

МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ/MACHINES, UNITS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3>

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН ДЛЯ ГИДРОСТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Научная статья

Кудряшов М.А.^{1,*}, Головин К.А.²¹ORCID : 0000-0003-4053-1343;^{1,2}Тульский государственный университет, Тула, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ua3pkb[at]mail.ru)

Аннотация

В публикации исследована распространенная в научных работах и практических расчетах по строительной механике, механике грунтов и горному делу модель деформируемого грунтового полупространства. Известно, что она используется при проектировании сооружений, возводимых по технологии гидроструйной цементации. Тем не менее авторы соответствующих специализированных работ не указывают области определения указанной модели, прежде всего масштабов объектов и территорий использования геотехнологии. В публикации охарактеризована область определения модели грунтового полупространства, количественно оценена возможность применения таковой в исследованиях подземных сооружений, выполняемых по технологии гидроструйной цементации.

Ключевые слова: горное дело, рельеф, грунт, гидроструйная цементация, полупространство.

CONDITIONS OF APPLICATION OF MACHINES FOR HYDROJET CEMENTATION OF ROCKS

Research article

Kudryashov M.A.^{1,*}, Golovin K.A.²¹ORCID : 0000-0003-4053-1343;^{1,2}Tula State University, Tula, Russian Federation

* Corresponding author (ua3pkb[at]mail.ru)

Abstract

The publication studies the model of deformable soil half-space, which is widespread in scientific works and practical calculations in structural mechanics, soil mechanics and mining. It is known to be used in the design of structures erected by hydrojet cementation technology. Nevertheless, the authors of relevant specialised works do not specify the area of definition of this model, firstly, the scale of objects and territories of geotechnology use. The publication characterises the area of definition of the ground half-space model and quantitatively evaluates the possibility of its application in studies of underground structures constructed using the hydrojet cementation technology.

Keywords: mining, relief, soil, hydrojet cementation, half-space.

Введение

Определение слова «Земля», данное в начале первой главы известной книги [1] и само ее содержание позволяют сделать то обобщение, что ученые рассматривают строительные сооружения как конструкции, в основании которых лежит «геометрически неизменяемая система — диск» [1, С. 20]. Также, например, в работах [2] и [3]: Земля — «бесконечно распространенный объем...» который «ограничен... плоскостью...» [3, С. 5]. То есть, резюмируя источники, с уверенностью можно утверждать, что в изданиях по строительству и механике грунтов Земля, по отношению к размерам сооружения в плане, считается авторами некоторым бесконечным, ограниченным плоскостью объемом материи.

Очевидно, что правомерность употребления научным сообществом модели, обобщающей исследования воззрений на Земной шар понятием полупространства, — обусловлена огромным практическим опытом и проиллюстрирована существованием колоссальной базы наследия архитектурного зодчества. Во многих вышедших в свет книгах эта абстракция принимается учеными как должное — они не указывают области ее определения. Естественно, проявленную ситуацию нельзя считать некорректностью постановок задач — она наглядный пример совершенства научных методов и используемых человеком технологий строительства. Тем не менее возникновение новых способов и средств возведения архитектурных объектов — всегда снова обнаруживает и делает актуальными вопросы: «Какова область определения той или иной научно-технической инновации в строительной отрасли?», «Каков масштаб возводимого с ее помощью сооружения?» и «Существует ли необходимость в строгом учете неоднородности рельефа местности при проектом моделировании?»

К одной из новых, не нашедших еще повсеместного распространения среди технологий строительства, относится технология гидроструйной цементации, позволяющая без выемки горной породы создавать скрытые под земной поверхностью архитектурные структуры [4], [5]. Они востребованы в задачах гражданского и промышленного подземного строительства, укрепления грунтов и разработки месторождений полезных ископаемых. Безусловно, при их решении исследователь должен обращаться и к научному аппарату, который построен на приведенной выше модели. К сожалению в профильных изданиях (в частности [4], [5]) ответов на указанные выше вопросы не приводится. Цель нижеследующего изложения — указать рамки применения и выявить качества использования

представления Земли полупространством в приложениях к технологии подземного строительства — струйной геотехнологии.

