

УДК 550.343

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Сухорученко С. К.^{1,2}, Самсонов К. А.²

¹ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», Симферополь, Российская Федерация.

²ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Российская Федерация.

E-mail: ¹sergeyskons@gmail.com

Дано описание всех влияющих факторов вторичной сейсмической опасности выявленных в процессе инженерно-геологических исследований города Судак, за более чем 60-ти летний цикл проведения данных работ. Описаны инженерно-геологические условия города Судака. Созданы тематические карты. Приведена методика вычисления интегральной сейсмической опасности территории. Сделана итоговая карта ранжирования территории по степени сейсмического риска с учётом геологических данных и проведённых инженерно-геофизических работ по сейсмомикрорайонированию. По результатам расчётов, в городе Судаке на 37% территории установлен наивысший и высокий сейсмический риск.

Ключевые слова: город Судак, сейсмический риск, сейсмическая опасность.

ВВЕДЕНИЕ

Город Судак является одним из наиболее значимых курортных городов Юго-Восточного Крыма. Сам город привлекает туристов не только своим морским побережьем, но и достаточно значимыми в мировой культуре археологическими памятниками, к которым относятся Генуэзская (Судакская) крепость, Лютеранская кирха, монастыри на мысе Димитраки и горе Перчем [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Территория города Судака находится в достаточно сложных геологических условиях. Из коренных пород развиты две свиты: Судакская (средний и верхний келовей – нижний оксфорд) и Манджилская (средний и верхний оксфорд — нижний кимеридж) [7, 8, 9], в каждой выделяются по две подсвиты верхняя и нижняя. Подсвиты разделяются по литологическим разновидностям. В глинах зачастую имеются различные прослои и линзы, к которым относятся скальные и полускальные конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, обломочные известняки, встречаются конкреции и прослои сидеритов.

Из четвертичных отложений преобладающими типами являются — аллювиальные (4 террасы — от среднего неоплейстоцена до голоцена), сложного генезиса (5 денудационных уровня от нижнего неоплейстоцена до голоцена), морские и техногенные. Наличие различных по высоте террас придаёт городу Судаку, своеобразный уступчатый характер рельефа. Литологический состав четвертичных отложений представлен песчаными, гравийно-галечниковыми, дресвяно-щебенистыми, суглинистыми и глинистыми грунтами.

В 2001 году Крымским экспертным советом по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений (ныне Государственное автономное учреждение «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» — далее ГАУ «КРЦ») создана

карта сейсмического микрорайонирования г. Судака, масштаб 1:10 000, утверждённая министром архитектуры и строительной политики АР Крым [10].

Целью работы является оценка сейсмического риска города Судака, на основе решения следующих задач:

— анализ имеющихся данных по инженерно-геологическим и инженерно-геофизическим работам, выполненным на территории города Судака ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и ГАУ «КРЦ»;

— создание различных тематических карт по распределению опасных геологических процессов;

— расчёт суммарного сейсмического риска в программной среде «МатЛаб» для города Судака.

1. МЕТОДИКА РАБОТЫ

Методически работа продолжает наработки по исследованию интегральной сейсмической опасности, применённой ранее для Республики Молдова [11], Республики Крым и городов Симферополя и Ялты [12, 13, 14, 15, 16].

Разработка методики не была каким-то монолитным решением — она претерпела в процессе работы несколько подходов к решению поставленной задачи по вычислению сейсмического риска.

В работах [14, 16] посвящённых данной теме разрабатывался подход, в котором определение основных расчётных элементов — первичной сейсмической опасности (карты общего сейсмического районирования, категория грунтов по сейсмическим свойствам, крутизна рельефа и обводнёность горных пород) и вторичной (оползней, селей, карста, тиксотропии, просадки, набухания, грязевого вулканизма), уязвимость зданий, социальный и экономический фактор оценивались в ячейках по конволюционной формуле.

По результатам данного подхода в каждой ячейке (со стороной 20 на 20 км для Республики Крым) рассматривались уровни опасности: низкий (ограничен пороговой изолинией 0.05), умеренный (0.05–0.25), повышенный (0.25–0.50) и высокий (более 0.50). Большая часть Республики Крым расположена по результатам исследования в зоне повышенного и высокого сейсмического риска.

В работе [14] приводится расчёт интегрального сейсмического риска для города Симферополя разделённого на 98 ячеек (со стороной ячейки 1 на 1 км). По результатам анализа в городе Симферополе более 99% относится к повышенному и высокому уровню сейсмической опасности.

Следующим этапом в понимании сейсмического риска Республики Крым было переосмысление подхода к оценке, что отображено в работе [15]. В основу была положена большая часть наработок предыдущих работ [14, 16], кроме карты ОСР-А, которую заменили на карту 90-процентной вероятности не превышения сейсмических воздействий в пиковых ускорениях (ОСР-2004-Аг) [15].

Учитываемые факторы разделены на две группы. Первая группа факторов — сейсмическая опасность, категория грунтов по сейсмическим свойствам, рельеф, уязвимость строений, социальный фактор, экономический фактор — состоит из

четырёх ступеней оценки — 1, 2, 3, 4. Вторая группа факторов имела пятиступенчатую градацию — 0, 1, 2, 3, 4 — где предусматривается отсутствие опасного процесса, к ним относятся: обводнённость, оползни, тиксотропия, грязевой вулканизм, карст, сели, просадочность, набухание.

Величина сейсмического риска (R) стала иметь пять категорий — допустимый (минимальный) (величина риска $R < 0.16$), низкий ($0.16 < R \leq 0.32$), средний ($0.32 < R \leq 0.48$), высокий ($0.48 < R < 0.64$) и максимальный ($R \geq 0.64$) [15].

Трудности, с которыми столкнулись авторы, заключалась в невозможности получения более или менее достоверной информации о плотности населения в населённых пунктах, сложности оценки конструктивных особенностей зданий и сооружений и отсутствии объективной информации по экономике регионов Крыма. В дальнейшем исследования сейсмического риска сосредоточились на более детальном изучении всего многообразия факторов первичной и вторичной сейсмической опасности в отдельных городах Крыма – Симферополе и Ялте [12, 13].

С 2021 года в программной среде «МатЛаб» в ГАУ «КРЦ» создан вариант ввода данных по выявленным опасным геологическим процессам в каждом отдельном городе Республики Крым, согласно более чем 60-летнего периода инженерно-геологических исследований ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ».

Программа имеет 11 основных параметров, которые введены в корневой каталог, к ним относятся:

1) категория грунтов по сейсмическим свойствам — I, II, III и IV категории, согласно пункту 4.8 таблицы 4.1 СП 14.13330.2018 [17];

2) крутизна земной поверхности (больше или меньше 15 *градусов*);

3) обводнённость территории (распространение подземных вод на глубинах: 0–2; 2–5; 5–10 и более 10 м или отсутствие подземных вод до глубины 30 м);

4) установленные зоны тектонических нарушений по результатам геологических работ и съёмки (отсутствие или площадное распространение);

5) оползни (отсутствие оползней, слабая – характеризует территории, где распространены древние стабильные оползни, средняя – где присутствуют временно-стабильные или частично активные оползни и сильная – постоянно активные оползни);

6) сели и паводки (отсутствие или наличие возможного прохождения в долинах рек, балок и оврагов);

7) просадочность грунтов (непросадочные, слабопросадочные, среднепросадочные, сильнопросадочные грунты);

8) набухание грунтов (ненабухающие, слабонабухающие, средненабухающие и сильнонабухающие грунты);

9) тиксотропия грунтов – это наличие мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции, согласно пункту 6.14.4 СП 22.13330.2016 [18], а также, когда отношение скоростей продольных и поперечных волн больше 3.5 в соответствии с пунктом 4.8 таблицы 4.1 СП 14.13330.2018 [17]. Согласно проведенным многолетним исследованиям ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», к слаботиксотропным грунтам относятся глинистые и карбонатно-глинистые грунты с показателем текучести от 0.5 до 1.0 и при

коэффициенте пористости больше 1.000; к среднетексотропным — грунты с показателем текучести от 0.5 до 1.0 и коэффициенте пористости больше 1.200 и к сильнотексотропным – грунты, у которых показатель текучести более 1.0 и коэффициент пористости больше 1.500 [13];

10) грязевой вулканизм (отсутствие или наличие);

11) карст (отсутствие или наличие).

Самым сложным и дискуссионным остаётся вопрос принятия весовых коэффициентов того или иного компонента из корневого каталога. Согласно имеющимся данным для каждого из городов Крыма можно выделить несколько факторов, которые будут наиболее сильно влиять на строительство и освоение территории. Например, в городе Ялте — оползни, для города Симферополя – оползни и набухание грунтов [12, 13]. Поэтому было принято решение, что для Республики Крым в целом и для каждого конкретного города будут «усиливаться» в весовом отношении несколько параметров, которые проявились максимально негативно на данной территории. Исходя из этого, методически весовые коэффициенты для разных параметров в отдельно взятых городах Республики Крым будут усилены по некоторым параметрам, а некоторые останутся одинаковыми (табл. 1).

Не стал исключением и город Судак, для которого были определены свои весовые коэффициенты опасных процессов. Главными неблагоприятными инженерно-геологическими процессами являются: развитие подтопления, просадочность грунтов и прохождение селевых потоков, поэтому данные параметры «усилены» в весовом отношении, по сравнению с городами Симферополь и Ялта (табл. 2).

Для понимания, с какими сейсмогенерирующими структурами, связаны возможные очаги землетрясений вблизи города Судака, была проанализирована информация о данных структурах Крымско-Черноморского региона.

Таблица 1.

Весовые коэффициенты использованные для Республики Крым и городов Симферополь и Ялта по [11, 12, 15]

| Факторы риска | Вес | | | Градации | | |
|--|-----|-------------|------|------------|-------------|-----------|
| | РК | Симферополь | Ялта | РК | Симферополь | Ялта |
| Сейсмическая опасность (по карте ОСР-А, СП14.13330.2018) | - | - | 60 | - | - | 1,2,3,4 |
| Сейсмическая опасность (по карте ОСР в пиковых ускорениях) | 60 | 60 | - | 1, 2, 3, 4 | 1,2,3,4 | - |
| Особенности горных пород в разрезе до 30м | 20 | 40 | 40 | 1, 2, 3, 4 | -1,0,1,2 | -1,0,1,2 |
| Рельеф (крутизна поверхности земли) | 10 | 20 | 20 | 1, 2, 3, 4 | 0,1,2,3 | 0,1,2,3 |
| Обводнённость | 20 | 15 | 15 | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 |
| Тектонические нарушения | - | 10 | 10 | - | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 |

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 1.

| | | | | | | |
|--------------------|----|----|----|-----------|-----------|-----------|
| Оползни | 15 | 15 | 40 | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 |
| Сели | 5 | – | 5 | 0,1,2,3,4 | – | 0,1,2,3,4 |
| Просадочность | – | 5 | – | – | 0,1,2,3,4 | – |
| Набухание | – | 10 | – | – | 0,1,2,3,4 | – |
| Тиксотропия | 5 | 5 | – | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 | – |
| Грязевой вулканизм | 10 | – | – | 0,1,2,3,4 | – | – |
| Карст | 5 | 5 | – | 0,1,2,3,4 | 0,1,2,3,4 | – |

Из работ по общему сейсмическому районированию Крыма [19], сейсмомикрорайонированию города Судак [10] и исследованию деформаций стен Судакской крепости [20] установлено, что наиболее опасные очаги землетрясений могут возникнуть в Южнобережной, Молбайской и Южно-Азовской сейсмогенерирующих структурах (рис. 1) [19, 20].

