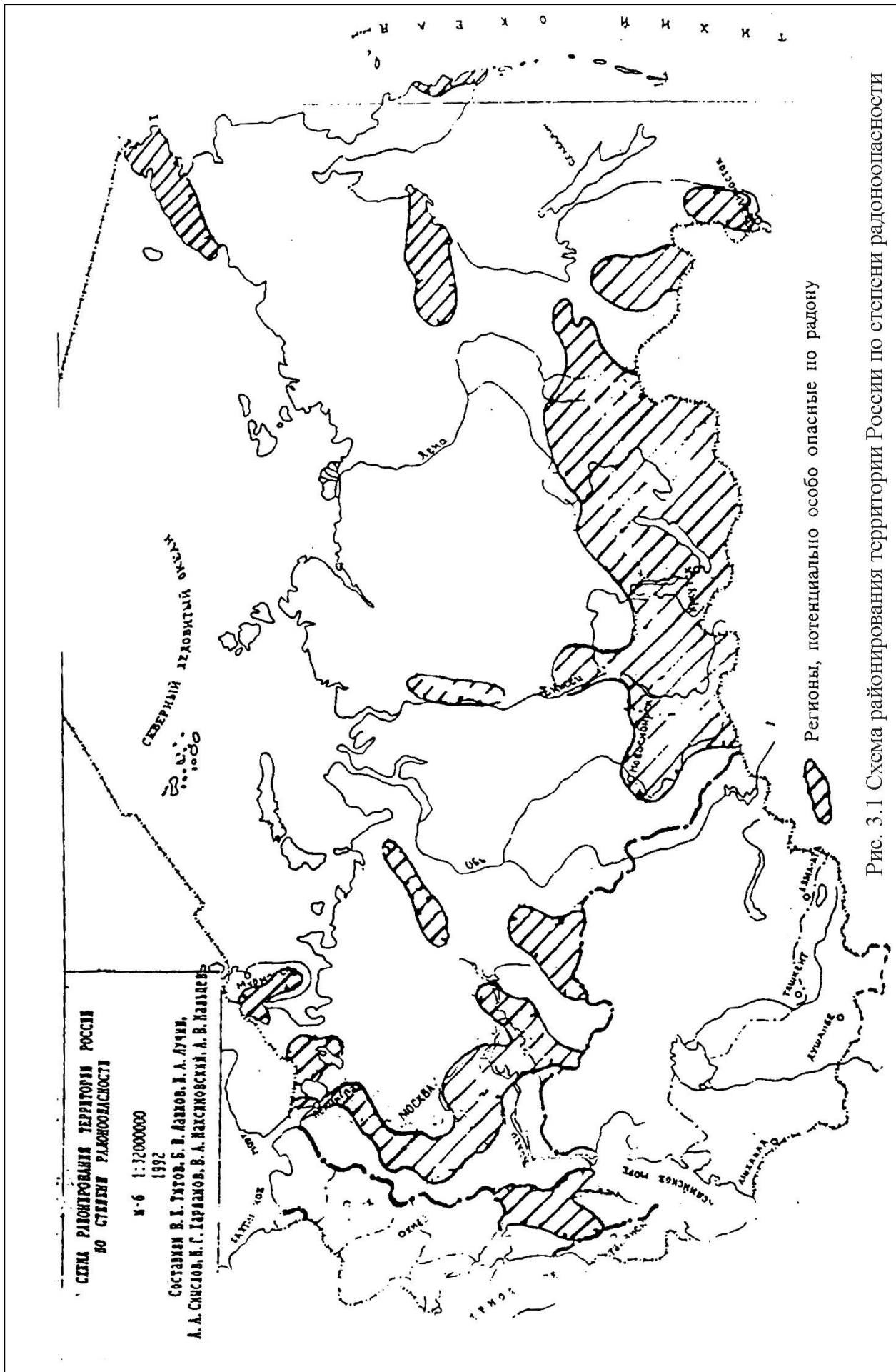


Рис. 3.1 Схема районирования территории России по степени радоноопасности

В 1992 г. во ВСЕГИНГЕО были разработаны в первом приближении основы методики мелкомасштабного районирования по радоноопасности [107] и на их базе в конце 1994 г. составлена карта потенциальной радоноопасности территории России в масштабе 1:5 000 000. Для ее составления использованы не только радиогеохимические, радиометрические, геолого-геофизические и другие данные, но и имеющиеся на отдельные регионы России карты-схемы потенциальной радоноопасности масштаба 1:1 000 000 и крупнее. При составлении этой карты критерии (признаки) радоноопасности территорий разделены на прямые и косвенные. К прямым критериям отнесены горные породы с повышенными содержаниями урана, месторождения и рудопроявления урана и торий-ураносодержащих руд (редкоземельных элементов, фосфоритов и др.), источники и ареалы распространения подземных радиоактивных (U, Ra, Rn) вод, осредненные значения объемной активности (ОА) радона в грунтовом (почвенном) воздухе. Приведены изолинии расчетной мощности экспозиционной дозы (МЭД) по данным аэрогамма-спектрометрических съемок, показаны населенные пункты с известными на момент составления карты аномальными (свыше ПДК) концентрациями радона в жилых помещениях, участки с отстойниками радиеносных вод на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексах.

К косвенным критериям (признакам) отнесены угленосные бассейны, нефтегазонасыщенные провинции, районы развития малых интрузий гранитоидов, неотектонические зоны разломов, районы повышенной сейсмичности.

Сложность проблемы оценки радиационно-экологического состояния территории, площади или объекта, прежде всего от воздействия природных радиационных факторов, заключается в «отсутствии безопасных порогов (а, следовательно, ПДК) при воздействии канцерогенов, ионизирующей радиации. Любое превышение ими привычных природных фонов опасно для живых организмов хотя бы генетически, в цепи поколений» [24]. В связи с этим существуют различные подходы к районированию территорий. Отсутствие единой методики районирования приводит к тому, что полученные результаты (карты, схемы) часто немного отличаются друг от друга и нуждаются в дополнительном уточнении и заверке. При этом кардинальным вопросом является совершенствование геолого-геофизических и других критериев оценки радоноопасности.

Следует также отметить, что радиогеохимическая и радиометрическая изученность территории России крайне неравномерна, а качество материалов, используемых для составления карт-схем, неоднородно и зачастую недостаточно.

Очевидно, по этим причинам на приведенной мелкомасштабной схеме районирования (см. рис. 3.1) территория Волгограда не попадает в контур потенциально опасного региона по радону. Тем не менее он находится в непосредственной близости (около 200 км) от региона с урановыми месторождениями в майкопских отложениях олигоцен-миоценового возраста (территория Республики Калмыкия). В геологическом строении территории города принимают участие породы аналогичного возраста с желваками фосфоритов и рыбным детритом с повышенным (до 20...50 г/т и более) содержанием урана (прямой кри-

терий, имеют место зоны тектонических нарушений (косвенный критерий), город находится в нефтегазоносной провинции (косвенный критерий). В этой связи имелись все предпосылки выявления на его территории участков и площадей, неблагоприятных или потенциально опасных по радону.

Для получения достоверной информации о степени радоноопасности конкретной территории необходимо проведение крупномасштабных (1:50 000—1:25 000) исследований (районы, города), при которых кроме обобщения и анализа геолого-геофизических и радиогеохимических данных проводятся натурные измерения ОА радона, изучается радиоактивность и содержание естественных радионуклидов (ЕРН) в почвах и грунтах.

Подобный подход осуществлен при районировании региона Кавминвод по степени потенциальной радоноопасности, такой же порядок изучения и районирования территории Волгограда по радоноопасности был принят в основу при осуществлении работ партии № 117 ГП «Кольцовгеология» по договору с Волгоградским комитетом охраны природы [143].

3.2. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДОНООПАСНОСТИ

Основным источником поступления радиоактивных эманаций (радона и торона) в жилые и производственные помещения (здания и сооружения) в большинстве случаев является геологическое пространство под ними. При этом, как правило, чем выше концентрация эманаций в грунтовом воздухе, тем выше их эксхалиция с дневной поверхности и тем больше вероятность повышения концентраций радиоактивных эманаций в воздухе помещений [27].

Источником радиоактивных эманаций в геологическом пространстве являются горные породы, руды и минералы с повышенным содержанием урана (радия) и тория, в которых радон и торон образуются в процессе радиоактивного распада. Попадая в поровое пространство, эманация мигрирует к дневной поверхности. Механизм переноса эманации чрезвычайно сложен (диффузия, конвективный перенос, фильтрационные потоки) и в общих чертах определяется геологическим строением, рельефом, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и климатическими условиями, а также тектонической и сейсмической деятельностью. При этом не исключены условия, когда сравнительно слабоактивные породы могут создавать радиационно-опасную по радону обстановку [27, 30, 63, 107].

Таким образом, при прогнозировании радоноопасности должны учитываться три основных компонента геологического пространства:

наличие геологических образований — продуцентов радона и торона — и условия их эксхалиции в открытое или поровое пространство;

пути миграции радиоактивных газов, способы их переноса и транспортировки (наличие или отсутствие структурных ловушек, пород-сорбентов, трещиноватости, гидрогеологические факторы и т.п.);

условия разгрузки газовых потоков на дневной поверхности.

В зависимости от объекта и масштаба исследований факторы, определяющие радоноопасность, могут носить региональный или локальный характер. Вместе с тем геологическое пространство при прогнозировании радоно-

опасности должно быть проанализировано как с точки зрения различных вещественных, структурных и динамических особенностей, так и с учетом техногенного вмешательства человека.

Анализ совокупности данных показывает, что потенциальную радоноопасность территории определяют следующие главные факторы:

- 1) геологическое строение, включая тектонику и структурно-текстурные особенности пород;
- 2) радиогеохимическая характеристика горных пород, слагающих данную территорию, и их эманулирующая способность;
- 3) гидрогеологические особенности;
- 4) сейсмическая активность;
- 5) техногенная деятельность, нарушающая естественные условия концентрации и миграции радона и других ЕРН.

Для конкретной территории, с присущими только ей геологическими, радиогеохимическими, гидрогеологическими и сейсмическими особенностями и степенью техногенного воздействия на геологическую среду — т.е. инженерно-геологическими условиями — могут преобладать те или иные из указанных факторов. В связи с этим рассмотрим их подробнее.

Геологическое строение и тектоника. Как указывалось выше, геологическое пространство, т.е. состав и структура горных пород, морфология слагаемых ими геологических тел, особенности и взаимоотношения последних, определяет интенсивность поступления радона и дочерних продуктов его распада на уровень дневной поверхности и в приземную часть атмосферы. В зависимости от масштабов истории развития геологических процессов и их роли в формировании условий, оказывающих влияние на радоноопасность, могут выделяться региональные и локальные геологические факторы, а по характеру их влияния на процессы радоновыделения — прямые и косвенные.

К прямым факторам радоноопасности относятся радонопродуцирующие объекты — горные породы (включая радиевые и радоносодержащие воды) и минералы, урановые и урансодержащие руды, месторождения полезных ископаемых и т.п.

К косвенным факторам относят тектонические, структурные, динамические и прочие особенности геологических объектов различного ранга, способствующие эксхалации радона и миграции газов и газовой-жидких потоков, а также созданию благоприятных условий для разгрузки последних в близповерхностных условиях.

Основная миграция радона в горных породах обычно происходит по зонам трещиноватости и разломам, а также пластам проницаемых пород совместно с другими газами и водами. Хорошим проводником радона являются связанные с поверхностью подземные коллекторы. В то же время радон хорошо сорбируется многими веществами, например глинами и углями, и растворяется в воде. Эти инженерно-геологические особенности могут значительно влиять на физические параметры, характеризующие процесс миграции радона и, следовательно, на характер радонового поля вблизи дневной поверхности.

Радиогеохимическая характеристика определяется массовыми долями ЕРН — урана, тория и калия. Хотя последний не оказывает влияния на радоноопасность, он должен учитываться при общей оценке радиационной безопасности от ЕРН.