Модель полупространства и масштаб строительных объектов

Допустим, что рельеф совпадает с горизонтом или является ровным, и на этом основании выясним — на каком удалении от наблюдателя земную поверхность все еще можно считать плоскостью, а не внешностью сферы. Данный вопрос рассмотрен А. Г. Шипуновым и Е. Н. Семашкиным в книге [6]. Результаты вычислений, сделанные по указанным в ней формулам [6, С. 24] сведены в табл. 1. Так, для наблюдаемой из некоторой точки области горизонта с радиусом R равным 500 м (площадь составляет около 80 га) — глубина погружения точек земной поверхности по «краю видимости» z_0 не превышает 2 см.

Размеры в плане и площадь известных крупных памятников архитектуры, а также горнодобывающих предприятий и гидротехнических сооружений, взятые из публикаций [7], [8], [9], [10], [11], приведены в табл. 2. Они, в сравнении с полученными из расчетов данными (табл. 1), вполне оправдывают возможность представления поверхности Земли плоскостью в широком спектре задач строительства и горного дела вообще.

Таблица 1 - Глубина погружения точек земной поверхности за горизонт

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.1>

R , км	0,25	0,5	1	2	4	8
z_0 , км	0,005	0,020	0,078	0,314	1,254	5,017

Таблица 2 - Геометрические размеры в плане и площадь некоторых крупных архитектурных и промышленных объектов

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.2>

Наименование	Ширина, м	Длина, м	Площадь, га
Термы императора Каракаллы в Риме	300,0	280,0	8,40
Дворец труда в Турине	158,0	158,0	2,50
Пирамида Хеопса	233,0	233,0	5,43
Флорентийский собор Санта Мария дель Фиор (без учета трансепта)	50,0	192,0	0,96
Собор Святого Петра в Риме (главный неф)	27,5	187,0	0,54
Карьер «Восточный» в Европейской части России	290,0	780,0	22,62
Карьер №4 Мелехо-Федотовского месторождения	420,0	650,0	27,30
Карьер «Центральный» в Европейской части России	500,0	940,0	47,00
Карьер Лебединского горно-обогатительного комбината	2800,0	3900,0	1092,00
Плотина на реке Карун в Иране	—	440,0	—
Плотина Саяно-Шушинской гидроэлектростанции	105,7	1066,4	11,27
Плотина Эль Кахон в Мексике	—	282,0	—

Примечание: по данным из [7], [8], [9], [10], [11]

Исследуемая модель и фактическая поверхность Земли

И. П. Герасимов в книгах [12], [13], представляет рельеф, как результат перерождения изначально гладкой планетарной поверхности [12, С. 11] под действием: эндогенных, сформировавших неровности рельефа в самом большом, континентальном масштабе — геотектуру; и экзогенных процессов в земной коре, определивших в «противоречивом взаимодействии» [13, С. 19] с эндогенными, появление неоднородностей второго порядка — морфоструктур, а также еще более малых — морфоскульптур. Автор предлагает четкое разделение истории геотектоники: геотектура и морфоструктура сформировались на независимом от космических факторов «геоморфологическом этапе» [13, С. 195]; а морфоскульптура — в неотектоническую эпоху, время экзогенных явлений (подобная генетическая дифференциация также приведена в [15, С. 20]).

Процесс формирования рельефа в современный, четвертичный период позднего кайнозоя (около 3,5...4 млн. лет), рассматривает Н. И. Николаев в работе [14]. В результате обобщения исследований по региональной геотектонике автор формулирует точку зрения, что рельеф сформирован и развивается эволюционно и комплексно — «во взаимосвязанности и взаимообусловленности... геологических, геоморфологических, геофизических, планетарных... и геохимических природных процессов» [14, С. 39].

Независимая от исторической картины морфогенеза, то есть орографическая классификация размерностей рельефа приведена в работе [15]. Ее автор, Ю. А. Мещеряков публикует оценку масштабов площадей объектов рельефа выделяя геотектурную, морфоструктурную и морфоскульптурную составляющие. Исследователь строит морфотипологии: по особенностям строения — тектонического и экзогенного. На их основании осуществляет структурно-геоморфологическое районирование территорий вплоть до локальных неровностей.

