

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.С. Стародубцев

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОДИНАМИКА

Учебное пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2008

УДК 51
С 77

Печатается по решению учебно-методического совета геологического факультета Воронежского государственного университета от 25 октября 2007 г.

Стародубцев В.С.

С77 Экологическая геодинамика : учеб. пособие для вузов / В.С. Стародубцев. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 44 с.

В пособии подробно рассматриваются особенности изучения миграции подземных вод, а также проблемы устойчивости оползневого склона. Материал излагается с большим количеством примеров по принципу: «Читай, смотри и делай» с наличием самостоятельных задач для контроля пройденных разделов.

Учебное пособие по курсу «Экологическая геодинамика» предназначено для студентов очной формы обучения по специальности «Экологическая геология».

УДК 51

© Стародубцев В.С., 2008
© Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Интерполяция функций эколого-геологических процессов.....	5
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	6
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Прогноз конвективного массопереноса загрязняющих компонентов подземных вод.....	12
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Расчет устойчивости оползневого склона.....	18
3.1. Формы нарушения устойчивости склонов.....	24
3.2. Устойчивость свободных откосов и склонов.....	25
3.3. Устойчивость свободных откосов и склонов, сложенных связанными грунтами.....	26
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	29
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие к лабораторным работам по курсу «Экологическая геодинамика» предназначено для студентов V курса обучающихся на геологическом факультете по специальности 020306 – Экологическая геология.

Курс посвящен изучению геологических и инженерно-геологических процессов и явлений в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека и решением различных эколого-геологических проблем. Главные задачи курса заключаются в развитии у студентов профессиональных инженерно-геологических навыков и знаний о геологических и инженерно-геологических процессах и явлениях, их анализе, методах прогнозирования, способах инженерной защиты, необходимых им для изучения и оценки экологических функций литосферы.

Лабораторные работы проводятся в девятом семестре по трем темам:

- | | |
|---|---------|
| 1. Интерполяция функций эколого-геологических процессов | 4 часа |
| 2. Прогноз конвективного массопереноса загрязняющих компонентов подземных вод | 4 часа |
| 3. Расчет устойчивости оползневого склона | 6 часов |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Интерполяция функций эколого-геологических процессов

Лабораторная работа предназначена для уяснения лекционных тем: «Заиление водохранилищ», «Природные и техногенные факторы заиления», «Заболачивание», «Условия их возникновения, влияние состава грунтов и режима грунтовых вод», «Особенности изысканий в районах распространения болот», «Подтопление», «Природные и техногенные факторы подтопления», «Изучение и оценка опасности подтопления».

Особенности интерполяции функций эколого-геологических процессов рассмотрим на примере функции напора подземных вод, как наиболее интересной с точки зрения влияния на формирование и развитие большинства эколого-геодинамических процессов и явлений.

Рассмотрение области фильтрации подземных вод как объекта исследований при изучении эколого-гидродинамических закономерностей геофильтрации всегда бывает затруднено малым количеством фактических данных. Это, прежде всего, относится к гидродинамическим параметрам пласта. Важнейшим среди них является напор подземных вод, который входит как искомая функция во все дифференциальные уравнения геофильтрации. Преодоление этих затруднений связано с применением методов интерполяции функций.

Интерполяция (от латинского *interpolatio* – обновление, переделывание, изменение) – приближенное или точное нахождение какой-либо величины по известным отдельным значениям этой же или других величин, связанных с ней. В первоначальном понимании – восстановление функций (точное или приближенной) по известным её значениям в заданных точках. В гидрогеологии применяется для построения различных карт и подготовки начальных условий при решении дифференциальных уравнений геофильтрации численными методами. Наиболее популярны *кусочно-линейная интерполяция, кусочно-квадратичная интерполяция, интерполяция квадратичными сплайнами*. В лабораторной работе используется кусочно-линейная интерполяция.

Пусть надо вычислить $f(x)$ для $x \in [x_i, x_{i+1}]$, $h = x_{i+1} - x_i$. Тогда суть кусочно-линейной интерполяции состоит в том, что используется линейное приближение

$$f(x) \approx f_i + \frac{f_{i+1} - f_i}{h}(x - x_i). \quad (1)$$

Для случая равномерной сетки на отрезке $[i, j]$ выражение (1) преобразуется к виду

$$f_{i+1} \approx f_i + \frac{f_i - f_j}{i - j}, \quad (2)$$

где i и j – номер узла сетки.

Таким образом, непрерывная функция напора заменяется в области фильтрации дискретной (сеточной) функцией, значения которой известны лишь в некоторых узлах сетки и с помощью методов интерполяции находят ее значения во всех узлах сетки.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано

Область фильтрации, которая представлена участком речной долины протяженностью 1200 м на 1600 м, разбита сеткой с равномерным шагом по X и по Y и равным 200 м, где значения функции напора известны лишь в отдельных узлах сетки (рис. 1).

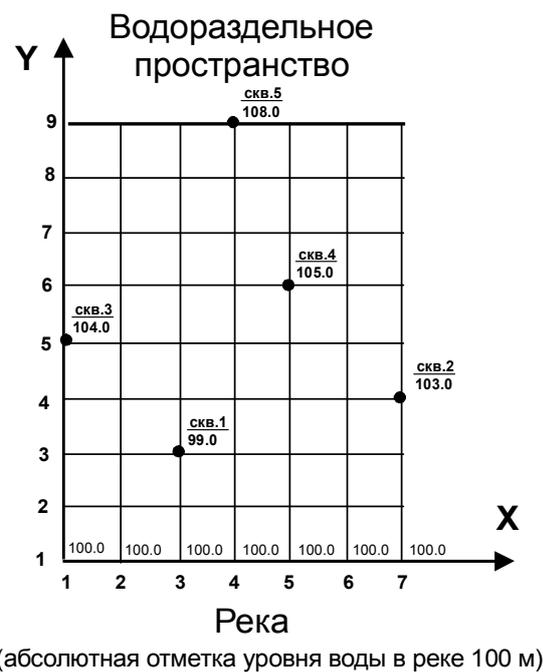


Рис. 1. Задание к лабораторной работе № 1

Требуется

- найти значения функции во всех узлах сетки, построить линии равных напоров с шагом 0,5 метра и линии тока;
- используя линии гидроизогипс и закон Дарси $Q = K_{\phi} F \frac{H_1 - H_2}{L} = K_{\phi} F I$, где F – площадь поперечного водоносного пласта, m^2 ; H_1 и H_2 – значения напора в рассматриваемых сечениях, м; L – длина пути фильтрации, м, K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут., $I = \frac{H_1 - H_2}{L}$ – значение напорного градиента; Q – расход потока, $m^3/сут.$,
- рассчитать водоприток в речную долину, учитывая, что $K_{\phi} = 40$ м/сут., а $h = 50$ м.

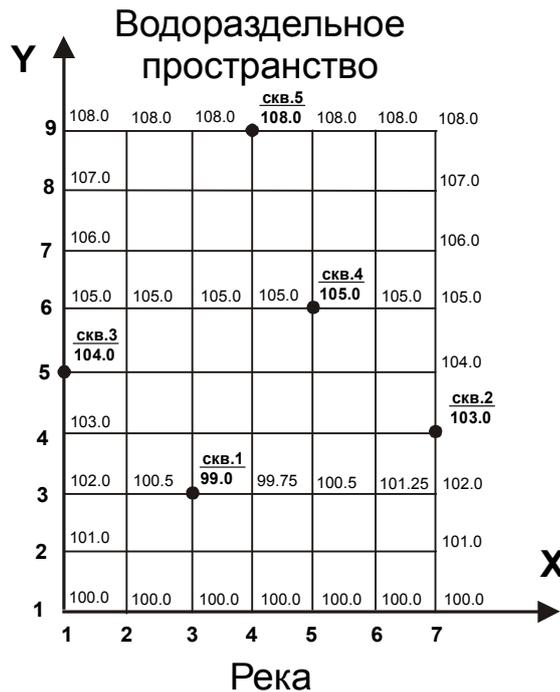
Выполнение

Для удобства примем следующую индексацию узлов:

по $X - i = 1, \dots, 7$;
 по $Y - j = 1, \dots, 9$.

Тогда получим обозначение значения напора в узле $H_{i,j}$. Например, значение напора в скважине № 4 можно записать как $H_{5,6} = 105,0$ м.

Принимаем, что на водораздельном пространстве напор во всех узлах одинаков ($H_{1,9} = H_{2,9} = \dots = H_{4,9} = \dots = H_{7,9}$). Находим значения напора в оставшихся граничных узлах (левая и правая границы). Для этого интерполируем значение напора между узлами $H_{1,1}$ и $H_{1,5}$, $H_{1,5}$ и $H_{1,9}$, а также между $H_{7,1}$ и $H_{7,4}$, $H_{7,4}$ и $H_{7,9}$ согласно выражению (2). Например:



(абсолютная отметка уровня воды в реке 100 м)

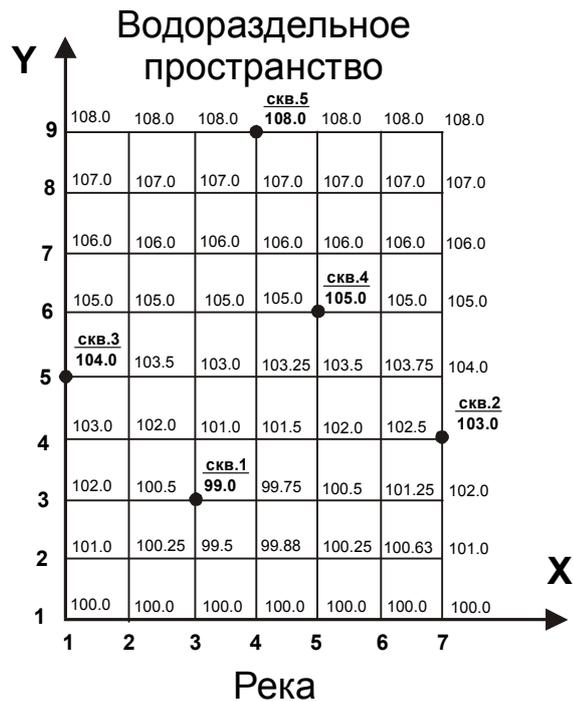
Рис. 2. Интерполяция области фильтрации

$$H_{1,2} = H_{1,1} + \frac{H_{1,5} - H_{1,1}}{5-1} = H_{1,1} + \frac{104,0 - 100,0}{4} = H_{1,1} + 1 = 100 + 1 = 101,0 \text{ м,}$$

Используя известные внутренние точки $H_{3,3}$ и $H_{3,7}$ находим значения напора в узлах $H_{1,3} - H_{3,3}$ и $H_{3,3} - H_{7,3}$ и аналогично $H_{1,6} - H_{5,6}$ и $H_{5,6} - H_{7,6}$ (рис. 2).