Средние концентрации ЕРН для различных типов горных пород различны: так, например, для осадочных — глина и сланцы, песчаники — содержания ЕРН следующие: U — 3,6 г/т, Th — 10,3 г/т, K — 2,8 % и U — 2,3 г/т, Th — 1,7 г/т, K — 0,4 % соответственно. Естественно, что для литологических разностей горных пород в конкретных геолого-структурных условиях содержания ЕРН будут в определенной мере варьироваться в зависимости от их гранулометрического и минералогического (вещественного) состава. Для различных по составу почв (грунтов) содержания ЕРН в среднем составляют: U — 0,5...2,5 г/т, Th — 1,5...12 г/т, K — 0,3...2,4 % [55, 56, 107]. Следует подчеркнуть, что в практике геологоразведочных работ обычно приборами определяются весовые концентрации ЕРН. С точки зрения радиационно-гигиенических требований оценка их влияния осуществляется в зависимости от их удельной активности. Эквивалентные пересчеты одного в другое следующие: 1 г ^{238}U соответствует активности, равной $1,23 \times 10^4$ Бк, 1 г ^{232}Th — $4,03 \times 10^3$ Бк, 1 г ^{226}Ra — $3,65 \times 10^{10}$ Бк, 1 г природного калия соответствует 29,6 Бк [55].

Важной радиогеохимической характеристикой горных пород и минералов является их эманлирующая способность — выделение в процессе радиоактивного распада в поровое пространство пород и почв радиоактивных эманаций Rn и Th, которые в природных условиях могут свободно мигрировать в соответствии с законами диффузии и фильтрации (конвекции). Численно эманирование пород характеризуется коэффициентом эманирования ($K_{\text{эм}}$) — долей свободной эманации по отношению к ее общему образовавшемуся количеству в условиях радиоактивного равновесия. Для осадочных горных пород, в частности глин, песчаников и песчано-глинистых образований, $K_{\text{эм}}$ обычно составляет соответственно 35...50, 1...30 и 20...30 % [56, 107].

Эманлирующая способность зависит от физико-механических свойств пород и руд (плотности, влажности, трещиноватости и т.п.), структуры и минерального и химического состава (например, окисленные и неокисленные породы) и даже для одних и тех же пород может изменяться в значительных пределах.

Движение радиоактивных эманаций радона и торона к дневной поверхности подчинено законам диффузионного, конвективного переноса и некоторых других процессов, при этом, как отмечалось выше, из-за малого периода полураспада большая часть торона в процессе переноса распадается и прекращает существовать в виде газа. Лишь непосредственно образующиеся у дневной поверхности концентрации торона могут поступать в атмосферный воздух.

Закон переноса радона и теоретические расчеты зависят от достаточно большого количества влияющих факторов (температуры, влажности, давления и их сезонных колебаний, состава и проницаемости пород и почв и др.), однако и по экспериментальным данным объемная концентрация (активность) радона в почвенном воздухе различных пород (почв) в подавляющих случаях подчинена логнормальному закону распределения. Расчеты и опыт показывают, что при содержаниях урана в горных породах, равных $3...4 \times 10^{-4} \%$, концентрация или объемная активность радона в этих породах, в зависимости от $K_{эм}$, достигает $80...200 \text{ Бк/м}^3$.

В приповерхностных условиях концентрация радона заметно снижается за счет разреживания почвенного воздуха атмосферным [107].

Гидрогеологические особенности. Свободный радон растворяется в воде и органических растворителях (нефтях) с коэффициентом растворимости от 0,12 до 0,51 (в зависимости от температуры) и может мигрировать с жидкостью (водой) на большие расстояния.

Огромные количества радона и торона скапливаются в шахтных водах (особенно урановых, фосфоритовых и некоторых угольных месторождений). Радон содержится в природных водах, повышенные концентрации обнаружены во многих источниках подземных пресных, минерализованных и термальных вод, в водах артезианских бассейнов и в рассолах нефтегазоносных областей.

Обогащение вод ЕРН происходит только в определенных климатических зонах, в определенных гидрогеологических структурах, при определенных гидродинамических условиях циркуляции подземных вод, длительности соприкосновения их с породами — все это определяет условия перехода ЕРН в воды.

В подземных водах концентрация радона меняется от 0,5 до 10 Бк/л, а в радоновых источниках достигает десятков тысяч Бк/л [5, 56]. Радоновые воды наблюдаются в различных геологических обстановках, в породах разного возраста и состава, на древних щитах, в складчатых областях и молодых платформах.

Прямой связи концентрации радона с минерализацией вод, содержанием радия в воде или с газовым составом вод не обнаружено. Концентрация радона в источниках отличается, как правило, нестабильностью. Отмечаются как суточные, так и сезонные ее колебания с амплитудой в десятки раз относительно средней концентрации. В отдельных случаях, особенно вблизи тектонических нарушений и ослабленных зон, наблюдается корреляционная связь между концентрацией радона в подземных водах и грунтовом (подпочвенном) воздухе [107]. Среднее содержание радия в подземных водах — $4 \times 10^{-12} \text{ г/л}$, урана — $7 \times 10^{-6} \text{ г/л}$ [56]. Объемная активность урана в поверхностных водах обычно составляет 0,5...3,0 мБк/л, причем для Волги характерен диапазон объемной активности по урану, равный 0,8...1,5 мБк/л [55].

Наиболее распространенными радиоактивными водами являются радоновые воды кор выветривания. Это трещинные грунтовые воды коры выветривания и неглубоких тектонических трещин в кислых магматических породах, циркулирующие на глубине, определяемой глубиной зоны «активной» трещиноватости пород, редко превышающей 30...50 м. Основным физико-химическим процессом, определяющим формирование радоновых вод коры выветривания, является эманирование, их радиоактивность зависит от $K_{эм}$ пород и абсолютного содержания радиоактивных элементов (РЭ) в породе.

Сейсмические факторы. Сейсмические явления в несколько раз увеличивают процессы выделения радона в поровое пространство и могут приводить к изменению самого порового пространства. В связи с этим интенсивность и распространенность тектонических движений земной коры следует учитывать при выработке критериев радоноопасности территории.

В сейсмоактивных регионах и в районах современной вулканической деятельности концентрация радона в почвенном воздухе, его потоки с поверхности земли и концентрация в воздухе зданий под воздействием сдвиговых напряжений земной коры в периоды, предшествующие землетрясениям (особенно в районах тектонических нарушений и ослабленных зон), могут существенно меняться.

Важно отметить, что при крупномасштабных и детальном исследованиях (масштаба 1:50 000 — 1:10 000) (административные единицы — районы, города и крупные поселки) значительную роль приобретают техногенные сейсмические землетрясения, связанные со строительными работами, глубокими карьерными разработками и шахтами (метрополитенами) с применением взрывных работ, которые резко увеличивают скорость поступления радона к дневной поверхности.

Техногенная деятельность. Индивидуальное облучение, связанное с техногенным фактором, как правило, мало в сравнении с облучением от ЕРН. Так, если по данным НКДАР [31] годовая эффективная эквивалентная доза на душу населения земного шара от ЕРН составляет около 2400 мкЗв, то значение этой величины от промышленной деятельности человека примерно равно 100 мкЗв. Однако это не означает, что техногенная деятельность человека всегда безопасна для окружающей среды, в т.ч. с точки зрения ее радиоактивного воздействия на организм человека.

Так, например, при отработке месторождений полезных ископаемых, содержащих повышенные концентрации ЕРН, могут образовываться пылевые загрязнения, может усиливаться или уменьшаться степень миграции эманаций по различным направлениям, т.е. создаваться проводники радиоактивных газов с воздухом или водой, приводящие к изменению степени радоноопасности селитебных территорий вблизи мест работы. Кроме того, могут образовываться новые источники радона в отстойниках нефтяных вод и т.п.

3.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА

Существуют экспрессные и экспозиционные методы определения радона в почвенном воздухе. Преимущество первых определено в названии — данные об объемной активности радона на точке получают сразу после окончания цикла измерения. Вторым преимуществом экспрессных методов является возможность определения ОА радона непосредственно в почвах или горных породах — источниках его генерации — с помощью заглубки в них воздухозаборного зонда. Это очень важно, т.к. все поверхностные измерения, например эксхалации радона, зависят от типа и проницаемости почв, которые обычно удаляются при рытье котлованов при строительстве жилья. Кроме того, результаты поверхностных измерений подвержены весьма значительным колебаниям в зависимости от метеорологических условий (влажности, давления, температуры), и при неблагоприятных условиях это может существенно занижать значения плотности потока радона в атмосферу, что весьма опасно по своим последствиям, например при возведении жилья без защитных мер при наличии радоноопасности. Следует также учесть, что объемная активность радона в почвенном воздухе на два-три, а иногда и более порядков превосходит объемную активность в атмосфере жилых и производственных зданий. Результаты измерения радона экспрессным методом в почвенном воздухе также подвержены влиянию атмосферных условий, но в значительно меньшей степени, чем результаты измерения на поверхности.

Задача определения концентрации радона в почвенном воздухе решается методами и средствами радиологического картирования радоновыделяющих участков земной поверхности, базирующимися на принципах эманационной съемки, эффективно используемой более 50 лет в практике геологоразведочных работ при поисках радиоактивных руд.

Наиболее производительным из существующих методов является эманационная съемка с радиометром альфа-активных газов РГА-500 (последняя разработка полевых эманометров, выпускается ФГУНПП «Геологоразведка», г. Санкт-Петербург), при которой уровень концентрации радона определяется в шпуре (искусственном отверстии в грунте диаметром 3...5 см и глубиной до 0,7 м) при определенной экспозиции. Величина концентрации (ОА) радона при этом определяется непосредственно на точке по измеренной скорости счета α -распада радона в сцинтилляционной камере. Прибор прост в применении, также просты его метрологическая поверка и контроль при работе.

Из экспозиционных методов определения объемной активности радона и его ЭРОА известны эманационно-трековый метод, САН (способ активных налетов), метод использования диффузионных сборников с активированным углем в специальных кассетах. Первые два метода применяются при измерениях в копушах и шпурах (по методике ВИРГ — «Рудгеофизика»), метод треков, кроме того, применяется и для измерений в жилых помещениях (по методике Санкт-петербургского института радиационной гигиены). Для определения плотности потока радона с поверхности почвы используются диффузионные сборники с активированным углем (методика НТЦ «Нитон»,

г. Москва). Эти методы позволяют определить концентрацию радона по его дочерним продуктам распада, т.е. косвенным путем. При этом экспозиция измерений составляет не менее 6...8 часов для второго и третьего метода (на практике обычно используется экспозиция в 16...24 часа), и от одного месяца в почве до 3...6 месяцев в жилых помещениях — для метода треков. Все три метода менее технологичны в сравнении с экспрессным эманационным методом, однако за счет времени экспозиции (особенно для метода треков) фиксируются осредненные параметры, которые лучше увязываются с дозовыми нагрузками на население (в жилых помещениях). Диффузионные сборники с активированным углем целесообразно применять на участках развития зон тектонической нарушенности и трещиноватости горных пород, а также на выявленных экспрессным методом потенциально радоноопасных участках.

Применение экспозиционных методов при измерении в почвах или на их поверхности на заселенной территории связано с определенными трудностями ввиду отсутствия контроля над сохранностью помещенных в шпур или копуши детекторов. Весьма не проста метрологическая поверка экспозиционных методов, требующая определенных условий равновесия между радонам и его дочерними продуктами распада, наличия радоновых комнат и т.д.

Учитывая предварительный и оценочный характер районирования территории Волгограда по степени радоноопасности, необходимость оперативного представления картографической информации, предпочтение в экспериментальных исследованиях партии № 117 ГП «Кольцовгеология» отдано экспрессному эманационному методу изучения территории с комплексом сопутствующих радиометрических методов. Эти работы предшествуют целенаправленному и детальному измерению уровня концентрации радона вплоть до его определений в отдельных жилых и производственных зданиях в первую очередь на выявленных радоноопасных площадях и участках.