В целом, обобщение рассмотренных изданий, приводит к выводу, что исследования рельефа, осуществляются учеными для выявления соответствия между наличием полезных ископаемых в недрах и особенностями внешнего облика поверхности Земли на конкретной территории. В связи с чем — очень подробны и получить из них усредненное представление о рельефе сложно. Даже книга с названием «Рельеф СССР» [16] содержит данные в малых масштабах. В результате, интегральными характеристиками, найденными в источниках по геоморфологии, являются общеизвестные гипсографическая кривая и обобщенный геологический профиль.

Тем не менее, уточненная совокупная оценка рельефа все же существует. Она проведена В. И. Абаулиным и Е. Н. Семашкиным в 1976 году на основе монографии [17] следующим образом: «С геоморфологических карт на кальку снимались контуры материка и всех его морфоструктурных зон. Калька наклеивалась на высококачественный ватман, а затем все морфоструктурные зоны вырезались и подготавливались для взвешивания на аналитических весах... С помощью взвешивания... получены веса для всех морфоструктурных зон континентов» [6, С. 23–24]. Доступная из [7] часть результатов, характеризующих континенты, приведена в табл. 3. Также, в табл. 4, указаны общие данные по распределению интервалов высот для: равнинных областей платформ (P_i); гор (G_i); плоскогорий ($П_i$); и горных равнин ($ГР_i$), на всей территории суши.

Наряду с составлением гипсографической классификации, исследователи провели моделирование рельефа случайным однородным изотропным полем, характеризуемым корреляционной функцией [7], [18]:

$$R(L) = \sigma_h^2 \left(1 + \frac{\alpha L}{m}\right)^{-m}; \quad m \in [0, \infty), \quad (1)$$

где L — разность высот соседних вершин, σ_h — стандартное отклонение высот, α и m — параметры, связанные со средним числом экстремумов на единице расстояния или интенсивностью расчленения рельефа.

Параметры, входящие в формулу (1), измерены В. И. Абаулиным для 44-х территорий, поверхностей различных типов из табл. 4, по картам масштаба 1:250000. Например, для дельты реки Волги, входящей в группу P_1 , они составляют: $\sigma_h = 1,38$ м; $m = 1$; $\alpha = 1,00$ км² [6, С. 39–41]. Выводы, полученные учеными после анализа всех групп высотных интервалов следующие: «...бывают исключительно ровные рельефы различных видов. У одних... максимумы отстоят на километр, но σ_h очень мала (1,38 м), у других... параметр $\sigma_h = 18$ и 86 м соответственно, более ощутим, но максимумы разнесены на 10–11 км... Большая часть таких рельефов сосредоточена в группе P_1 ..., самой большой по площади, составляющей 17,2% территории всей суши... В пересчете на площадь занимает 21,76 млн. км², а это... — в 1,3 раза больше территории России и в 2,2 раза больше территории всей Европы от Атлантики до Урала» [7, С. 37].

Таблица 3 - Рельеф и площади континентов (без островов и внутренних водоемов)

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.3>

Континент	Доля равнин и горных областей		Площадь без островов и внутренних водоемов, тыс. км ²
	Равнинные области платформ	Горные сооружения складчатых поясов	
Европа	0,725	0,275	9954,0
Азия	0,399	0,601	41197,0
Африка	0,818	0,182	29370,0
Северная Америка	0,581	0,419	20291,0

Континент	Доля равнин и горных областей		Площадь без островов и внутренних водоемов, тыс. км ²
	Равнинные области платформ	Горные сооружения складчатых поясов	
Южная Америка	0,739	0,261	17729,0
Австралия	0,824	0,176	7842,0
Суммарная площадь континентов			126383,2

Таблица 4 - Распределение высот рельефа
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.4>

Группа	Середина интервала высот, м	Интервал высот, м	Доля на территории суши, м
P_1	100	0–200	0,1722
P_2	250	0–500	0,0300
P_3	350	200–500	0,1075
P_4	500	0–1000	0,0238
P_5	600	200–1000	0,1276
P_6	750	500–1000	0,0627
P_7	1000	500–1500	0,0053
P_8	1250	1000–1500	0,0235
P_9	1500	1000–2000	0,0376
P_{10}	2000	1000–3000	0,0150
Суммарная доля равнинных областей платформ			0,6052
Γ_1	600	200–1000	0,0117
Γ_2	1500	1000–2000	0,1042
Γ_3	2750	2000–3500	0,0955
Γ_4	–	более 3500	0,0444
Π_1	600	200–1000	0,0023
Π_2	1500	1000–2000	0,0166
$ГР_1$	100	0–200	0,0483
$ГР_2$	600	200–1000	0,0220
$ГР_3$	1500	1000–2000	0,0217
$ГР_4$	2750	2000–3500	0,0099
$ГР_5$	–	более 3500	0,0061
Суммарная доля горных районов			0,3827

