

Санкт-Петербургский государственный университет

***КУДИНОВА Виолетта Сергеевна***

**Выпускная квалификационная работа**

**Оценка инженерно-геологических условий территорий в  
сейсмических районах (Республика Крым, г. Севастополь)**

Уровень образования бакалавриат

Направление *05.03.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *СВ.5018 «Геология»*

Научный руководитель:

канд. г.-мин. н. Еремеева Анастасия  
Александровна

Рецензент:

руководитель отдела инженерных  
изысканий ООО "Промакс"  
Панарина Нино Джумберовна

Санкт-Петербург

2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ .....	4
1.1 Карты общего, детального и микро- сейсмического районирования.....	6
ГЛАВА 2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВОДИВЫЕ В РАЙОНАХ С ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ .....	8
ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....	10
ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ .....	14
4.1 Физико-географические и техногенные условия.....	14
4.2 Геологические условия.....	16
4.3 Гидрогеологические условия.....	18
4.4 Физико-механические свойства грунтов .....	18
4.5 Полевое и лабораторное определение коррозионных свойств грунтов .....	18
4.6 Геологические и инженерно-геологические процессы .....	19
4.7 Сейсмическое микрорайонирование.....	20
ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ОСНОВАНИИ.....	21
ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ .....	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	29

## ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена особенностям проведения инженерно-геологических изысканий в районах с повышенной сейсмичностью. В главах 1 и 2 описаны основные требования к инженерно-геологическим изысканиям и дополнительным геолого-геофизическим исследованиям, необходимым для полной оценки условий строительства зданий и сооружений. В главе 3 кратко приведено описание геологического строения Крымского полуострова. В главе 4 рассмотрены инженерно-геологические условия участка для проектирования административного здания в г. Севастополе. Главы 5 и 6 содержат в себе расчеты фундаментов и рекомендации по проектированию объекта.

Данная работа выполнена на основе изучения технических отчетов компании ООО "КрымСпецГеология" о проведенных инженерно-геологических изысканиях для проекта строительства типового административного здания. В административном отношении участок изысканий находится в Российской Федерации, Республике Крым, Гагаринский район, Фиолентовское шоссе.

Цель работы – проанализировать требования к инженерно-геологическим изысканиям в зонах с повышенной сейсмичностью, изучить выполненные работы компании ООО "КрымСпецГеология", дать рекомендации по проектированию объекта. Были поставлены следующие задачи:

- 1) охарактеризовать дополнительные исследования, проводимые в районах с повышенной сейсмичностью,
- 2) ознакомиться со стандартными инженерно-геологическими работами, проводимыми на таких территориях,
- 3) провести расчет фундамента и дать рекомендации для проектирования.

Актуальность данной работы обусловлена растущим темпом строительства на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями.

Выражаю благодарность Еремеевой Анастасии Александровне за руководство выпускной квалификационной работой.

## ГЛАВА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

К сейсмическим районам относят территории с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия интенсивностью 6 баллов и более.

К основным видам работ, проводимых при инженерно-геологических изысканиях, относят (СП 446.1325200, 2019):

- сбор и изучение материалов изысканий прошлых лет
- дешифрирование аэро- и космических материалов
- рекогносцировочное обследование
- проходка и опробование инженерно-геологических выработок
- полевые исследования грунтов
- гидрогеологические исследования
- лабораторные исследования свойств грунтов, подземных и поверхностных вод и (или) водных вытяжек из грунтов
- изучение опасных геологических и инженерно-геологических процессов с разработкой рекомендаций для принятия проектных решений по инженерной защите территории
- инженерно-геофизические исследования
- сейсмологические и сейсмотектонические исследования, сейсмическое микрорайонирование (СМР)
- разработка прогноза изменений инженерно-геологических условий
- камеральная обработка материалов и составление технического отчет.

При проведении изысканий на территориях с уже имеющейся застройкой дополнительно собирают топографические планы прошлых лет, материалы по вертикальной планировке, строительству подземных сооружений (СП 446.1325200, 2019).

Проведение каждого этапа изысканий регламентируется соответствующими нормативными документами (ГОСТ и СП). В частности, опасность инженерно-геологических процессов (к которым относится сейсмичность) оценивают по СП 115.13330.2016.

Сейсмологические исследования выполняются в районах с сейсмичностью 6 баллов и более. Сейсмическое микрорайонирование (СМР) обычно выполняется в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше, но может также проводиться и при

меньшей балльности, если площадка сложена грунтами категории III или IV по сейсмическим свойствам в соответствии с СП 14.13330.2018.

При проведении изысканий в сейсмических регионах учитывают проявление вторичных эффектов, связанных с сейсмичностью (разжижение грунтов, склоновые процессы и др.) (СП 446.1325200, 2019).

Инженерно-геологические изыскания в сейсмических районах должны быть основанием для составления карт с выделением границ участков развития опасных геологических процессов, а также для прогноза землетрясений и их влияния на объекты строительства (СП 446.1325200, 2019).

Кроме того, в соответствии с пунктом 6.3.3.14 СП 47.13330.2016 при инженерно-геологических изысканиях в сейсмических районах (с сейсмичностью 6 и более баллов по действующему комплекту нормативных карт ОСР - А, В или С в зависимости от периода повторяемости сейсмических воздействий) следует дополнительно к пункту 6.3.1.5 приводить в техническом отчете:

- сведения об исходной сейсмичности (принимаемой по соответствующей карте ОСР, указанной в задании) для объектов пониженного и нормального уровней ответственности;

- результаты уточнения исходной сейсмичности (УИС) (при нормативной сейсмичности 6 и более баллов по действующей карте ОСР, указанной в задании) для объектов повышенного уровня ответственности. Результаты дополнительных исследований имеют приоритет по отношению к картам ОСР при определении исходной интенсивности сейсмических воздействий для данной категории сооружений, если они утверждены в установленном порядке;

- результаты работ по сейсмическому микрорайонированию (при нормативной сейсмичности 7 и более баллов по действующей карте ОСР, указанной в задании) в соответствии с требованиями СП 14.13330. Если по результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что площадка сложена грунтами III или IV категории по сейсмическим свойствам (таблица 1, СП 14.13330.2014), сейсмическое микрорайонирование выполняется и при нормативной сейсмичности 6 баллов;

- параметры сейсмических воздействий, соответствующие методам расчетов сейсмостойкости, применяемым при проектировании конкретного объекта и указанным в задании.

На картах (схемах) сейсмического микрорайонирования следует указывать сейсмичность в баллах (для заданной повторяемости сейсмических воздействий) на момент выполнения инженерных изысканий и давать прогноз ее изменения с учетом

изменений инженерно-геологических условий в период строительства и эксплуатации объектов.

При выполнении инженерно-геологических изысканий в сейсмических районах необходимо учитывать возможность сейсмогенных подвижек по разломам и проявления вторичных эффектов, связанных с сейсмичностью, таких как активизация оползневых процессов и разжижение грунтов, а также определять количественные характеристики этих явлений, необходимые для разработки защитных мероприятий.