На территории Волгограда находится более 100 предприятий, использующих в своей деятельности радиоактивные и другие источники ионизирующих излучений. Контроль за соблюдением требований законодательства при обращении с радиоактивными материалами осуществляется Волгоградским областным и городским центрами санитарно-эпидемиологического надзора, Волгоградской комплексной территориальной инспекцией по ядерной и радиационной безопасности, Волгоградским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Управлением по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям при администрации Волгограда, Государственным комитетом по охране окружающей среды Волгограда.

В Волгограде изучение пространственного распространения радиозкологической обстановки проводило, как указывалось выше, с 1993 г. геологоразведочное предприятие «Кольцовгеология». Детальному обследованию подвергнуто 100 % городской территории. В соответствии с принятой методикой работы включали аэрогамма-спектрометрическую съемку масштаба 1:10 000, маршрутную автогамма-спектрометрическую съемку и пешеходную гамма-съемку масштаба 1:2 000.

С целью оценки радоноопасности селитебной территории Волгограда и ее районирования партией № 117 ГП «Кольцовгеология» в течение 1999 г. проведен комплекс радиометрических, дозиметрических, гамма-спектрометрических и эманационных измерений в объеме 637 координатных точек по сети от $0,5 \times 0,5$ км до 1×1 км.

Изучены природно-геологические факторы потенциальной радоноопасности путем сбора, обобщения и анализа фондовых и опубликованных материалов, осуществления полевых наблюдений и их обработки; выявлены основные закономерности и связи объемной активности радона в почвогрунтах над различными геологическими образованиями с природными концентрациями естественных радионуклидов и уровнями гамма-фона.

Проведено районирование и составлены карты радоноопасных факторов и радоноопасности территории г. Волгоград. Выделены безопасные и потенциально опасные для населения геопатогенные зоны, требующие первоочередного изучения, принятия защитных противорадоновых мер для новой и существующей жилой застройки.

За период обследования было выявлено 30 очагов радиационного загрязнения локального характера, требующих дезактивации. Во всех случаях специализированными организациями проведены работы по ликвидации очагов радиоактивного загрязнения.

Главной причиной загрязнения во всех выявленных случаях явилось халатное отношение пользователей к источникам ионизирующих излучений, складирование в неустановленных местах загрязненных материалов и промышленных отходов, имеющих повышенную по сравнению с природным фоном радиоактивность.

Проведенные работы позволили сделать заключение о необходимости дальнейших исследований территории Волгограда с целью выявления радоноопасных участков. Это позволило бы выполнить районирование территории города по степени радоноопасности, что, в свою очередь, могло бы стать главным обоснованием проведения работ по оценке радиационной обстановки при отводе земельных участков под строительство, а также проведения измерений объемной активности радона в детских и оздоровительных учреждениях.

Итоги работы ГП «Кольцовгеология» в 1999 г. показали, что Волгоград, не отраженный прежде на общероссийской карте радоноопасности как потенциально опасный регион, при более детальном рассмотрении в реальности включает массу участков с аномальными концентрациями радона (рис. 3.2). Суммарно эти площади составляют 8...11 % от всей изученной геологами территории города. Оценка города по степени радоноопасности была осуществлена во всех восьми районах города. Максимальные количественные показания дал Красноармейский район, в котором находится самый большой по площади участок радоноопасности, расположенный в основном вне жилых районов, но включающий в себя садовые участки.

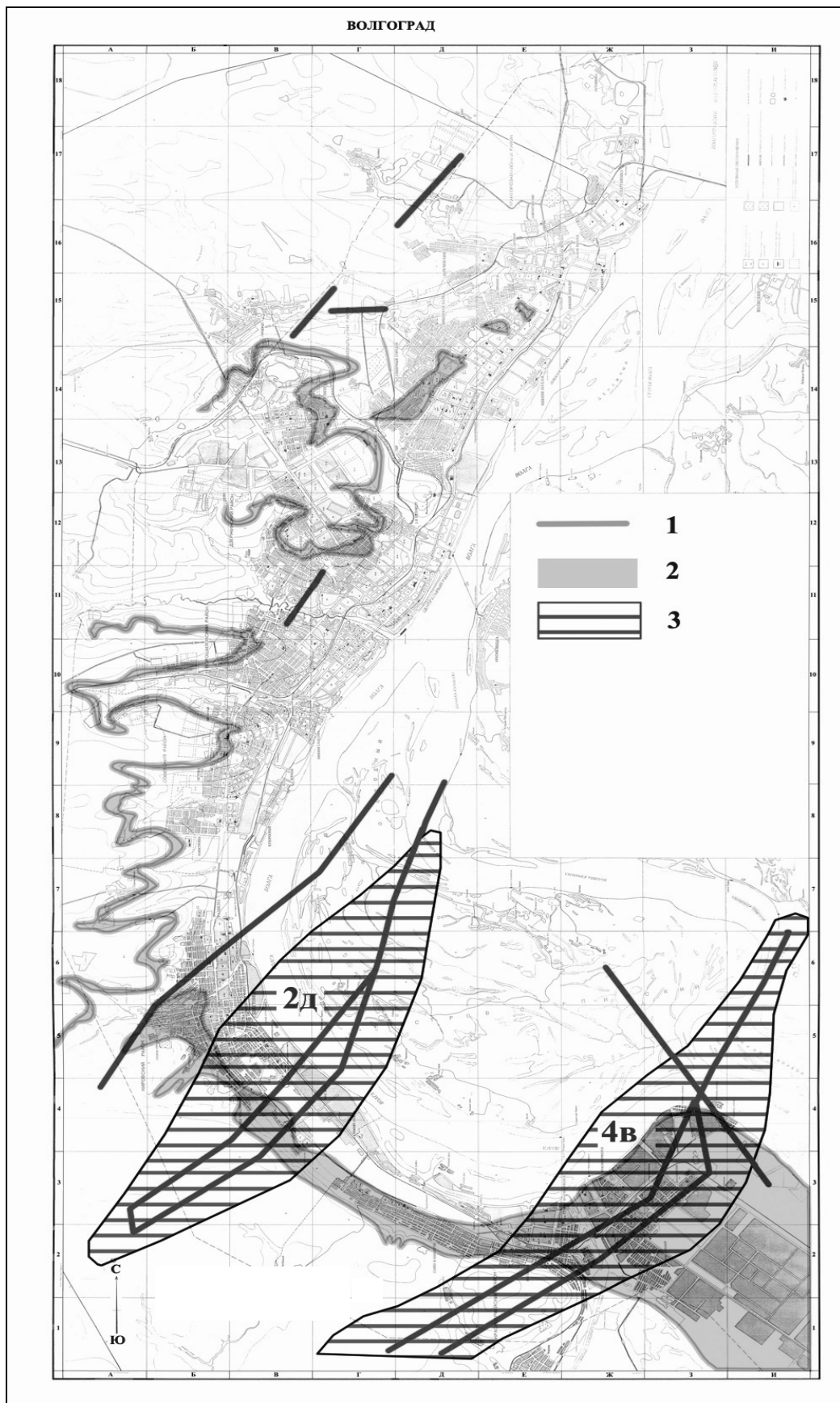


Рис. 3.2. Карта природных радоноопасных факторов: 1 — зоны тектонических нарушений; 2 — территория распространения майкопских и киевских глин (2д — Бекетовский купол; 4в — Красноармейский купол); 3 — положительные структуры в подплищевом надсолевом комплексе

На территории Кировского, Дзержинского, Краснооктябрьского и Тракторозаводского районов также было установлено несколько радоноопасных участков: жилые микрорайоны Саши Чекалина, Солёный Пруд, Старая Отрада и железнодорожная станция Бекетовка; частично сюда попадают поселки Новостройка, Северный Городок, Вишневая Балка, Зареченский и множество садоводческих товариществ, а также земельные участки, намечаемые под перспективную жилую застройку.

Исследованиями кафедры инженерной геологии и геоэкологии ВолгГАСУ было установлено, что повышенные уровни содержания радона в почвенном воздухе не ограничиваются контурами майкопских глин, обладающих максимальной радиоактивностью (в частности, к ним приурочены урановые месторождения «Ульдючина» и «Кегульта» в Калмыкии), а связаны также с зонами тектонических нарушений. В северной части города они приурочены к системе разломов, перпендикулярных планетарному Волжскому разлому (долины рек Царица, Ельшанка и др.) и параллельных ему. В южной части города радоновые аномалии связаны с солянокупольными структурами (Красноармейской, Бекетовской) и сопутствующими им разломами (см. рис. 3.2).

Изучением влияния радона на здоровье человека в различных инженерно-геологических районах (ИГР) Волгограда до настоящего времени практически никто не занимался, за исключением сотрудников кафедры ИГиГ ВолгГАСУ [123, 125].

Из вышесказанного следует, что изучение территории Волгограда и Волгоградской области по степени радоноопасности необходимо проводить с учетом инженерно-геологических условий.

3.4. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

При оценке территории Волгограда по степени радоноопасности ГП «Кольцовгеология» во всех восьми районах города (рис. 3.3) использовался прямой метод определения радона в почвенном воздухе — эманационный, с помощью прибора РГА-500. В каждой точке наблюдения, кроме того, определялся уровень радиометрического и дозиметрического гамма-фона, а также определялись содержания ЕРН гамма-спектрометрическим методом. Установлен, как правило, нелинейный характер регрессивных связей между объемной активностью радона и МЭД гамма-излучения. Показана возможность пересчета МЭД гамма-излучения в шпурах в объемную активность радона. Учитывая специфику переноса радона, следует подчеркнуть, что расчетные количественные оценки носят вероятностный и приблизительный характер (зависят от геологических, метеорологических и других факторов). Эти оценки достаточны для районирования территорий в целом по радоноопасности, но при застройке конкретных участков необходим более высокий уровень изучения. Достаточно подробно технология проведения исследований и

оценка радиационной обстановки изложены в своде правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-102—97. При этом сведения, полученные при районировании территории по радоноопасности, являются рабочей основой, по которой в зависимости от степени (уровня) радоноопасности определяется густота сети и методика наблюдений.