При составлении карты сейсмомикрорайонирования города Судак [10] применялся метод регистрации микросейсм (исследования проведены в 22 пунктах), на основе чего были выделены три типа участков с различными приращениями сейсмической интенсивности по грунтовым условиям (от 0 до +1 балла). В дальнейшем ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» проводил инженерно-геофизические работы по сейсмическому микрорайонированию на отдельных объектах в городе Судак методом преломлённых волн. Всего было проведено 31 исследование по приращению сейсмичности.

Таблица 2.

Весовые коэффициенты для определения сейсмического риска для г. Судак

| № п/п | Факторы риска | Вес | Градации | Максимально-возможное, |
|-----------------------------------|--|-----|---------------|------------------------|
| Первичные факторы опасности | | | | |
| 1 | Сейсмическая опасность (по карте ОСР-А, СП 14.13330.2018, сейсмического районирования) | 60 | 1, 2, 3, 4 | 240 |
| 2 | Особенности горных пород в разрезе до 30м | 40 | -1, 0, 1, 2 | 80 |
| 3 | Рельеф (крутизна поверхности земли) | 20 | 0, 3 | 60 |
| 4 | Обводнённость | 20 | 0, 1, 2, 3, 4 | 80 |
| Вторичная геологическая опасность | | | | |
| 5 | Тектонические нарушения | 10 | 0, 4 | 40 |
| 6 | Сели | 10 | 0, 4 | 40 |
| 7 | Просадочные грунты | 20 | 0, 2, 3, 4 | 80 |
| 8 | Набухающие грунты | 10 | 0, 2, 3, 4 | 40 |

Примечание: в пункте 2 значение «-1» — I категория грунтов по сейсмическим свойствам, значение «0» — II категория, значение «1» — III категория, значение «2» — IV категория. в пунктах 3, 4, 5, 6, 7, 8 — значение «0» — отсутствие процесса; значения «1», «2», «3» и «4» — количественные значения от низкого до максимального.

Основным влияющим фактором в геологической истории плейстоцена является климатический фактор — чередование ледниковых и межледниковых эпох и

поэтому, на наш взгляд, одним из не решённых вопросов является возраст четвертичных террасовых и денудационных уровней в городе Судаке.

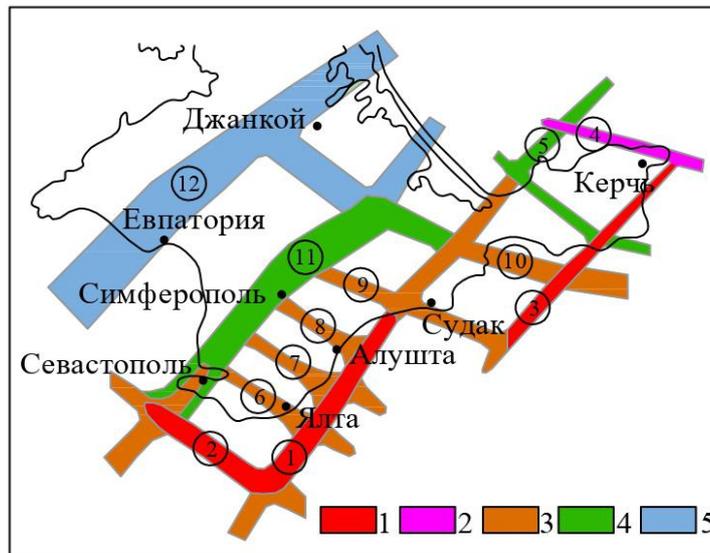


Рис. 1. Карта-схема сейсмогенерирующих структур Крымско-Черноморского региона по [19].

Максимальная магнитуда: 1 — 7; 2 — 6.5; 3 — 6.0; 4 — 5.0; 5 — 4.0. Цифры в кружках сейсмогенерирующие структуры: 1 — Южнобережная; 2 — Одесско-Синопская; 3 — Правдинская; 4 — Темрюкская; 5 — Южно-Азовская; 6 — Чернореченская; 7 — Ялтинская; 8 — Альминская; 9 — Молбайская; 10 — Крымско-Кавказская; 11 — Крымская; 12 — Донузлавская.

Как было замечено авторами статьи [21], отсутствует взаимная увязка континентальных и морских отложений и поэтому остаются вопросы – соответствует ли истине принятая на современном этапе парадигма, что чем выше гипсометрический террасовый уровень, тем он древнее, и наоборот, чем ниже, тем он моложе?

В таблице 3 приведено сопоставление региональных схем континентальных и морских отложений Крымского полуострова и прилегающего шельфа на современном этапе [7, 21, 22, 23]. За основу, колебания уровня Чёрного моря, мы приняли работу П. В. Фёдорова [22], из которой видно, что образование таких аллювиальных террас, как II, V, VIII, IX и X, практически невозможно, из-за того, что уровень Чёрного моря был на отметках от минус 20 до минус 170 м, что в конечном итоге, приводило к врезанию эрозионных форм, а не к аккумуляции снесённого материала в виде террасовых аллювиальных уровней.

При этом в районе города Судак II надпойменная терраса хорошо выражена, особенно с правого борта рек Суук-Су и Карагач и практически отсутствуют так называемые континентальные террасы «делювиально-пролювиальных» суглинков.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

В городе Судаке не выделяется III аллювиальная терраса, но широко развиты «судакские» делювиально-пролювиальные суглинки на высотах от 10 до 30 м. Самыми древними аллювиальными отложениями считается IV терраса (абсолютные отметки от 35 до 50 м, гора Фирейка), соотносимая, с «манджильскими» суглинками IV денудационного уровня [23, 24], распространёнными на отметках от 50 до 140 м.

Таблица 3.

Сопоставление общей стратиграфической шкалы с региональными шкалами
континентального и морского ряда отложений по [7, 21, 22, 23]

| Международная стратиграфическая шкала | | | Региональные шкалы | |
|---------------------------------------|---------------|-------------------|---|---|
| Отдел | Раздел | Возраст, тыс. лет | Континентальный ряд по [7, 21, 23] | Морской ряд по [21, 22] |
| Плейстоцен | Неоплейстоцен | 11.784 | Голоцен почва I н.т., пойма | Современный уровень Древнечерноморская трансгрессия уровень на -10 ÷ -20 м ниже современного |
| | | 22 | Причерноморский Л, I н.т. | Новоэвксинская трансгрессия, стабилизация уровня на -40 ÷ -20 м |
| | | 29 | Дофиновская ПП, II н.т. | |
| | | 50 | Бугский Л, II н.т. | Посткарангатская регрессия максимум до -90 м |
| | | 57 | Витачевская ПП, III н.т. «Судакские суглинки» | Позднекарангатская (главная) фаза Карангатской трансгрессии до 5 ÷ 7 м |
| | | 71 | Удайский Л, III н.т. | Регрессионная фаза Карангатской трансгрессии |
| | | 126 | Прилуцкая ПП, IV н.т. | Раннекарангатская фаза Карангатской трансгрессии |
| | | 191 | Тясминский Л, IV н.т. | Постзуунларская регрессия до -25 ÷ -30 м |
| | | 243 | Кайдакская ПП, V н.т. | |
| | | 301 | Днепровский Л, V н.т. | |
| | | 427 | Завадовская ПП, VI н.т. | |
| | | 474 | Тилигульский Л, VI н.т. «Манджильские суглинки» | Узунларская трансгрессия до 35 ÷ 37 м (возможно 30 ÷ 35 м) Древнеэвксинская трансгрессия вторая до 40 ÷ 43 м (возможно 40 ÷ 45 м) Регрессия |
| | | 621 | Лубенская ПП, VII н.т. | Палеоузунларская трансгрессия до 45 ÷ 50 м Дреанэвксинская трансгрессия первая до 60 м |
| | | 659 | Сульский Л, VII н.т. | Постчаудинская (венедская) регрессия до -70 м |

Продолжение таблицы 3.

| | | | | | | |
|--|--------------|------|-------------------------------|---------------------------------|--|--|
| | | 781 | Мартоношская ПП, VIII н.т. | Суглинки «Больших столов» | Чаудинская трансгрессия | Эпичаудинская фаза – трансгрессия, до $-50 \div -60$ м |
| | | 1000 | Приазовский Л, VIII н.т. | | | Главная чаудинская фаза – регрессия |
| | | 1220 | Широкинская ПП | | | Ранняя чаудинская фаза трансгрессия до $-80 \div -95$ м |
| | Эоплейстоцен | 1400 | Ильичевский Л, IX н.т. | | Дочудинская трансгрессия до $-120 \div -130$ м | |
| | | 1550 | Крыжановская ПП X н.т. | | Регрессия -170 м | |
| | | 1806 | Березанский Л, X н.т. | | | |

Примечание: Л – лёсс, ПП – палеопочва, I н.т.– номер надпойменной террасы

Нахождение различных морских террас на абсолютных отметках обусловлено влиянием двух основных факторов — колебанием уровня Мирового океана и тектоническим движением суши. Современные вертикальные тектонические движения на большей части Горного Крыма со среднего миоцена по четвертичный период имеют восходящее движение, но, тем не менее, нулевая линия на юге проходит по подножью Главной гряды Крымских гор и далее движения имеют отрицательные значения. Непосредственно для города Судака скорость опускания составляет на современном этапе минус 0.6 мм/год [7].

Скорее всего, вертикальные тектонические движения имеют сложный характер. Рассмотрим распространение морской карангатской террасы на протяжении всего Южного берега Крыма. Из табл. 3 уровень карангатского моря оценивается в плюс $5-7$ м, при этом к этим абсолютным отметками приплюсовываются $2-3$ м, учитывающие выброс обломочного материала при захлёстах волн, поэтому высота террасы, на которой она образовывалась, может быть принята от 5 до 10 м [25].

У мыса Меганом высота карангатской террасы находится на отметках от плюс 8 до 14 м [24], в городе Судаке от плюс 12 до 15 м [26], возле посёлка Новый свет от плюс 4.5 до 10 м [7] и в районе мыса Троицы (между посёлками Оползневое и Понизовка) – плюс 13 м [27]. В непосредственной близости от мыса Троицы в посёлке Понизовка при инженерно-геологических изысканиях в 1959–1961 годах данные отложения были вскрыты на абсолютных отметках от минус 28.8 до минус 36.6 м [28].

Из приведённых данных видно, что Южный берег Крыма, который испытывает слабые опускания, всё же имеет отдельные участки (блоки), в которых происходит подъём суши, как у всей Главной гряды Крымских гор.

В непосредственной близости от города Судака в районе хребта Эчки-Даг имеются такие же «континентальные» террасы от «манджильской» до голоценовой. По результатам археологических и геоморфологических исследований авторы работы [29] делают выводы, что более древние террасы содержат широкие по возрасту отложения на своих поверхностях (от древних, когда они образовались до современных) и при этом все верхние слои террас синхронны и самые молодые.