### 1.1 Карты общего, детального и микро- сейсмического районирования

Согласно действующим СП 14.13330.2018 "Строительство в сейсмических районах", исходную фоновую сейсмичность района строительства определяют в соответствии с картами общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2015). Сейсмическая интенсивность на картах указывается в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности — А, В и С. В комплект входят три карты А, В и С, показывающие вероятность превышения за 50 лет указанных значений сейсмической активности, равную 10%, 5% или 1% соответственно (рисунок 1). Этим вероятностям соответствуют интервалы времени в 500, 1000 и 5000 лет между землетрясениями расчетной интенсивности. Карта А предназначена для проектирования объектов нормального и пониженного уровня ответственности, карты В и С - для объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов (СП 14.13330, 2018).

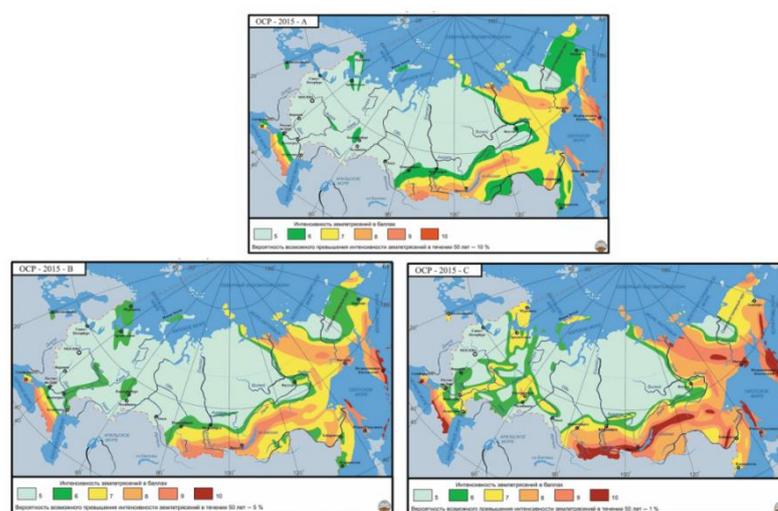


Рисунок 1. Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2015 (Комплект карт ОСР, 2015).

Так как карты общего сейсмического районирования составлены в мелком масштабе (1:2.500.000) и для усредненных грунтовых условий, то при изучении отдельных районов или населенных пунктов необходимо уточнение сейсмической опасности (УСО). В процесс УСО входят два вида работ (Научные публикации В.И. Уломова, 24.02.2020):

1. Детальное сейсмическое районирование (ДСР). При выполнении ДСР уточняется модель источников землетрясений. Карты ДСР составляют на основе карт ОСР в масштабе 1:500.000

2. Сейсмическое микрорайонирование (СМР). При проведении СМР учитываются реальные грунты под объектом строительства. Карты СМР составляют на основе карт ДСР в масштабе 1:50.000 и учитывают приращение сейсмической интенсивности за счет местных грунтовых условий.

## ГЛАВА 2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВОДИВЫЕ В РАЙОНАХ С ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

Строительство в сейсмических районах (7-9 баллов) требует уточнения сейсмической балльности конкретных строительных площадок. Для детализации сейсмических условий производится сейсмическое микрорайонирование. Задача сейсмического микрорайонирования — установление расчетного балла, то есть выделение участков с разными грунтовыми, морфологическими и гидрогеологическими условиями (Иванов, 2001).

Инженерно-геологические исследования проводятся методами наземной инженерной сейсморазведки: метод преломленных волн (МПВ, КМПВ), метод анализа поверхностных волн (MASW), а также методами электроразведки: вертикальное электроразведание (ВЭЗ) и его модификации, электропрофилеирование (ЭП). Дополнительно проводятся инструментальные сейсмологические наблюдения для регистрации микросейсм и землетрясений на исследуемой территории. Для получения параметров прогнозируемых сейсмических воздействий для принятия проектных решений на последней стадии проектирования производятся специальные расчёты по методу сейсмических жесткостей (МСЖ) и методам моделирования с подбором акселерограмм-аналогов (GeophysTech, 08.02.2020).

При расчетах используется параметр *средней сейсмической жёсткости* толщи грунтов. Это безразмерная величина, рассчитывается до глубины 10 метров как произведение скорости распространения упругих сейсмических волн на плотность пород. В следующей таблице приведены значения средней сейсмической жёсткости некоторых типов горных пород (Бондарев, 2003).

Таблица 1. Типы горных пород и соответствующие им значения средней сейсмической жёсткости (Бондарев, 2003).

Горные породы	$V_p \times \rho$
Граниты	16.2
Известняки и песчаники	12,6...5
Полускальные грунты	7,2...2,9
Крупнообломочные грунты	4,2... 1,4

Продолжение таблицы 1.

Горные породы	$V_p \times \rho$
Пески	3,1...1
Глинистые грунты	3...1
Насыпные рыхлые	0,9...0,26

Кроме того, при сейсмическом микрорайонировании проводят уточнение влияния грунтовых условий на сейсмическую интенсивность. Определяют приращение сейсмической интенсивности с помощью метода сейсмических жесткостей по формуле Медведева:

$$\Delta I = \Delta I_C + \Delta I_B + \Delta I_{рез},$$

где  $\Delta I$  — суммарное приращение сейсмической интенсивности (в баллах) относительно фоновой балльности,  $\Delta I_C$  — приращение сейсмической интенсивности за счет различия грунтовых условий,  $\Delta I_B$  — приращение сейсмической интенсивности за счет ухудшения свойств грунтов при обводнении,  $\Delta I_{рез}$  — приращение сейсмической интенсивности за счет резонансных явлений. В формуле Медведева, помимо волновой интенсивности, учитывается глубина залегания грунтовых вод и резонансные явления в грунтах (Кириченко и др., 2017).

При сейсмическом микрорайонировании используют, с одной стороны, сведения о районе и грунтах, полученные при инженерно-геологических изысканиях, и, с другой стороны, данные о сейсмических свойствах грунтов, определенные инструментально. Последними могут быть, например, данные об амплитудах смещений и колебаний грунтов, об акустических жесткостях грунтов с учетом резонансных свойств инженерно-геологического элемента, о типах частотных характеристик и т. д.

В результате составляют карты сейсмического районирования. Они являются прогнозными, указывают место и возможную силу землетрясения на данном участке (Иванов, 2001).

## ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Крымский полуостров находится в зоне сочленения Скифской плиты и Альпийского складчатого пояса (рисунок 2). В геологическом отношении территорию Крыма можно разделить на 3 части: равнинный Крым (север и центр полуострова), горный Крым (юг полуострова), и Керченский полуостров (восток Крымского полуострова) (Геология СССР. Том VIII, 1969).

Равнинный Крым занимает большую часть территории полуострова, имеет платформенное строение и относится к Скифской плите. На севере расположена зона Причерноморской платформенной впадины (Сивашско-Каркинитский прогиб). Прогиб выполнен терригенными мезозойско-кайнозойскими породами мощностью до 6-7 километров на юго-востоке, в районе Сиваша. Южнее, в центральной части полуострова, находится складчатый фундамент Скифской плиты (Крымско-Азовский сегмент плиты эпигерцинского возраста). Платформа перекрыта мощным осадочным чехлом терригенных отложений на сланцево-известняковом складчатом фундаменте. В рельефе преобладают низменные равнины с высотами 0,5 — 30 м (Геология СССР. Том VIII, 1969).