Интерполяция заканчивается нахождением значений напора в промежуточных строках ($H_{i,2}$, $H_{i,4}$, $H_{i,5}$, $H_{i,7}$, $H_{i,8}$). Для этого последовательно интерполируем между строками $H_{i,3} - H_{i,1}$, $H_{i,6} - H_{i,3}$, $H_{i,9} - H_{i,6}$ (рис. 3).

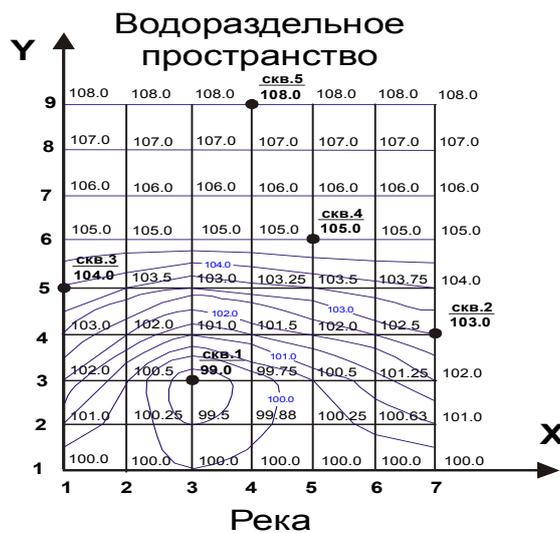
В гидрогеологии линии напряженности называют линиями тока, а эквипотенциальные поверхности H – поверхностями равных напоров (для напорных потоков – гидроизопьезы, для безнапорных – гидрозогипсы).



(абсолютная отметка уровня воды в реке 100 м)

Рис. 3. Интерполяция области фильтрации

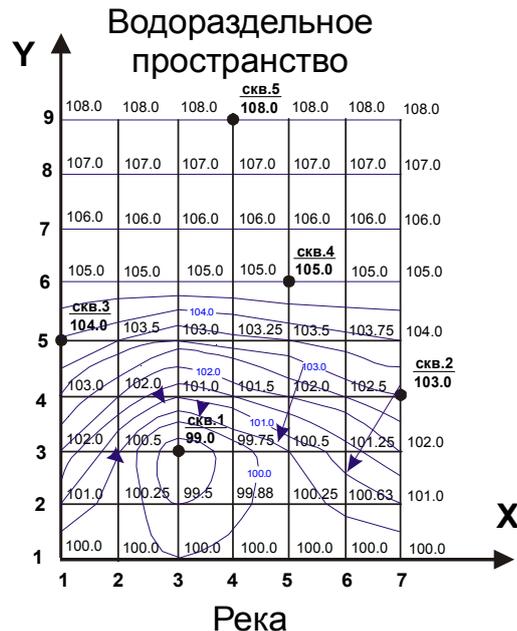
Построение линий равных напоров (гидроизогипс) аналогично процессу интерполяции узлов сетки области фильтрации. Отличие состоит лишь в том что интерполяция идет теперь по отдельным узлам. Так, между узлами $H_{2,3}$ – $H_{3,3}$ следует найти точки прохождения гидроизогипс 99,5 м и 100,0 м. Заметим, что интерполяция должна проводиться как по горизонтальной, так и по вертикальной осям. Гидроизогипсы 105,0–108,0 совпадут с линиями сетки, так как радиус влияния ЭС № 1 составляет ≈ 400 м (рис. 4).



(абсолютная отметка уровня воды в реке 100 м)

Рис. 4. Линии равных напоров (гидроизогипсы)

Линии тока целесообразно строить в местах изгиба линий равных напоров (рис. 5).



(абсолютная отметка уровня воды в реке 100 м)

Рис. 5. Линии равных напоров (гидроизогипсы) и линии тока потока подземных вод

Для определения водопритока выбираем параллельные линии гидроизогипс (чтобы снизить погрешность при определении площади поперечного сечения потока подземных вод) и с учетом шага сетки вычисляем водоприток в речную долину со стороны водораздела. Например:

$$Q = K_{\phi} F \frac{H_1 - H_2}{L} = K_{\phi} F \frac{H_{4,7} - H_{4,6}}{L} =$$

$$= 40 \text{ м/сут} (50 \text{ м} \times 200 \text{ м} \times 6) \frac{106.0 - 105.0}{200.0} = 12000 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Литература

1. Мироненко В.А. Динамика подземных вод [Текст] / В.А. Мироненко. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 519 с.
2. Мироненко В.А. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ [Текст] / В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. – М. : Недра, 1978. – 325 с.
3. Шестаков В.М. Динамика подземных вод [Текст] / В.М. Шестаков – М. : Изд-во МГУ, 1979. – 418 с.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№ вар.	№ скв.	X	Y	H	h	K _a	№ вар.	№ скв.	X	Y	H	h	K _a
1	1	1	3	101.0	32.5	38	21	1	1	6	105.3	18.4	26.4
	2	1	7	105.0				2	4	3	99.4		
	3	3	3	99.66				3	7	5	103.6		
	4	5	5	102.42				4	2	7	106.4		
	5	7	6	104.0			22	1	1	5	104.6	26.7	34.7
2	1	1	4	102.0	20.0	33.0		2	3	3	99.3		
	2	3	5	101.82				3	4	7	105.7		
	3	4	3	99.66				4	7	6	104.7		
	4	7	3	101.0			23	1	1	5	104.5	37.2	32.1
	5	7	6	104.0				2	4	4	98.7		
3	1	1	6	104.8	26.0	30.4		3	4	7	104.3		
	2	4	3	99.5				4	7	5	104.0		
	3	4	5	101.7			24	1	1	6	105.0	33.9	26.9
	4	7	3	102.4				2	4	3	99.7		
	5	4	8	106.1				3	7	5	105.0		
4	1	1	5	103.2	43.0	27.4		4	4	7	104.1		
	2	4	3	99.5			25	1	1	5	104.7	28.4	30.7
	3	4	4	100.3				2	3	3	99.3		
	4	4	5	101.7				3	7	5	104.6		
	5	7	6	104.4				4	5	7	105.3		
5	1	1	6	104.0	17.0	22.2	26	1	1	6	105.3	30.8	22.4
	2	3	3	99.66				2	4	3	99.7		
	3	5	5	100.82				3	7	5	105.2		
	4	7	4	102.0				4	4	6	105.0		
6	1	1	6	104.0	29.0	23.2	27	1	1	5	104.7	22.9	34.7
	2	4	3	101.0				2	3	3	99.5		
	3	5	6	102.66				3	7	4	104.7		
	4	7	7	104.5				4	3	7	105.7		
7	1	1	4	102.5	27.4	30.4	28	1	1	5	104.6	26.3	29.4
	2	2	3	99.6				2	3	3	99.2		
	3	2	7	103.5				3	7	4	105.8		
	4	7	5	103.1				4	4	4	102.3		
8	1	1	4	102.5	19.3	26.8	29	1	1	6	106.2	23.7	29.8
	2	4	3	101.0				2	4	3	99.6		
	3	3	6	101.4				3	4	5	103.8		
	4	7	5	102.9				4	7	5	106.7		
9	1	1	4	103.1	24.3	40.3	30	1	1	5	105.3	35.6	36.4
	2	4	3	99.0				2	5	3	99.1		
	3	4	5	101.3				3	7	5	106.2		
	4	4	7	102.1				4	4	5	103.4		
	5	7	6	103.5			31	1	1	4	104.5	32.8	25.4
10	1	1	4	102.7	31.1	29.7		2	3	3	98.3		
	2	2	7	103.0				3	5	5	104.3		

	3	3	6	102.5				4	7	7	106.5		
	4	4	3	99.0			32	1	1	5	105.8	36.0	30.6
	5	4	5	101.3				2	5	3	99.0		
	6	7	4	102.4				3	7	5	106.4		
11	1	1	4	103.0	18.6	23.3		4	4	6	105.8		
	2	3	6	102.0			33	1	1	4	105.3	27.4	35.3
	3	4	5	100.5				2	4	3	98.6		
	4	6	7	103.3				3	5	5	105.4		
	5	7	4	102.8				4	7	7	106.4		
12	1	1	4	103.3	24.7	33.2	34	1	1	4	105.3	21.1	17.8
	2	3	3	102.1				2	3	3	97.3		
	3	3	7	105.5				3	7	5	105.1		
	4	5	7	106.1				4	4	5	103.4		
	5	7	5	103.5			35	1	1	5	105.8	36.7	39.3
13	1	1	6	104.5	25.8	33.7		2	4	3	99.9		
	2	4	5	101.6				3	7	6	105.8		
	3	7	5	103.5				4	5	6	104.9		
14	1	1	6	105.1	29.6	41.9							
	2	6	2	98.3									
	3	7	5	104.5									
15	1	1	6	104.7	22.3	33.2							
	2	2	4	101.1									
	3	7	5	103.2									
16	1	1	6	105.3	21.1	28.6							
	2	3	3	99.8									
	3	6	6	103.7									
	4	7	3	101.8									
17	1	1	6	104.8	34.1	26.7							
	2	2	4	101.7									
	3	6	6	105.7									
	4	7	3	102.1									
18	1	1	6	103.9	27.7	25.4							
	2	2	4	101.4									
	3	4	4	100.9									
	4	7	3	102.1									
19	1	1	4	102.4	17.8	24.8							
	2	4	4	100.9									
	3	7	6	104.3									
20	1	1	7	105.3	22.2	29.3							
	2	4	5	101.4									
	3	7	3	101.8									

Лабораторная работа № 2

Прогноз конвективного массопереноса загрязняющих компонентов подземных вод

Лабораторная работа предназначена для уяснения лекционных тем: «Оценка процессов заиления и прогноз», «Меры борьбы с заилением водохранилищ», «Прогноз заболачивания, меры борьбы, эколого-геологическая оценка заболачивания», «Эколого-геологическая оценка подтопления», «Меры борьбы с подтоплением», «Засоление и загрязнение почв и горных пород», «Природные и техногенные факторы засоления и загрязнения», «Изучение и оценка опасности засоления и загрязнения», «Эколого-геологическая оценка загрязнения», «Меры борьбы с засолением и загрязнением грунтов».

Конвективный перенос можно определить как механический (гидравлический) перенос фильтрационным потоком (статистически усредненным в только что упомянутом смысле) без отделения от него, т. е. при этом считается, что вещество или тепло перемещается со средней действительной скоростью V_d , связанной со скоростью фильтрации соотношением $V_d = \frac{v}{n_a} = \frac{kI}{n_a}$, где n_a – так называемая активная пористость (трещиноватость). Вместе с тем величина n_a является весьма условным параметром. При больших скоростях и малом времени перенос идет по наиболее крупным, связанным друг с другом порам. С падением скорости и увеличением времени в процесс вовлекаются более мелкие и «тупиковые» поры, так что в пределе активная пористость (трещиноватость) стремится к общей пористости (трещиноватости). За исключением специально оговоренных случаев, мы будем далее предполагать, что рассматриваются достаточно длительные и медленные процессы, в которых величину n_a можно считать постоянной, близкой к общей пористости (трещиноватости). Соответственно, мы примем для нее далее обозначение n .