Остаётся нерешённый вопрос о генезисе «континентальных» террас. Большинство авторов определяют данные террасы как пролювиальные реже делювиально-пролювиальные [22, 23, 30]. С этим можно согласиться, если данные отложения, были представлены только глинами, суглинками, дресвяными и щебенистыми грунтами и которые содержат окатанную гальку и гравий местных юрских конгломератов, но в работах [24, 26, 31, 32] говорится о таких породах как — конгломераты и рыхлые (слабосцементированные) конгломераты, что ставит под сомнение пролювиальный и делювиально-пролювиальный генезис этих отложений. В статье Чепалыги А. Л. [33] отмечается, что все террасы имеют морское происхождение. Возможно, по нашему мнению, что в пролювиальных и делювиально-пролювиальных континентальных террасах содержатся прослой и линзы морских или аллювиальных конгломератов, что генетически более правильно. Данное утверждение может быть распространено, возможно, и на IV аллювиальную террасу на горе Фирейка (рис. 2), хотя они могут быть и аллювиального происхождения. Обращает внимание на себя то, что данные прослой конгломератов на горе Фирейка и возле дома отдыха «Судак» [31], находятся на приблизительно одной абсолютной отметке более 30 м, но относятся к разным грунтам по генезису. Авторы данной статьи склоны всё же считать, что данные террасы образованы континентальными процессами и, вероятнее всего — пролювием, но со встроенными морскими или аллювиальными отложениями, поэтому террасы будут в дальнейшем называться — террасы сложного генезиса.



Рис. 2. Конгломераты среди аллювиальных отложений IV террасы горы Фирейки (фото автора 2005 г.).

Как видно имеются проблемы в интерпретации и расположении тех или иных террасовых (денудационных) уровней и генезисе. Поэтому авторами принята своя трактовка террасовых уровней, опираясь на ранее выполненные работы [7, 22, 23, 24, 25].

Изучено 220 фондовых инженерно-геологических отчётов хранящихся в фондах ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ», за период с 1962 по 2022 гг. Проанализирован материал по 1907 скважинам и шурфам, пройденным до глубин от 0.4 до 30 м (16408 погонных метров бурения и шурфования).

2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГРУНТОВ ГОРОДА СУДАКА

Самыми древними породами города Судак являются отложения судакской свиты (средний и верхний келловей — нижний оксфорд), в которой выделяется нижняя и верхняя подсвиты. Нижняя подсвита относится к среднему и верхнему келловею, верхняя к нижнему оксфорду (рис. 3) [7, 34].

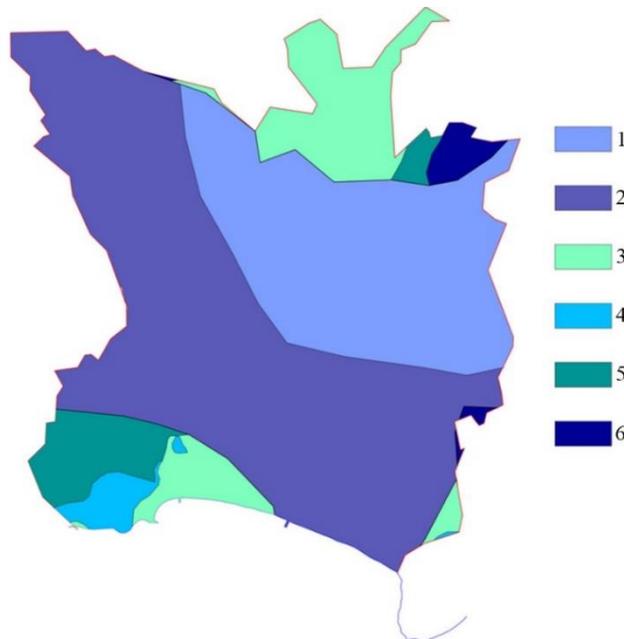


Рис. 3. Геологическая схема города Судак по [7, 34].

1 — манджильская свита, верхняя подсвита — глины с конкрециями сидерита и прослоями песчаника; 2 — манджильская свита, нижняя подсвита — глины с линзами конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов и с прослоями обломочного и органогенного известняка и конкрециями сидеритов; 3 — судакская свита, верхняя подсвита — глины с прослоями песчаников, алевролитов, сидеритов и конкрециями сидеритов; 4 — судакская свита, верхняя подсвита — известняки рифовые и биогермные; 5 — судакская свита, нижняя подсвита — глины с преобладанием линз и прослоев песчаников и алевролитов; 6 — судакская свита, нижняя подсвита глины с преобладанием линз и прослоев конгломератов, гравелитов, песчаников и реже песчаников.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Нижняя подсвита судакской свиты представлена по инженерно-геологическому описанию глинами аргиллитоподобными светло-серыми, серыми, синевато-серыми, тёмно-серыми, буровато-серыми, коричнево-серыми, желтовато-серыми, бурыми, синевато-чёрными, чёрными, с прослоями и линзами скальных и полускальных песчаников, алевролитов, конгломератов и гравелитов.

Физико-механические свойства нижней подсвиты судакской свиты, охарактеризованы по 12 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (98 определений) и реже глины (1) и супеси (1) (табл. 4).

Верхняя подсвита судакской свиты представлена глинами аргиллитоподобными и известняками рифовыми и биогермными. Глины бурые, серовато-бурые, буровато-серые, зеленовато-бурые, зеленовато-серые, серые, синевато-серые, тёмно-серые, чёрные с прослоями и линзами скальных и полускальных песчаников, алевролитов, сидеритов с включением конкреций сферосидеритов. Известняки скальные, прочные, трещиноватые, перекристаллизованные светло-серые, серые.

Таблица 4.

Физико-механические свойства глинистых грунтов нижней подсвиты судакской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Естественная влажность, <i>дол. ед.</i> | 56 | 0.073 ÷ 0.230 | 0.129 |
| Число пластичности, <i>б.р.</i> | 100 | 0.070 ÷ 0.174 | 0.116 |
| Показатель текучести, <i>б.р.</i> | 78 | -1.12 ÷ 0.49 | -0.37 |
| Плотность, <i>г/см³</i> | 76 | 1.85 ÷ 2.24 | 2.06 |
| Коэффициент пористости, <i>б.р.</i> | 76 | 0.312 ÷ 0.742 | 0.504 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности | 26 | 14 ÷ 106 | 36 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный | 26 | 10 ÷ 85 | 33 |
| Удельное сцепление, <i>кПа</i> | 6 | 22 ÷ 59 | 31 |
| Угол внутреннего трения, <i>градус</i> | 6 | 15 ÷ 31 | 22 |

Физико-механические свойства верхней подсвиты судакской свиты, охарактеризованы по 21 фондовому отчёту ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (106 определений) и реже глины (3) (табл. 5).

Таблица 5.

Физико-механические и набухающие свойства глинистых грунтов верхней подсвиты судакской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Естественная влажность, <i>д. е.</i> | 95 | 0.028 ÷ 0.248 | 0.134 |
| Число пластичности, <i>б.р.</i> | 109 | 0.077 ÷ 0.184 | 0.130 |
| Показатель текучести, <i>б.р.</i> | 90 | -1.04 ÷ 0.39 | -0.31 |
| Плотность, <i>г/см³</i> | 95 | 1.92 ÷ 2.54 | 2.19 |
| Коэффициент пористости, <i>б.р.</i> | 95 | 0.143 ÷ 0.648 | 0.422 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности | 29 | 10 ÷ 75 | 28 |

Продолжительность таблицы 5.

| | | | |
|--|----|-------------|-------|
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 29 | 10÷75 | 26 |
| Удельное сцепление, кПа | 9 | 5÷53 | 22 |
| Угол внутреннего трения, градус | 9 | 11÷32 | 20 |
| Относительное набухание, д. е. | 3 | 0.06÷0.14 | 0,10 |
| Давление набухания, МПа | 3 | 0.04÷0.075 | 0.06 |
| Влажность набухания, д. е. | 3 | 0.190÷0.253 | 0.218 |
| Относительная усадка по высоте, д. е. | 3 | 0.030÷0.082 | 0.051 |
| Относительная усадка по диаметру, д. е. | 3 | 0.020÷0.034 | 0.025 |
| Относительная усадка по объёму, д. е. | 3 | 0.080÷0.144 | 0.101 |

Для глин верхней подсвиты проведены исследования набухающих свойств и характеризуют данные отложения как средненабухающие. Набухающие свойства судакской свиты в большей своей степени можно отнести за счёт содержания до 60% глинистых минералов группы гидрослюд [7].

Известняки верхней подсвиты охарактеризованы 3-мя определениями и характеризуют их как скальные прочные грунты (табл. 6).

Таблица 6.

Физико-прочностные свойства известняков верхней подсвиты судакской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Плотность, г/см ³ | 3 | 2.61÷2.679 | 2.639 |
| Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа | 3 | 66.1÷94,6 | 76.4 |

Манджильская свита представлена двумя подсвитами – нижняя относится к среднему и верхнему оксфорду, а верхняя к нижнему кимериджу (см. рис. 3).

Нижняя подсвита, представлена глинами с линзами конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов и с прослоями обломочного и органогенного известняка и конкрециями сидеритов. Глины аргиллитоподобные бурые, серовато-бурые, зеленовато-бурые, желтовато-серые, коричневатые-серые, синевато-серые, голубовато-серые, зеленовато-серые, оливково-серые, серые, тёмно-серые, серовато-чёрные, чёрные. Физико-механические свойства глин нижней подсвиты манджильской свиты, охарактеризованы по 78 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (399 определений) и реже глины (25) (табл. 7).

Таблица 7.

Физико-механические свойства суглинков и глин
нижней подсвиты манджильской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Суглинки | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 219 | 0.022÷0.257 | 0.120 |
| Число пластичности, б.р. | 399 | 0.078÷0.164 | 0.124 |
| Показатель текучести, б.р. | 219 | -1.42÷0.61 | -0.41 |
| Плотность, г/см ³ | 290 | 1.61÷2.60 | 2.22 |

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 7.

| | | | |
|---|-----|--------------|-------|
| Коэффициент пористости, <i>б.р.</i> | 206 | 0.102÷1.065 | 0.451 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности | 85 | 15÷448 | 44 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный | 85 | 8÷448 | 39 |
| Удельное сцепление, <i>кПа</i> | 42 | 2÷48 | 21 |
| Угол внутреннего трения, <i>градус</i> | 42 | 8÷34 | 25 |
| Глины | | | |
| Естественная влажность, <i>дол. ед.</i> | 24 | 0.046÷0.275 | 0.164 |
| Число пластичности, <i>б.р.</i> | 25 | 0.171÷0.224 | 0.190 |
| Показатель текучести, <i>б.р.</i> | 24 | -0.877÷0.326 | -0.25 |
| Плотность, <i>г/см³</i> | 24 | 1.98÷2.20 | 2.10 |
| Коэффициент пористости, <i>б.р.</i> | 24 | 0.397÷0.706 | 0.518 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности | 11 | 14÷51 | 23 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный | 11 | 14÷51 | 21 |
| Удельное сцепление, <i>кПа</i> | 3 | 21÷43 | 34 |
| Угол внутреннего трения, <i>градус</i> | 3 | 18÷32 | 26 |

Физико-механические свойства глин верхней подсвиты манджильской свиты, охарактеризованы по 21 фондовому отчёту ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и по числу пластичности характеризуют как суглинки (62 определения) и реже глины (3) (табл. 8).

Таблица 8.