На юге полуострова расположена Горно-Крымская складчатая область (к ней относится и область исследования — территория г. Севастополь). Возраст складчатости альпийский. В составе пород присутствуют сильно дислоцированные триас-юрские флишевые комплексы (таврическая серия) и более спокойно залегающие верхнеюрские карбонаты, песчано-глинистые мел-неогеновые толщи. С ними связаны месторождения железных руд, солей, флюсовых известняков (Горная энциклопедия, 1984). Движения по разломам здесь продолжают, вызывая землетрясения. Геоморфологически горный Крым представлен тремя грядами, параллельными берегу Черного моря. Внешняя гряда состоит из ряда куэст высоты около 350 м. Внутренняя гряда достигает высоты 750 м (Геология СССР. Том VIII, 1969).

Строение Керченского полуострова занимает промежуточное положение между платформой и складчатым сооружением. Здесь накапливались мощные толщи глин, рифовых известняков, развит грязевой вулканизм. На Керченском полуострове находится около 100 грязевулканических очагов, периодически извергающихся (Геология СССР. Том VIII, 1969).



*Полезные ископаемые.* В Крыму выделяются две основные металлогенические эпохи: киммерийская и альпийская. Первая проявилась в пределах Горного Крыма, где с триас-юрским магматизмом связаны рудопроявления свинца, цинка и геохимические аномалии золота, висмута и меди. В западной и восточной частях Горно-Крымской зоны известны проявления осадочных бокситов в верхнеюрской молассовой формации, а также окисных руд марганца в отложениях верхней юры и нижнего мела. В северной части горного Крыма обнаружены проявления фосфоритов и ртутные рудопроявления, предположительно позднекиммерийского или альпийского возраста. Второй важной металлогенической зоной является Керченская, где расположен Керченский железорудный бассейн. Руды залегают в терригенных неогеновых породах и являются наиболее важным проявлением альпийской металлогенической эпохи в Крыму (сайт д-ра А. Ивченко, 01.03.2020).

*Инженерно-геологические процессы.* Современные процессы, происходящие в Крыму, привязаны к определенным геоморфологическим районам.

Например, в области горного Крыма сильно развит карст в верхнеюрских известняках нагорья Главной гряды (особенно на нагорье Яйлы). Карст также связан известняками нижнего и верхнего мела, палеогена, неогена. В состав карстового рельефа входят эрозионно-карстовые котловины, воронки и кары, пещеры, шахты, карстовые долины (Геология СССР. Том VIII, 1969).

В горном Крыму также развиты такие гравитационные процессы как обвалы, следы которых наблюдаются у подножий скалистых обрывов в виде глыбовых развалов, осыпей и смещенных массивов.

Оползневые процессы развиты в основном на южном побережье Крыма и в районе Керчи, но могут происходить и в Севастополе. Оползни происходят на склонах с крутизной 10-15°, сложенных четвертичными суглинко-щебнистыми отложениями (продукты разрушения таврической серии средней юры). Активизация оползневых процессов связана с повышением влажности пород, эрозией нижней части оползня, перегрузкой верхней части оползня поступающим терригенным материалом (Геология СССР. Том VIII, 1969).

На Керченском полуострове проявлены грязевой вулканизм и селевые потоки. Общее число грязевых вулканов достигает 33. Из грязевых вулканов на поверхность выходят газы (метан, углекислый газ, азот), минерализованные воды и грязь. Корни этих вулканов связаны с глубинными зонами земной коры или с интрузиями, о чем свидетельствует обогащение продуктов грязевого вулканизма ртутью и мышьяком. Селевые паводки возникают как следствие ливневых дождей. Они относятся к

категории текучих, турбулентных, со скоростью 1,2 - 4 м/сек. Для борьбы с селевыми потоками осуществляются агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия (Геология СССР. Том VIII, 1969).

К другим опасным процессам относится сейсмическая активность и землетрясения. Фоновый уровень сейсмической активности Крымского полуострова составляет 7-9 баллов по шкале Рихтера, повышаясь в южном направлении (Геология СССР. Том VIII, 1969).

## ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена на примере проекта строительства типового административного здания. В административном отношении участок изысканий находится в Российской Федерации, Республике Крым, Гагаринский район, Фиолентовское шоссе (рисунок 3). Общая площадь здания 975,0 м<sup>2</sup>, этажность четыре этажа, фундамент ленточный, глубина заложения до 6 м. Особые геологические условия: сейсмичность 8 баллов. (Задание на проектирование, 2018). Объект не относится к особо опасным, технически сложным и уникальным согласно статье 48.1 «Градостроительного кодекса РФ» (Градостроительный кодекс, 2004).

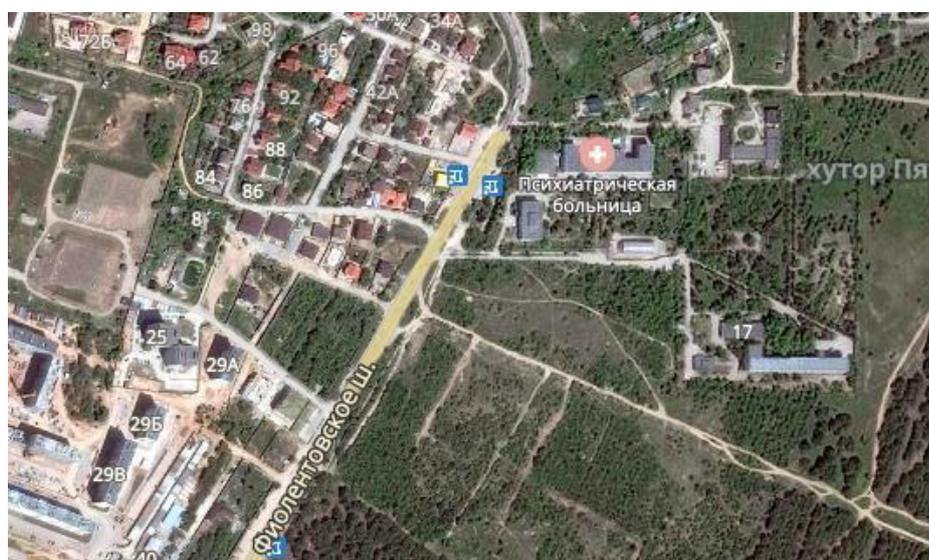


Рисунок 3. Схема расположения участка изысканий (Google Карты, 18.10.2019)

### 4.1 Физико-географические и техногенные условия

Город Севастополь расположен в юго-западной части Крыма. Территория города представляет собой невысокое платообразное предгорье. Геоморфологически участок изысканий расположен в пределах холмистой равнины в провинции Горного Крыма и подпровинции Гераклеийской возвышенности (рисунок4).