Процесс конвективного массопереноса загрязняющих компонентов подземных вод рассматривается для режима плановой фильтрации в безнапорном, однородном и изотропном пласте постоянной мощности без учета инфильтрации, без учета процессов физико-химического взаимодействия переносимых компонентов с вмещающими породами – сорбцией, десорбцией, растворением, ионным обменом и др.

Случай плановой фильтрации в безнапорном, однородном и изотропном пласте постоянной мощности без учета инфильтрации (рис. 5) можно описать следующим выражением

$$\frac{1}{a} \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla^2 h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где a – коэффициент уровнепроводности, который в данном случае может быть выражен в виде:

$$a = \frac{k_{\phi} h_{cp}}{\mu}$$

Используем метод конечных разностей, заменим соответствующие производные их разностными аналогами.

Первую производную можно заменить

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_{x \sim x_i} \approx \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta x}, \quad (2)$$

где Δx – шаг по оси X , а вторую производную – выражением

$$\left. \frac{d^2 h}{dx^2} \right|_{x \sim x_i} \approx \frac{h_{i-1} - 2h_i + h_{i+1}}{\Delta x^2}. \quad (3)$$

Для удобства примем следующую индексацию узлов:

$$\begin{array}{ll} \text{по } X & - i = 1, \dots, 7, \\ \text{по } Y & - j = 1, \dots, 9, \\ \text{по времени} & - t = 1, \dots, T, \end{array}$$

где T – время прогноза.

Получим

$$\frac{h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t}{\Delta t} = a \left(\frac{h_{i-1,j}^t - 2h_{i,j}^t + h_{i+1,j}^t}{\Delta x^2} + \frac{h_{i,j-1}^t - 2h_{i,j}^t + h_{i,j+1}^t}{\Delta x^2} \right). \quad (4)$$

Обратим внимание на то, что шаг по X равен шагу по Y , поэтому у второй производной по Y стоит в знаменателе Δx^2 , вместо Δy^2

Перенесем Δt и $h_{i,j}^t$ вправо, а также вынесем Δx^2 за скобки, получим

$$h_{i,j}^{t+1} = h_{i,j}^t + \frac{a \cdot \Delta t}{\Delta x^2} (h_{i-1,j}^t - 2h_{i,j}^t + h_{i+1,j}^t + h_{i,j-1}^t - 2h_{i,j}^t + h_{i,j+1}^t). \quad (5)$$

Следует определить критерий устойчивости явной разностной схемы $\frac{a \cdot \Delta t}{\Delta x^2}$, который должен быть меньше или равен $\frac{1}{4}$, т. е.

$$\frac{a \cdot \Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{4}. \quad (6)$$

В случае его несоответствия следует изменить шаг по времени или по пространственным координатам.

Для однозначного решения дифференциальных уравнений геофильтрации необходимо задание краевых условий – начальные значения искомой функции и значения функции на границах. Так как в наших задачах искомой функцией является функция напора H , то краевые условия записываются для функции H или ее производных.

Краевые условия задаются для конкретной области фильтрации – участка земной коры, приуроченного к водоносному горизонту (комплексу) и оконтуренного некоторыми гидродинамическими границами и рас-

сматриваются в задаче как единая, гидравлически связанная система. Краевые условия делятся на *начальные* и *границные*.

Начальные условия – исходные значения функции напора в пределах области фильтрации на начальный момент времени. Начальные условия должны быть заданы, для процессов нестационарной геофильтрации, (обычно по результатам измерения напоров в наблюдательных скважинах и их интерполяции) во всех точках области фильтрации в виде

$$H(x,y,z,t)_{t=0} \equiv H(x,y,z,0). \quad (7)$$

Границные условия задаются для всех граничных точек области фильтрации $(x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma})$ на весь период, рассматриваемый при решении данной задачи. Для этого анализируются орогидрографические, гидрогеологические условия, а также учитываются данные опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений. В гидрогеологическом отношении выделяют закрытые границы (угленосная мульда, перекрытая сверху и снизу водоупорными породами). На таких границах фиксируется нулевое значение скорости фильтрации V_n по направлению, перпендикулярному к границе, т. е.

$$\left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_{\Gamma} = 0$$

и закрытая граница является линией тока.

При работе инфильтрационного водозабора (речная вода фильтруется через пески) его расходы обычно пренебрежимо малы в сравнении с расходами реки. Поэтому можно предположить, что уровни в реке могут задаваться только исходя из наблюдаемого гидрологического режима реки:

$$H_{\Gamma} = f(x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma}, t).$$

Границу такого рода называют границей обеспеченного питания (контур дна реки).

В плане обычно выделяют полуограниченные и неограниченные области фильтрации, когда, говоря формальным математическим языком, одна или все границы удалены в бесконечность.

В математической физике граничные условия подразделяются на граничные условия I, II, III и IV рода.

Граничные условия I рода. На границах задано значение напора. Такие условия характерны для:

- рек, водоемов и других границ обеспеченного питания (граница обеспеченного питания, когда расход водозабора, расположенного в долине реки пренебрежительно мал по сравнению с расходами реки);
- естественных контуров стока, приуроченных к нижнему водоупору водоносного пласта;
- горных выработок, отметка выхода воды в которых также определяется отметкой нижнего водоупора;
- скважин, работающих с заданным на них напором (самоизливающих, поглощающих).

Частным случаем границ I рода являются границы с постоянным напором, т. е. $H = \text{const}$.

Граничные условия II рода. На границах задано значение расхода Q или нормальной производной $\frac{dH}{dn}$. Такие условия характерны для

- закрытых границ (когда пласт ограничен водоупорными породами);
- границ свободного инфильтрационного питания;
- скважин, работающих с заданным расходом.

Частным случаем границ II рода являются границы с постоянным расходом, т. е. $Q = \text{const}$.

Граничные условия III рода. На границах задана прямопропорциональная зависимость между расходом и напором, точнее между искомой функцией и ее нормальной производной

$$\left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_r = \alpha H_r + \beta, \quad (8)$$

где α и β заданные постоянные. Так как значения H_r и $\left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_r$ заранее не

известны, то условие (66) является нелинейным. Условия третьего рода наиболее характерны для контактов водоносного пласта с относительным водоупором, через который идет перетекание или переток воды из открытого водоема, когда роль относительного водоупора играет тонкий слой (мощностью m_p) илистых отложений с коэффициентом фильтрации k_p . Скорость перетекания, равная, по условию неразрывности, нормальной компоненте скорости фильтрации в водоносном пласте – на границе с относительным водоупором, – выражается в виде

$$V_n = -k \left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_r = k_p \frac{H_p - H_{пл}}{m_p}, \quad (9)$$

где H_p – заданный напор в водоеме; $H_{пл}$ – неизвестный напор в пласте, непосредственно под слабопроницаемым слоем.

Согласно условию (9) $\alpha = k_p / m_p$, $\beta = -k_p H_p / m_p$. Заметим, что граница водоема здесь не считается контуром обеспеченного питания.

Граничные условия IV рода. Границы представляет собой контакт водоносных пород с различными фильтрационными свойствами (граница раздела). Из условий неразрывности потока через эту границу получаем равенство скоростей фильтрации V_{n1} и V_{n2} нормальных ей, или, по закону Дарси,

$$k_1 \left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_{r1} = k_2 \left(\frac{\partial H}{\partial n} \right)_{r2}. \quad (10)$$

$$\text{Кроме того, } H_{r1} = H_{r2}. \quad (11)$$

Дано Область фильтрации, которая представлена участком речной долины протяженностью 1600 м на 1200 м, разбита сеткой с равномерным

шагом по X и по Y и равным 200 м. На безнапорный водоносный горизонт с гидродинамическими параметрами – $K_f = 40$ м/сут, $h = 50$ м, $\mu = 0,2$, пробурена одна эксплуатационная скважина дебитом 200 м³/ч (скв. 1, рис. 3).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В долине реки проектируется дополнительный водозабор, состоящий из одной совершенной эксплуатационной скважины диаметром 200 мм и с дебитом 150 м³/ч. Необходимо вычислить значения функции напора во всех узлах сетки, используя выражение (5) на двое суток с шагом 1 сутки. По результатам прогноза построить гидроизогипсы. Начальные условия соответствуют результатам лабораторной работы № 1 (рис. 3). Рассчитать два варианта с граничными условиями I рода, постоянные во времени, т. е. $H = \text{const}$ и с граничными условиями II рода с $Q = KF \frac{H_1 - H_2}{L} = KFI = \text{const}$. Шаг сетки – $\Delta x = \Delta y = 200$ м. Радиус влияния скважин 200 м. Проектируемые эксплуатационные скважины расположить вне зон взаимовлияния.

Выполнение

Начальные условия (рис. 3) следует изменить с учетом ввода в эксплуатацию скважины. Для этого используем выражение

$$H_c = H_0 - \frac{Q}{T} \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{\Delta x}{r_c} - \frac{1}{n} \text{ctg} \frac{\pi}{n} \right), \quad (12)$$

где: Q – дебит скважины; T – проводимость пласта = $k_f \cdot m$; Δx – шаг сетки; r_c – радиус скважины; $\pi = 3,14\dots$; n – число сторон блока (сетки).

Скважины располагаются вблизи границ обеспеченного питания (границ водотоков), но не ближе двух узлов сетки от границы водотока, а также не ближе 400 м друг от друга (следует из условия радиуса влияния скважин 200 м). В нашем случае это точка с координатами (5,3). Напор в этой точке с учетом данных задачи составит (12)

$$\begin{aligned} H_{5,3} &= 100,5 - \frac{150 \cdot 24}{40 \cdot 50} \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{200}{0,1} - \frac{1}{4} \text{ctg} \frac{3,14}{4} \right) = \\ &= 100,5 - 1,8(0,159 \times 7,6 - 0,25) = 100,5 - 1,73 = 98,77 \text{ м.} \end{aligned}$$

Прогноз развития процесса геофильтрации следует начинать с узла $h_{2,2}$ и, используя выражение (5), идти по строке $h_{i,2}$. Затем перейти на строку $h_{i,3}$ и т.д. Начальными условиями для прогноза на 2-е сутки будет прогноз на 1-е сутки. Вычисления аналогичны прогнозу на 1-е сутки. Построение гидроизогипс производится согласно лабораторной работе № 1.

Для случая с граничными условиями I рода ($H = \text{const}$) значение напора в граничных узлах остается неизменным.