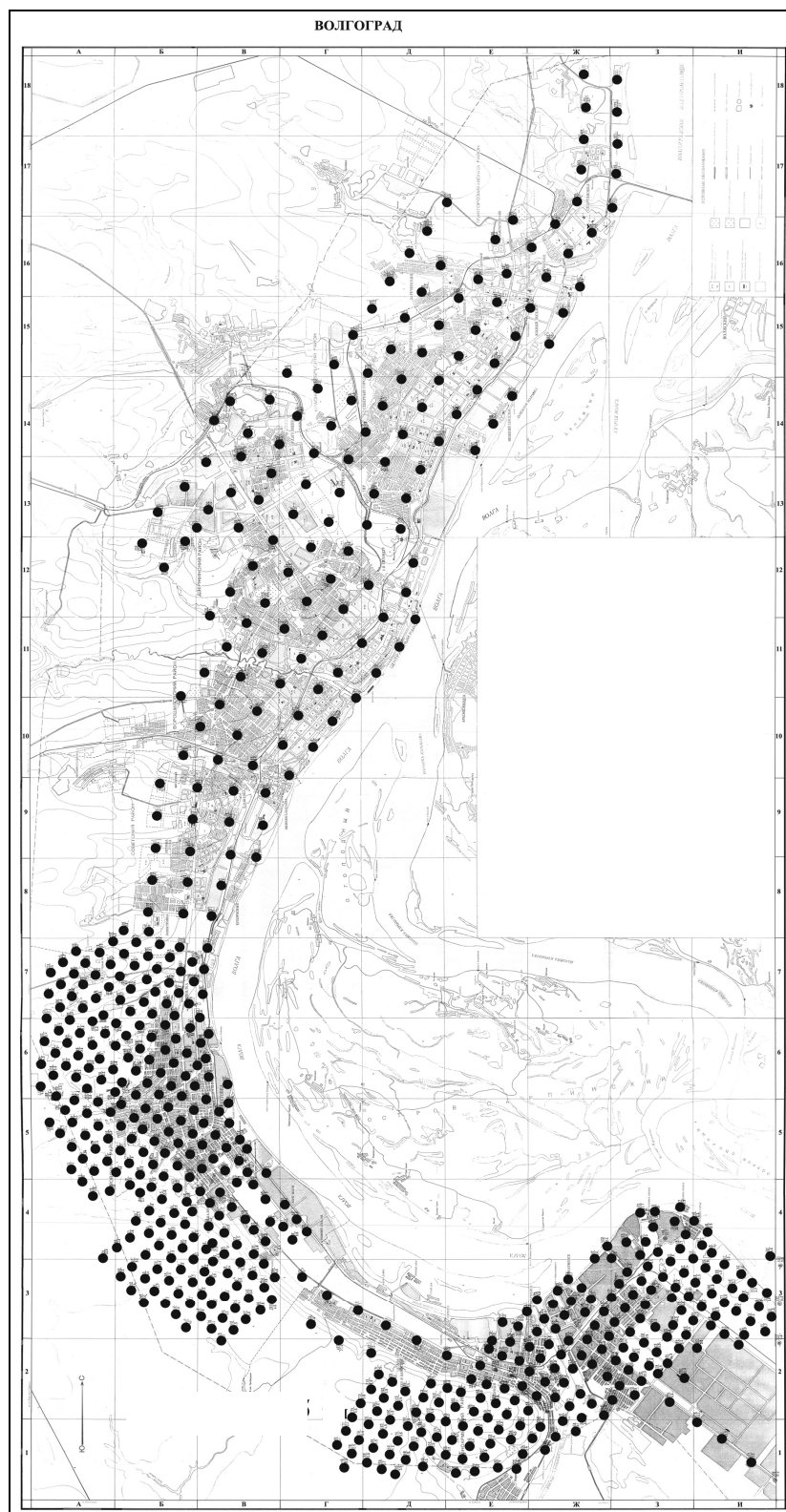


Рис. 3.3. Пункты отбора проб почвенного воздуха (по [143])

Результаты изучения объемной активности радона в почвенном воздухе и других радиационных параметров по районам города (с юга на север) таковы: в Красноармейском районе с преимущественным развитием пород майкопской серии (~ 70 % территории) и ергенинской свиты (~ 25 % территории) с ОА радона до 10 кБк/м³ занято 45 % территории района, 10...20 кБк/м³ — 40 % и свыше 20 кБк/м³ — 15 %. При этом именно в этой части города установлено максимальное (28) число пунктов с ОА радона свыше 20 кБк/м³. Большая их часть (26) выявлена в пределах развития пород майкопской свиты, один на территории, сложенной ергенинскими отложениями, и один — в пределах развития пород царицынской свиты, занимающей около 5 % территории района. МЭД гамма-излучения как на дневной поверхности, так и в шпурах по всему району соответствует среднестатистической, характеризуя однотипный состав рыхлых отложений (почво-грунтов). Аналогичные выводы можно сделать и по ЕРН, определенным гамма-спектрометрическим методом.

В Кировском районе площадь развития пород различных типов отличается от вышеописанных. Здесь преобладает развитие пород ергенинской свиты (45 %), царицынской свиты (30 %), харьковской (15...20 %), киевской (3...5 %). По уровню ОА радона в почве также отмечено отличие: до 10 кБк/м³ — 75 %, 10...20 кБк/м³ — 15 %, более 20 кБк/м³ — 10 % территории района. Всего выявлено 15 пунктов с ОА радона свыше 20 кБк/м³, из них 10 приурочены к ергенинской свите, 3 связаны с майкопской и 2 — с царицынской свитами. Необычность выявления повышенного количества таких пунктов в ергенинской свите возможно объясняется небольшой ее мощностью, хорошей проницаемостью пород и переносом радона из нижележащей глинистой пачки майкопской серии, в которой уровень фоновой ОА радона максимален, к дневной поверхности. Параметры по МЭД гамма-излучения и ЕРН варьируют в пределах статистических средних значений и соответствуют составу почв и грунтов, перекрывающих коренные отложения пород.

В Советском районе наибольшим развитием характеризуются породы царицынской свиты (80 %), далее следуют породы ергенинской (10 %), харьковской и киевской свит (по 5 %). Уровень ОА радона здесь наиболее низкий: до 10 кБк/м³ — 80 %, 10...20 кБк/м³ — 20 % территории района. Пунктов с ОА радона свыше 20 кБк/м³ не установлено. В целом это свидетельствует о низкой потенциальной радоноопасности пород царицынской свиты. В то же время из-за малой площади выходов пород харьковской и киевской свит количество наблюдений в их границах весьма мало и, возможно, непредставительно, что не исключает выявления в их пределах высоких ОА радона при сгущении сети наблюдений. Измерения МЭД гамма-излучения и содержаний ЕРН в почвах и грунтах не выявило существенных отклонений от среднестатистических значений.

Ворошиловский район по геологическому строению, ОА радона и всем другим радиационным параметрам полностью идентичен Советскому району. Имеется несущественное их различие лишь в соотношении площадей развития с разной ОА радона: до 10 кБк/м³ — 85 %, 10...20 кБк/м³ — 15 % территории.

В Дзержинском и Центральном районах соотношение разновозрастных комплексов по площади вновь резко меняется: ергенинская свита — 35 %, царицынская — 30 %, киевская — 20 %, харьковская — 15 %. Заметно возрос уровень ОА радона, который стал преобладающим по значениям 10...20 кБк/м³ (53 %), свыше 20 кБк/м³ — 2...3 % (один пункт) и до 10 кБк/м³ — 45 %. Связано это, как видно из соотношения площадей, увеличением доли харьковской и киевской свит. В то же время густота сети наблюдений (1×1 км) очевидно недостаточна для этих «радоноопасных» свит, и требуется более детальное их изучение, особенно на площадях существующей или планируемой застройки. Другие усредненные радиационные параметры (МЭД, содержание ЕРН) находятся в пределах среднестатистических данных.

Краснооктябрьский и Тракторозаводский районы города сложены преимущественно породами царицынской свиты (85 %), киевская свита занимает по площади 7 %, харьковская — 5 %, ергенинская — 3 %. При относительно редкой сети наблюдений (1×1 км) выявлено 4 пункта с ОА радона свыше 20 кБк/м³, из которых два — в пределах харьковской свиты и два — в царицынской. Усредненные радиационные параметры по гамма-фону и ЕРН здесь, как и в пределах других районов города, сходны между собой.

Попытка выявить определенные закономерности по ОА радона в местах развития или зонах влияния тектонических нарушений к существенным результатам не привела. Возможно [143], это связано с неточными данными по их положению 1950—60-х гг. прошлого столетия. Обращает на себя внимание лишь тот факт, что ОА радона практически раскоррелирована с содержаниями радия-226, который, очевидно, можно объяснить резким сдвигом радиоактивного равновесия в ряду Ra—Rn. Возможно, в данном случае имеет место высокая скорость переноса радона (что характерно для тектонических нарушений), которая нарушает радиоактивное равновесие в ряду Ra—Rn — дочерние продукты распада [143].

По данным [129], связь тектонических нарушений (солянокупольных структур, разломов) с повышенной радоноопасностью существует (см. рис. 3.2).

Обобщая итог результатов изучения ОА радона по всем районам города, нужно отметить, что на изученной части города (~ 290 км²) наиболее «радоноопасная» харьковская (майкопская) свита занимает около 28 % территории, киевская — 6 %, а наименее «опасные» — царицынская и ергенинская — соответственно 42 и 24 % [88]. Таким образом, в совокупности две свиты (харьковская и киевская) составляют около 34 %, или 98 км², и занимают практически 1/3 площади города. Учитывая потенциальную «радоноопасность» этих свит при наличии в их пределах жилой или планируемой застройки, они должны сопровождаться обязательным изучением радона в почве, его плотности потока в атмосферу, а также изучением ОА в жилых и производственных помещениях.

3.5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ПО СТЕПЕНИ РАДОНООПАСНОСТИ

За основу районирования территории города по степени радоноопасности взяты прямые определения ОА радона в почвенном воздухе, фоновые и аномальные градации которых определены статистической обработкой результатов измерений, а уровни отнесения к разным категориям радоноопасности территорий — по рекомендуемым значениям различных источников [27, 63, 107, 143]. При этом основополагающими являются эмпирически выведенные связи ЭРОА радона в жилых помещениях и ОА радона в почвенном воздухе.

Установлено, что уровню ОА радона в 10 кБк/м^3 в почве соответствует ЭРОА радона в незащищенных жилых зданиях менее 100 Бк/м^3 , то есть этот уровень ОА в почвенном воздухе считается безопасным для населения. Концентрации радона в почве, соответствующие $10...40$ или $10...50 \text{ кБк/м}^3$ (по разным источникам) являются потенциально опасными, а ОА свыше $40...50 \text{ кБк/м}^3$ — опасными, требующими принятия соответствующих мер защиты. Следует подчеркнуть, что имеющиеся эмпирические данные являются достаточно усредненными и не могут охватывать всех встречающихся на практике случаев. Например, в горной местности при прочих равных условиях плотность потока радона из почвы в атмосферу может быть в два-три раза выше, чем на равнине; при наличии значительной раздробленности горных пород тектоническими нарушениями резко увеличивается скорость движения радона к дневной поверхности и т.д. Следовательно, даже в случае безопасных уровней ОА радона в почве (до 10 кБк/м^3) при неблагоприятных условиях ЭРОА радона может превышать допустимые для помещений уровни. Для выявления подобных случаев необходим определенный процент обследования жилых зданий, расположенных в безопасных полях эманации радона в почве. Зарубежный и отечественный опыт [27, 31, 63, 143] рекомендует выборочное обследование $3...5 \%$ жилых зданий в городах. Однако с ростом уровней ОА радона в почве растет и вероятность встречаемости зданий с превышающими допустимые уровни ЭРОА радона, требующая пропорционального увеличения процента обследуемых зданий. При выявлении радоноопасных территорий (ОА радона свыше 50 кБк/м^3) обследованию подлежат все здания (100%), попадающие в их контур. С помощью интерполирования от 5 до 100% при изменении ОА радона от 10 до 50 кБк/м^3 и с учетом его логнормального закона распределения как в почве, так и в жилых зданиях, выяснено, что уровню ОА в 20 кБк/м^3 соответствует 20% необходимого числа обследуемых зданий. Максимальные ОА радона в почве, выявленные на территории города, составляют $35...45 \text{ кБк/м}^3$, что по интерполированию соответствует необходимости обследования около 50% всех зданий. При выделении потенциально опасных участков во внимание также принимался уровень МЭД гамма-излучения в шпурах и с поверхности почвы свыше 15 мкР/ч , т.к. это значение статистически близко или соответствует минимально аномальному: $X_{\text{cp}} + 1,3\sigma$, где σ — стандартное отклонение от среднего значения МЭД.

В пределах территории Красноармейского района выявлено несколько таких участков размерами от $1 \times 0,5$ до 5×3 км. Хотя самый большой по площади участок потенциальной радоноопасности расположен в основном вне жилых микрорайонов, в его контуре находятся садовые участки, и вполне вероятно накопление радона в подвалах и в самих садовых домиках или других жилых объектах.

В пределах меньших по размеру потенциально радоноопасных участков находятся жилые микрорайоны (Красноармейск, Зakanальный, Татьяна Третья, Нагорный). Максимальное значение (35 кБк/м^3) ОА радона достигает на проспекте 40 лет Октября и в районе микрорайона Нагорный.

На территории Кировского и северной части Красноармейского районов установлено несколько потенциально радоноопасных участков размерами от $0,5 \times 0,5$ до $0,5 \times 2,0$ км в пределах северной части микрорайона Сакко и Ванцетти, микрорайонов Саши Чекалина, Солёный Пруд, Старая Отрада и ж.-д. станции Бекетовская, а также вне жилых, но намечаемых под перспективную жилую застройку районах.

В микрорайоне Ангарский отмечен участок потенциальной радоноопасности размером $0,75 \times 1,5$ км. В районе Горной Поляны, в $0,8$ км к югу от нее, выявлен пункт с максимальным значением ОА радона в городе (до 45 кБк/м^3).