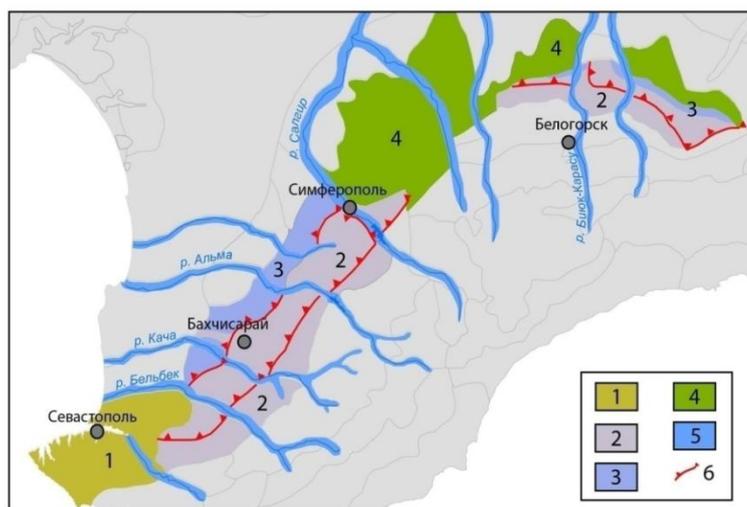


Рисунок 4. Морфоструктуры Предгорного Крыма (Вахрушев, 2003). Условные обозначения: 1 – Холмистые равнины на неогеновых известняках и мергелях; 2 – Полого-волнистые наклонные равнины на палеогеновых и неогеновых известняках, песчаниках, глинах; 3 – Моноклинально-глыбовые низкогорья нанеогеновых известняках; 4 – Полого-волнистые наклонные равнины на палеогеновых и неогеновых известняках, песчаниках, глинах; 5 – Террасированные речные долины; 6 – Уступы куэст

В пределах площадки изысканий выходов подземных вод не зафиксировано.

Поверхность участка имеет естественный рельеф, насыпные грунты при проведении буровых работ встречены не были. Абсолютные отметки, по устьям пробуренных скважин, изменяются в пределах +71,44 м – +74,03 м.

Климат района умеренно теплый, морской. Согласно СП 131.13330.2012 район строительства относится к IV-Б климатическому подрайону. По данным опорной ГМС г. Севастополя многолетняя среднегодовая температура воздуха составляет +12,5<sup>0</sup>С. Максимальные колебания температур в пределах от -21,9<sup>0</sup>С до +38,3<sup>0</sup>С. Среднегодовая сумма осадков 424,4 мм.

В основном на территории района участка изысканий распространены коричневые горные щебневатые почвы. В пределах изучаемой территории почвенно-растительный слой представлен суглинком серо-коричневым с щебнем известняка (Технический отчет, 2018а).

На территории изысканий растительность приурочена к урбанизированным ценозам из-за широкой освоенности площадки исследования хозяйственной деятельностью человека. В пределах площадки произрастают травянистые сообщества, и только на отдельных участках имеются самосеянцы деревьев (алыча). Из трав

преобладают травы семейства мятликовых (это разнообразные ежа, житняк, мятлики, костры, ячмени), капустных (двурядка) и др.

Техногенная нагрузка. Территория площадки относится к общественным местам с развитой инфраструктурой. Застройка территории находится в активной стадии с постоянным расширением застроенных площадей. Техногенная нагрузка непосредственно в пределах площадки исследования является слабой и представлена сетью наземных коммуникаций и старыми и/или проложенными, ныне действующими, подземными коммуникациями. Рядом с площадкой имеется развитая сеть коммуникаций (шоссе, газопровод, кабели связи, сети канализации и водопровода) (Технический отчет, 2018а).

## 4.2 Геологические условия

В тектоническом отношении участок изысканий приурочен к структуре I-го порядка: Горно-Крымское сооружение, II-го порядка: Гераклеийский вулканотектонический блок.

Гераклеийский вулканотектонический блок сложен потоками лав основного и среднего состава, прорванными штоками, дайками, габбро-порфиритами гераклеийского субвулканического комплекса средней юры. Гераклеийский вулканотектонический блок приурочен к нижнему подъярису киммерийского яруса, который с поверхности перекрыт породами альпийского структурного яруса.

Площадка изысканий относится к району моноклиналей в породах мелопалеогена-неогена.

В ходе инженерно-геологических изысканий были пробурены 22 скважины, из них 21 глубинами 3-8 м и одна глубиной 40 м. 40-метровая скважина была пробурена для более полного изучения геологического строения и гидрогеологических условий участка, а также для изучения карста в породах основания.

На территории изысканий выделены следующие стратиграфо-генетические комплексы (СГК):

СГК-I (Слой П) – Современные элювиальные образования ( $eQ_h$ ). Почвенно-растительный слой из суглинка серо-коричневого с щебнем известняка и корнями травянистой растительности. Мощность слоя – 0,2-1,1 м (Технический отчет, 2018а).

СГК-II (ИГЭ-1) – Образования бессарабской свиты сарматского яруса верхнего миоцена неогеновой системы ( $N_{1bs}$ ). Известняк органогенный светло-коричневый скальный малопропрочный с прослоями известняка полускального пониженной прочности, размягчаемый, сильнокавернозный, каверны заполнены глиной серо-зелёной с

вкраплениями окислов марганца, слабовыветрелый. Слой встречен всеми скважинами на глубинах 0,2-1,1 м. Вскрытая мощность слоя 2,2-39,6 м (Технический отчет, 2018а).

Инженерно-геологический разрез участка представлен на рисунке 5, литолого-стратиграфическая колонка 40-метровой скважины представлена на рисунке 6.

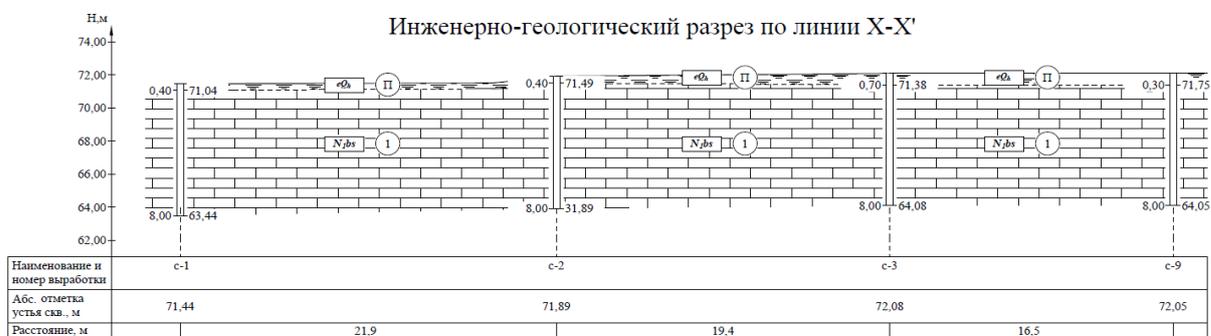


Рисунок 5. Инженерно-геологический разрез участка изысканий. Условные обозначения: SGK-I (Слой II) – Современные элювиальные образования (eQh) SGK-II (ИГЭ-1) – Образования бессарабской свиты сарматского яруса верхнего миоцена неогеновой системы (N1bs) (Технический отчет, 2018а)