Физико-механические свойства глинистых грунтов верхней подсвиты
манджильской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Естественная влажность, <i>дол. ед.</i> | 37 | 0.087÷0.147 | 0.123 |
| Число пластичности, <i>б.р.</i> | 65 | 0.080÷0.181 | 0.136 |
| Показатель текучести, <i>б.р.</i> | 37 | -0.82÷0.19 | -0.43 |
| Плотность, <i>г/см³</i> | 46 | 1.87÷2.50 | 2.17 |
| Коэффициент пористости, <i>б.р.</i> | 37 | 0.250÷0.647 | 0.460 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> при естественной влажности | 17 | 9÷71 | 36 |
| Модуль деформации, <i>МПа</i> водонасыщенный | 17 | 8÷71 | 28 |
| Удельное сцепление, <i>кПа</i> | 6 | 5÷63 | 22 |
| Угол внутреннего трения, <i>градус</i> | 6 | 11÷37 | 23 |

Среди глин верхней и нижней подсвит манджильской свиты охарактеризованы следующие прослой, такие как алевролиты, песчаники и конгломераты (табл. 9).

Схема четвертичных отложений составлена по [7, 34] с учётом анализа материалов 220 фондовых отчётов ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» (рис. 4).

Наиболее древними четвертичными отложениями являются грунты IV денудационного уровня сложного генезиса, которые начали формироваться в нижнеоплейстоценовое время (тилигульский климатолит) и, возможно, формировались всё среднеоплейстоценовое время и до начала верхнеоплейстоценовое время (до прилукского климатолита).

Таблица 9.
Физико-прочностные свойства прослоев алевролитов, песчаников и конгломератов манджильской свиты

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Алевролиты | | | |
| Плотность, $г/см^3$ | 95 | 2.06÷2.78 | 2.505 |
| Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа | 22 | 0.22÷3.625 | 2.189 |
| Песчаники | | | |
| Плотность, $г/см^3$ | 38 | 2.31÷2.76 | 2.500 |
| Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа | 9 | 11.171÷22.914 | 19.193 |
| Конгломераты | | | |
| Плотность, $г/см^3$ | 9 | 2.37÷2.55 | 2.452 |
| Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа | 5 | 14.27÷18.93 | 16.587 |

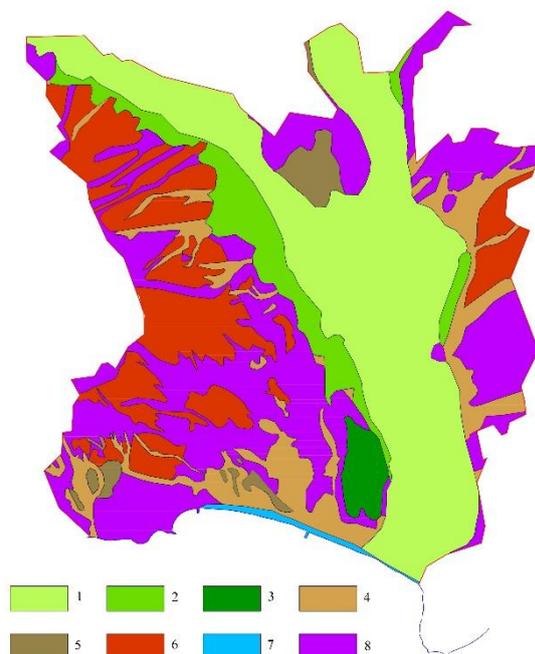


Рис. 4. Схема четвертичных отложений города Судак по [7, 34 с дополнениями].

Аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения: 1 – I террасы и поймы, верхний неоплейстоцен и голоцен; 2 – II террасы, верхний неоплейстоцен; 3 – IV террасы, средний и верхний неоплейстоцен; отложения сложного генезиса (преобладающие делювиальные, пролювиальные и морские): 4 – I денудационного уровня, верхний неоплейстоцен и голоцен; 5 – II и III денудационного уровня, верхний неоплейстоцен; 6 – IV денудационного уровня, нижний, средний и верхний неоплейстоцен; 7 – морские голоценовые отложения; 8 – элювиальные отложения.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Глинистые отложения IV денудационного уровня имеют цвет бурый, палевый, желтовато-бурый, желтовато-коричневый, красновато-коричневый, тёмно-бурый, тёмно-коричневый, буровато-серый, коричнево-серый, желтовато-серый, палево-серый, серый, светло-серый, тёмно-серый, зеленовато-серый.

В глинистых отложениях присутствуют включения дресвы, щебня, гравия, гальки осадочных пород (песчаника, известняка, аргиллита, алевролита, сидерита), иногда встречаются гнёзда карбонатных новообразований. Обломочные породы представлены в основном дресвяными и щебенистыми грунтами, из известняка, песчаника, аргиллита, алевролита, кварца и сидерита. Преобладают угловатые обломки, но встречаются и окатанные, что, скорее всего, связано с поступлением из юрских конгломератовых толщ. В данных отложениях встречены скальные гравелиты в виде слабосцементированных прослоев и линз.

По архивным данным (16 отчётов) глинисто-гравийные отложения характеризуются как суглинки (100 определений), гравийные грунты (41), галечниковые грунты (19), глины (3), супеси (3) (табл. 10). В 5 отчётах суглинки IV денудационного уровня обладали просадочными свойствами и характеризуют их, как грунты среднепросадочные согласно ГОСТ 25100-2020 [35] (см. табл. 10).

Таблица 10.

Физико-механические свойства глинистых и обломочных грунтов сложного генезиса IV денудационного уровня

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Суглинки, глины, супеси | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 79 | 0.070÷0.206 | 0.133 |
| Число пластичности, б.р. | 106 | 0.043÷0.180 | 0.115 |
| Показатель текучести, б.р. | 79 | -0.98÷0.24 | -0.34 |
| Плотность, г/см ³ | 79 | 1.59÷2.27 | 1.99 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 79 | 0.317÷0.946 | 0.542 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 51 | 14÷52 | 29 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 45 | 9÷41 | 18 |
| Удельное сцепление, кПа | 19 | 13÷64 | 27 |
| Угол внутреннего трения, градус | 19 | 15÷31 | 26 |
| Относительная просадочность при 0,3МПа | 23 | 0.015÷0.090 | 0.043 |
| Начальное просадочное давление, МПа | 23 | 0.05÷0.39 | 0.13 |
| Гравийный грунт | | | |
| Фракции более 2мм | 41 | 52.7÷66.9 | 58.5 |
| Фракции менее 2мм | 41 | 33.1÷47.2 | 41.5 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 41 | 0.043÷0.066 | 0.099 |
| Галечниковый грунт | | | |
| Фракции более 2мм | 19 | 61.5÷80.3 | 71.1 |
| Фракции менее 2мм | 19 | 19.7÷38.5 | 28.9 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 19 | песчаный /0.169 | 0.109 |

Аллювиальные отложения IV террасы изучались в районе горы Фирейки и они относятся к средне-верхнеоплейстоценовому времени. Преобладают галечниковые грунты с суглинистым коричневым, серовато-бурым, желтовато-серым, серым заполнителем, реже заполнитель песчаный и супесчаный. По 4 отчётам данные

отложения представлены галечниковыми грунтами (30 определений) (табл. 11) с линзами и прослоями гравийных грунтов (2), суглинков (3) и супесей (1).

Таблица 11.
Физико-механические свойства грунтов аллювиального генезиса IV террасы

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Галечниковый грунт | | | |
| Фракции более 2мм | 30 | 71.5÷93.8 | 79.5 |
| Фракции менее 2мм | 30 | 6.2÷28.5 | 20.5 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 30 | песчаный÷0.138 | 0.092 |

В самих галечниковых грунтах встречаются валуны до 3–6 м в диаметре. Литологически, в основном, преобладают местные осадочные породы — песчаники, известняки, кварциты, кварц, алевролиты и сидерит.

В городе Судаке отложения III денудационного уровня представлены грунтами сложного генезиса. По времени образования они относятся к верхнему неоплейстоцену витачевскому и удайскому климатолиту. Данные отложения изучены в 11 отчётах. Из 67 проб глинистых грунтов 65 проб относятся к суглинкам и 2 пробы к супеси (табл. 12). Цвет отложений красновато-бурый, бурый, тёмно-бурый, светло-бурый, жёлто-бурый, жёлто-серый, буро-серый, серый, зеленовато-бурый, зеленовато-серый, тёмно-серый. Грунты содержат дресву и щебень аргиллита, алевролита, песчаника, сидерита, известняка, кварца. В данных отложениях встречены слои и прослойки мелкогалечниковых конгломератов, гравийных грунтов и пылеватых песков мощностью от 0.4 до 6.0 м. Конгломераты как скальные на песчано-известковистом цементе, так и слабосцементированные на известковистом цементе.

Таблица 12.
Физико-механические свойства глинистых грунтов III денудационного уровня

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Естественная влажность, дол. ед. | 64 | 0.048÷0.212 | 0.144 |
| Число пластичности, б.р. | 67 | 0.055÷0.170 | 0.111 |
| Показатель текучести, б.р. | 64 | -1.78÷0.31 | -0.27 |
| Плотность, г/см ³ | 61 | 1.80÷2.24 | 2.05 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 61 | 0.389÷0.836 | 0.519 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 29 | 11÷52 | 33 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 16 | 7÷47 | 26 |
| Удельное сцепление, кПа | 6 | 13÷40 | 30 |
| Угол внутреннего трения, градус | 6 | 10÷19 | 13 |

В городе Судаке очень широко развита II аллювиальная терраса, чего не скажешь про отложения II денудационного уровня (отложения сложного генезиса), которые развиты очень эпизодически и только в западной части города.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Аллювиальные отложения II надпойменной террасы изучены 18 отчётами и выявлены следующие глинистые грунты — суглинки (165 определений), глины (17) и супеси (10) (табл. 13).

Глинистые отложения имеют цвет светло-коричневый, коричневый, бурый, буро-зелёный, зеленовато-бурый, палево-жёлтый, серовато-жёлтый, серо-коричневый, желтовато-серый, буровато-серый, зеленовато-серый, серый, светло-серый, тёмно-серый. Среди суглинистых грунтов встречаются, как просадочные, так и набухающие разновидности и характеризуются данные как среднепросадочные и средненабухающие. В суглинисто-глинистых отложениях имеются включения гравия и гальки аргиллита, песчаника, алевролита, сидерита, известняка, а также присыпки, линзы, прослой среднезернистых и крупных песков. Редко встречаются гнёзда карбонатных новообразований.

Обломочные аллювиальные отложения II надпойменной террасы представлены в основном гравийными грунтами (38 определений) (табл. 14), крупными песками (4) и галечниковыми грунтами (3). Обломки представлены гравием и галькой песчаника, аргиллита, алевролита, сидерита, известняка с различным заполнителем песчаным, супесчаным и суглинистым жёлто-серым, бурым. Прослой галечниковых грунтов имеют песчаный и суглинистый заполнитель от 19 до 34%.

Таблица 13.

Физико-механические свойства глинистых грунтов II аллювиальной террасы

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Суглинки, глины, супеси | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 172 | 0.070÷0.303 | 0.150 |
| Число пластичности, б.р. | 192 | 0.055÷0.203 | 0.111 |
| Показатель текучести, б.р. | 172 | -1.53÷0.53 | -0.29 |
| Плотность, г/см ³ | 172 | 1.55÷2.34 | 2.00 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 172 | 0.378÷0.950 | 0.569 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 94 | 14÷53 | 29 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 57 | 6÷51 | 21 |
| Удельное сцепление, кПа | 29 | 5÷64 | 28 |
| Угол внутреннего трения, градус | 29 | 6÷33 | 21 |
| Относительная просадочность при 0.3МПа | 11 | 0.006÷0.078 | 0.031 |
| Начальное просадочное давление, МПа | 11 | 0.019÷0.365 | 0.166 |
| Относительное набухание, б.ф.р. | 3 | 0.055÷0.102 | 0.086 |
| Давление набухания, МПа | 3 | 0.03÷0.08 | 0.05 |

Таблица 14.