Примечание: составлено по [7, С. 34–36]

Подобная работа проведена М. Мейбек, П. Грин и Ч. Вересмартти на основе “GTOPO30”, — высотной цифровой модели рельефа (ЦМР) с точностью 1 км, — Геологической службы США (USGS) [19]. С помощью алгоритма ArcINFO американского Института исследований экологических систем (ESRI) [20], который определял топографический уклон и его направление с разрешением 0,5°, а также корректировки по данным высот карт и атласов, ЦМР была преобразована авторами в трехмерную. На основе полученной таким образом, пригодной для гипсометрического анализа модели земной поверхности, ученые построили типологию из 15 классов рельефа с точностью 10 на 10 м. Морфометрическая часть результатов ее анализа приведена в таблицах 5–7.

Одной четвертой частью поверхности Земли, наибольшей — является субгоризонтальная территория, с уклоном не превышающим 0,5% (табл. 5). Ее площадь, равная 33,24 млн. км², расположена в основном на равнинах с высотами — от уровня моря до 500 м (табл. 6). Их поверхность рассечена незначительно, поскольку содержит малое количество проявлений эндогенных процессов или, согласно И. П. Герасимову, фактов морфогенеза планетарного масштаба или геотектур (табл. 7) [12], [13]. Яркими примерами указанных классов рельефа являются Восточно-европейская, Западно-Сибирская, Великая Китайская, Маньчжурская, Индо-Гангская равнины, побережье Мексиканского залива и Прикаспийская низменность (табл. 5).

Результаты отечественных и зарубежных исследований совпадают, но за тем исключением, что значения площадей равнин, полученные американскими учеными (табл. 7) [19] в полтора раза выше указанных А. Г. Шипуновым, Е. Н.

Семашкиным, В. И. Абаулиным [7], [18] (табл. 4). Различие в данных, видимо, обусловлено тем, что западные авторы учитывают площади возвышенностей и плоскогорий, — уровни свыше 250 м (табл. 6), — а также, составляя типологию рельефа, принимают во внимание большие амплитуды отклонения высот от плоскости горизонта.

Таблица 5 - Распределение неровностей рельефа (без учета ледников)

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.5>

Уклон, ‰	Площадь, млн. км ²	%	Примеры
< 5 (Субгоризонтальный)	33,2	25,0	Восточно-Европейская равнина, Прикаспийская низменность, Западно-Сибирская равнина, Великая Китайская равнина, Маньчжурская равнина, Индо-Гангская равнина, Месопотамия, Сенегальская равнина, Прибрежная равнина Мексиканского залива, равнины Северной Америки, Центральный бассейн Амазонки, Пустыня Гибсон.
5–10 (Очень пологий)	25,9	19,5	Британия, Южная Швеция, Пустыня Гоби, плато Восточно-Африканских озер, Южно-Африканская степь; Лабрадор, Великие равнины, плато Баркли, плато Кимберли.
10–20 (Пологий)	23,7	17,8	
20–40 (Малорассеченный)	22,4	16,8	Центральная Испания, центральная Швеция, Карпаты, Урал, Центральное (слабо расчлененное) Сибирское плоскогорье, Анадырское плато, Внешняя Монголия, Тибет, Бирма, Иран Плато, Армянское нагорье, Зимбабве, Эфиопское нагорье, плато Колумбия, плато Колорадо, Мексиканское плато, Восточная Сьерра-Мадре, восточная Патагония, плато Альтиплано (Боливия), Австралийские Альпы, Австралийские Кордильеры, Новая Зеландия.
40–80 (Среднерассеченный)	19,5	14,7	
80–160 (Рассеченный)	7,7	5,8	Пиренеи,