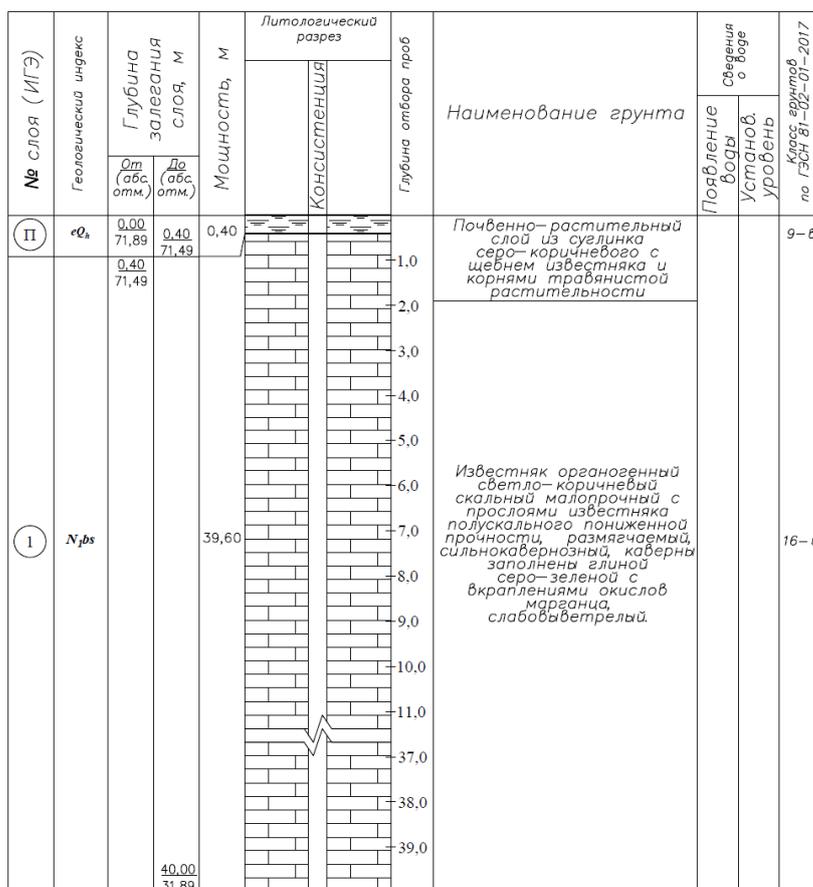


Рисунок 6. Литолого-стратиграфическая колонка 40-метровой скважины (Технический отчет, 2018а).

### 4.3 Гидрогеологические условия

В городе Севастополь водовмещающими являются четвертичные отложения. Относительным водоупором служат неогеновые известняки.

В пределах территории участка изысканий первыми от поверхности залегают грунтовые воды сарматских отложений, следующими горизонтами являются воды, залегающие в образованиях средне-верхнесарматских отложений.

При проведении инженерно-геологических изысканий в мае и в июле 2018 г. подземные воды до глубины 40,0 м вскрыты не были (Технический отчет, 2018а). Согласно СП 11-105-97 ч. II приложения И исследуемая территория в целом относится к участку III-A-1: подтопление отсутствует и не прогнозируется в будущем.

### 4.4 Физико-механические свойства грунтов

До глубины 40,0 м, в пределах SGK-II выделен 1 инженерно-геологический элемент (ИГЭ-1). Грунты почвенно-растительного слоя П в отдельный инженерно-геологический элемент не выделены (Технический отчет, 2018а).

Показатели физических свойств грунтов ИГЭ-1 изучались лабораторными методами в геотехнической лаборатории института «КРЫМГИИНТИЗ» (таблица 2).

Таблица 2. Физико-механические свойства ИГЭ-1 (Технический отчет, 2018а)

Наименование характеристик	Размерность	Грунт в воздуш.сухом состоянии	Грунт в состоянии водонасыщения
Плотность	г/см <sup>3</sup>	2,01	-
Водопоглощение	%	6,25	-
Предел прочности на одноосное сжатие	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	<u>16.03</u> (160,3)	<u>8.14</u> (81,4)

### 4.5 Полевое и лабораторное определение коррозионных свойств грунтов

В полевых условиях проводилось определение удельного электрического сопротивления методом электротомографии с целью геофизического обеспечения инженерно-геологических изысканий. По результатам работ толща грунтов на участке обладает значениями электрических сопротивлений от 30 до 1000 и выше Ом\*м, возможны локальные проявления карстово-суффозионных процессов. Исходя из значений удельного электрического сопротивления, для данных грунтов характерна низкая коррозионная активность к стали (Технический отчет, 2018а).

В лабораторных условиях были проведены определения коррозионной активности грунтов зоны аэрации. По результатам химического анализа водных

вытяжек, грунты из всех скважин по содержанию сульфатов неагрессивны к бетонам марки W4, W6-W20, а также неагрессивны к шлакопортландцементом и сульфатостойким цементам марок бетона W6-W20. По результатам химического анализа водных вытяжек, грунты из всех скважин по содержанию хлоридов, неагрессивны по отношению к арматуре в железобетонных конструкциях для бетонов марок W4-W6, W8 и W10-W14. Грунты зоны аэрации из всех скважин имеют среднюю коррозионную активность по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочкам кабеля (Технический отчет, 2018а).

#### 4.6 Геологические и инженерно-геологические процессы

К современным активным инженерно-геологическим процессам на участке относятся карстоопасность и высокая сейсмичность.

Не смотря на то, что участок изысканий приурочен к району с весьма высоким уровнем потенциальной карстоопасности, при проведении буровых работ провалы инструмента не отмечались (Технический отчет, 2018а).

В сейсмическом отношении участок изысканий относится к району с высокой сейсмической активностью (рисунок 6). Фоновая сейсмичность района составляет 8 баллов. Грунты ИГЭ-1 относятся к I-ой категории по сейсмическим свойствам. По расчету методом сейсмических жесткостей, максимальное приращение исследуемой территории составляет 0,23 балла. Согласно методу аналогий, сейсмичность данного участка составляет 7 баллов (Технический отчет, 2018а).

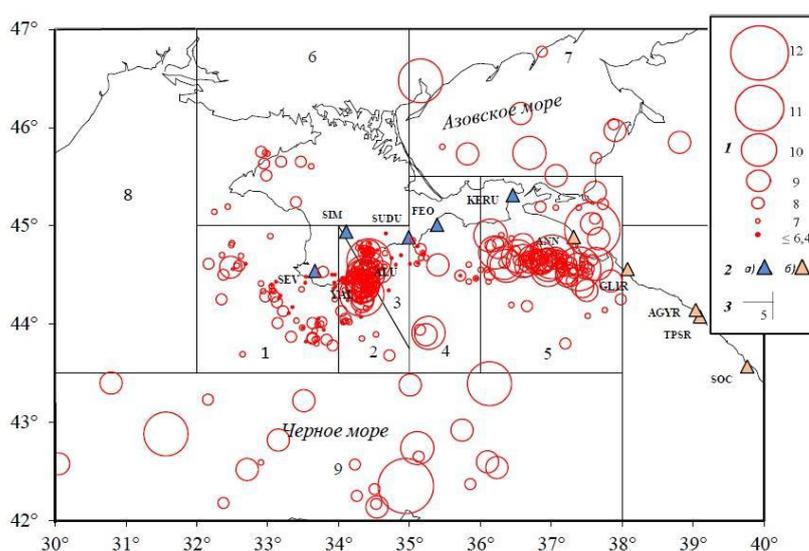


Рисунок 6. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2011-2016 года. Эпицентры землетрясений представлены в виде окружностей разного

диаметра. Цифры возле кружков в «Условных обозначениях» соответствуют величине энергетического класса землетрясения. Цифры на карте – номер региона. Треугольники – сейсмические станции (Пустовитенко, 2018)

Район изысканий по сложности инженерно-геологических условий (геоморфологических – один геоморфологический элемент: холмистая равнина на неогеновых известняках; геологических – один ИГЭ; гидрогеологических – водоносный горизонт не вскрыт; геологические и инженерно-геологические процессы – высокая сейсмичность, карстоопасность – относится к третьей (сложной) категории сложности.