Физико-механические свойства гравийных грунтов II аллювиальной террасы

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Фракции более 2мм | 38 | 50.4÷83.6 | 40.9 |
| Фракции менее 2мм | 38 | 16.4÷49.6 | 21.2 |
| Естественная влажность, дол. ед. | 12 | 0.027÷0.122 | 0.078 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 38 | Песчаный – 0.121 | 0.085 |
| Плотность, г/см ³ | 7 | 2.24÷2.55 | 2.33 |

Отложения сложного генезиса II денудационного уровня изучены 1 отчётом и представлены суглинками (табл. 15).

Таблица 15.

Физико-механические свойства глинистых грунтов II денудационного уровня

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Суглинки, глины, супеси | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 6 | 0.075÷0.146 | 0.108 |
| Число пластичности, б.р. | 6 | 0.072÷0.104 | 0.084 |
| Показатель текучести, б.р. | 6 | -0.36÷-0.05 | -0.145 |
| Плотность, г/см ³ | 6 | 1.96÷2.17 | 2.10 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 6 | 0.395÷0.489 | 0.433 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 5 | 12÷40 | 28 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 5 | 12÷40 | 28 |
| Удельное сцепление, кПа | 3 | 15÷38 | 27 |
| Угол внутреннего трения, градус | 3 | 15÷25 | 22 |

Физико-механические свойства аллювиальных отложений I террасы и поймы были изучены по 26 фондовым отчётам ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» и глинистые отложения представлены суглинками (546 определений), глинами (104), супесями (15) (табл. 16).

Таблица 16.

Физико-механические свойства глинистых грунтов I аллювиальной террасы и поймы

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|---|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Суглинки | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 507 | 0.063÷0.337 | 0.186 |
| Число пластичности, б.р. | 546 | 0.071÷0.169 | 0.122 |
| Показатель текучести, б.р. | 491 | -1.19÷1.00 | -0.03 |
| Плотность, г/см ³ | 491 | 1.58÷2.34 | 2.01 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 491 | 0.179÷1.060 | 0.603 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 252 | 5÷60 | 26 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 132 | 4÷48 | 22 |
| Удельное сцепление, кПа | 99 | 3÷60 | 27 |
| Угол внутреннего трения, градус | 99 | 6÷31 | 21 |
| Относительная просадочность при 0.3МПа | 16 | 0.020÷0.089 | 0.052 |
| Начальное просадочное давление, МПа | 16 | 0.05÷0.32 | 0.094 |
| Глины | | | |
| Естественная влажность, дол. ед. | 102 | 0.110÷0.513 | 0.252 |
| Число пластичности, б.р. | 104 | 0.171÷0.269 | 0.198 |
| Показатель текучести, б.р. | 102 | -0.54÷0.72 | 0.09 |
| Плотность, г/см ³ | 102 | 1.51÷2.13 | 1.94 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 102 | 0.503÷1.353 | 0.760 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 47 | 5÷48 | 20 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 22 | 5÷48 | 20 |

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Продолжение таблицы 16.

| Супеси | | | |
|---|----|--------------|-------|
| Естественная влажность, дол. ед. | 10 | 0.060÷0.200 | 0.131 |
| Число пластичности, б.р. | 15 | 0.038÷0.069 | 0.055 |
| Показатель текучести, б.р. | 10 | -0.826÷0.492 | -0.28 |
| Плотность, г/см ³ | 10 | 1.60÷2.27 | 1.961 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 10 | 0.284÷1.020 | 0.628 |
| Модуль деформации, МПа при естественной влажности | 2 | 22÷23 | 22 |
| Модуль деформации, МПа водонасыщенный | 2 | 13÷23 | 18 |
| Удельное сцепление, кПа | 1 | | 38 |
| Угол внутреннего трения, градус | 1 | | 22 |

Суглинки, глины и супеси имеют цвет отложений пёстроцветный (тёмно-бурый, с голубоватыми пятнами, тёмно-коричневый с голубоватыми разводами, голубовато-серый с охристыми пятнами), тёмно-коричневый, светло-бурый, бурый, желтовато-коричневый, буровато-серый, буровато-зелёный, серовато-коричневый, серовато-бурый, зеленовато-коричневый, оливково-коричневый, голубовато-серый, синевато-серый, зеленовато-серый, серый, тёмно-серый. В глинистых отложениях встречаются обломки осадочных пород (гравий, галька, валуны), а также прослои, линзы гравийных, галечниковых грунтов и песков и очень редко суглинистых текучих голубовато-серых илов, с обугленными остатками растений (содержание гумуса до 5%). На отдельных участках грунты проявляют просадочные свойства и характеризуются отложения как среднепросадочные.

Физические свойства обломочных грунтов аллювиальных отложений I террасы и поймы представлены гравийными грунтами (91 определения) (табл. 17), песками (32) (табл. 18) и галечниковыми грунтами (23) (см. табл. 17).

Таблица 17.

**Физико-механические свойства крупнообломочных грунтов
I аллювиальной террасы и поймы**

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Гравийный грунт | | | |
| Фракции более 2мм | 91 | 50÷74.1 | 59.3 |
| Фракции менее 2мм | 91 | 25.9÷50 | 40.7 |
| Естественная влажность, дол. ед. | 39 | 0.025÷0.173 | 0.094 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 91 | песчаный÷0.172 | 0.104 |
| Плотность, г/см ³ | 28 | 1.84÷2.55 | 2.22 |
| Галечниковый грунт | | | |
| Фракции более 2мм | 23 | 61.9÷82.9 | 70.7 |
| Фракции менее 2мм | 23 | 17.1÷38.1 | 29.3 |
| Естественная влажность, дол. ед. | 5 | 0.023÷0.091 | 0.066 |
| Число пластичности заполнителя, б.р. | 23 | песчаный÷0.160 | 0.090 |
| Плотность, г/см ³ | 4 | 2.21÷2.36 | 2.28 |

Обломки, в основном, представлены осадочными породами, преимущественно песчаниками, известняками, аргиллитом, алевролитом, сидеритом, кварцем. Заполнитель от песчаного до глинистого. Из 32 определений песков 18 проб относятся к пескам средней крупности и по 7 проб – к гравелистым и к пылеватым пескам (см. табл. 18).

Таблица 18.

Физико-механические свойства песчаных грунтов I аллювиальной террасы и поймы

| Физико-механические показатели | Количество определений | Значение показателей | |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | | диапазон | средние |
| Пески средней крупности | | | |
| Фракции более 0.25мм | 18 | 51.1÷90.5 | 71 |
| Естественная влажность, дол. ед. | 18 | 0.124÷0.248 | 0.178 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 18 | 0.345÷0.648 | 0.485 |
| Плотность, г/см ³ | 18 | 2.00÷2.30 | 2.13 |
| Пески гравелистые | | | |
| Фракции более 2мм | 7 | 27.7÷48.1 | 39.3 |
| Пески пылеватые | | | |
| Фракции более 0.10мм | 7 | 37.3÷67.6 | 47.3 |
| Естественная влажность, дол. ед. | 4 | 0.167÷0.210 | 0.190 |
| Коэффициент пористости, б.р. | 3 | 0.464÷0.620 | 0.516 |
| Плотность, г/см ³ | 3 | 2.01÷2.16 | 2.10 |

Морские отложения описаны в 5 отчётах и представлены песками (преобладают крупные, но встречаются и мелкие и средней крупности). В песках присутствуют валуны, галька и щебень осадочных пород, в песках имеются линзы галечниковых грунтов. Цвет отложений тёмно-бурый, коричневато-зеленоватый и коричневато-бурый

Техногенные отложения присутствуют практически повсеместно и, как правило, представлены суглинками и щебенистыми грунтами. В районе исторической застройки возле Судакской крепости отмечаются культурные слои – суглинки серые, зеленовато-серые, серовато-бурые, с включением керамики, костей, углей, хорошо отёсанных обломков песчаника и конгломерата, иногда культурный слой представлен дресвяным грунтом песчаника и известняка. Мощность достигает 4.8 м.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРОДА СУДАКА

Для города Судак построены карты распространения четвертичных просадочных (рис. 5) и набухающих коренных грунтов (рис. 6).

При геологической, инженерно-геологической и гидрогеологической съёмке масштаба 1 : 50 000, выполненной в 1980 году объединением «КРЫМГЕОЛОГИЯ», закартированы три зоны тектонических нарушений – Уютненский взброс, Алчакский сбросо-сдвиг и Эчкидагский взброс, по которым породы более молодые (манджильской свиты) гипсометрически опущены ниже более древних (судакской свиты) [36] (рис. 7).



Рис. 5. Просадочные свойства четвертичных отложений города Судака
1 — сильнопросадочные грунты; 2 — среднепросадочные; 3 — слабопросадочные; 4 — непросадочные.

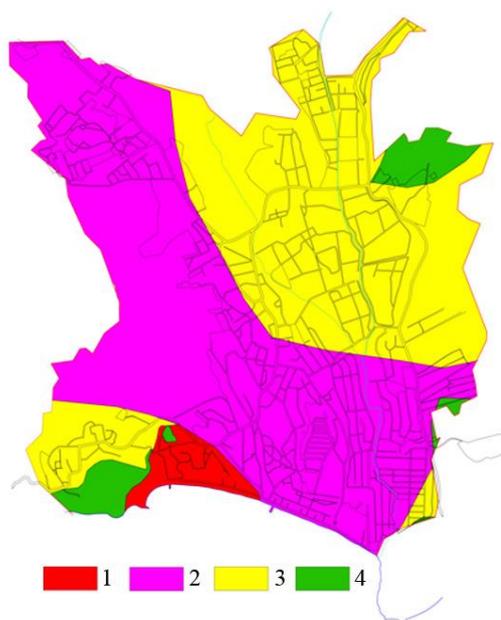


Рис. 6. Набухающие свойства коренных отложений города Судака
1 — сильнонабухающие грунты; 2 — средненабухающие; 3 — слабонабухающие; 4 — ненабухающие.

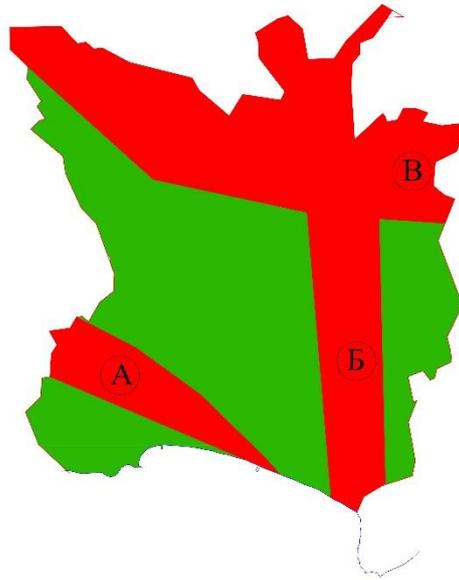


Рис. 7. Зоны тектонических нарушений г. Судака (красный цвет)
В кружках: А — Уютненский взброс; Б — Алчакский сбросо-сдвиг; В — Эчкидагский взброс.

В процессе работы над инженерно-геологической информацией была создана карта распространения подземных вод в городе Судаке.