Уклон, ‰	Площадь, млн. км ²	%	Примеры
			Европейские Альпы, прибрежная Норвегия, Верхоянский (сильно расчлененный) хребет, Хребет Черский, Камчатка, Становое плато, Становой хребет, Западный Саян, Тянь-Шань, Памир, Гиндукуш, Сулеймановы горы, Эльбрус, Большой Кавказ, Малый Кавказ, Тавр, Асир, Эфиопское нагорье, Высокий Атлас, Хребет Брукса, Аляскинский хребет, горы Маккензи, прибрежный хребет (от Британской Колумбии до Орегона), Сьерра-Невада (Калифорния).
>160 (Сильнорасчлененный)	0,6	0,4	Европейские Альпы; большая часть Гималаев, части Памира и Каракорума, крайние части Аляскинского хребта, части Анд.
Всего:	133,0	100	

Примечание: составлено по [19, С. 35]

Таблица 6 - Распределение неровностей рельефа по высотам (без учета ледников)

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.6>

Уклон, ‰	Высота, м								Сумма, млн. км ²
	0–200	200–500	500–1000	1000–2000	2000–3000	3000–4000	4000–5000	5000–6000	
> 160	–	0,04	0,05	0,15 (13)	0,11 (14)	0,13 (14)	0,08 (15)	0,01 (15)	0,57
80–160	0,04	0,45 (11)	1,57 (12)	2,95 (13)	1,35 (14)	0,68 (14)	0,53 (15)	0,08 (15)	7,65
40–80	0,70 (5)	3,92 (11)	5,90 (12)	6,13 (13)	1,28 (14)	0,42 (14)	0,81 (15)	0,30 (15)	19,46
20–40	3,43 (5)	7,11 (11)	6,47 (12)	4,30 (13)	0,43 (9)	0,09 (9)	0,41 (10)	0,19 (10)	22,43
10–20	5,66 (4)	8,76 (6)	6,31 (7)	2,87 (8)	0,08 (9)	0,02 (9)	0,05 (10)	0,03 (10)	23,78
5–10	9,34 (4)	10,21 (6)	4,71 (7)	1,57 (8)	0,01	0,01	–	–	25,85
< 5	18,74 (1)	11,12 (2)	2,26 (3)	1,11 (3)	0,01	–	–	–	33,24
Сумма, млн.	37,91	41,61	27,27	19,08	3,27	1,35	1,88	0,61	133,01

Уклон, ‰	Высота, м								Сумма, млн. км ²
	0–200	200–500	500–1000	1000–2000	2000–3000	3000–4000	4000–5000	5000–6000	
км ²									

Примечание: в скобках указан класс рельефа (см. табл. 7), составлено по [29, С. 38]

Таблица 7 - Классы рельефов и соответствующие площади

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.7>

Класс рельефа	Площадь, млн. км ²
(1) Равнины	18,74
(2) Среднегорные равнины	11,12
(3) Высокогорные равнины	3,37
(4) Низменности	15,01
(5) Пересеченные низменности	4,18
(6) Плато	18,97
(7) Низменные плато	11,01
(8) Плато средней возвышенности	4,44
(9) Возвышенные плато	0,64
(10) Очень высокие плато	0,68
(11) Холмы	11,52
(12) Невысокие горы	13,99
(13) Горы средних высот	13,53
(14) Высокие горы	3,98
(15) Очень высокие горы	1,82

Примечание: составлено по [29, С. 40]

Таким образом: модель полупространства приемлема к территориям, составляющим как минимум от 17,2% до 25% поверхности суши. Разброс высот данных поверхностных образований составляет: по максимальной оценке исследователей, не более — 0,5% или 5 м на 1 км [19]; по минимальной, порядка — 0,15% или 1,5 м на 1 км горизонта наблюдателя [6]. Морфологические типы таких площадей представлены в основном: макро, — равнинами, долинами, дельтами и поймами рек; и мезоформами, — лощинами, оврагами, холмами и барханами, а также либо содержат большое число водоемов, либо являются пустынями. Более того, согласно работам [12], [14], [16], [17]: эти территории сложены осадочными горными породами, в целом представляемые учеными понятием грунт.