Для случая граничных условий II рода ($Q = \text{const}$) следует проверить значения приграничных узлов. Если они отличаются от начальных значений, то и значения напора в граничных узлах следует изменить (кроме границ реки). Например для узла (2,2), исходя из соотношения

$h_{1,2}^0 - h_{2,2}^0 = h_{1,2}^1 - h_{2,2}^1$, где $h_{1,2}^1$ – искомая величина, т. е.

$$h_{1,2}^1 = h_{1,2}^0 - h_{2,2}^0 + h_{2,2}^1.$$

Таким образом, алгоритм выполнения работы следующий. Сначала делается прогноз на 2 суток с граничными условиями I рода, а затем, используя сетку с прогнозом на 1 сутки с граничными условиями I рода переписываем ее в сетку с прогнозом на 1 сутки с граничными условиями II рода, изменяя, где следует, граничные узлы, а затем уже исправленную сетку используем в качестве начальных значений для сетки с прогнозом на 2 суток с граничными условиями II рода, где также исправляются граничные точки. Гидроизогипсы строятся для начальных условий с включенной скважиной и для прогнозных данных на 2 суток для граничных условий I и II рода.

Таким образом у Вас должно получиться 5 сеток (рис. 1). Сетки 1, 3 и 5 должны быть с гидроизогипсами.

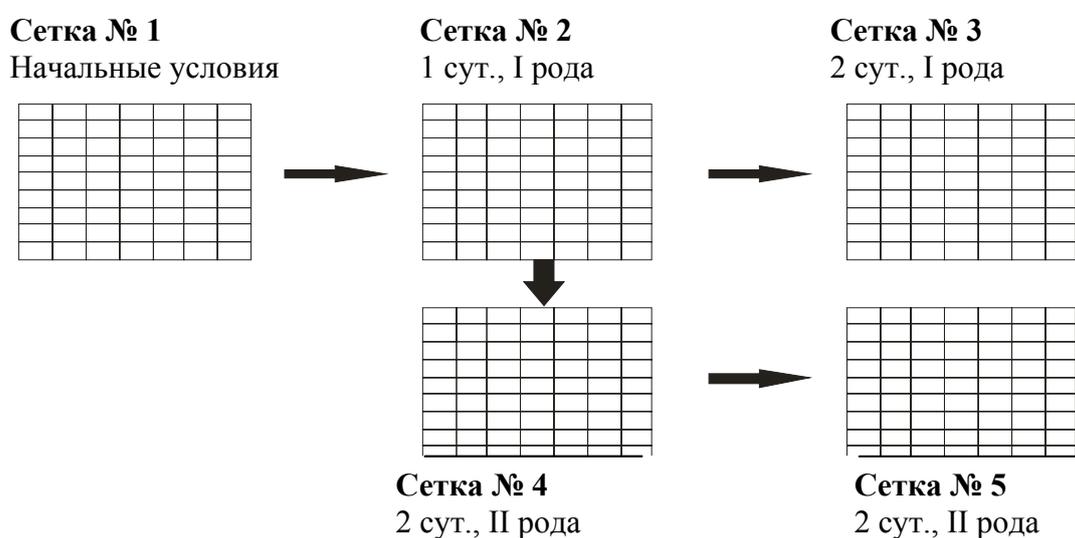


Рис. 1. Прогнозные сетки

Литература

1. Мироненко В.А. Динамика подземных вод [Текст] / В.А. Мироненко. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 519 с.
2. Мироненко В.А. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ [Текст] / В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. – М. : Недра, 1978. – 325 с.
3. Ломакин Е.А. Численное моделирование геофильтрации [Текст] / Е.А. Ломакин, В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. – М. : Недра, 1988. – 228 с.

Лабораторная работа № 3

Расчет устойчивости оползневого склона

Лабораторная работа предназначена для уяснения лекционных тем «Оползни и другие гравитационные склоновые процессы: формирование и устойчивость склонов», «Основные геологические и иные факторы развития гравитационных склоновых процессов и их взаимообусловленность», «Природные и техногенные факторы формирования оползней», «Инженерно-геологическое изучение и оценка оползневой опасности», «Эколого-геологическая оценка оползней».

Геологическая среда — часть общей природной среды. Причем целый ряд особенностей этой среды может быть причиной ряда изменений как природных, так и антропогенных ландшафтов, вплоть до катастроф. Среди множества таких явлений можно выделить оползни.

Оползень – скользящее смещение вниз по уклону под действием сил тяжести масс грунта, формирующих склоны холмов, гор, речные, озерные и морские террасы (рис. 1).

Морфологические элементы оползня (рис. 1):

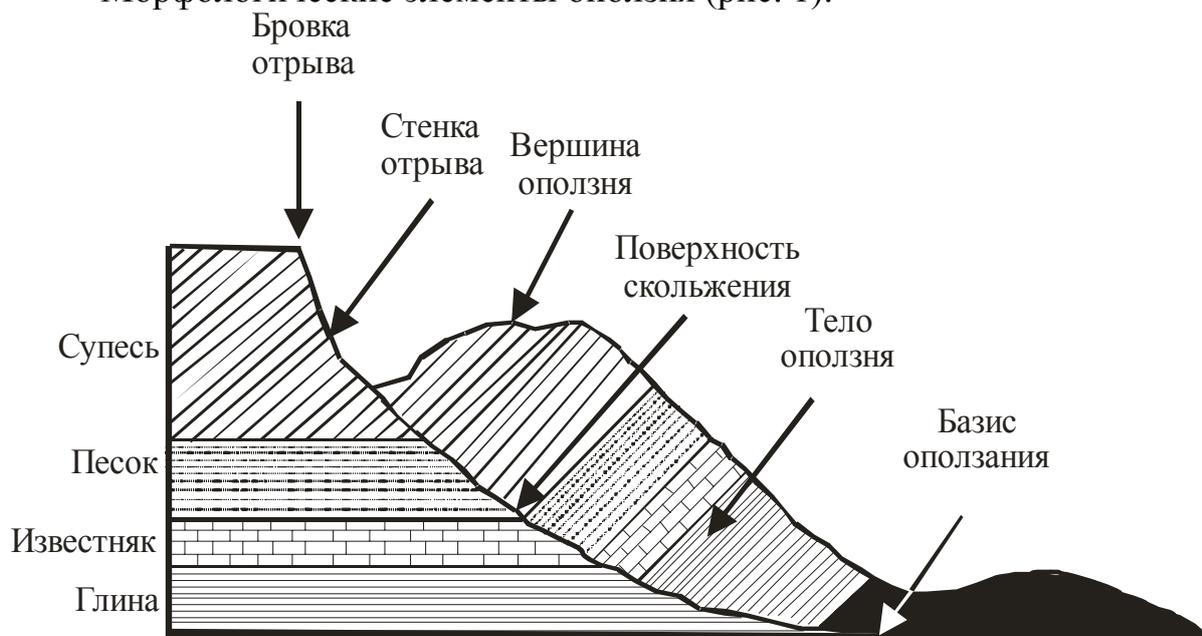


Рис. 1. Морфологические элементы оползня

Тело оползня – сползающая масса горных пород, сохранившая свою монолитность или распавшаяся на отдельные части.

Вершина оползня – верхний край сползшей массы, имеющий чаще всего выпуклое очертание.

Поверхность скольжения – поверхность, по которой происходит перемещение оползня.

Базис оползания – низшая точка движения оползня. Чаще всего это подошва склона, уровень дна реки, поверхность водоупорного горизонта.

В море базис сползания может быть далеко от берега, на глубине, это уровень дна, но реальное продвижение ограничивается абразией моря.

Стенка отрыва — верхний выход поверхности скольжения на поверхность земли. По форме она или параллельна склону, или имеет дугообразную форму, а уклон стенок 45° и более.

Оползни представляют собой один из экзогенных склоновых процессов. Склоном называется участок поверхности, имеющий уклон не менее 2° (табл. 1). Снизу склон ограничен линией подошвы, сверху — либо бровкой, либо водораздельной линией.

Таблица 1

Типы склонов по крутизне

Очень пологие	$2^\circ-6^\circ$
Пологие	$6^\circ-15^\circ$
Средне крутые	$15^\circ-30^\circ$
Крутые	$30^\circ-45^\circ$
Очень крутые	$45^\circ-60^\circ$
Обрывистые	$60^\circ-80^\circ$
Отвесные	$80^\circ-90^\circ$
Нависяющие	90°
С отрицательным углом	

Склонами называют наклоненные в одну сторону участки земной поверхности природного происхождения, откосами — наклоненные участки, созданные искусственно (рис. 2).

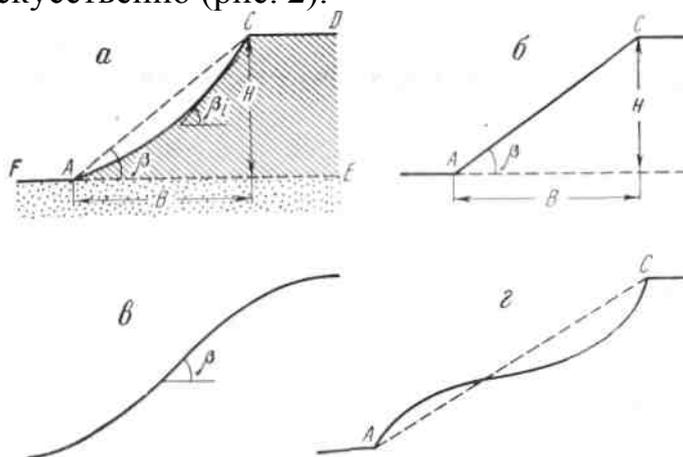


Рис. 2. Схемы профилей простых склонов и откоса: а — вогнутый склон с ясно выраженными бровкой и подошвой; б — плоский откос; в — выпукло-вогнутый склон; з — вогнуто-выпуклый склон

Простой склон или откос состоит из следующих элементов: 1) собственно склон или откос AC — наклонный участок поверхности земли, 2) бровка склона C — верхняя граница склона, т. е. линия пересечения поверхности склона с поверхностью земли выше склона, 3) подошва склона

А – нижняя граница склона, т. е. линия пересечения поверхности склона с поверхностью земли ниже его. Поверхность АФ, примыкающая к подошве склона, называется его подножием. Расстояние по вертикали между бровкой и подошвой склона Н называется его высотой, то же по горизонтали В – его заложением. Крутизна склона в каждой его точке определяется углом β_i наклона к горизонту плоскости, касательной к склону в данной точке. Средняя крутизна склона определяется углом β наклона к горизонту линии, соединяющей его бровку и подошву по направлению наибольшего уклона, или отношением его высоты и заложения ($H : B = \text{tg } \beta$). Крутизна откосов в инженерной практике обычно выражается в виде отношения $1 : \text{ctg } \beta$ в круглых числах (1 : 1, 1 : 2 и т. п.).

По форме склоны делятся на (рис. 2):

- прямые;
- вогнутые;
- выпуклые;
- ступенчатые (террасовидные);
- структурные (связаны со структурой образующих пород);
- аструктурные.

Склоны имеют различное происхождение (табл. 2), после образования испытывают воздействие очень разных процессов и видоизменяются. В конечном счете, склоновые процессы, если нет обновляющих высоты тектонических событий, приводят к общему снижению рельефа.

Деляпсивные (лат. «деляпус» — падение, соскальзывание). Породы соскальзывают под влиянием собственного веса. В этом случае в оползневом теле сохраняется последовательность слоев, несколько запрокинутых в сторону ненарушенной части склона. При деляпсивном характере оползня движение неустойчивых масс начинается в основании склона, и, лишая опоры вышележащие массы, постепенно захватывает и их, пока весь откос не придет в движение.