#### 4.7 Сейсмическое микрорайонирование

Сейсмическое микрорайонирование проводилось на участке с целью уточнения исходной сейсмичности и количественной оценки ожидаемого сейсмического воздействия методом сейсмических жесткостей. Для этого была отработана 1 скважина методом ВСП глубиной 30 метров для определения скорости распространения Р и S волн. Фоновая сейсмичность района составляет 8 баллов по карте ОСР-А.

Согласно результатам теоретических расчетов, значение сейсмичности для объекта исследования на основе ПМО «ВОСТОК-2003» составляет  $I=8,75$  балла.

Согласно методу аналогий, сейсмичность данного участка составляет 7 баллов (таблица 3).

По расчету методом сейсмических жесткостей, максимальное приращение исследуемой территории составляет 0,23 балла, следовательно, расчётная сейсмичность участка для уровня риска «А», с учетом I категории грунтов по сейсмическим свойствам (ОСР-2015), а также с учетом максимального приращения сейсмической интенсивности составило 7 баллов (Технический отчет, 2018б).

Таблица 3. Оценка уровня сейсмической опасности по методу аналогий  
(Технический отчет, 2018б)

Период повторяемости	Исходный балл $I_0$	Категория грунта в соответствии с табл.1 СП 14.13330.2011	Расчетный балл
T = 500 лет	8	I	7

## ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ОСНОВАНИИ

Общая площадь здания 975,0 м<sup>2</sup>, ширина 25,0 м, длина 39,0 м. Этажность четыре этажа, высота одного этажа 3,0 м. Фундамент ленточный, глубина заложения 3,0 м. Внешние несущие стены располагаются по периметру здания, внутренние несущие стены — поперечные, пролет 5,57 м. Ширина блоков сборного ленточного фундамента в соответствии с ГОСТ 13579 2,0 м, суммарная длина фундамента 262,0 м.

В соответствии с СП 22.13330.2011, расчет оснований, сложенных скальными грунтами, производится по несущей способности грунтов. Согласно пункту 5.7.2 СП 22.13330.2011 расчет производят исходя из условия

$$F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} * F_u, \quad (5.27 \text{ в } 22.13330.2011)$$

где  $F$  — расчетная нагрузка на основание, кН;  $F_u$  — сила предельного сопротивления основания, кН;  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы, равный для скальных слабовыветрелых грунтов 1;  $\gamma_n$  — коэффициент надежности по назначению сооружения, равный 1,15 для сооружений II уровня ответственности.

Таким образом, для данного объекта нагрузка на основание не должна превышать 87 % от силы сопротивления основания.

В случае скальных грунтов вертикальную составляющую силы предельного сопротивления основания ( $N_u$ ) вычисляют исходя из пункта 5.7.3 СП 22.13330.2011 по формуле

$$N_u = R_c * b * l, \quad (5.28 \text{ в } СП 22.13330.2011)$$

где  $R_c$  — расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта, кПа (в данном случае оно равно 16030 кПа);  $b$  и  $l$  — ширина и длина фундамента, м (равные 2,0 и 262,0 м соответственно).

Таким образом,  $R_c = F_u = 16030 \text{ кПа} * 2,0 \text{ м} * 262,0 \text{ м} = 8399720 \text{ кПа} = 8399,72 \text{ МПа}$ . Нагрузка на основание, в свою очередь, не должна превышать  $7307756,4 \text{ кПа} = 7307,77 \text{ МПа}$ .

Нагрузка на основание складывается из веса фундамента  $N_f$ , веса грунта над уступами  $N_s$  и нагрузки по обрезу фундамента  $N_o$  и рассчитывается по формуле

$$P = \frac{N_o + N_f + N_s}{b * l}.$$

Нагрузка, приложенная по обрезу фундамента, согласно таблице 6.3 СП 47.13330.16, составляет 500 кН/м (50 тс), плотность материала фундамента (тяжелый бетон) 2,3 т/м<sup>3</sup>, грунт над уступами песчаный, его плотность 1,52 т/м<sup>3</sup>. Для расчета веса

грунта и фундамента необходимо определить их объемы, воспользовавшись схемой (рисунок 7).

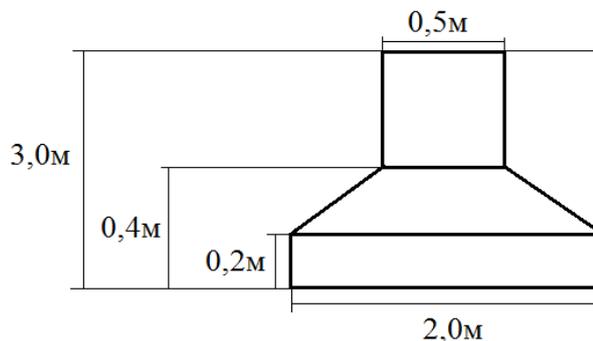


Рисунок 7. Схема сборного ленточного фундамента с размерами

Объем фундамента равен  $262\text{м} * (2\text{м} * 0,2\text{м} + 0,5\text{м} * 2,6\text{м} + 0,2\text{м} * (2\text{м} + 0,5\text{м}) / 2) = 510,9 \text{ м}^3$ . Его вес равен  $510,9 \text{ м}^3 * 2,3 \text{ т/м}^3 = 1175,07 \text{ т}$ .

Объем грунта над уступами фундамента равен  $262\text{м} * (2,8\text{м} + 2,6\text{м}) * 0,75 = 1061,1 \text{ м}^3$ . Его вес равен  $1061,1 \text{ м}^3 * 1,52 \text{ т/м}^3 = 1612,872 \text{ т}$ .

Таким образом, нагрузка на основание  $P = (50\text{т} + 1175,07\text{т} + 1612,872\text{т}) / (2\text{м} * 262\text{м}) = 5,4159 \text{ т/м}^2 = 54,16 \text{ кПа}$ .

Исходя из СП 14.13330.2018, в случае если строительство производится в районе с повышенной сейсмической активностью, то при проектировании нужно учитывать расчетную сейсмическую нагрузку. Это делается с целью принятия проектных решений, позволяющих предотвратить потерю эксплуатационных свойств при землетрясении. Согласно пункту 5.5 СП 14.13330.2018, для зданий и сооружений с простым конструктивно-планировочным решением расчетные сейсмические нагрузки определяют с применением консольной расчетной динамической модели (РДМ) (рисунок 8).