Оценим, хронологические рамки в течение которых представляемая как плоскость поверхность Земли остается неизменной. Согласно указанным выше работам И. П. Герасимова [12], [13], морфогенез, порождающий геодинамические явления, выражен эндогенными и экзогенными процессами. Также в упомянутой книге [15], показано, что результаты обоих явлений есть не что иное, как — периодические поднятия и опускания земной коры, выражающиеся в волновых деформациях ее поверхности, причем такие «вековые движения проявляются повсеместно» [15, С. 183]. Автор отмечает знакопеременный или колебательный характер перемещения точек рельефа, доказывает необходимость осреднения результатов осциллирующих движений за отрезок геологического времени и приходит к выводу: «скорость современных движений (определяемая периодом меньше 10^2 лет), измеряемая миллиметрами в год на порядок выше, — скорости новейших движений (определяемая периодом меньше 10^6 лет), измеряемой десятками долями миллиметров в год, — и на два порядка больше скорости древних тектонических движений (период более 10^6 лет), измеряемой сотыми долями миллиметров в год» [15, С. 185].

То есть, перемещением поверхности рельефа Земли, обусловленным эндогенными процессами, — в силу его малости (около 0,01 мм в год) и несоизмеримо большой, в сравнении со временем существования строительства вообще, длительностью периода колебаний (порядка 10^6 лет), в рамках модели полупространства можно пренебречь.

Заключение

Изложенное приводит к следующему заключению. Использование модели полупространства приемлемо не менее, чем на 17,2% территории суши — эти, равнинные области представляют собой геотектуры и морфоструктуры, как

минимум второго порядка. Согласно [15, С. 22], имеют площади свыше $10^3 \dots 10^2 \text{ км}^2$, а это в сто раз больше оцененного максимального масштаба проектируемых строительных объектов — $0,8 \text{ км}^2$.

Некоторые геометрические размеры сооружений, которые были возведены по технологии гидроструйной цементации приведены в табл. 8. Их сопоставление с данными табл. 1 и 2 позволяет говорить о том, что расчеты существующих строительных объектов выполнены или могли быть выполнены на основании указанной модели. Также сравнение указывает на тот факт, что в рамках модели плоского полупространства можно проектировать объекты много более масштабные, нежели уже функционирующие.

Таблица 8 - Геометрические размеры в плане и площадь некоторых строительных объектов, выполненных по технологии гидроструйной цементации

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.7.3.8>

Наименование	Длина, м	Площадь, га
Дамба «Три ущелья» (Китай)	68,0	5,43
Противофильтрационная завеса в г. Ровиго (Италия)	1300,0	0,96
Противофильтрационный экран к каналу Альц (Германия)	—	0,07
Дамба «Джон Харт» (Канада)	60,0	—
Противофильтрационная завеса электростанции Ла Гранде (Канада)	30,0	—
Противофильтрационная завеса в основании амбы Тика (Кения)	500,0	—
Усиление фундамента в здании исследовательского центра в г. Йеле (США)	150,0	—
Резервуар в г. Варезе (Италия)	26,0	0,07
Колодцы для миланского метрополитена (Италия)	12,5	11,27
Опоры моста Джоджигхопа (Индия)	17,0	—
Тоннель Валсесия (Италия)	618,0	—
Тоннель Тиаска (Италия)	148,0	—
Тоннели в г. Дортмунд (Германия)	150,0	—
Тоннель в г. Сан-Франциско (США)	235,0	—
Откос на реке Гела (Италия)	1500,0	—

Примечание: составлено по [4, С. 73–112]

Заметим, в монографии [6], на основе экспериментальных исследований показано, что пригодными для строительства по технологии гидроструйной цементации являются именно грунты (гравий, дресва, щебень, песок и глина). А следовательно, как показано выше, ей прекрасно соответствует и равнинный рельеф.