Детрузивные (лат. «детрузио» — сталкивание), когда смещение происходит под напором или при толкании вышерасположенных (оторвавшихся от склона и сползающих). В детрузивных оползнях движение начинается сверху и передается постепенно вниз. Базис оползания детрузивных оползней находится ниже уровня реки или дна реки. Эти оползни выталкивают породы, находившиеся у базиса оползания.

Ф. П. Саваренский предложил делить оползни по структуре оползневого склона и характеру поверхности смещения. По этим признакам он выделял три типа оползней.

Классификация склонов по способу образования

Тип склона	Вид склона			
Эндогенные	Вулканические (склоны вулканов, кратеров, лавовых потоков)			
	Тектонические (крыло складки, сбросовый уступ)			
Экзогенные	Первичные	Эрозионные		
		Абразионный		
		Карстовый		
		Ледниковый		
		Ветровой		
	Вторичные	Гравитационные	Сухие	Осыпные
				Обвальные
			Мокрые	Оползневые
				Делювиальные
				Солифлюкционные
Комплексно-денудационные				
Антропогенные	Склоны отвалов, терриконов (выработки)			
	Склоны карьеров			
	Склоны дорожных выемок и насыпей			

Асеквентные. Оползни, происходящие преимущественно в однородных неслоистых породах. Поверхность скольжения у таких оползней кривая, близкая к цилиндрической форме. По характеру смещения большинство этих оползней относится к категории деляпсивных.

По характеру смещения А. П. Павлов выделил два типа оползней.

Консеквентные. Поверхность скольжения у этой категории оползней обуславливается поверхностями раздела, имеющимися в толще пород. Такими поверхностями могут быть:

- поверхности напластования осадочных пород;
- контакт почвенно-растительного слоя с подпочвой;
- контакт плаща делювия (породы, нанесенные со склона водой) с коренными породами;
- пересекающиеся системы трещин, разбивающих породу и определяющих ломаную поверхность скольжения;
- граница контакта осадочных пород с интрузией.

Инсеквентные. Оползни, врезающиеся в толщу склона, сложенного различными породами, которые представляют собой чередование пластов различного состава. Поверхность смещения режет эти породы под разными

ми углами к их напластованию и представляет собой неоднородную кривую (крутую в верхней части и пологую в нижней).

По механизму оползневых процессов выделяют такие типы оползней:

- сдвиг;
- выдавливание;
- гидравлический вынос и др.

По глубине залегания поверхностного скольжения различают оползни:

- поверхностные — до 1 м;
- мелкие — до 5 м;
- глубокие — до 20 м;
- очень глубокие — свыше 20 м.

По мощности, вовлекаемой в процесс массы горных пород, оползни распределяют на:

- малые — до 10 тыс. м³;
- средние — от 11 до 100 тыс. м³;
- крупные — от 101 до 1000 тыс. м³;
- очень крупные — свыше 1000 тыс. м³.

По скорости движения оползни бывают:

- быстрые (время развития измеряется секундами или минутами);
- средней скорости (минуты, часы);
- медленные (дни, годы).

Условиями, благоприятствующими образованию оползней, являются:

- наличие крутых склонов с углом наклона более 25°;
- наличие под водопроницаемыми пластами водоупорной толщи, вызывающей образование на ее границе водоносного слоя, при помощи вод которого будет двигаться будущий оползень;
- достаточное количество осадков, обеспечивающих влагонасыщенность грунта;
- наличие пород, пластичность которых увеличивается при переувлажнении, таких как глина или мел. Прочность мела при переувлажнении падает в 600–700 раз;
- наличие наклона пластов в сторону долины, то есть согласно склону.

Оползни могут образовываться как в рыхлых, глинисто-песчаных, так и в плотных породах и при горизонтальном залегании пластов и даже при падении их в сторону противоположную от долины. В таких случаях оползень происходит обычно от местного пропитывания породы водой и увеличения ее веса. Поверхность, по которой происходит при этом отрыв и скольжение, имеет вогнутую форму. Она полого наклонена в сторону долины в нижней части и круто поднимается по краям в верхней части. Обычно в этом случае получается циркообразный оползень.

Кроме слоистости, неустойчивость грунта откоса может быть вызвана сильной раздробленностью породы системами трещин. Трещины увеличивают глубину эрозионного вреза, вызывая дальнейшее разрушение и

отрыв поверхностных толщ от основного массива, способствуя насыщению массива водой, что обуславливает изменение физико-технических свойств породы. В сейсмичных зонах при землетрясениях трещины способствуют образованию оползней.

Образованию оползня может также способствовать подмыв нижней части грунта рекой, чрезмерное пропитывание склона водой дождей или талых снегов. Большое количество осадков приводит также к интенсивному смыву грунта, после чего опять происходит образование трещин (разгрузка от давления, смытого грунта). Такие же условия образуются при обильном поливе садов и огородов, расположенных на краю склона или при образовании на краю плато, прилегающего к склону, естественных и искусственных водоемов (озерки, болота, запруды). И, вообще, всякие факторы, способствующие усилению просачивания воды и усилению деятельности грунтовых вод.

Еще одним поводом образования оползня может служить отягощение края плато при помощи какого-нибудь сооружения или природного образования (зарождение озера, зарастание склона лесом). Можно также предполагать, что вырубка леса приводит к образованию оползней, но древесная растительность является неоднозначным фактором. Весной в лесу задерживается много снега, и при его таянии почва сильно переувлажняется. Кроме того, деревья передают ветровую энергию грунту, что приводит к отрыву масс грунта, и, как и переувлажнение способствует развитию оползней.

В синклинальных долинах оползни образуются во внутренних частях и сползают внутрь. В антиклинальных долинах образование оползней не характерно, но при подмыве склона оползень может возникнуть и сползти внутрь долины. В моноклинальных долинах оползни, образующиеся на верхнем склоне, сползают внутрь долины, в нижней части долины оползни не образуются.

Оползни приносят огромный вред хозяйственной деятельности человека – они увлекают с собой здания, вызывая разрушение целых поселков или частей городов, уничтожают сельскохозяйственные угодья, леса, разрушают дороги. Кроме прямых убытков оползни приносят и косвенные – простой транспорта, невозможность доставить грузы, необходимые для различных предприятий, снижение урожаев из-за нарушения ирригационных систем. В США ежегодно убытки от оползней составляют 1 млрд долл., из них 400 000 – прямые убытки, в Италии та же цифра, в Японии 1,5 млрд (от оползней и селей). В холмистых районах Северной Индии на каждые 10 000 километров дорог ежегодные убытки от оползней составляют 100 млн долл.

Для борьбы с оползнями существует множество способов, которые предусматривают ряд пассивных или активных мероприятий.

К пассивным мероприятиям относят мероприятия охранно-ограничительного вида: запрещение строительства, производства взрывных работ, нарезки оползневых склонов.

К активным мероприятиям относят устройство различных инженерных сооружений: подпорных стенок, свайных рядов и т. п. В опасных местах предусматривается система наблюдения и оповещения населения, а также действия соответствующих служб по организации аварийно-спасательных работ.

3.1. Формы нарушения устойчивости склонов

Нарушение устойчивости, иначе разрушение склонов, происходит вследствие преодоления сопротивления горных пород растяжению или сдвигу. Принципиальное отличие между этими двумя типами разрушения иллюстрирует рис. 3, на котором изображены различные условия, возникающие при подрезке наклонно залегающего пласта пород, рассеченного на блоки трещинами отдельности.

Если угол склона β достаточно крут (см. рис. 3а), равнодействующая сила тяжести нижнего блока пройдет вне площади его опоры, возникает вращающий момент, стремящийся оторвать блок по грани АВ и повернуть его вокруг его ребра В в направлении, показанном стрелкой. Если будет преодолено сопротивление горных пород растяжению, которое по плоскостям напластования невелико, произойдет отрыв блока, он опрокинется, потеряв контакт со склоном по поверхности АВ, и в зависимости от рельефа ниже точки В или упадет вертикально вниз, или скатится по склону, приходя с ним в соприкосновение любыми своими сторонами или гранями. Такой вид смещения представляет собой обрушение или обвал в чистом виде.

Предельная величина угла β , необходимая для образования обвала, определяется через соотношение длины L и высоты h блока $\text{tg } \beta > \frac{L}{h}$.

При изометричных блоках угол β должен быть более 45° , при $L = 2h$ – более 63° .

Если склон более полог, т. е. $\text{tg } \beta < \frac{L}{h}$ (рис. 3б), то равнодействующая силы тяжести блока будет проходить в пределах его площади опоры CD, и вращающий момент относительно ребра блока D будет иметь направление противоположное, чем при обвале (показано стрелкой), стремясь прижать блок к его основанию.

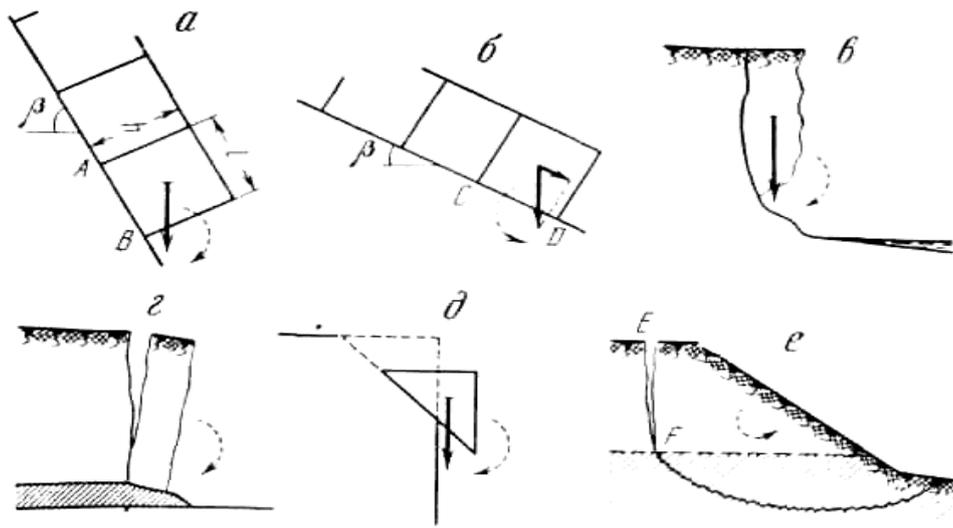


Рис. 3. Схемы нарушения устойчивости склонов:

a, в, г, д — обвалы; б, е — оползни

В этом случае отрыв невозможен, а если составляющая веса W блока, параллельная площади его опоры ($W \sin \beta$), окажется больше сопротивления сдвигу по площади опоры, то блок начнет скользить по поверхности CD , все время сохраняя с ней контакт. Такое смещение представляет собой оползание в чистом виде.