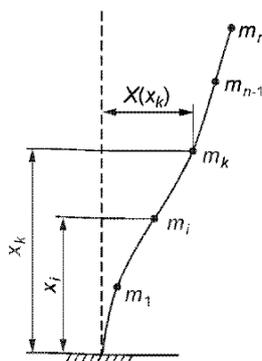


Рисунок 8. Консольная расчетная динамическая модель (СП 14.13330.2018)

Расчетная сейсмическая нагрузка  $S_{ik}^j$  по направлению координаты с номером  $j$ , приложенная к узловой точке  $k$  РДМ и соответствующая  $i$ -й форме собственных колебаний здания, определяется по формуле

$$S_{ik}^j = K_0 * K_1 * S_{0ik}^j, \quad (5.1 \text{ в СП } 14.13330.2018)$$

где  $K_0$  — коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность, равный в нашем случае 1 (таблица 4.2 СП 14.13330.2018);

$K_1$  — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимаемый при использовании панельных железобетонных конструкций равным 0,3 (таблица 5.2 СП 14.13330.2018);

$S_{0ik}^j$  — значение сейсмической нагрузки для  $i$ -й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций по формуле

$$S_{0ik}^j = m_k^j * A * \beta_i * K_\psi * \eta_{ik}^j, \quad (5.2 \text{ в СП } 14.13330.2018)$$

здесь  $m_k^j$  — масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесенные к точке  $k$  по обобщенной координате  $j$ , определяемые с учетом расчетных нагрузок на конструкции (равна  $1,5 \text{ т/м}^2 * 975 \text{ м}^2$  (площадь здания) = 1462,5 т);

$A$  — значение ускорения в уровне основания, принимаемое равным  $1,0 \text{ м/с}^2$  для расчетной сейсмичности 7 баллов;

$\beta_i$  — коэффициент динамичности, соответствующий  $i$ -й форме собственных колебаний зданий или сооружений (согласно пункту 5.6 СП 14.13330.2018 для грунтов I категории по сейсмическим свойствам периода собственных колебаний здания 0,3с равен 2,5);

$K_\psi$  — коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии, равный в нашем случае 1 (таблица 5.3 СП 14.13330.2018);

$\eta_{ik}^j$  — коэффициент, зависящий от формы деформации здания при его собственных колебаниях по  $i$ -й форме (определяется в соответствии с пунктом 5.8 СП 14.13330.2018).

Коэффициент  $\eta_{ik}^j$  для зданий высотой до 5 этажей, рассчитываемых по консольной схеме, с периодом собственных колебаний меньше 0,4 с, определяется по формуле

$$\eta_{ik}^j = x_k * \sum_{j=1}^n (m_j x_j) / \sum_{j=1}^n (m_j x_j^2), \quad (5.7 \text{ в СП } 14.13330.2018)$$

где  $x_k$  и  $x_j$  — расстояния от точек  $k$  и  $j$  до верхнего обреза фундаментов (2м и 1м соответственно);

$m_j$  — масса здания или сооружения, отнесенная к узловой точке  $u$ , определяемая с учетом расчетных нагрузок на конструкцию.

Проведя расчеты, получим:

$$\eta_{ik}^j = 2 * 1462,5 * 1 / 1462,5 * 1 * 1 = 2,$$

$$S_{0ik}^j = 1462,5 * 1 * 2,5 * 1 * 2 = 7312,5,$$

$$S_{ik}^j = 1 * 0,3 * 7312,5 = 2193,75.$$

Таким образом, расчетная сейсмическая нагрузка в 1,5 раза больше массы здания и составляет 2193,75 тс = 21937,5 КПа.

Для строительства административного здания основанием ленточного фундамента могут служить грунты ИГЭ-1.

При освоении данных участков нужно учитывать не только сейсмическую опасность, связанную с сейсмическими свойствами грунтов, но и влияние указанных в отчете неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов.

Следует принимать дополнительные меры по укреплению и усилению оснований и конструкций сооружений.

## ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

На участке строительства административного здания проявлены два осложняющих геологических фактора: повышенная сейсмичность и карстоопасность. Необходимо дать рекомендации, во-первых, по защите здания от разрушения под действием сейсмических нагрузок и, во-вторых, по предотвращению развития карста.

В сейсмических районах при строительстве зданий и сооружений для повышения устойчивости пользуются системами активной сейсмозащиты. В отличие от обычных мероприятий, связанных с повышением несущей способности конструкций, эти конструкции обеспечивают снижение уровня инерционных сил, возникающих в конструкциях во время землетрясения. Они позволяют снизить сейсмическую реакцию сооружений в 2-3 раза и вести проектирование с расчётной сейсмичностью на 1 балл ниже (Иванов, 2001). Ниже приведена классификация систем сейсмозащиты (рисунок 9).

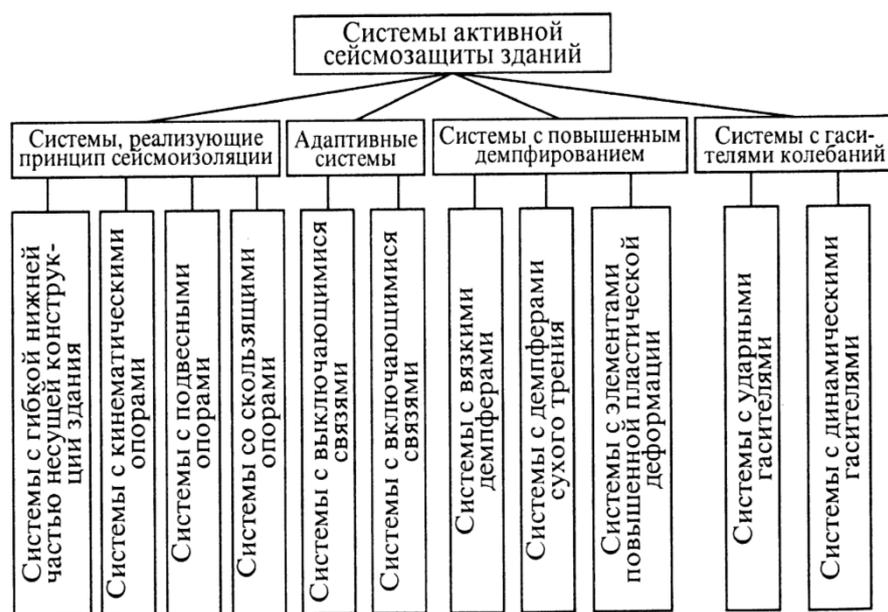


Рисунок 9. Классификация систем сейсмоактивной защиты зданий (Поляков и др., 1988)

Для сейсмозащиты зданий используют конструкции с выключающимися и включающимися связями (рисунок 10). При этом система А эффективна при землетрясениях с высокочастотной составляющей. Ее недостаток – необратимое разрушение антисейсмических конструкций (выключение связей), требующих

немедленного восстановления. При использовании системы Б конструкции не разрушаются и не требуют восстановления (Поляков и др., 1988).