В результате: *модель полупространства, сложенного грунтом — пригодна для исследования, приложения и развития технологии гидроструйной цементации.*

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Шапошников Н.Н. Строительная механика / Н.Н. Шапошников, Р.Х. Кристалинский, А.В. Дарков. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 692 с.
2. Добров Э.М. Механика грунтов / Э.М. Добров. — Москва: Академия, 2008. — 272 с.
3. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др. — Москва: Высшая школа, 2002. — 556 с.
4. Бройд И.И. Струйная геотехнология / И.И. Бройд. — Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. — 448 с.
5. Бреннер В.А. Разработка оборудования для закрепления массивов неустойчивых горных пород методом гидроструйной цементации / В.А. Бреннер, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев. — Тула: ТулГУ, 2007. — 206 с.
6. Шипунов А.Г. Дальность действия, всесуточность и всепогодность телевизионных и тепловизионных приборов наблюдения / А.Г. Шипунов, Е.Н. Семашкин. — Москва: Машиностроение, 2011. — 218 с.
7. Поклад Г.Г. Геодезия / Г.Г. Поклад. — Москва: Академический Проект, 2020. — 538 с.
8. Благиных Е.А. История архитектуры: конспект лекций / Е.А. Благиных, Ж.М. Чередниченко. — Новокузнецк: СибГИУ, 2018. — 231 с.
9. Зеньков И.В. Щебеночные карьеры России из космоса. Горные работы и экология нарушенных земель / И.В. Зеньков, А.А. Лукьянова, Ю.А. Анищенко. — Красноярск: СФУ, 2020. — 328 с.
10. Зеньков И.В. Железородные карьеры России из космоса. Горные работы и экология нарушенных земель / И.В. Зеньков, В.В. Заяц, Б.Н. Неведов. — Красноярск: СФУ, 2020. — 328 с.
11. Хорошилов В.С. Математическое моделирование деформационных процессов на объектах гидротехнических сооружений / В.С. Хорошилов. — Новосибирск: СГУГиТ, 2023. — 183 с.
12. Герасимов И.П. Новые пути в геоморфологии и палеогеографии / И.П. Герасимов. — Москва: Наука, 1986. — 210 с.
13. Герасимов И.П. Новые пути в геоморфологии и палеогеографии / И.П. Герасимов. — Москва: Наука, 1976. — 400 с.
14. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы / Н.И. Николаев. — Москва: Недра, 1988. — 491 с.
15. Мещеряков Ю.А. Структурная геоморфология равнинных стран / Ю.А. Мещеряков. — Москва: Наука, 1995. — 390 с.
16. Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР / Ю.А. Мещеряков. — Москва: Мысль, 1972. — 520 с.
17. Мещеряков Ю.А. Рельеф Земли (морфоструктура и морфоскульптура). Институт географии АН СССР / Ю.А. Мещеряков, И.П. Герасимов. — Москва: Наука, 1967. — 330 с.
18. Абаулин В.И. Внешнее проектирование танкового и противотанкового вооружения / В.И. Абаулин. — Москва: Дом техники, 1967. — 512 с.
19. Meybeck M. An application to global continental water resources and population distribution. / M. Meybeck, P. Green, Ch. Vörösmarty // Mountain research and development. — 2001. — 1. — P. 34–45.
20. Kennelly P.J. Modifications of Tanaka's Illuminated Contour Method. / P.J. Kennelly, A.J. Kimerling // Cartography and Geographic Information Sciences. — 2001. — 2. — P. 111–113.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shaposhnikov N.N. Stroitel'naya mexanika [Structural mechanics] / N.N. Shaposhnikov, R.X. Kristalinskij, A.V. Darkov. — Saint Petersburg: Lan', 2022. — 692 p. [in Russian]
2. Dobrov E.M. Mexanika gruntov [Soil mechanics] / E.M. Dobrov. — Moscow: Akademiya, 2008. — 272 p. [in Russian]
3. Uxov S.B. Mexanika gruntov, osnovaniya i fundamenti' [Soil mechanics, foundations] / S.B. Uxov, V.V. Semenov, V.V. Znamenskij et al. — Moscow: Vysshaya shkola, 2002. — 556 p. [in Russian]
4. Brojd I.I. Strujnaya geotekhnologiya [Jet Geotechnology] / I.I. Brojd. — Moscow: Izdatel'stvo Associacii stroitel'ny'x vuzov, 2004. — 448 p. [in Russian]
5. Brenner V.A. Razrabotka oborudovaniya dlya zakrepleniya massivov neustojchivy'x gorny'x porod metodom gidrostrujnoj cementacii [Development of equipment for fixing unstable rock masses using hydrojet cementation] / V.A. Brenner, K.A. Golovin, A.E. Pushkarev. — Tula: TulGU, 2007. — 206 p. [in Russian]
6. Shipunov A.G. Dal'nost' dejstviya, vsesutochnost' i vsepogodnost' televizionny'x i teplovizionny'x priborov nablyudeniya [Range, 24-hour and all-weather capability of television and thermal imaging surveillance devices] / A.G. Shipunov, E.N. Semashkin. — Moscow: Mashinostroenie, 2011. — 218 p. [in Russian]
7. Poklad G.G. Geodeziya [Geodesy] / G.G. Poklad. — Moscow: Akademicheskij Proekt, 2020. — 538 p. [in Russian]
8. Blaginy'x E.A. Istoriya arxitektury': konspekt lekcij [History of Architecture: Lecture Notes] / E.A. Blaginy'x, Zh.M. Cherednichenko. — Novokuzneczk: SibGIU, 2018. — 231 p. [in Russian]
9. Zen'kov I.V. Shhebenochny'e kar'ery' Rossii iz kosmosa. Gorny'e raboty' i e'kologiya narushenny'x zemel' [Russia's Crushed Rock Quarries from Space. Mining and the Ecology of Disturbed Lands] / I.V. Zen'kov, A.A. Luk'yanova, Yu.A. Anishhenko. — Krasnoyarsk: SFU, 2020. — 328 p. [in Russian]
10. Zen'kov I.V. Zhelezorudny'e kar'ery' Rossii iz kosmosa. Gorny'e raboty' i e'kologiya narushenny'x zemel' [Iron ore quarries of Russia from space. Mining operations and ecology of disturbed lands] / I.V. Zen'kov, V.V. Zayacz, B.N. Nefedov. — Krasnoyarsk: SFU, 2020. — 328 p. [in Russian]