В пределах Дзержинского, Краснооктябрьского и Тракторозаводского районов условно безопасные и потенциально опасные по радону площади и участки составляют более половины от исследуемой площади. Относительно большим по площади ($1,5 \dots 2,5 \times 5$ км) потенциально опасным участком является участок, в контур которого частично попадают микрорайоны Новостройка, Северный Городок, Вишневая Балка и Зареченский, а также значительная часть садовых участков.

Всего в пределах города выявлено 48 пунктов, в которых ОА радона превышает 20 кБк/м^3 , что составляет 7,5 % от всех проведенных измерений. Примерно такой же процент (8...11 %) занимают и площади с ОА радона свыше 20 кБк/м^3 .

Характерно, что отдельные жилые кварталы различных микрорайонов города, а также некоторые участки перспективной застройки попадают в контур условно безопасных и потенциально опасных по радону территорий. Это требует особого внимания городских административных, природоохранных и санитарно-эпидемиологических органов, а также проектно-строительных и архитектурных служб города.

Более детальное ранжирование селитебной территории Волгограда по величине объемной активности радона в почвенном воздухе было выполнено С.В. Честновым [129], в результате чего выделено семь характерных зон: 1) зона с объемной активностью радона от 0 до $4,9 \text{ кБк/м}^3$; 2) зона с объемной активностью радона от 5 до $9,9 \text{ кБк/м}^3$; 3) зона с объемной активностью радона от 10 до $14,9 \text{ кБк/м}^3$; 4) зона с объемной активностью радона от 15 до $19,9 \text{ кБк/м}^3$; 5) зона с объемной активностью радона от 20 до $24,9 \text{ кБк/м}^3$; 6) зона с объемной активностью радона от 25 до $29,9 \text{ кБк/м}^3$; 7) зона с объемной активностью радона от 30 до $35,0 \text{ кБк/м}^3$ (рис. 3.4).

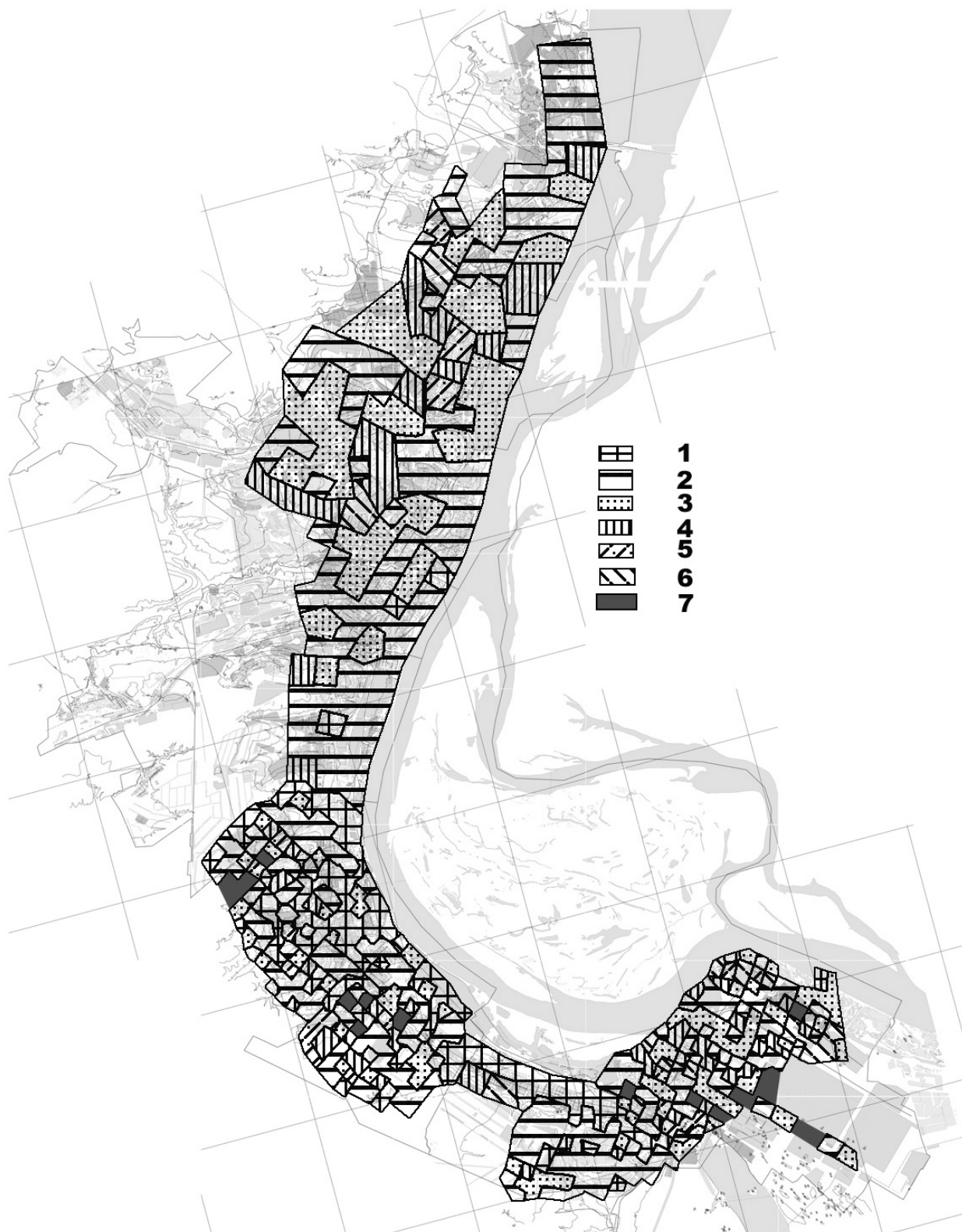


Рис. 3.4. Схема зонирования селитебной территории Волгограда по величине объемной активности радона в почвенном воздухе, $\text{кБк}/\text{м}^3$: 1 — до 4,9; 2 — 5...9,9; 3 — 10...14,9; 4 — 15...19,9; 5 — 20...24,9; 6 — 25...29,9; 7 — 30...35,0

Это позволило выполнить проверку влияния радоноопасности территории Волгограда на заболеваемость населения злокачественными новообразованиями легких, бронхов, щитовидной железы, болезнями крови, кроветворных органов, органов дыхания и возникновение отдельных нарушений иммунного механизма.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа связей между величиной объемной активности радона в почвенном воздухе и уровнем заболеваемости населения перечисленными болезнями (объем выборки — 43 000 случаев) дают основание утверждать о наличии статистически значимой связи между объемной активностью радона в почвенном воздухе и следующими заболеваниями:

— злокачественными новообразованиями легких, бронхов по выборкам за период 2001—2003 гг. Наиболее тесная связь выявлена при использовании степенной функции $r(\eta) = 0,846$;

— злокачественными новообразованиями щитовидной железы по выборкам за период 1999—2003 гг. Наиболее тесная связь выявлена при использовании полиномиальной функции $r(\eta) = 0,535$;

— болезнями крови, кроветворных органов и отдельными нарушениями, вовлекающими иммунный механизм, по выборкам за период 1999—2003 гг. Наиболее тесная связь выявлена при использовании экспоненциальной функции $r(\eta) = 0,763$;

— болезнями органов дыхания по выборкам за период 1999—2003 гг. Наиболее тесная связь выявлена при использовании степенной функции $r(\eta) = 0,849$.

Кроме того, результаты корреляционно-регрессионного анализа изученных связей между уровнем заболеваемости и этажностью зданий подтвердили представление о повышенной заболеваемости на первых этажах. Максимальной является теснота связи при использовании полиномиальной функции $r(\eta) = 0,882$.

В соответствии с предложенными критериями оценки радиационной опасности по В.А. Богословскому [7], а также с учетом рекомендаций Ю.Д. Козлова [39], по степени радоноопасности в Нижнем Поволжье можно выделить 4 класса территорий: I класс — «норма» — территория с объемной активностью радона в почвенном воздухе менее 12 кБк/м³; II класс — «риск» — территория с объемной активностью радона в почвенном воздухе от 12 до 30 кБк/м³; III класс — «кризис» — территория с объемной активностью радона в почвенном воздухе от 30 до 60 кБк/м³; IV класс — «бедствие» — территория с объемной активностью радона в почвенном воздухе более 60 кБк/м³.

На основании проведенных исследований составлена карта инженерно-геологического районирования Волгограда по степени радоноопасности (рис. 3.5). Территории ИГР V и VII типов относятся к классу «норма», где средняя величина объемной активности радона в почвенном воздухе 7,7 и 6,7 кБк/м³ соответственно. Территории ИГР I и II типов относятся к классу

«риск» — 13,3 и 17,5 кБк/м³ соответственно. Изученная территория ИГР III типа относится к классу «риск» — 21,3 кБк/м³. Территория ИГР IV типа относится к классу «кризис» — 31,4 кБк/м³. На территории ИГР VI типа исследования не проводились. Радоноопасных участков на территории города класса «бедствие» не наблюдается.



Рис. 3.5. Карта инженерно-геологического районирования по классам радоноопасности: 1 — «норма»; 2 — «риск»; 3 — «кризис»

3.6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ОТ РАДОНА В НОВЫХ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЯХ

В соответствии с требованиями Российского законодательства на каждой площадке, отведенной под строительство отдельного здания, необходимо выполнять радиационно-экологические изыскания. В зависимости от плотности потока радона из почвы должен определяться класс требуемой противорадоновой защиты. К сожалению, в настоящее время эти требования строительными организациями практически не выполняются. Правительство России (постановление № 809 от 06.07.94 г.) приняло Федеральную целевую программу по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от природных радиоактивных источников (ФЦП «Радон»).

Основными задачами программы «Радон» являются следующие: 1) выявление жилищ и объектов производственного назначения, где превышаются или могут быть превышены контрольные уровни радиационно опасных факторов, а также установленные пределы эффективных доз облучения населения и производственного персонала; 2) проведение детального радиационного обследования на выявленных объектах с повышенным природным фоном, расчет фактических доз облучения населения и производственного персонала, осуществление требуемых защитных и профилактических мероприятий; 3) радиоэкологическое сопровождение строительства зданий и сооружений с целью заблаговременного принятия защитных мер; 4) оценка радиоактивного загрязнения окружающей среды выбросами и сбросами промышленных предприятий, а также измерение содержания радионуклидов в готовой продукции и отходах производства; 5) проведение медико-биологических наблюдений за выявленными группами повышенного радиационного риска с целью накопления эпидемиологических данных об отдаленных последствиях облучения; 6) формирование баз данных о радиационной обстановке в регионах и картирование территории регионов по степени радиационной опасности.

Очень важно, чтобы и строительные организации, и физические лица, владеющие участками под строительство индивидуальных жилых домов, были заинтересованы в проведении радиационно-экологических изысканий и при необходимости предусматривали радонозащитные мероприятия. На стадии проектирования и строительства зданий проведение подобных мероприятий значительно дешевле, чем для законченных объектов. В зданиях с концентрацией радона, превышающей ПДК, проводятся дополнительные детализационные работы, имеющие целью подтверждение и уточнение измеренных значений концентрации радона, определение дочерних продуктов распада в различных частях здания, источников поступления радона, при этом выделяются радоноопасные здания, радоноопасность которых обусловлена стройматериалами.

После выяснения источников поступления радона принимаются меры к их ликвидации. В России по Нормам радиационной безопасности (НРБ-99), Минздравом и Госкомэпиднадзором установлены следующие контрольные уровни для радона: во вновь строящихся домах не более 100 Бк/м³; в заселенных домах — не более 200 Бк/м³; в случае, если проведенные защитные мероприятия не дают снижения концентрации радона ниже 400 Бк/м³, необходимо решать вопрос о переселении жильцов. Наряду с нормативами по гамма-фону радоновый показатель введен на участки, предназначенные под жилое и промышленное строительство. Показатель радиационной безопасности не может быть проигнорирован ради показателя процента возведения жилья.