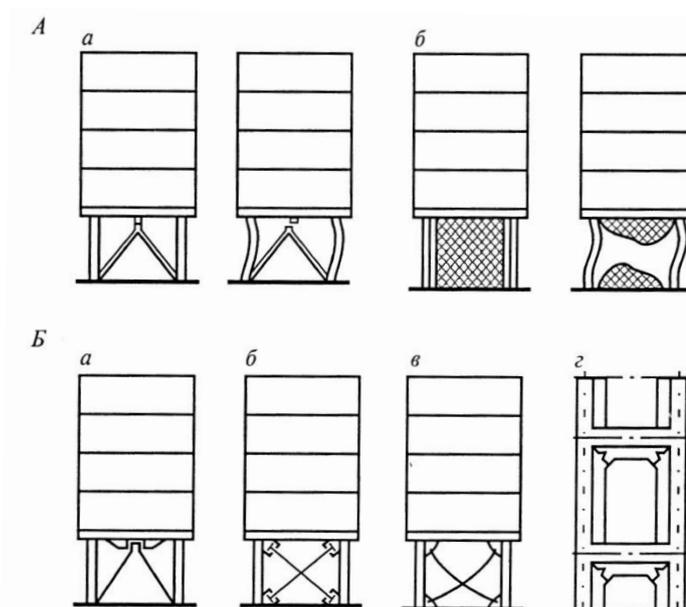


Рисунок 10. Сейсмозащита зданий с помощью выключающихся (А) и включающихся (Б) связей. А: а — специальные выключающиеся элементы, б — разрушающиеся панели — связи; Б: а — упоры-ограничители, б — упругие связи; в — провисающие растяжки, г — жесткие панели (Поляков и др., 1988)

Участок изысканий расположен в районе с высоким уровнем карстоопасности, но при проведении буровых работ провалы инструмента не отмечались. Несмотря на это, при проведении изысканий были обнаружены карстовые полости, заполненные глиной. Мероприятия для предотвращения развития карста определяются в соответствии с разделом 8 СП 116.13330.2012.

Подразделения противокарстовых мероприятий (пункт 8.3 СП 116.13330.2012):

- планировочные (размещение объектов строительства на более безопасных участках);
- водозащитные и противодиффузионные (сокращение инфильтрации поверхностных вод и уменьшение амплитуд колебаний уровня грунтовых вод);
- геотехнические (укрепление оснований — тампонирование карстовых полостей, цементация пород, выбор более надежных грунтов в качестве основания);
- конструктивные (специальные конструктивные решения фундаментов, разрабатываемые при проектировании);

- технологические (повышение надежности коммуникаций и контроль за их работой);
- эксплуатационные (наблюдения за проявлениями карста, строительное обследование состояния зданий и др.).

Таким образом, в качестве основания следует принять известняки ИГЭ-1, несмотря на карст. Для предотвращения развития карста следует провести водозащитные мероприятия, а именно: отсутствие скопления поверхностных вод в котловане в период строительства, устройство гидроизоляции и ливневой канализации с отводом вод за пределы застраиваемых участков. Помимо этого рекомендуется проводить технологические и эксплуатационные работы: не допускать или своевременно устранять аварии на участках коммуникаций, вести геодезический контроль за оседанием земной поверхности и деформациями здания. Для защиты от сейсмических воздействий на этапе проектирования следует предусмотреть наличие систем активной сейсмозащиты, выбираемые исходя из возможностей заказчика. Дополнительно в конструкцию здания рекомендуется добавить упоры-ограничители, которые не разрушаются и не требуют восстановления после землетрясения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена особенностям проведения инженерно-геологических изысканий в районах с повышенной сейсмичностью. При написании работы были выполнены следующие задачи:

- 1) охарактеризованы дополнительные исследования, проводимые в районах с повышенной сейсмичностью,
- 2) изучены стандартные инженерно-геологические работы, проводимые на таких территориях,
- 3) проведен расчет фундамента и даны рекомендации для проектирования.

Таким образом, были проанализированы нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-геологических изысканий и строительства в зонах с повышенной сейсмичностью, и технические отчеты компании ООО "КрымСпецГеология", на основании чего были даны рекомендации по защите административного здания от сейсмических воздействий и карстовых процессов.

Город Севастополь расположен в сейсмически активной зоне, а грунты его основания сложены карстующимися известняками, поэтому при проектировании и строительстве административного здания следует провести комплекс мер по защите от сейсмических воздействий и карста (проектирование сейсмозащитных конструкций, проведение водозащитных и технолого-эксплуатационных мероприятий).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев В.И. Основы сейсморазведки: Учебное пособие для ВУЗов. Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2003. 332 с.
2. Вахрушев Б. А. Морфоструктура и морфоскульптура. М. 1:1 200 000 // Атлас АРК. Киев –Симферополь, 2003. С. 22–23.
3. Иванов И. П., Тржицкий Ю. Б. Инженерная геодинамика. СПб.: Наука, 2001. 416 с.
4. Кириченко М. А., Любимова Т. В., Пендин В. В. Основы сейсмического микрорайонирования территорий со сложными инженерно-геологическими условиями (на примере Черноморского побережья северо-западного Кавказа)// Известия высших учебных заведений, 2017, №1.С. 1-7.
5. Поляков В. С., Килимник Л. Ш., Черкашин А. В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1988. 320 с.
6. Пустовитенко Б. Г., Свидлова В. А. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения северной Евразии, 2018, № 21. С. 49-58
7. Геология СССР. Том VIII. Крым. Часть I. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
8. Горная энциклопедия. М.: «Советская энциклопедия», 1984—1991. Ст. «Украинская Советская Социалистическая Республика».
9. «Градостроительный кодекс РФ» №190-ФЗ от 29.12.2004 г.
10. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2015, 2015 г.
11. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. Москва, 2012 г.
12. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81. Москва, Стандартинформ, 2018 г.
13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. Москва, Стандартинформ, 2011 г.
14. СП 446.1325200.2019. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Москва, 2019 г.
15. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Москва, 2016 г.

16. Google Карты [Электронный ресурс] // <https://www.google.com/maps> (дата обращения 18.10.2019)
17. Geophystech [Электронный ресурс] // <https://geophystech.ru/services/seismic-microzonation/> (дата обращения 08.02.2020)
18. Крымология — вольная общедоступная всеобщая электронная энциклопедия Крыма [Электронный ресурс] // <http://krymology.info/index.php/> (дата обращения 01.03.2020)
19. Научные публикации В.И. Уломова и персональный сайт [Электронный ресурс] // <http://seismos-u.ifz.ru/> (дата обращения 24.02.2020)
20. Личный сайт д-ра Андрея Ивченко (старший научный сотрудник Института географии Национальной академии наук Украины) об Украине [Электронный ресурс] // <https://www.photoukraine.com/english/articles> (дата обращения 01.03.2020)

#### Производственные отчеты компании ООО "КрымСпецГеология"

21. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий. Государственный контракт №67-ПИР/2017-ИГИ от 29.12.2017г, Москва, 2018.
22. Технический отчет по результатам инженерно-геофизических исследований 67- Государственный контракт №67-ПИР/2017-ИГФИ от 29.12.2017г, Москва, 2018.
23. Задание на проектирование "Строительство типового административно-лабораторного корпуса ГБУЗС «Севастопольское бюро судебно-медицинской экспертизы», Фиолентовское шоссе", 2018.