11. Xoroshilov V.S. Matematicheskoe modelirovanie deformacionny'x processov na ob'ektax gidrotexnicheskix sooruzhenij [Mathematical modeling of deformation processes at hydraulic structures] / V.S. Xoroshilov. — Novosibirsk: SGUGiT, 2023. — 183 p. [in Russian]
12. Gerasimov I.P. Novy'e puti v geomorfologii i paleogeografii [New Paths in Geomorphology and Paleogeography] / I.P. Gerasimov. — Moscow: Nauka, 1986. — 210 p. [in Russian]
13. Gerasimov I.P. Novy'e puti v geomorfologii i paleogeografii [New Paths in Geomorphology and Paleogeography] / I.P. Gerasimov. — Moscow: Nauka, 1976. — 400 p. [in Russian]
14. Nikolaev N.I. Novejshaya tektonika i geodinamika litosfery' [Recent tectonics and geodynamics of the lithosphere] / N.I. Nikolaev. — Moscow: Nedra, 1988. — 491 p. [in Russian]
15. Meshheryakov Yu.A. Strukturnaya geomorfologiya ravninny'x stran [Structural geomorphology of lowland countries] / Yu.A. Meshheryakov. — Moscow: Nauka, 1995. — 390 p. [in Russian]
16. Meshheryakov Yu.A. Rel'ef SSSR [Relief of the USSR] / Yu.A. Meshheryakov. — Moscow: My'sl', 1972. — 520 p. [in Russian]
17. Meshheryakov Yu.A. Rel'ef Zemli (morfostruktura i morfoskul'ptura). Institut geografii AN SSSR [Relief of the Earth (morphostructure and morphosculpture). Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences] / Yu.A. Meshheryakov, I.P. Gerasimov. — Moscow: Nauka, 1967. — 330 p. [in Russian]
18. Abaulin V.I. Vneshnee proektirovanie tankovogo i protivotankovogo vooruzheniya [External design of tank and anti-tank weapons] / V.I. Abaulin. — Moscow: Dom tekhniki, 1967. — 512 p. [in Russian]
19. Meybeck M. An application to global continental water resources and population distribution. / M. Meybeck, P. Green, Ch. Vörösmarty // Mountain research and development. — 2001. — 1. — P. 34–45.
20. Kennelly P.J. Modifications of Tanaka's Illuminated Contour Method. / P.J. Kennelly, A.J. Kimerling // Cartography and Geographic Information Sciences. — 2001. — 2. — P. 111–113.