При принятии решений о необходимости вмешательства, т.е. проведения корректирующих и превентивных мер, МКРЗ рекомендует учитывать конкретные обстоятельства, в том числе величины различия с пределом, временем пребывания людей, масштабом возможных контрмер и ущербом от их применения. Нет необходимости неотложных (срочных) действий при обнаружении в индивидуальном доме концентраций радона. Наиболее эффективные контрмеры направлены на контроль источников радона в помещениях.

Корректирующие меры. Известен ряд методов снижения высоких концентраций радона в помещениях (достигающих уровней критериев вмешательства).

1. Создание перепада давления между зданием и полом, препятствующего поступлению радона — почвенная декомпрессия, т.е. вытяжная вентиляция под полом, в подвале, под перекрытием, из проницаемой почвы под зданием — с помощью небольшого вентилятора.

2. Герметизация полов, особенно в одноэтажных, в том числе деревянных, домах — заделка щелей в полу и около стен и коммуникаций, покраска полов.

3. Покрытие 2...3 слоями масляной краски или другим герметизирующим покрытием (например, эпоксидной краской), облицовка пластиком выделяющих радон стройматериалов.

Повышение сопротивления фундамента и стройматериалов проникновению радона в воздух внутрь уже построенных зданий трудноосуществимо.

Установлено, что такие способы отделки, как оклейка обоями, нанесение кафеля или окрашивание масляными красками и олифами не обеспечивают многократного снижения радоновыделения из конструкций. При существующих критериях оценки качества нанесения покрытий и сложившейся практике строительства реальное снижение радоновыделения из ограждающих конструкций после их отделки не превышает 30 %.

Также установлено, что для достижения полного эффекта радонозащиты толщина окрашиваемого слоя в сухом (конечном) состоянии должна быть не менее 450...500 мкм практически для всех видов традиционных лакокрасочных покрытий. Однако даже при абсолютном качестве наносимого покрытия на поверхность бетонного ограждения остается без внимания ряд факторов, каждый из которых может свести на нет эффективность радонозащитных мероприятий [116].

4. Устранение источников поступления радона, обусловленных водоснабжением или слоем почвы (твердой подсыпкой). Эффективность может оказаться высокой, если источник определен правильно.

Увеличение вентиляции внутри помещений дает низкую эффективность, так как не способствует поддержанию комфортного микроклимата для людей и поэтому долго не выдерживается. Вытяжная вентиляция, кроме того, может увеличить подсос радона.

Превентивные меры. В ряде случаев при строительстве домов, особенно на насыпных, содержащих радий грунтах или в радоноопасных зонах, должны соблюдаться специальные рекомендации. Модификация фундамента, обеспечивающая пассивное сопротивление поступлению почвенного воздуха, требует больших изменений проекта и начальных затрат, но зато не требует никаких последующих мероприятий. Другой подход, предусматривающий готовность к корректирующим мерам, например наличие под полом рыхлой подсыпки с малым содержанием радия и канала для вытяжной вентиляции, проще и дешевле.

В некоторых случаях радон поступает из подсыпки и стройматериалов, содержащих радий. Такие материалы определяются по гамма-излучению, и их использование должно быть ограничено. Некоторые строительные материалы при изготовлении необходимо подвергать тепловой обработке и обжигу [13], в результате сырьевые строительные материалы претерпевают ряд последовательных физико-химических превращений и обладают заданными свойствами. Исследования показали, что изменение коэффициента эманирования радона η обусловлено процессами преобразования кристаллических решеток минералов, составляющих материал.

Установлено, что для строительных материалов, изготавливаемых с использованием тепловой обработки (бетон, силикатный кирпич и т.д.), характерно увеличение η и эффективной удельной активности ЕРН $A_{Ra}^{эф}$ на 15...20 %. Это объясняется связыванием воды (для которой η на 10...20 % выше, чем для воздуха) в новообразованиях.

При обжиге при нижеперечисленных интервалах температур с сырьевыми строительными материалами происходит следующее:

0...200 °С — уменьшение η и $A_{Ra}^{эф}$, обусловленное удалением физически связанной воды из материала;

200...300 °С — η и $A_{Ra}^{эф}$ изменяются в зависимости от материала вследствие выгорания органических примесей;

300...450 °С — увеличение η и $A_{Ra}^{эф}$, связанное с ликвидацией нарушений кристаллической решетки минералов, составляющих материал;

450...750 °С — всем материалам свойственно повышение η и $A_{Ra}^{эф}$ вследствие процессов разрушения первичной кристаллической решетки и удаления газообразных составляющих минералов;

750...900 °С — уменьшение η и $A_{\text{Ra}}^{\text{эф}}$ вследствие полного разрушения первоначальной кристаллической решетки и высвобождения ^{222}Rn , заключенного в ней;

900...1500 °С — резкое уменьшение η и $A_{\text{Ra}}^{\text{эф}}$ за счет удаления минералов, содержащих в своем составе ^{226}Ra , а также за счет спекания составляющих минералов и связывания их в крупные агрегаты.

На основании анализа результатов исследований выдвинуто предположение о параллельном существовании двух процессов радоновыделения. Первый процесс происходит вследствие естественного радиоактивного распада ^{226}Ra , второй — вследствие преобразований в кристаллической решетке минералов при обжиге [116].

Также возможно применение технологии аэрогидродинамического обогащения кварцевых песков. В результате исследований установлено, что аэрогидродинамическая радиореабилитация, преимущественно в режиме «аэро», позволяет снизить содержание радионуклидов в исходных кварцевых песках и изменить их физико-химические свойства, что открывает новые возможности для получения радиационно чистых, особо чистых кварцевых песков и подобных горных пород [13].

На основании карты инженерно-геологического районирования по степени радоноопасности Волгограда, Пособия к московским городским строительным нормам (МГСН) 2.02—97 С.В. Честновым составлена схема градостроительных мероприятий, направленных на повышение герметичности конструкций подземных частей новых и эксплуатируемых сооружений Волгограда [129]. Мероприятия противорадоновой защиты жилых, общественных, коммунальных и производственных зданий подразделяются на два основных вида — пассивные и активные. Действие пассивной системы основано на повышении сопротивления узлов и элементов ограждающих конструкций здания диффузионному и конвективному переносу радона от источника в помещения. Действие активной системы основано на снижении радоновой нагрузки на здание путем принудительного отвода радона от источника в атмосферу. Активная система защиты всегда включает в себя систему принудительной вентиляции и поэтому нуждается в источнике энергии и обслуживании. Активная система защиты всегда включает в себя элементы пассивной системы. Перечень рекомендуемых сочетаний технических решений противорадоновой защиты приведен в табл. 3.1.

В настоящее время нормированных методов расчета требуемых параметров и определения оптимального типа противорадоновой защиты нет. Процедура такого выбора носит эвристический характер и в каждом конкретном случае основана на анализе и качественной оценке ряда обстоятельств. Эффективность любого решения противорадоновой защиты существенно зависит от того, как в каждом конкретном случае сочетаются эти обстоятельства и типы использованных технических решений.

**Перечень рекомендуемых сочетаний технических решений
противорадоновой защиты (по Пособию к МГСН 2.02—97)**

Типы технических решений и их сочетания	Элементы конструкции или оборудование
<i>Класс градостроительных мероприятий «норма»</i>	
Естественная вентиляция подвальных помещений	Вентиляционные проемы в цокольных стенах, обеспечивающие кратность воздухообмена в зимнее время не менее 0,5 ч ⁻¹
Принудительная вентиляция подвальных помещений	Система принудительной приточно-вытяжной вентиляции, обеспечивающая кратность воздухообмена в зимнее время не менее 1,0 ч ⁻¹
Покрытие	Защитный слой из бетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, покрытие из мастичного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
<i>Класс градостроительных мероприятий «риск»</i>	
Мембрана	Защитный слой из бетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 1...2 слоя рулонного гидроизоляционного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
Барьер	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, бетонная подготовка, песчаная подсыпка
Барьер + покрытие	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2...3 слоя мастичного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
<i>Класс градостроительных мероприятий «кризис»</i>	
Барьер + мембрана	Сплошная монолитная плита из трещиностойкого железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2...3 слоя рулонного гидроизоляционного материала, выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, бетонная подготовка
Барьер + мембрана (покрытие) + коллектор радона + депрессия коллектора путем естественной вытяжки почвенного газа	Сплошная монолитная плита из монолитного железобетона, защитный слой из цементно-песчаного раствора, 2...3 слоя рулонного гидроизоляционного материала (или обмазочного материала), выравнивающий слой из цементно-песчаного раствора, стяжка из тощего бетона, слой гравия + вытяжные трубы, песчаная подсыпка
То же + депрессия коллектора путем принудительной вытяжки почвенного газа	То же + вентиляционное оборудование

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы — показать читателю основные инженерно-геологические и геоэкологические проблемы Волгограда, возникающие под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. На основании изучения на территории города и прилегающих территориях инженерно-геологических, геоэкологических особенностей, их взаимного влияния, следует добиваться как уменьшения негативного воздействия деятельности человека на геологическую среду, так и минимизации вредного влияния геосреды на человека. Для решения этой задачи целесообразно использовать методы инженерно-геологических аналогий, а также инженерно-геологического и эколого-геологического районирования, позволяющие выполнять прогноз возникновения негативных факторов и на его основе осуществлять управление неблагоприятными геологическими процессами.

Библиографический список

1. *Агеев П.С.* Буронабивные фундаменты в набухающих грунтах / П.С. Агеев, Е.М. Рыжков // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1978. С. 78—82.
2. *Аристархова Л.Б.* Геоморфологическая карта Прикаспийской впадины и прилегающих районов масштаба 1:500 000. Объяснительная записка. М. : Недра, 1967.
3. *Ахременко С.А.* Управление радиационным качеством строительной продукции : учеб. пособие для вузов по строит. специальностям. М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2000. 234 с.
4. *Бабкин П.Ф.* Природа оползней Волгограда по материалам Нижневолжской оползневой станции // Материалы к совещанию по оползням Волгограда. М., 1963. С. 9—14.
5. *Баженов В.А.* Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества : справ. издание / В.А. Баженов, Л.А. Булдаков. Л. : Химия, 1990.
6. *Бертелье-Успенская И.А.* Геологическая карта Прикаспийской впадины и прилегающих районов масштаба 1:500 000. Объяснительная записка. М. : Недра, 1964.
7. *Богословский В.А.* Эколого-геофизическое картографирование / В.А. Богословский, А.Д. Жигалин, В.Т. Трофимов и др. // Геоэкология. 2002. № 4.
8. *Бондаренко В.И.* Некоторые особенности строительных свойств ательских отложений // Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области. Волгоград, 1971. С. 58—63.
9. *Бондаренко В.И.* Обводнение грунтов на застроенной территории // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 105—117.
10. *Бондаренко В.И.* О сжимаемости просадочных грунтов, уплотненных тяжелыми трамбовками // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье. Волгоград, 1973. С. 56—60.
11. *Бондаренко В.И.* О формировании химического состава грунтовых вод на подтопленной территории // Промышленное строительство. 1976. № 10. С. 29—30.
12. *Бондаренко В.И.* Свайные фундаменты в г. Волжском // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1978. С. 83—85.
13. *Бровцын А.К.* Кварцевые пески: радиационная реабилитация // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2003. № 1. С. 88—90.