Непосредственно преобладают территории распространения подземных вод глубже 10 м (рис. 8). В основном это районы окраин города и высокие террасы (выше второго и третьего денудационного уровня). Второй категорией в городе Судаке являются территории, где подземные воды залегают на глубинах от 2 до 5 м – это, в основном, речные долины рек Суук-Су и Карагач. На третьем месте территории с залеганием подземных вод от 5 до 10 м – это территории находящиеся в долинах рек Суук-Су и Карагач. Подтопленные участки с глубиной залегания подземных вод до 2 м в основном отмечаются в поймах речных долин (Суук-Су, Карагач), оврагах и балках, где существует застройка и вблизи морского побережья.

Через территорию города Судака протекает селеопасная река Суук-Су и её приток Карагач. В наиболее изрезанной оврагами и балками западной части города возможны микросели (рис. 9).

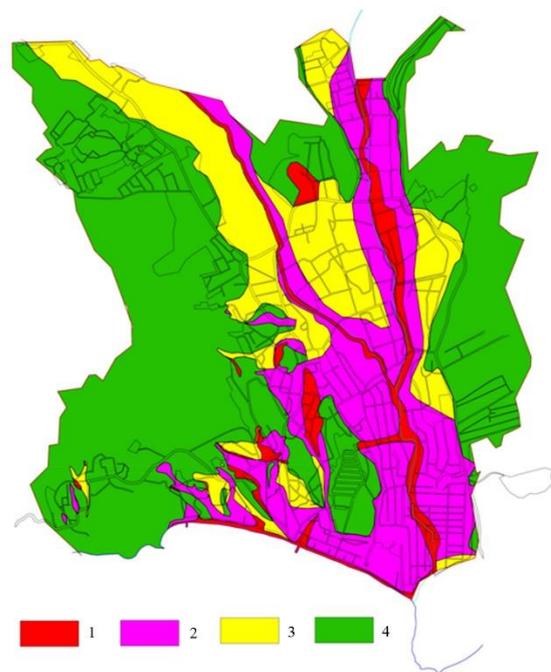


Рис. 8. Глубина залегания подземных вод в городе Судак: 1 — от 0 до 2 м; 2 — от 2 до 5 м; 3 — от 5 до 10 м; 4 — более 10 м.

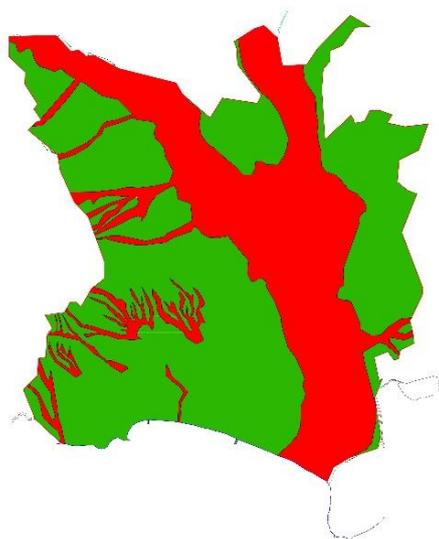


Рис. 9. Территория распространения селей и паводков на территории города Судак (красный цвет).

Для целей сейсмической опасности по картам масштаба 1:5000 построена карта углов наклона земной поверхности. Из-за преобладания террасовых уровней в городе Судак углы наклона менее 15 *градусов* земной поверхности преобладают, но из-за сильного расчленения бортов террас оврагами и балками, выходами скальных пород, засушливости климата встречаются и достаточно крутые склоны. Зачастую овраги и балки имеют углы наклона более 15 *градусов* и, в основном, это относится к западной части города Судака (рис. 10).

После обработки результатов инженерно-геологической информации выделены участки распространения грунтов по сейсмическим свойствам от I (скальные грунты — известняки Судакской свиты) до IV (территории распространения насыпных грунтов) (рис. 11).

Грунты I категории, в основном, распространены в южной части города, где возвышаются биогермные известняковые массивы гор Крепостной и Алчак. В восточной части это конгломераты и песчаники западных отрогов горы Манджил. Преобладающей категорией является II категория по сейсмическим свойствам. Грунты III категории по сейсмическим свойствам распространены в долинах рек Суук-Су и Карагач (см. таблицы 6 и 15). Грунты IV категории по сейсмическим свойствам распространены, в основном, там, где происходила засыпка оврагов и балок, связанных с вывозом грунта при строительстве общественных и курортных зданий, а также в районе Судакской крепости, так называемый «культурный слой».



Рис. 10. Углы наклона земной поверхности в городе Судак: 1 — более 15 *градусов*; 2 — менее 15 *градусов*.

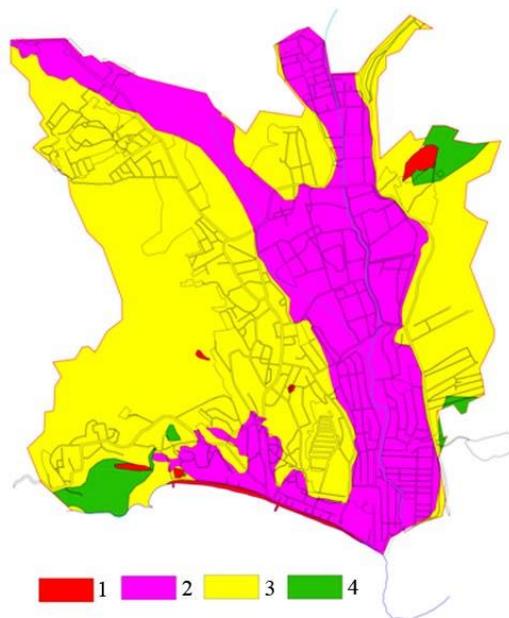


Рис. 11. Категории грунтов по сейсмическим свойствам: 1 — IV категория по сейсмическим свойствам; 2 — III категория по сейсмическим свойствам; 3 — II категория по сейсмическим свойствам; 4 — I категория по сейсмическим свойствам.

Начиная с 1975 года ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» выполнена 31 работа по сейсмомикрорайонированию под участки строительства, большинство работ (19 работ) (рис. 12) подтвердили нормативную сейсмичность для грунтов II категории в городе Судаке, 7 работ уменьшили балльность на один балл от нормативной, 4 работы не подтвердили приращение сейсмичности на 1 балл и одна работа выделила участок, где отмечено приращение на один балл выше нормативного – в районе дома отдыха «Судаке», в зоне Уютненского взброса.

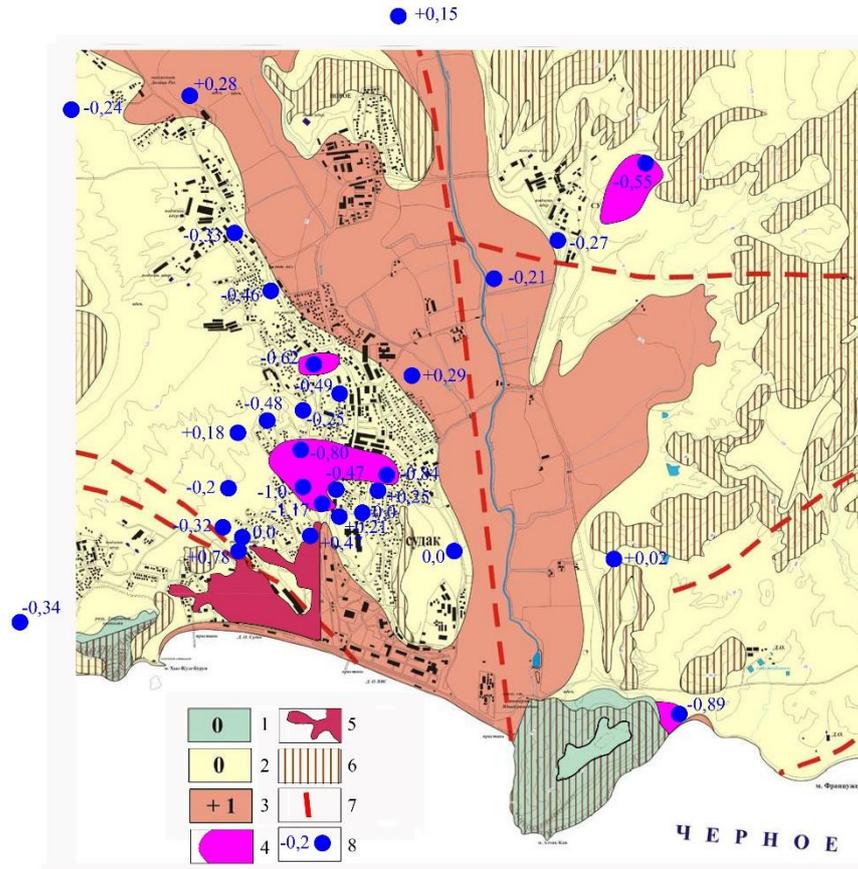


Рис.12. Карта сейсмомикрорайонирования города Судака [10] с дополнениями:

1—0 баллов. Выходы на дневную поверхность благоприятных в сейсмическом отношении грунтов I категории по сейсмическим свойствам, представленных верхнеюрскими известняками, конгломератами, песчаниками плотными, слоистыми и массивными. 2 — 0 баллов. Площади распространения средне-верхнеюрских глин, песчаников, глин, сидеритов. 3 — +1 балл. Площади распространения современных аллювиальных и пролювиальных отложений. 4 — -1 балл. Участки среди верхнеюрских глин с прослоями скальных алевролитов, песчаников. 5 — +1 балл. Участок с развитием аллювиально-пролювиальных отложений. 6 — Склоны с углами наклона дневной поверхности более 15 *градусов*. 7 — Зоны тектонических нарушений. 8 — Пункты, где выполнено сейсмомикрорайонирование под новые площадки строительства (цифра — максимальное значение приращения балльности).

4. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДА СУДАКА

С помощью программного продукта «МатЛаб» проведена итоговая интегральная карта сейсмического риска города Судака (R) (рис. 13).

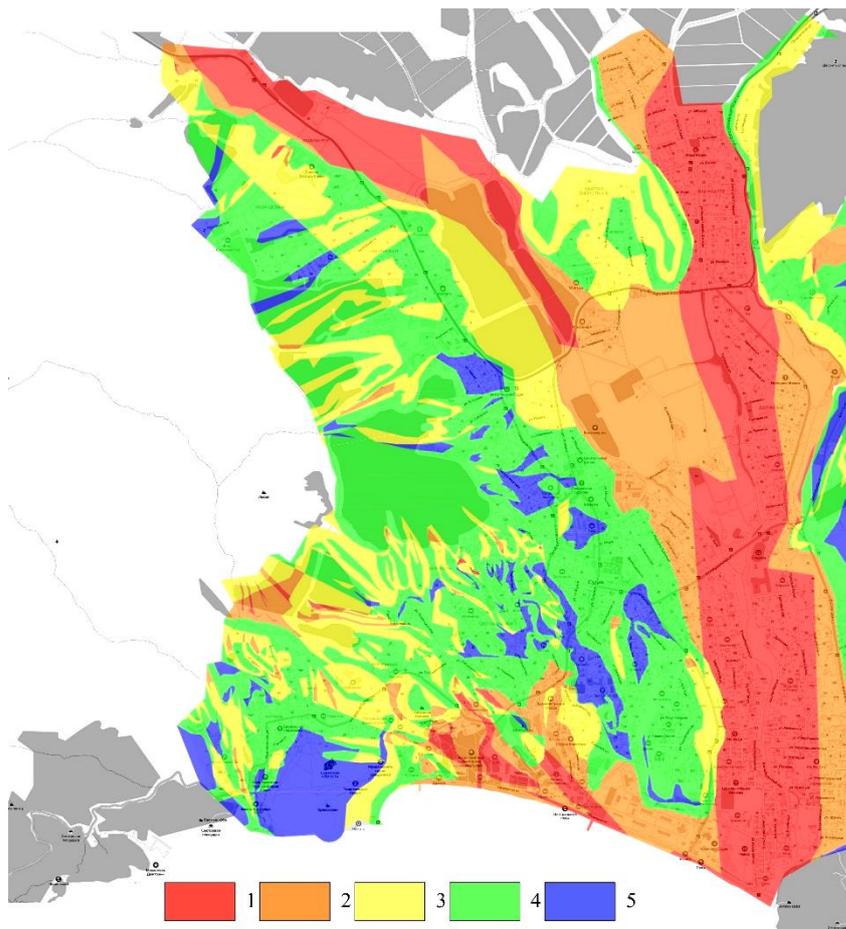


Рис. 13. Интегральная карта сейсмического риска города Судак. Сейсмический риск: 1 — максимальный ($R \geq 0.64$); 2 — высокий ($0.48 < R < 0.64$); 3 — средний ($0.32 < R \leq 0.48$); 4 — низкий ($0.16 < R \leq 0.32$); 5 — допустимый (минимальный) ($R < 0.16$).