3.2. Устойчивость свободных откосов и склонов

При рассмотрении устойчивости склонов широко принято выражать сопротивление сдвигу как функцию нормального к сдвиговой площадке давления, пытаясь таким образом учесть влияние на прочность пород изменений их плотности и влажности при изменении величины действующих на них нормальных напряжений. При этом принимают, что влияние давления на сопротивление сдвигу подчиняется эмпирической формуле Кулона (рис. 4):

$$T = c + N \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где T – сопротивление сдвигу (кг/см^2 , т/м^2), N – нормальные напряжения (кг/см^2 , т/м^2), c – сцепление (в кг/см^2 или т/м^2), φ – угол внутреннего трения и коэффициент трения $\operatorname{tg} \varphi$.

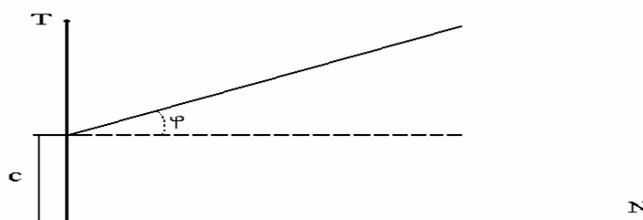


Рис. 4. Зависимость сопротивления сдвигу от нормального напряжения

Для установления некоторых понятий рассмотрим элементарную задачу устойчивости откоса идеально сыпучего грунта.

Пусть имеем откос сыпучего грунта, на котором свободно лежит твердая частица M (рис. 5).

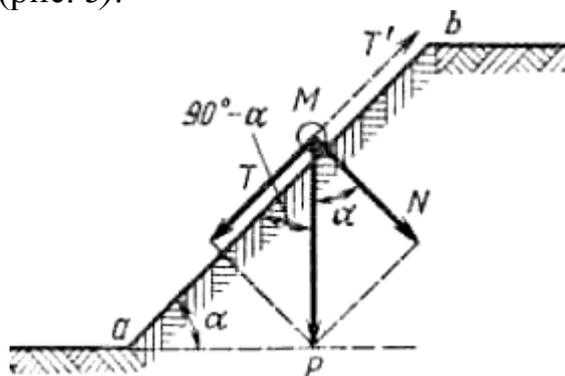


Рис. 5. Схемы сил, действующих на частицу откоса идеально сыпучего грунта

Разложим вес частицы P на две составляющие: нормальную N к линии откоса ab касательную T . Сила T стремится сдвинуть частицу к подножию откоса, но ей будет противодействовать сила трения T' , пропорциональная нормальному давлению, т. е. $T' = f N$ (где f – коэффициент трения).

Проектируя все силы на наклонную грань откоса, имеем

$$P \sin \alpha - f P \cos \alpha = 0,$$

откуда $\operatorname{tg} \alpha = f$, а так как коэффициент трения $f = \operatorname{tg} \varphi$, то окончательно получим $\alpha = \varphi$.

Таким образом, предельный угол откоса сыпучих грунтов равен углу внутреннего трения грунта. Этот угол носит название угла естественного откоса.

Понятие об угле естественного откоса относится только к сухим сыпучим грунтам, а для грунтов связных глинистых оно теряет всякий смысл, так как у последних в зависимости от их увлажненности угол откоса может меняться от 0 до 90° и зависит также от высоты откоса.

3.3. Устойчивость свободных откосов и склонов, сложенных связанными грунтами

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения широко применяется на практике (для асеквентных оползней), так как дает некоторый запас устойчивости и основывается на опытных данных о форме поверхностей скольжения при оползнях вращения, которые на основании многочисленных замеров в натуре (например, Шведской геотехнической комиссии, управления канала Москва – Волга и др.) принимают за *круглоцилиндрические*, при этом самое невыгодное их положение определяется

расчетом. Принятие определенной формы поверхностей скольжения и ряда других допущений (о чем будет сказано ниже) делает этот метод приближенным.

Допустим, что центр круглоцилиндрической поверхности скольжения оползающей призмы находится в точке О (рис. 6а).

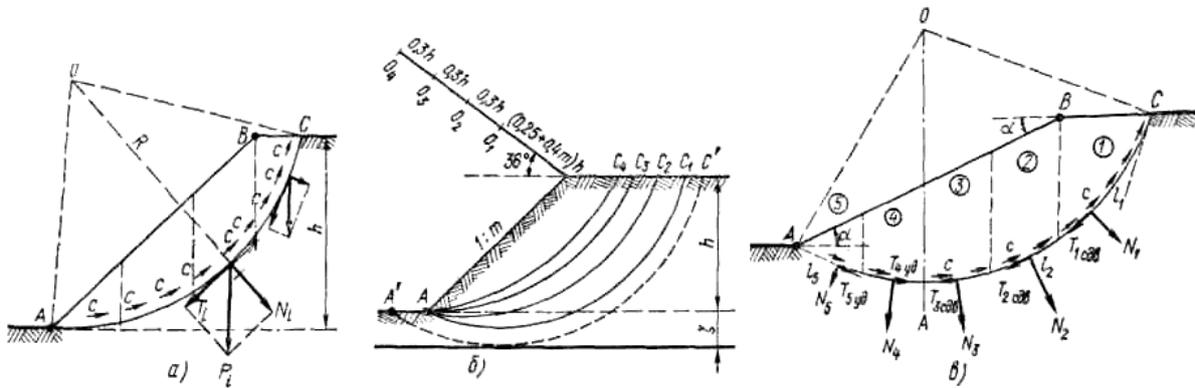


Рис. 6. Расчет устойчивости откоса по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения: а – схема действия сил, б – положения опасных дуг скольжения, в – схема сил, действующих по поверхности скольжения

Уравнением равновесия будет $\sum M_0 = 0$. Для составления уравнения моментов относительно точки вращения О разбивают призму скольжения ABC вертикальными сечениями на ряд отсеков и принимают вес каждого отсека условно приложенным в точке пересечения веса отсека P_i с соответствующим отрезком дуги скольжения, а силами взаимодействия по вертикальным плоскостям отсека (считая, что давления от соседних отсеков равны по величине, а по направлению противоположны) пренебрегают. Раскладывая далее силы веса P_i на направление радиуса вращения и ему перпендикулярное, составляют уравнение равновесия, приравнявая нулю момент всех сил относительно точки вращения:

$$\sum_{i=1}^n T_i R - \sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot R - cLR = 0. \quad (2)$$

Сокращая это выражение на R, получим

$$\sum_{i=1}^n T_i - \sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi - cL = 0. \quad (3)$$

Здесь L – длина дуги скольжения AC; φ , c – угол внутреннего трения и сцепление грунта; T_i и N_i – составляющие давления от веса отсеков, определяемые графически или вычисляемые по замерам углов φ :

$$T_i = P_i \sin \alpha_i \quad \text{и} \quad N_i = P_i \cos \alpha_i. \quad (4)$$

За коэффициент устойчивости откоса принимают отношение момента сил удерживающих к моменту сил сдвигающих, т. е.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + cL}{\sum_{i=1}^n T_i}. \quad (5)$$

Однако решение поставленной задачи определением коэффициента устойчивости для произвольно выбранной дуги поверхности скольжения не заканчивается, так как необходимо из всех возможных дуг поверхностей скольжения выбрать наиболее опасную. Последнее выполняется путем попыток, задаваясь различными положениями точек вращения O .

Для ряда намеченных центров дуг поверхностей скольжения (O_1 , O_2 , O_3 – рис. 6б) определяют необходимое по условию устойчивости сцепление, соответствующее предельному равновесию заданного откоса, по выражению, вытекающему из соотношения (3), а именно:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - \sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi}{L} \quad (6)$$

Далее, из всех возможных центров скольжения выбирают тот, для которого требуется максимальная величина сил сцепления. Этот центр принимают за наиболее опасный и для него по формуле (5) вычисляют коэффициент устойчивости n .

Обычно считают, что при величине $K \geq 1,1 - 1,5$ откос будет устойчивым.

Для случая консеквентного оползня (рис. 7) расчетная формула (5) упрощается до вида

$$K = \frac{N \operatorname{tg} \varphi + cL}{T}, \quad (7)$$

т. е. как для случая асеквентного оползня, но только с одним блоком.

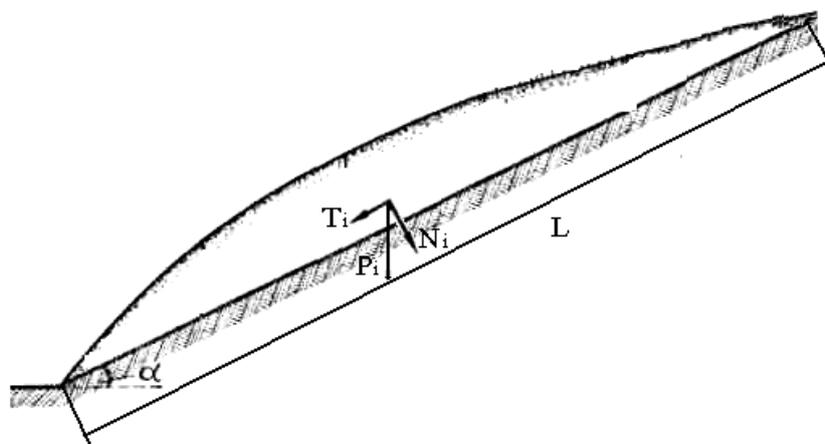


Рис. 7. Расчет устойчивости откоса консеквентного оползневого склона

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассчитать устойчивость оползневого склона согласно варианту задания с учетом геологических условий и физико-механических характеристик грунтов.

Дано:

- геологическая характеристика грунтов оползневого склона (данные бурения по скважинам);
- физико-механические характеристики грунта тела оползня (φ – угол внутреннего трения, c – сцепление, γ – объемный вес).

Требуется рассчитать коэффициент устойчивости оползневого склона K (7).

Выполнение

1. Построение геологического разреза в соответствии с вариантом задания.
2. Выделение на разрезе тела оползня и поверхности скольжения.
3. Определение площади тела оползня (F).
4. Определение веса тела оползня $P = F \gamma$.
5. Замер угла откоса оползневого склона α и длины поверхности скольжения тела оползня L .
6. Определение сдвигающей T и нормальной N составляющих давления веса тела оползня: $T = P \sin \alpha$ и $N = P \cos \alpha$.
7. Расчет коэффициента устойчивости оползневого склона по формуле (7).