14. *Бойнов Б.М.* Опыт строительства зданий и сооружений на набухающих грунтах / Б.М. Бойнов, В.И. Бондаренко // Новые методы строительства на набухающих грунтах. Волгоград, 1967. С. 19—30.
15. *Брылев В.А.* Изменение эндогенных процессов и природных условий в Волго-Ахтубинской пойме под влиянием хозяйственной деятельности человека // Климат, рельеф и деятельность человека. Казань : КГУ, 1978. С. 55—56.
16. *Брылев В.А.* Антропогенные изменения геолого-геоморфологической обстановки на территории г. Волгограда / В.А. Брылев, Н.А. Самусь // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. Волгоград, 1976.
17. *Брылев В.А.* Геоморфология и геология Волгоградской агломерации и некоторые аспекты их антропогенных изменений / В.А. Брылев, Н.А. Самусь // Природные условия и ресурсы Нижнего Поволжья : межвуз. сб. науч. тр. Волгоград, 1981. С. 65—79.
18. *Галактионов В. Д.* Геология района сооружений Волго-Дона. Л., 1960.
19. *Голодковская Г.А.* Инженерно-геологическое картирование в связи с охраной геологической среды // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 4. М. : МГУ, 1978.
20. *Голодковская Г.А.* Проблемы изменения геологической среды крупных городов / Г.А. Голодковская, Ю.О. Зеегофер, В.А. Коробейников. М. : ВСЕГИНГЕО, 1980. № 137. С. 4—15.
21. *Горькова И.М.* Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М. : Стройиздат, 1975. 151 с.
22. ГОСТ 7.63—90. Отчет о геологическом изучении недр. Общие требования к содержанию и оформлению. М. : Изд-во стандартов, 1992.
23. *Гуськов О.И.* Математические методы в геологии (сборник задач) / О.И. Гуськов, П.Н. Кушнарев, С.М. Таранов. М. : Недра, 1991.
24. *Делятицкий С.* Экологический словарь / С. Делятицкий, И.И. Зайонц. М. : Экопром, 1993.
25. *Дзекцер Е.С.* Принципы районирования территорий городов по их потенциальной подтопляемости грунтовыми водами / Е.С. Дзекцер, С.М. Казеннов // Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. М. : МосЦТИСИЗ ПО «Стройизыскания», 1981. С. 72—81.
26. *Емельянова Е.П.* Особенности оползней Волгограда, определяющие основные задачи их изучения и борьбы с ними // Материалы к совещанию по оползням Волгограда. М., 1963. С. 101—120.
27. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах (публикация 65 МКРЗ) // Доклад международной комиссии по радиологической защите. М. : Энергоатомиздат, 1995.
28. *Иванов Е.В.* Новая концепция радиационной защиты населения // Казанский медицинский журнал. 1994. № 5. С. 327—400.
29. Инженерная геология СССР : в 8-ми т. М. : Изд-во МГУ, 1978. Т. 1. Русская платформа. 346 с.
30. Инженерная геология СССР. Платформенные регионы европейской части СССР : в 2-х кн. М. : Недра, 1991. Кн. 2. 357 с.
31. Инженерно-экологические изыскания для строительства. СП 11-102—97 / ПНИИ-ИС Госстроя России. М., 1997.
32. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации // Доклад НКДАР ООН Генеральной Ассамблеи за 1988 г. М. : Мир, 1992.
33. *Кавеев Т.С.* Инженерно-геологические условия Большого Волгограда // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 9—33.

34. *Кавеев Т.С.* О некоторых случаях обводнения в зоне аэрации // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 118—127.
35. *Кавеев Т.С.* Оползневые явления площадки в устье балки Букатинской на правом берегу р. Волги в южной части Волгограда и меры борьбы с ними // Материалы к совещанию по оползням Волгограда. М., 1963. С. 84—91.
36. *Кавеев Т.С.* О проектировании сооружений в присклоновой зоне // Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области. Волгоград, 1971. С. 98—102.
37. *Кавеев Т.С.* Просадочность лессовых пород Нижнего Поволжья // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье. Волгоград, 1973. С. 44—46.
38. *Кавеев Т.С.* Материалы к совещанию по оползням Волгограда 4—8 июня 1963 г. / Т.С. Кавеев, З.П. Зерщикова. М., 1963. С. 84—91.
39. *Козлов Ю.Д.* Справочник по радиационной безопасности. 4-е изд. М. : Энергоатомиздат, 1991. 352 с.
40. *Кокоулина Л.В.* Переформирование берегов Волгоградского водохранилища. Л. : Гидрометеоздат, 1975. С. 4—30.
41. *Коломейцев Л.А.* Практика устройства фундаментов в жилищном и культурно-бытовом строительстве в условиях Волгограда // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 65—69.
42. *Комаров И.С.* Основные комплексные методы инженерно-геологических исследований // Полевые методы инженерно-геологических исследований. М. : Недра, 1967. С. 18—60.
43. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М. : Недра, 1978. 263 с.
44. *Кофф Г.Л.* Режимные инженерно-геологические наблюдения в городах как средство контроля и прогноза изменений геологической среды / Г.Л. Кофф, Ю.О. Зеегофер, Ф.В. Котлов и др. // Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. М. : МосЦИСИЗ ПО «Стройизыскания», 1981. С. 65—68.
45. *Кравченко И.В.* Солевые пыльные бури // Природа. 1959. № 8. С. 89—90.
46. *Крюков А.С.* Овражная эрозия на территории города // Известия Всесоюзн. геогр. общества. 1962. Т. 94. Вып. 4. С. 333—337.
47. *Кургуз С.А.* Радонозащитные свойства лакокрасочных и рулонных материалов для покрытий бетонных конструкций : автореф. дис. ...канд. техн. наук. Красноярск, 2003. 24 с.
48. *Кучаев А.Ф.* Контроль за охраной подземных вод от истощения и загрязнения в Волгоградской области // Рациональное использование и охрана подземных вод в Волгоградской области. Волгоград, 1977.
49. *Ларионов А.К.* Оползни правобережья Нижней Волги // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. Киев : Киевский университет, 1964. С. 111—115.
50. *Ломовских В.Е.* Уровень младенческой смертности — индикатор качества жизни населения / В.Е. Ломовских, Т.К. Бердикова, Т.Л. Борзунова // Поволжский экологический вестник. Волгоград : ВолГУ, 1998. Вып. 5. С. 342—354.
51. *Лысов А.В.* Исследование динамики оврагообразования на Приволжской возвышенности и экономическая эффективность противоэрозионных мероприятий / А.В. Лысов, П.Н. Проездов // Сб. науч. работ Саратовского сельхоз. ин-та. Саратов, 1977. № 97. С. 82—95.
52. *Макаров В.И.* Влияние структурно-геологических особенностей на распределение концентраций подпочвенного радона и радона в подалах жилых зданий (на примере района Чертаново г. Москвы) / В.И. Макаров, В.И. Бабак, А.Л. Дорожко, В.М. Бондаренко // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2003. № 2. С. 139—152.

53. *Метерский Я.С.* О деформациях набухания и усадки хвалынских глин южной части г. Волгограда // *Строительство на набухающих грунтах*. М., 1968. С. 57—61.
54. *Мильшин Е.Д.* Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических факторов на переформирование левого берега Волги у Волгограда // *Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье*. Волгоград, 1978. С. 29—35.
55. *Моисеев А.А.* Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А.А. Моисеев, В.И. Иванов. М. : Энергоатомиздат, 1990.
56. *Новиков Г.Ф.* Радиометрическая разведка. Л. : Недра, 1989.
57. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-96, НРБ-99)* / Минздрав России. М., 1999.
58. О Федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994—1996 годы // *Постановление Правительства РФ № 809 от 06.07.94*. М., 1994.
59. *Осипов Ю.Б.* Основные проблемы рационального использования и охраны геологической среды / Ю.Б. Осипов, А.В. Груздов // *Инженерная геология*. 1979. № 2.
60. *Панов Ю.И.* Оползни при гидротехническом строительстве в районе Волгограда и противооползневые мероприятия // *Материалы к совещанию по оползням Волгограда*. М., 1963. С. 92—97.
61. *Панов Ю.И.* Оползень у Дома техники и проект берегоукрепления / Ю.И. Панов, К.М. Панова // *Материалы к совещанию по оползням Волгограда*. Л., 1963. С. 67—73.
62. *Панова К.М.* Некоторые особенности бучакских глин Волгограда // *Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области*. Волгоград, 1968. С. 120—125.
63. *Практика защиты населения от облучения радоном* // Тез. докл. НИИЦ Радиационной безопасности космических объектов (Москва). Челябинск, 1996.
64. *Рамзаев П.В.* Биологическое действие малых доз ионизирующих излучений и вопросы нормирования радиационной безопасности // *Казанский медицинский журнал*. Т. 75. 1994. № 5.
65. *Рекомендации по усовершенствованию инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства в связи с охраной и улучшением геологической среды*. М. : Стройиздат, 1981.
66. *Рыжков Е.М.* Изменение влажности в результате теплового переноса в основаниях зданий и сооружений // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1971. № 1. С. 14—15.
67. *Рыжков Е.М.* О причинах деформаций сооружений в г. Волгограде // *Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области*. Волгоград, 1968. С. 88—95.
68. *Рыжков Е.М.* О расчете перемещений набухающего грунта при застройке его поверхности // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1977. № 3. С. 30—31.
69. *Самусь Н.А.* Инженерно-геологические условия строительства на территории Волгоградской градостроительной агломерации // *Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье*. Волгоград, 1973. С. 20—25.
70. *Самусь Н.А.* К вопросу о природе оползней у Иркутского оврага // *Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье*. Волгоград, 1973. С. 122—128.
71. *Самусь Н.А.* Некоторые особенности формирования химического состава и агрессивность антропогенных вод при подтоплении территории г. Волгограда // *Инженерно-строительные изыскания*. 1977. № 3/47. С. 53—64.
72. *Самусь Н.А.* Погребенные долины на территории Волгограда // *Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье*. Волгоград, 1977. С. 54—57.
73. *Самусь Н.А.* Техногенное подтопление территории Волгоградской агломерации и тенденции его развития в последние годы / Н.А. Самусь, О.Н. Игнатенко, А.Н. Самусь // *Поволжский экологический вестник*. Волгоград : ВолГУ, 2005. Вып. 11.

74. *Сергеев Е.М.* Принципы составления карт изменения геологической среды под влиянием деятельности человека / Е.М. Сергеев, Г.А. Голодковская // Международный геологический конгресс. XXV сессия. Доклады советских геологов. М. : Инженерная геология, 1976.
75. *Сергеев Е.М.* Карты изменения геологической среды как основа региональных инженерно-геологических прогнозов / Е.М. Сергеев, Г.А. Голодковская // Вестник МГУ. Сер. : Геология. 1978. № 5.
76. *Сидельникова О.П.* Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений : учебное пособие / О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов. М. : Энергоатомиздат, 1996. 161 с.
77. *Сидорин А.Ф.* Влияние деятельности человека на режим подземных вод / А.Ф. Сидорин, М.А. Шубин // Рациональное использование и охрана подземных вод в Волгоградской области : докл. межотр. конф. Волгоград, 1977.
78. *Синяков В.Н.* Изменение геологической среды на территории городов Нижнего Поволжья // Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. М. : Стройиздат, 1981. С. 187—188.
79. *Синяков В.Н.* Инженерно-геологическая характеристика бакинских отложений Западного Прикаспия // Известия вузов. Сер. : Геология и разведка. 1977. № 5. Деп. ВИНТИ, № 4467-76.
80. *Синяков В.Н.* Инженерно-геологическая характеристика лессовых просадочных пород Нижнего Поволжья и некоторые особенности их исследований // Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах : тез. докл. Респ. конф. Барнаул, 1980. С. 109.
81. *Синяков В.Н.* Инженерно-геологические особенности верхнечетвертичных лессовых пород Нижнего Поволжья в связи с историей их формирования // Инженерная геология. 1981. № 5. С. 65—71.
82. *Синяков В.Н.* Исследование корреляционных связей между результатами статического зондирования и несущей способностью забивных свай // Инженерно-строительные изыскания : сб. ст. М. : Стройиздат, 1976. № 1. С. 13—17.
83. *Синяков В.Н.* К вопросу об устойчивости в пространстве связей между показателями физико-механических свойств глинистых отложений четвертичных трансгрессий Каспия // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1978. С. 61—63.
84. *Синяков В.Н.* К расчету снижения несущей способности свай при длительном обводнении глинистых грунтов // Инженерно-геологические проблемы градостроительства. М. : МГУ, 1971. С. 127—129.
85. *Синяков В.Н.* Методика прогноза сопротивления грунтов под острием и на боковой поверхности свай при инженерно-геологических исследованиях набухающих и просадочных грунтов // Теоретические и методические проблемы повышения качества и эффективности инженерно-геологических исследований : тез. докл. Всес. конф. Ростов на Дону. Ростов : РИСИ, 1980. С. 92—98.
86. *Синяков В.Н.* Полевые исследования несущей способности забивных свай в инженерно-геологических условиях Волгоградского региона // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Нижнем Поволжье. Волгоград, 1973. С. 101—106.
87. *Синяков В.Н.* Региональные таблицы нормативных и расчетных характеристик основных типов грунтов территории Волгоградской агломерации // Инженерно-строительные изыскания. М. : Стройиздат, 1975. № 4. С. 71—79.
88. *Синяков В.Н.* Физико-механические свойства верхнечетвертичных глинистых отложений Нижнего Поволжья и прогноз их изменения при антропогенных процессах // Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды : мат. Всесоюзн. конф. Л. : ЛГУ, 1976. С. 182—190.