По результатам исследования установлено, что в городе Судак зоны сейсмического риска имеют следующие показатели площадного распространения:

- максимальный (красный цвет) — 19%;
- высокий (оранжевый цвет) — 18%;
- средний (жёлтый цвет) — 19%;
- низкий (зелёный цвет) — 35%;
- допустимый (минимальный) (синий цвет) — 9%.

Максимальный и высокий уровень отмечается в долинах рек Суук-Су, Карагач и прибрежной части. Низкий уровень на скальных породах судакской свиты и на более высоких денудационных и аллювиальных террасах.

ВЫВОДЫ

1. Анализ физико-механических характеристик грунтов позволяет сделать вывод, что наиболее опасными при сейсмическом воздействии являются глинистые отложения I аллювиальной террасы рек Суук-Су и Карагач.

2. По результатам многолетних исследований ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ» выявлены опасные геологические и инженерно-геологические процессы — просадочность, набухание, подтопление, прохождение селей и паводков.

3. По результатам инженерно-геологических изысканий и сейсмического микрорайонирования на локальных участках за последние 20 лет по сравнению с картой сейсмомикрорайонирования города Судака (2001 г.) выделены новые участки с приращением и уменьшением балльности, что позволило актуализировать карту сейсмомикрорайонирования города Судака.

4. Максимальный и высокий сейсмический риск отмечается на 37% территории города и в основном приурочен к долинам рек Суук-Су и Карагач.

БЛАГОДАРНОСТИ

Ткаченко Н. П. (директор ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ»), Невидныку А. В. (главному геологу ООО «НПП «НЕДРАПРОЕКТ»).

Список литературы

1. Скрижинская Е. Ч. Судакская крепость. История-Археология-Эпиграфика. Киев-Судак-Санкт-Петербург: Академперіодика, 2006. 380 с.
2. Джанов А. В. Монастырь на мысе Димитраки // Сугдейский сборник. Вып. IV. Киев-Судак: «Горобец», 2010. С. 569–573.
3. Список памятников местного и национального значения, расположенных на территории Автономной республики Крым (по состоянию на 01.01.2004 г.). Симферополь: ООО «Форма», 2004. 487 с.
4. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для реставрации Лютеранской Кирхи музея «Судакская крепость» Национального заповедника «София Киевская» с. Уютное, ул. Приморская, 13 в г. Судак / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 2008. 45 с.
5. Науково-технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування за науково-дослідною роботою «Проведення наукових та інженерно-геологічних досліджень і розроблення рекомендацій із запровадження протизсувних заходів на прикладі території Генуезької (Судацької) фортеці» / Фонди ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 2010. 60 с.
6. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях на территории Генуэзской крепости в г. Судак Крымской области / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 1991. 18 с.
7. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Кримська Серія. Аркуші L-36-XXIX (Сімферополь), L-36-XXXV (Ялта). Пояснювальна записка. Київ: Державний комітет природних ресурсів України, Казенне підприємство «Південекогеоцентр», 2008. 143 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Скифская. Лист L-36 – Симферополь (К-36). Объяснительная записка. Санкт-Петербург: Издательство «ВСЕГЕИ», 2019. 979 с.
9. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережье Чёрного моря). Стратиграфия. Киев: Наукова Думка, 1984. 184 с.
10. Отчёт о работе Крымского экспертного совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений за 2001 год. (Результаты выполнения долгосрочной Программы

- «Сейсмобезопасность и защита населения от сильных землетрясений». Постановление №316 от 29.12.94 г. и №298 от 13.10.98г.) / Фонды ГАУ «КРЦ». Симферополь, 2001. 111 с.
11. Алказ В. Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинёв: Elena-VISRL, 2007. 229 с.
 12. Бурым Ю. А., Сухорученко С. К. Сейсмический риск городов Крыма: Симферополь, Ялта. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XII. М.: ИИЕТ РАН, 2021. С. 241–247.
 13. Бурым Ю. А., Сухорученко С. К., Троян В. В. Исследования сейсмического риска на примере г. Симферополя. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том X (в 2-х частях). Часть 2. М.: ИИЕТ РАН, 2020. С. 39–45.
 14. Лущик А. В., Иваненко Т. А., Пустовитенко Б. Г., Сухорученко С. К., Бурым Ю. А. Оценка сейсмической и геологической опасностей – необходимая составляющая повышения экологической безопасности Крыма. Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития» 2017 года. Севастополь: Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова в г. Севастополе, 2017. С. 121–124.
 15. Бурым Ю. А., Иваненко Т. А., Лущик А. В., Пустовитенко Б. Г. Оценка и картирование сейсмического риска территории Крыма. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VIII. М.: ИИЕТ РАН, 2018. С. 234–238.
 16. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Иваненко Т. А., Сухорученко С. К. Оценка региональной сейсмической опасности и риска на территории Республики Крым // Экономика строительства и природопользования. 2018. №1(66). С. 143–153.
 17. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».
 18. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
 19. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Борисенко Л. С., Поречнова Е. И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофизический журнал, 1999. Том 21. №6. С. 3–15.
 20. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Захаров В. А. Находки следов сильных землетрясений в Судакской крепости. Первый Всероссийский историко-археологический форум «Русь-Европа-Причерноморье-Византия», 2020. С. 110–127
 21. Зеркаль О. В., Габдуллин Р. Р., Самарин Е. Н. Проблемы четвертичной геологии центральной части Крымского полуострова на современном этапе // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. 2017. №3. С. 27–34.
 22. Фёдоров П. В. Отражение климатических событий плейстоцена в геологической истории Чёрного моря // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. №5. С. 74–81.
 23. Геология СССР. Том VIII. Крым. Часть I. Геологическое описание. Москва: Издательство «Недра», 1969. 576 с.
 24. Фёдоров П. В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Чёрного моря. Труды Геологического института. Выпуск 88. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1963. 158 с.
 25. Иноземцев Ю. И., Парышев А. А., Ступина Л. В., Рыбак Е. Н. Палеогеография Азово-Черноморского бассейна в четвертичное время // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2019. 15, №4. С. 36–56.
 26. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях для рабочих чертежей строительства столовой на 750 мест для д/о «Судак». Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ». Симферополь, 1967. 19 с.
 27. Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші L-36-XXXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). Кримська серія. Пояснювальна записка / наук. ред. Білецький С. В. Київ: Державна геологічна служба, Казенне підприємство «Південкогеоцентр», УкрДГРІ, 2006. 176 с.
 28. Ерыш И. Ф., Саломатин В. Н. Оползни Крыма. Часть I. История отечественного оползневедения. Симферополь: Издательство «Апостроф», 1999. 248 с.
 29. Блага Н. Н., Жилин М. Г., Руев В. Л. Галечные орудия из террас горы Эчки-Даг в Крыму: геоморфологический и археологический контекст // Материалы по археологии, истории и этнографии Таврии, Выпуск XXVII, 2022. С. 5–25.
 30. Природа Карадага. Киев: Наукова Думка, 1989. 288 с.

31. Отчёт об инженерных изысканиях для стадии техно-рабочего проекта пансионата на 500 мест и резервуара чистой воды в доме отдыха «Судак» / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Симферополь, 1972. 70 с.
32. Андрусев Н. И. Террасы окрестностей Судака // Записки Киевского общества естествоиспытателей, Том XXII, Вып. 2, 1912. С. 1–88
33. Чепалыга А. Л. Новая концепция черноморских террас юго-восточного Крыма // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2015. №74. С. 90–104.
34. Отчёт об экспертной оценке инженерно-геологических условий пгт. Судака / Фонды ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Симферополь, 1981. 4 с.
35. ГОСТ 25100-2020. «Грунты. Классификация».
36. Отчёт по специализированной геологической, инженерно-геологической, гидрогеологической съёмке восточной части Горного Крыма. Тектоническая схема. Масштаб 1: 50 000. Министерство геологии УССР. Объединение «КРЫМГЕОЛОГИЯ», Крымская ГРЭ. Симферополь, 1980. 270 с.

SEISMIC RISK OF SUDAK CITY OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

Sukhoruchenko S. K.^{1,2}, Samsonov K. A.²

¹ LLC «INSTITUTE «KRYMGIIINTIZ», Simferopol, Russian Federation/

² GAU "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russian Federation.

E-mail: sergeyskons@gmail.com

The description of all influencing factors of secondary seismic hazard identified in the process of engineering and geological studies of the city of Sudak, for more than 60 years of the cycle of these works is given. The engineering and geological conditions of the city of Sudak are described. Thematic maps have been created. The author's method of calculating the integral seismic hazard of the territory by superimposing various thematic maps with different weight coefficients is given. The final map of the ranking of the territory by degree has been made, taking into account geological data and engineering and geophysical work carried out on seismic micro-zoning. Based on the results of calculations. According to the results of calculations, the highest and highest seismic risk is established in the city of Sudak on 37% of the territory.

Keywords: Sudak city, seismic risk, seismic hazard.

References

1. Skrizhinskaya E. CH. Sudakskaya krepost'. Istoriya-Arheologiya-Epigrafika. (History-Archeology-Epigraphy). Kiev-Sudak-Sankt-Peterburg: «Akademperiodika» (Publ.), 2006. 380 p. (in Russian).
2. Dzhанov A.V. Monastyr' na myse Dimitraki (Monastery on Cape Dimitraki) // Sugdejskij sbornik. (Sugdeysky collection) Vyp. IV. Kiev-Sudak: «Gorobec», 2010. pp. 569–573. (in Russian).
3. Spisok pamyatnikov mestnogo i nacional'nogo znacheniya, raspolzhenykh na territorii Avtonomnoj respubliki Krym (po sostoyaniyu na 01.01.2004 g.). (List of monuments of local and national significance located on the territory of the Autonomous Republic of Crimea (as of 01.01.2004)). Simferopol': ООО «Forma», 2004. 487 p. (in Russian).
4. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh dlya restavratsii Lyuteranskoj Kirhi muzeya «Sudakskaya krepost'» Nacional'nogo zapovednika «Sofiya Kievskaya» s. Uyutnoe, ul. Primorskaya, 13 v g. Sudake (Report on engineering and geological surveys for the restoration of the Lutheran Church of the museum «Sudak Fortress» of the National Reserve «Sofia Kievskaya» village. Cozy, Primorskaya str., 13 in Sudak) / Fondy ООО «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИИИТИЗ». Simferopol', 2008. 45 p. (in Russian).