Литература

1. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика [Текст] : учебник / Г.С. Золотарев. – М. : МГУ, 1983.
2. Учебное пособие по инженерной геологии [Текст] / ред. Г.С. Золотарев. – М. : МГУ, 1989. – 383 с.
3. Трофимов В.Т. Экологические функции литосферы / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина. – М. : МГУ, 2000. – 432 с.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

**Рекомендуется строить разрезы в масштабе
вертикальный и горизонтальный 1 : 500**

Вариант 1	Слои (в абс. отметках):			Вариант 2	Слои (в абс. отметках):		
	Начало	Подшоша	Описание грунта		Начало	Подшоша	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	155	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	140	135	Супесь
	137	122	Песок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 2 (слева) 10 метров	135	133	Оп. грунт	Скв. 2 (справа) 5 метров	95	85	Известняк
	133	122	Песок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		130	115	Песок
	114	103	Известняк		115	105	Песчаник
	103	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 3 (слева) 30 метров	132	121	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 15 метров	95	85	Известняк
	121	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Известняк		120	118	Оп. грунт
	106	100	Глина		118	115	Песок
Скв. 4 (слева) 50 метров	131	116	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 30 метров	115	105	Песчаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Известняк		95	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Скв. 5 (слева) 65 метров	117	110	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 50 метров	117	105	Оп. грунт
	110	105	Известняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 6 (слева) 75 метров	117	110	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 65 метров	85	80	Глина
	110	105	Известняк		107	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 7 (слева) 90 метров	107	105	Известняк	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина
	105	100	Глина		102	92	Оп. грунт
				Скв. 8 (справа) 82 метров	92	86	Оп. грунт
					86	85	Известняк
				Скв. 9 (справа) 90 метров	85	80	Глина
					86	85	Оп. грунт
					85	80	Глина
Вариант 1		Вариант 2					
c	1 тс/м²	c	1,1 тс/м²				
φ	8°	φ	9°				
γ	1,8 тс/м³	γ	1,75 тс/м³				

Вариант 3	Слой (в абс. отметках):			Вариант 4	Слой (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	155	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	140	135	Супесь
	137	122	Песок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 2 (слева) 5 метров	135	122	Песок		95	85	Известняк
	122	114	Мергель	85	80	Глина	
	114	103	Известняк	120	115	Песок	
	103	100	Глина	115	105	Песчаник	
Скв. 3 (слева) 10 метров	133	129	Оп. грунт	Скв. 2 (справа) 10 метров	105	95	Мергель
	129	122	Песок		95	85	Известняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Известняк		Скв. 3 (справа) 20 метров	118	116
106	100	Глина	116	115		Песок	
Скв. 4 (слева) 30 метров	129	116	Оп. грунт	115		105	Песчаник
	116	115	Мергель	105		95	Мергель
	115	105	Известняк	95	85	Известняк	
	105	100	Глина	85	80	Глина	
Скв. 5 (слева) 50 метров	130	115	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 30 метров	117	105	Оп. грунт
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 6 (слева) 60 метров	125	112	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 50 метров	85	80	Глина
	112	105	Известняк		107	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 7 (слева) 70 метров	118	115	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 65 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк		102	92	Оп. грунт
	105	100	Глина		92	85	Известняк
Скв. 8 (слева) 80 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк		88	86	Оп. грунт
	105	100	Глина		86	85	Известняк
Скв. 9 (слева) 90 метров	106	105	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 82 метров	85	80	Глина
	105	100	Глина		92	86	Оп. грунт
Вариант 3		Вариант 4		Скв. 8 (справа) 90 метров	86	85	Известняк
c	1,2 тс/м²	c	1,1 тс/м²		85	80	Глина
φ	7°	φ	6°	Скв. 9 (справа) 90 метров	86	85	Оп. грунт
γ	1,6 тс/м³	γ	1,85 тс/м³		85	80	Глина

Вариант 5	Слой (в абс. отметках):			Вариант 6	Слой (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	155	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	140	135	Супесь
	137	122	Песок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 2 (слева) 8 метров	140	135	Суглинок	Скв. 2 (справа) 8 метров	105	95	Мергель
	135	122	Песок		95	85	Известняк
	122	114	Мергель		85	80	Глина
	114	103	Известняк		135	130	Суглинок
	103	100	Глина		130	115	Песок
Скв. 3 (слева) 15 метров	133	129	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 15 метров	115	105	Песчаник
	129	122	Песок		105	95	Мергель
	122	115	Мергель		95	85	Известняк
	115	106	Известняк		85	80	Глина
	106	100	Глина		118	116	Оп. грунт
Скв. 4 (слева) 20 метров	129	116	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 25 метров	116	115	Песок
	116	115	Мергель		115	105	Песчаник
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 5 (слева) 40 метров	127	115	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 40 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк		110	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 6 (слева) 60 метров	125	112	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 60 метров	85	80	Глина
	112	105	Известняк		105	92	Оп. грунт
	105	100	Глина		92	85	Известняк
Скв. 7 (слева) 70 метров	118	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк		88	86	Оп. грунт
	105	100	Глина		86	85	Известняк
Скв. 8 (слева) 85 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 82 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк		92	86	Оп. грунт
Скв. 9 (слева) 90 метров	105	100	Глина	Скв. 9 (справа) 90 метров	86	85	Известняк
	106	105	Оп. грунт		85	80	Глина
Вариант 5		Вариант 6					
c	1,3 тс/м²	c	1 тс/м²				
φ	8°	φ	9°				
γ	1,8 тс/м³	γ	1,6 тс/м³				

Вариант 7	Слои (в абс. отметках):			Вариант 8	Слои (в абс. отметках):				
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта		
Скв.1 (слева) 0 метров	155	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	140	135	Супесь		
	137	122	Песок		135	130	Суглинок		
	122	115	Мергель		130	115	Песок		
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник		
	105	100	Глина		105	95	Мергель		
Скв. 2 (слева) 15 метров	145	135	Суглинок		Скв. 2 (справа) 15 метров	95	85	Известняк	
	135	122	Песок			85	80	Глина	
	122	114	Мергель			135	130	Суглинок	
	114	103	Известняк			130	115	Песок	
	103	100	Глина			115	105	Песчаник	
Скв. 3 (слева) 20 метров	135	122	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 20 метров		105	95	Мергель	
	122	115	Мергель			95	85	Известняк	
	115	106	Известняк			85	80	Глина	
	106	100	Глина			118	116	Оп. грунт	
Скв. 4 (слева) 30 метров	133	116	Оп. грунт			Скв. 4 (справа) 35 метров	116	115	Песок
	116	115	Мергель		115		105	Песчаник	
	115	105	Известняк		105		95	Мергель	
	105	100	Глина		95		85	Известняк	
Скв. 5 (слева) 40 метров	127	115	Оп. грунт		Скв. 5 (справа) 50 метров		85	80	Глина
	115	105	Известняк				116	95	Оп. грунт
	105	100	Глина	95			85	Известняк	
Скв. 6 (слева) 60 метров	125	112	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 60 метров			85	80	Глина
	112	105	Известняк				115	92	Оп. грунт
	105	100	Глина				92	85	Известняк
Скв. 7 (слева) 70 метров	128	115	Оп. грунт			Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина
	115	105	Известняк				105	86	Оп. грунт
	105	100	Глина				86	85	Известняк
Скв. 8 (слева) 85 метров	122	115	Оп. грунт				Скв. 8 (справа) 82 метров	85	80
	115	105	Известняк		92			86	Оп. грунт
	105	100	Глина		86			85	Известняк
Скв. 9 (слева) 90 метров	106	105	Оп. грунт		Скв. 9 (справа) 90 метров			85	80
	105	100	Глина	85				80	Глина
				92				86	Оп. грунт
Вариант 7		Вариант 8						86	85
c	1,3 тс/м²	c	1 тс/м²			85		80	Глина
φ	10°	φ	8°			86		85	Оп. грунт
γ	1,7 тс/м³	γ	1,65 тс/м³			85		80	Глина

Вариант 9	Слой (в абс. отметках):			Вариант 10	Слой (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	155	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	140	135	Супесь
	137	122	Песок		135	130	Суглинок
	122	115	Мергель		130	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 2 (слева) 10 метров	145	135	Суглинок	Скв. 2 (справа) 5 метров	95	85	Известняк
	135	122	Песок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		132	130	Суглинок
	114	103	Известняк		130	115	Песок
	103	100	Глина		115	105	Песчаник
Скв. 3 (слева) 12 метров	135	133	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 8 метров	105	95	Мергель
	133	115	Мергель		95	85	Известняк
	115	106	Известняк		85	80	Глина
	106	100	Глина		118	115	Оп. грунт
Скв. 4 (слева) 20 метров	133	116	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 15 метров	115	105	Песчаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Известняк		95	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Скв. 5 (слева) 35 метров	128	115	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 40 метров	117	105	Оп. грунт
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 6 (слева) 60 метров	125	112	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 60 метров	85	80	Глина
	112	105	Известняк		116	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 7 (слева) 70 метров	105	100	Глина	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина
	122	115	Оп. грунт		115	92	Оп. грунт
	115	105	Известняк		92	85	Известняк
Скв. 8 (слева) 85 метров	105	100	Глина	Скв. 8 (справа) 80 метров	85	80	Глина
	121	115	Оп. грунт		110	92	Оп. грунт
	115	105	Известняк		92	85	Известняк
Скв. 9 (слева) 90 метров	105	100	Глина	Скв. 9 (справа) 90 метров	85	80	Оп. грунт
	123	105	Оп. грунт		108	90	Оп. грунт
Вариант 9		Вариант 10		Скв. 8 (справа) 80 метров	86	85	Известняк
c	1,4 тс/м²	c	1,3 тс/м²		85	80	Глина
φ	7°	φ	8°	Скв. 9 (справа) 90 метров	86	85	Оп. грунт
γ	1,7 тс/м³	γ	1,5 тс/м³		85	80	Глина

Вариант 11	Слои (в абс. отметках):			Вариант 12	Слои (в абс. отметках):			
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта	
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	138	135	Супесь	
	137	122	Песок		135	130	Суглинок	
	122	115	Мергель		130	115	Песок	
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
139	135	Суглинок	95		85	Известняк		
Скв. 2 (слева) 3 метра	135	122	Песок		Скв. 2 (справа) 3 метров	85	80	Глина
	122	114	Мергель	137		131	Суглинок	
				131		115	Песок	
	114	103	Известняк	115		105	Песчаник	
	103	100	Глина	105		95	Мергель	
Скв. 3 (слева) 7 метров	125	123	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 10 метров		95	85	Известняк
	123	115	Мергель			85	80	Глина
	115	106	Известняк		125	122	Оп. грунт	
	106	100	Глина		122	105	Песчаник	
Скв. 4 (слева) 20 метров	122	116	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 15 метров	105	95	Мергель	
	116	115	Мергель		95	85	Известняк	
	115	105	Известняк		85	80	Глина	
	105	100	Глина		120	95	Оп. грунт	
Скв. 5 (слева) 35 метров	124	115	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 40 метров	95	85	Известняк	
	115	105	Известняк		85	80	Глина	
	105	100	Глина		115	92	Оп. грунт	
Скв. 6 (слева) 50 метров	125	112	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 60 метров	92	85	Известняк	
	112	105	Известняк		85	80	Глина	
	105	100	Глина		110	92	Оп. грунт	
Скв. 7 (слева) 70 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	92	85	Известняк	
	115	105	Известняк		85	80	Глина	
	105	100	Глина		108	90	Оп. грунт	
Скв. 8 (слева) 85 метров	121	115	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 80 метров	86	85	Известняк	
	115	105	Известняк		85	80	Глина	
	105	100	Глина		109	91	Оп. грунт	
Скв. 9 (слева) 90 метров	123	105	Оп. грунт	Скв. 9 (справа) 90 метров	91	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Вариант 11		Вариант 12						
c	1,1 тс/м²	c	1,4 тс/м²					
φ	7°	φ	8°					
γ	1,8 тс/м³	γ	1,75 тс/м³					