89. *Синяков В.Н.* Физико-механические свойства хазарских отложений Прикаспийской впадины // Известия вузов. Сер. : Геология и разведка. 1979. № 5. Деп. ВИНТИ, № 1132-79.
90. *Синяков В.Н.* Метод уточненного расчета предельного сопротивления свай по данным статического зондирования / В.Н. Синяков, Г.Б. Елисеева // Геотехника Поволжья. Саратов : СГУ, 1980. С. 70—72.
91. *Синяков В.Н.* Физико-механические свойства пойменных отложений Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, Г.Б. Елисеева // Известия вузов. Сер. : Геология и разведка. 1978. № 12. Деп. ВИНТИ, № 3086-78.
92. *Синяков В.Н.* Инженерно-геологическое районирование Нижнего Поволжья и прилегающих территорий / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова // Инженерная геология. 1981. № 4. С. 26—37.
93. *Синяков В.Н.* Роль подземной гидросферы в изменении геологической среды под влиянием деятельности человека на территории Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова // Рациональное использование и охрана подземных вод Волгоградской области. Волгоград, 1981. С. 28—31.
94. *Синяков В.Н.* Характер и распространение природных и инженерно-геологических процессов и явлений в лессовых породах Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова // Проблемы лессовых пород в сейсмических районах : тез. докл. Всесоюз. совещания. Ташкент : Фан, 1980. С. 200—202.
95. *Синяков В.Н.* Физико-механические свойства старичных глин Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, К.М. Панова // Известия вузов. Сер. : Геология и разведка. 1973. № 9. Деп. ВИНТИ, № 2306-78.
96. *Синяков В.Н.* Характеристика состава и физико-механических свойств палеогеновых отложений Приволжской моноклинали / В.Н. Синяков, К.М. Панова // Известия вузов. Сер. : Геология и разведка. 1979. № 2. Деп. ВИНТИ, № 12-79.
97. *Синяков В.Н.* Определение прочности показателей хвалыньских глин оползневого участка в Волгограде по данным статического зондирования / В.Н. Синяков, Н.А. Самусь // Оползни и борьба с ними : тез. докл. Респ. совещания. Кишинев : Штиинца, 1974. С. 65—67.
98. *Синяков В.Н.* Нормативные и расчетные показатели глинистых грунтов хазарского горизонта Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, В.И. Стешенко // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1978. С. 68—74.
99. *Синяков В.Н.* Изучение и прогноз изменения гидрогеологических условий застроенных и осваиваемых территорий Нижнего Поволжья / В.Н. Синяков, М.А. Шубин // Инженерно-строительные изыскания. М. : Стройиздат, 1979. № 1. С. 23—27.
100. *Синяков В.Н.* Опыт инженерно-хозяйственного освоения территорий и изменение геологической среды / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова // Инженерная геология СССР. М. : Недра, 1992. Кн. 2. С. 233—279.
101. *Синяков В.Н.* Определение показателей тектонической напряженности солянокупольных областей для прогноза их влияния на окружающую среду и здоровье человека / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, В.Е. Ломовских, М.Е. Чурсина // Экономические аспекты производства строительных материалов и конструкций : междун. науч.-техн. конф. / ВолгГАСА. Волгоград, 1998. С. 102—103.
102. *Синяков В.Н.* Аномалии геофизических полей в солянокупольных бассейнах и их связь с здоровьем населения / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, В.Е. Ломовских, М.Е. Чурсина // Поволжский экологический вестник. Волгоград : ВолГУ, 1998. Вып. 5. С. 83—89.
103. *Синяков В.Н.* Картирование геопатогенных зон и зон геоэкологической напряженности на территории Волгоградской городской агломерации / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, С.В. Новикова, С.В. Честнов // Поволжский экологический вестник. Волгоград : ВолГУ, 2002. Вып. 9. С. 117—122.

104. *Синяков В.Н.* Геоэкологическая безопасность Волгоградской области / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова, Ю.Л. Беляева // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2003. № 4—5.
105. *Синяков В.Н.* Закономерности инженерно-геологических условий краевых солянокупольных впадин платформы и их изменений под влиянием деятельности человека. М. : ВСЕГИНГЕО, 1984.
106. *Синяков В.Н.* Исследование физико-механических свойств хвалыньских глин методами корреляционно-регрессионного анализа : автореф. дис. ...канд. геол.-минерал. наук. М. : МГРИ, 1974.
107. *Смыслов А.А.* Радон в земной коре и риск радоноопасности / А.А. Смыслов, В.А. Максимовский, М.Г. Харламов // Разведка и охрана недр. М. : Недра, 1994. № 4.
108. *Соколов П.Э.* Исследования природной радиоактивности горных пород и влияния тепловой обработки строительных материалов на коэффициент эманирования радона (на примере Волгоградской области) : автореф. дис. ...канд. техн. наук. Саратов, 1997. 20 с.
109. *Сорочан Е.А.* Вопросы проектирования и строительства сооружений на набухающих грунтах // Новые методы строительства на набухающих грунтах. Волгоград, 1963. С. 3—18.
110. *Сорочан Е.А.* Деформации сооружений, возведенных на набухающих глинистых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 1.
111. *Сорочан Е.А.* К вопросу о строительстве на набухающих грунтах // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1978. С. 93—96.
112. *Сорочан Е.А.* Выправление крена дымовых труб путем организованной усадки грунтов основания / Е.А. Сорочан, Е.М. Рыжков // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1979. № 1.
113. *Сысоев Т.Н.* Качество инженерно-геологических изысканий, проектирования зданий и сооружений, особенности их строительства и эксплуатации в условиях Волгограда / Т.Н. Сысоев, К.П. Луганченко, В.Г. Пискарев // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 50—64.
114. СН-225—79. Инструкция по инженерным изысканиям для промышленного строительства. М. : Стройиздат, 1979.
115. СНиП П-9—78. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М. : Стройиздат, 1979.
116. *Тараборин Д.Г.* Оценка и прогноз состояния радиационной обстановки при освоении нефтяных и газовых месторождений (на примере Западного Оренбуржья) : автореф. дис. ...канд. геол.-минерал. наук. Пермь, 2001. 28 с.
117. Федеральный Закон Российской Федерации «О радиационной безопасности населения». Российская газета. 1996. № 7 от 19 апреля.
118. *Финкельштейн А.Д.* Инертные газы. М. : Энергоатомиздат, 1979. 154 с.
119. *Флуг К.В.* О необходимости повышения ответственности геологов в проектировании и строительстве // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 82—86.
120. *Чепрасов А.Ф.* Оползни Волгограда // Материалы к совещанию по оползням Волгограда. М., 1963. С. 40—56.
121. *Чепрасов А.Ф.* О причинах деформации зданий и сооружений и путях их предотвращения // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 70—80.
122. *Чепрасов А.Ф.* Опыт противооползневой борьбы в Волгограде // Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области. Волгоград, 1972. С. 132—142.
123. *Честнов С.В.* Радон как основной источник ионизирующего облучения населения (на примере города Волгограда) // VII Регион. конф. молодых исследователей Волгоградской области. Направление № 16 «Экология, охрана среды, строительство» : тез. докл. Волгоград : ВолГАСА, 2002. С. 20—21.

124. *Честнов С.В.* Геоэкологические аспекты природной радиации : материалы VII Регион. конф. молодых исследователей. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. С. 35—36.
125. *Честнов С.В.* Радиоопасность почв урбанизированной территории города Волгограда // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань : Изд-во АГУ, 2003. С. 191—192.
126. *Честнов С.В.* Влияние радона на здоровье человека / С.В. Честнов, М.Е. Чурсина // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций : материалы III Междун. науч.-технич. конф. : в 4 ч. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. С. 119—122.
127. *Честнов С.В.* Геоэкологическая радиационная обстановка города Волгограда / С.В. Честнов, М.Е. Чурсина. Новосибирск : НГАСУ, 2003. Т. 6. № 5 (26). С. 207—210.
128. *Честнов С.В.* Естественный радиационный фон г. Волгограда, обусловленный радоном / С.В. Честнов, М.Е. Чурсина // Межрегиональная молодежная науч. конф. «Севергеоэкотех-2003» : материалы конф. Ухта : Изд-во УГТУ, 2003. С. 334—336.
129. *Честнов С.В.* Геоэкологическая безопасность населения города Волгограда / С.В. Честнов, М.Е. Чурсина // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Естествен. науки. 2004. Вып. 3(10). С. 124—125.
130. *Шикломанов И.А.* Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. Л., 1976.
131. *Шуриков П.А.* Проектирование зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях г. Волгограда // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1977. С. 97—99.
132. *Шубин М.А.* Деформации берегового склона р. Волги в связи с процессом подтопления г. Волгограда // Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях. Белгород, 1972.
133. *Шубин М.А.* К вопросу о самоподтоплении Волгограда // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. Волгоград, 1977. С. 74—97.
134. *Шубин М.А.* Изучение изменений инженерно-геологических условий застроенных территорий // Инженерно-строительные изыскания. № 4/52. М : Стройиздат, 1978.
135. *Шубин М.А.* Воздействие инженерных мероприятий на подземные воды в Нижнем Поволжье // Воздействие хозяйственной деятельности на геосреду Нижнего Поволжья : тр. межрегион. конф. Волгоград, 1984.
136. *Шубин М. А.* Охрана природы — наш долг // Проблемы защиты геосреды в Нижнем Поволжье. Волгоград : Нижне-Волжское кн. изд-во, 1986.
137. *Шубин М.А.* Оценка изменений геологической среды Волгограда // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии городов и городских агломераций : тр. Всесоюз. совещ. М : Наука, 1987.
138. *Шубин М.А.* Стратегия устойчивого водопользования в Волгоградской области // Чистая вода России : тр. междун. симп. Екатеринбург, 1997.
139. *Шубин М.А.* Водохозяйственная система г. Волгограда. Россия — речные бассейны. Бассейн Волги // Аэрокосмоэкология. Екатеринбург, 1999.
140. *Шубин М.А.* О разработке и реализации областной целевой программы «Обеспечение населения Волгоградской области питьевой водой» // Поволжский экологический вестник. Волгоград : ВолГУ, 1999. Вып. 6.
141. *Шубин М. А.* Литомониторинг: теоретические и прикладные аспекты. Волгоград : Принт, 2005.
142. *Экзарьян В.Н.* Прогнозные стохастические модели процесса переформирования берегов существующих водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища) : автореф. дисс. ...канд. геол.-минерал. наук. М. : МГРИ, 1975. 24 с.
143. *Федюнькин Ю.Г.* Доклад о состоянии окружающей природной среды Волгограда в 1997 году. Волгоград, 1998.

Научное издание

Владимир Николаевич Синяков
Светлана Васильевна Кузнецова
Сергей Владимирович Честнов
Светлана Ивановна Махова
Алексей Петрович Долганов

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ ВОЛГОГРАДА

Зав. редакционно-издательским отделом *О.Е. Горячева*
Редактор *М.Л. Песчаная*
Компьютерная правка и верстка *М.Л. Песчаная*

Подписано в печать 06.12.07. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 8,7. Тираж 300 экз. Заказ № 76.

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Сектор оперативной полиграфии ЦИТ
40074, Волгоград, ул. Академическая, 1