5. Naukovo-tehnichnij zvit pro inzhenerno-geologichni vishukuvannya za naukovo-doslidnoyu robotoyu «Provedennya naukovih ta inzhenerno-geologichnih doslidzhen' i rozroblennya rekomendacij iz zaprovadzhennya protizsuvnih zahodiv na prikladi teritorii Genuez'skoï (Sudac'koï) forteci» (Scientific and Technical Report on engineering and geological surveys on the research work «Conducting scientific and engineering and geological studies and developing recommendations for the introduction of anti-landslide measures on the example of the territory of the Genoese (Sudak) fortress») / Fondy OOO «INSTITUT «KRYMGIINTIZ». Simferopol', 2010. 60 p. (in Ukrainian).
6. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah na territorii Genuezskoj kreposti v g. Sudake Krymskoj oblasti (Report on engineering and geological surveys on the territory of the Genoese fortress in Sudak, Crimean region) / Fondy OOO «INSTITUT «KRYMGIINTIZ». Simferopol', 1991. 18 p. (in Russian).
7. Derzhavna geologichna karta Ukraïni. Masshtab 1 : 200 000 (State geological map of Ukraine. Scale 1: 200.000. Crimean Series. Sheets L-36-XXIX (Simferopol), L-36-XXXV (Yalta). Explanatory note). Kyiv: state committee of natural resources of Ukraine, State Enterprise «Pivdenekogeocentr», 2008. 143 p. (in Ukrainian).
8. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Skifskaya. List L-36 – Simferopol' (K-36). Ob"yasnitel'naya zapiska (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1.000.000. Third generation. The Scythian series. Sheet L-36 – Simferopol (K-36). Explanatory note). S.-Petersburg: VSEGEI, 2019, 979 p. (in Russian).
9. Geologiya shel'fa USSR. Stratigrafiya (shel'f i poberezh'e Chyornogo morya). (Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Stratigraphy (shelf and Black Sea coast) Stratigraphy). Kiev: Naukova Dumka, 1984. 184 p. (in Russian).
10. Otchyot o rabote Krymskogo ekspertnogo soveta po ocenke sejsmicheskoy opasnosti i prognozu zemletryasenij za 2001 god. (rezul'taty vypolneniya dolgosrochnoj Programmy «Sejsmobeзопасnost' i zashchita naseleniya ot sil'nyh zemletryasenij»). Postanovlenie №316 ot 29.12.94 g. i №298 ot 13.10.98g.) / Fondy GAU «KRC» (Report on the work of the Crimean Expert Council on Seismic Hazard Assessment and Earthquake Prediction for 2001 (results of the implementation of the long-term Program «Seismic safety and protection of the population from strong earthquakes» Resolution no. 316 of 29.12.94 and no. 298 of 13.10.98) / Funds of GAU «KRC»). Simferopol, 2001. 111 p. (in Russian).
11. Alkaz V. G. Osnovy prognoza sejsmicheskoy opasnosti i sejsmicheskogo riska territorii Respubliki Moldova (Fundamentals of the forecast of seismic hazard and seismic risk of the territory of the Republic of Moldova). Kishinyov: Elena-VISRL, 2007. 229 p. (in Russian).
12. Buryu Yu. A., Sukhoruchenko S. K. Sejsmicheskij risk gorodov Kryma: Simferopol', Yalta. Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Tom XII (Seismic risk of Crimean cities: Simferopol, Yalta. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume XII). Moscow: IET Russian Academy of Sciences, 2021. pp. 241–247. (in Russian).
13. Buryu Yu. A., Sukhoruchenko S. K., Troyan V. V. Issledovaniya sejsmicheskogo riska na primere g. Simferopol'ya. Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Tom X (v 2-h chastyah). Chast' 2. (Studies of seismic risk using the example of Simferopol. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume X (in 2 parts). Part 2). Moscow.: IET Russian Academy of Sciences, 2020. pp. 39–45. (in Russian).
14. Lushchik A. V., Ivanenko T. A., Pustovitenko B. G., Sukhoruchenko S. K., Buryu Yu. A. Ocenka sejsmicheskoy i geologicheskoy opasnostej – neobhodimaya sostavlyayushchaya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti Kryma (Assessment of seismic and geological hazards is a necessary component of improving the environmental safety of the Crimea). Materialy I Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma v Krymu «Krym – ekologo-ekonomicheskij region. Prostranstvo noosfernogo razvitiya» 2017 goda (Materials of the I International Environmental Forum in Crimea «Crimea is an ecological and economic region. The space of noospheric development» 2017.) Sevastopol: Branch of Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, 2017. pp. 121–124 (in Russian).
15. Buryu Yu. A., Ivanenko T. A., Lushchik A. V., Pustoviteko B. G. Ocenka i kartirovanie sejsmicheskogo riska territorii Kryma (Assessment and mapping of the seismic risk of the territory of Crimea) Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza (Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus Volume VIII). Moscow: IET Russian Academy of Sciences, 2018, pp. 234–238. (in Russian).

16. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Ivanenko T. A., Sukhoruchenko S. K. Ocenka regional'noj sejsmicheskoy opasnosti i riska na territorii Respubliki Krym (Assessment of regional seismic hazard and risk on the territory of the Republic of Crimea) // *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2018, no. 1(66), pp. 143–153 (in Russian).
17. SP 14.13330.2018 «Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah» (Construction in seismic areas) (in Russian).
18. SP 22.13330.2016 «Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy» (Foundations of buildings and structures) (in Russian).
19. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E., Borisenko L. S., Porechnova E. I. Obshchee sejsmicheskoe rajonirovanie territorii Kryma (OSR-98) (General seismic zoning of the territory of Crimea (OSR-8)) // *Geofizicheskij zhurnal*, 1999, vol. 21, no. 6, pp. 3–15 (in Russian).
20. Korzhenkov A. M., Ovsyuchenko A. N., Lar'kov A. S., Zaharov V. A. Nahodki sledov sil'nyh zemletryasenij v Sudakskoj kreposti (Finds of traces of strong earthquakes in the Sudak fortress) // *Pervyj Verssijskij istoriko-arheologicheskij forum «Rus'-Evropa-Prichernomor'e-Vizantiya»* (The first All-Russian Historical and Archaeological Forum «Rus-Europe-Black Sea Region-Byzantium»). 2020, pp. 110–127 (in Russian).
21. Zerkal' O. V., Gabdullin R. R., Samarin E. N. Problemy chetvertichnoj geologii central'noj chasti Krymskogo poluostrova na sovremennom etape (Problems of Quaternary geology of the central part of the Crimean Peninsula at the present stage // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 4 geology*. 2017, no. 3, pp. 27–34 (in Russian).
22. Fyodorov P. V. Otrazhenie klimaticheskikh sobytij plejstocena v geologicheskoy istorii Chyornogo morya (Reflection of Pleistocene climatic events in the geological history of the Black Sea // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya*. 2000, V. 8, no. 5, pp. 74–81 (in Russian).
23. *Geologiya SSSR. Tom VIII. Krym. Chast' I. Geologicheskoe opisaniye* (Geology of the USSR Volume VIII. Crimea. Part I. Geological description) Moscow: Nedra, 1969. 576 p. (in Russian).
24. Fyodorov P. V. Stratigrafiya chetvertichnyh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Chyornogo moray (Stratigraphy of quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black Sea) *Proceedings of the Geological Institute. Issue 88. Moscow: of the USSR Academy of Sciences*, 1963. 158 p. (in Russian).
25. Inozemcev Yu. I., Paryshev A. A., Stupina L. V., Rybak E. N. Paleogeografiya Azovo-Chernomorskogo bassejna v chetvertichnoe vremya (Paleogeography of the Azov-Black Sea basin in Quaternary time) // *Geologiya i korisni kopalini Svitovogo okeanu*. 2019, V. 15, no. 4, pp. 36–56 (in Ukrainian).
26. Otchyot ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah dlya rabochih chertezhej stroitel'stva stolovoj na 750 mest dlya d/o «Sudak» (Report on engineering and geological surveys for working drawings of the construction of a dining room for 750 seats for d/o «Sudak») *Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ»*. Simferopol, 1967. 19 p. (in Russian).
27. Derzhavna geologichna karta Ukraïni masshtabu 1:200000, arkushi L-36-XXXVIII (Evpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol'). *Krims'ka seriya. Poyasnyuval'na zapiska* (State geological map of Ukraine, scale 1:200000, sheets L-36-XXXVIII (Yevpatoriya), L-36-XXXIV (Sevastopol). Crimean series. explanatory note) / *nauk. red. Bilec'kij S. V. Kiïv: Derzhavna geologichna sluzhba, Kazenne pidpriemstvo «Pivdenekogeocentr», UkrDGRI*. 2006. 176 p. (in Ukrainian).
28. Erysh I. F., Salomatin V. N. Opolzni Kryma. Chast' I. Istoriya otechestvennogo opolznevedeniya. (Landslides of the Crimea. Part I. The history of domestic landslide studies). Simferopol: Apostrof, 1999. 248 p. (in Russian).
29. Blaga N. N., Zhilin M. G., Ruev V. L. Galechnye orudiya iz terras gory Echki-Dag v Krymu: geomorfologicheskij i arheologicheskij kontekst. Materialy po arheologii, istorii i etnografii Tavri. V. XXVII (Pebble tools from the terraces of the Echki-Dag Mountain in Crimea: geomorphological and archaeological context. Materials on archeology, history and ethnography of Tavria, Vol. XXVII) 2022, pp. 5–25 (in Russian).
30. *Priroda Karadaga* (The nature of Karadag). Kiev: Naukova Dumka, 1989. 288 p. (in Russian).
31. Otchyot ob inzhenernykh izyskaniyah dlya stadii tekhnorabochego proekta pansionata na 500 mest i rezervuara chistoj vody v dome otdyha «Sudak» (Report on engineering surveys for the stage of the technoworking project of a 500-bed boarding house and a clean water tank in the Sudak recreation center) / *Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ»*. Simferopol, 1972, 70 p. (in Russian).

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК ГОРОДА СУДАК РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

32. Andrusov N. I. Terrasy okrestnostej Sudaka (Terraces of the surroundings of Sudak) // Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytatelej. Vol. XXII, Issue 2, 1912, pp. 1–88 (in Russian).
33. Chepalyga A. L. Novaya koncepciya chernomorskih terras yugo-vostochnogo Kryma (A new concept of the Black Sea terraces of the south-eastern Crimea) // Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 2015, no. 74, pp. 90–104 (in Russian).
34. Otchyot ob ekspertnoj ocenke inzhenerno-geologicheskikh uslovij pgt. Sudaka (Report on the expert assessment of engineering and geological conditions of the village of Sudak) / Funds of LLC INSTITUTE «KRYMGIINTIZ». Simferopol, 1981, 4 p. (in Russian).
35. GOST 25100-2020. «Grunty. Klassifikaciya» (GOST 25100-2020. «Soils. Classification») (in Russian).
36. Otchyot po specializirovannoj geologicheskoy, inzhenerno-geologicheskoy, gidrogeologicheskoy s'yomke vostochnoj chasti Gornogo Kryma. Tektonicheskaya skhema. Masshtab 1: 50 000 (Report on specialized geological, engineering-geological, hydrogeological survey of the eastern part of the Mountainous Crimea. Tectonic scheme. Scale 1: 50000 / Ministerstvo geologii USSR. Ob"edinenie «KRYMGEOLOGIYA». Crimean GRE. Simferopol, 1980, 270 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 29.10.2023 г.