Вариант 13	Слои (в абс. отметках):			Вариант 14	Слои (в абс. отметках):			
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта	
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	138	136	Супесь	
	137	122	Песок		136	133	Суглинок	
	122	115	Мергель		133	115	Песок	
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
Скв. 2 (слева) 10 метров	139	135	Суглинок		Скв. 2 (справа) 3 метров	95	85	Известняк
	135	122	Песок			85	80	Глина
	122	114	Мергель	137		136	Суглинок	
	114	103	Известняк	136		115	Песок	
	103	100	Глина	115		105	Песчаник	
Скв. 3 (слева) 20 метров	138	135	Суглинок	Скв. 3 (справа) 5 метров		105	95	Мергель
	135	122	Песок			95	85	Известняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина	
	115	106	Известняк		127	115	Оп. грунт	
Скв. 4 (слева) 20 метров	106	100	Глина		Скв. 4 (справа) 15 метров	115	105	Песчаник
	122	116	Оп. грунт			105	95	Мергель
	116	115	Мергель			105	85	Известняк
	115	105	Известняк	95		80	Глина	
Скв. 5 (слева) 35 метров	105	100	Глина	Скв. 5 (справа) 40 метров	124	105	Оп. грунт	
	125	112	Оп. грунт		124	105	Оп. грунт	
	112	105	Известняк		105	95	Мергель	
Скв. 6 (слева) 50 метров	105	100	Глина	Скв. 6 (справа) 60 метров	95	85	Известняк	
	125	112	Оп. грунт		85	80	Глина	
Скв. 7 (слева) 70 метров	112	105	Известняк		Скв. 7 (справа) 75 метров	120	95	Оп. грунт
	105	100	Глина	95		85	Известняк	
	122	115	Оп. грунт	85		80	Глина	
Скв. 8 (слева) 85 метров	115	105	Известняк	Скв. 8 (справа) 80 метров	115	92	Оп. грунт	
	105	100	Глина		92	85	Известняк	
	121	115	Оп. грунт		85	80	Глина	
Скв. 9 (слева) 90 метров	115	105	Известняк	Скв. 9 (справа) 90 метров	114	92	Оп. грунт	
	105	100	Глина		92	85	Известняк	
	118	115	Оп. грунт		85	80	Глина	
Вариант 13			Вариант 14			113	90	Оп. грунт
с	1,25 тс/м ²	с	1,3 тс/м ²	Скв. 9 (справа) 90 метров	86	85	Известняк	
φ	12°	φ	11°		85	80	Глина	
γ	1,6 тс/м ³	γ	1,8 тс/м ³		110	91	Оп. грунт	
					91	85	Известняк	
					85	80	Глина	

Вариант 15	Слой (в абс. отметках):			Вариант 16	Слой (в абс. отметках):			
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта	
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	145	142	Супесь	
	137	122	Песок		142	140	Суглинок	
	122	115	Мергель		140	115	Песок	
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
Скв. 2 (слева) 30 метров	139	135	Суглинок		Скв. 2 (справа) 23 метров	95	85	Известняк
	135	122	Песок			85	80	Глина
	122	114	Мергель	143		136	Суглинок	
				136		115	Песок	
	114	103	Известняк	115		105	Песчаник	
103	100	Глина	105	95		Мергель		
Скв. 3 (слева) 35 метров	125	122	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 25 метров		95	85	Известняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина	
	115	106	Известняк		127	115	Оп. грунт	
	106	100	Глина		115	105	Песчаник	
Скв. 4 (слева) 20 метров	122	116	Оп. грунт		105	95	Мергель	
	116	115	Мергель		105	95	Мергель	
	115	105	Известняк		95	85	Известняк	
	105	100	Глина	85	80	Глина		
Скв. 5 (слева) 35 метров	124	115	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 35 метров	124	105	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		105	95	Мергель	
	105	100	Глина		95	85	Известняк	
Скв. 6 (слева) 50 метров	125	112	Оп. грунт		85	80	Глина	
	112	105	Известняк	Скв. 5 (справа) 40 метров	120	95	Оп. грунт	
	105	100	Глина		95	85	Известняк	
			85		80	Глина		
Скв. 7 (слева) 70 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 60 метров	115	92	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		92	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Скв. 8 (слева) 85 метров	121	115	Оп. грунт		Скв. 7 (справа) 75 метров	114	92	Оп. грунт
	115	105	Известняк	92		85	Известняк	
	105	100	Глина	85		80	Глина	
Скв. 9 (слева) 90 метров	122	118	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 80 метров		113	90	Оп. грунт
	118	105	Известняк		86	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Вариант 15			Вариант 16					
с	1,3 тс/м ²	с	1,1 тс/м ²	Скв. 9 (справа) 90 метров	114	91	Оп. грунт	
φ	11°	φ	12°		91	85	Известняк	
γ	1,6 тс/м ³	γ	1,8 тс/м ³		85	80	Глина	

Вариант 17	Слои (в абс. отметках):			Вариант 18	Слои (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	138	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	145	142	Супесь
	137	122	Песок		142	140	Суглинок
	122	115	Мергель		140	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
Скв. 2 (слева) 20 метров	139	135	Суглинок	Скв. 2 (справа) 25 метров	95	85	Известняк
	135	122	Песок		85	80	Глина
	122	114	Мергель		143	136	Суглинок
					136	115	Песок
	114	103	Известняк		115	105	Песчаник
Скв. 3 (слева) 22 метров	103	100	Глина	Скв. 3 (справа) 35 метров	105	95	Мергель
	125	122	Оп. грунт		95	85	Известняк
	122	115	Мергель		85	80	Глина
	115	106	Известняк		142	134	Суглинок
Скв. 4 (слева) 30 метров	106	100	Глина	Скв. 4 (справа) 38 метров	134	115	Песок
	122	116	Оп. грунт		115	105	Песчаник
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Известняк		95	85	Известняк
Скв. 5 (слева) 35 метров	105	100	Глина	Скв. 5 (справа) 40 метров	85	80	Глина
	124	115	Оп. грунт		124	105	Оп. грунт
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
Скв. 6 (слева) 50 метров	105	100	Глина	Скв. 6 (справа) 60 метров	95	85	Известняк
	125	112	Оп. грунт		85	80	Глина
	112	105	Известняк		120	95	Оп. грунт
Скв. 7 (слева) 70 метров	105	100	Глина	Скв. 7 (справа) 75 метров	95	85	Известняк
	122	115	Оп. грунт		85	80	Глина
	115	105	Известняк		115	92	Оп. грунт
Скв. 8 (слева) 85 метров	105	100	Глина	Скв. 8 (справа) 80 метров	92	85	Известняк
	123	115	Оп. грунт		85	80	Глина
	115	105	Известняк		114	92	Оп. грунт
Скв. 9 (слева) 90 метров	105	100	Глина	Скв. 9 (справа) 90 метров	92	85	Известняк
	124	118	Оп. грунт		85	80	Глина
	118	105	Известняк		115	90	Оп. грунт
Вариант 17			Вариант 18				
с	1,2 тс/м ²	с	1,0 тс/м ²	Скв. 9 (справа) 90 метров	85	80	Глина
φ	13°	φ	13°		116	91	Оп. грунт
γ	1,6 тс/м ³	γ	1,8 тс/м ³		91	85	Известняк
				85	80	Глина	

Вариант 19	Слои (в абс. отметках):			Вариант 20	Слои (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	138	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	145	142	Супесь
	137	122	Песок		142	140	Суглинок
	122	115	Мергель		140	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
139	135	Суглинок	95		85	Известняк	
Скв. 2 (слева) 20 метров	135	122	Песок	Скв. 2 (справа) 25 метров	85	80	Глина
	122	114	Мергель		143	136	Суглинок
					136	115	Песок
	114	103	Известняк		115	105	Песчаник
	103	100	Глина		105	95	Мергель
138	135	Суглинок	95		85	Известняк	
Скв. 3 (слева) 40 метров	135	122	Песок	Скв. 3 (справа) 50 метров	85	80	Глина
	122	115	Мергель		142	134	Суглинок
	115	106	Известняк		134	115	Песок
	106	100	Глина		115	105	Песчаник
122	116	оп. грунт	105		95	Мергель	
116	115	Мергель	105		95	Мергель	
Скв. 4 (слева) 42 метров	115	105	Известняк	Скв. 4 (справа) 52 метров	95	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
	121	115	оп. грунт		124	105	Оп. грунт
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
105	100	Глина	95		85	Известняк	
120	112	оп. грунт	85		80	Глина	
Скв. 5 (слева) 45 метров	112	105	Известняк	Скв. 5 (справа) 65 метров	120	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
	120	112	оп. грунт		85	80	Глина
Скв. 6 (слева) 50 метров	112	105	Известняк	Скв. 6 (справа) 70 метров	115	92	Оп. грунт
	105	100	Глина		92	85	Известняк
	122	115	оп. грунт		85	80	Глина
Скв. 7 (слева) 70 метров	115	105	Известняк	Скв. 7 (справа) 75 метров	114	92	Оп. грунт
	105	100	Глина		92	85	Известняк
	123	115	оп. грунт		85	80	Глина
Скв. 8 (слева) 85 метров	115	105	Известняк	Скв. 8 (справа) 80 метров	115	90	Оп. грунт
	105	100	Глина		86	85	Известняк
	120	118	оп. грунт		85	80	Глина
Скв. 9 (слева) 90 метров	118	105	Известняк	Скв. 9 (справа) 90 метров	115	90	Оп. грунт
	105	100	Глина		86	85	Известняк
	120	118	оп. грунт		85	80	Глина
Вариант 19			Вариант 20				
с	1,2 тс/м ²	с	1,0 тс/м ²	Скв. 9 (справа) 90 метров	116	91	Оп. грунт
φ	13°	φ	13°		91	85	Известняк
γ	1,6 тс/м ³	γ	1,8 тс/м ³		85	80	Глина

Вариант 21	Слои (в абс. отметках):			Вариант 22	Слои (в абс. отметках):			
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта	
Скв. 1 (слева) 0 метров	138	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	145	142	Супесь	
	137	122	Песок		142	140	Суглинок	
	122	115	Мергель		140	115	Песок	
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
139	135	Суглинок	95		85	Известняк		
Скв. 2 (слева) 40 метров	135	122	Песок		85	80	Глина	
	122	114	Мергель	143	136	Суглинок		
				136	115	Песок		
	114	103	Известняк	115	105	Песчаник		
	103	100	Глина	105	95	Мергель		
Скв. 3 (слева) 60 метров	138	135	Суглинок	Скв. 2 (справа) 15 метров	95	85	Известняк	
	135	122	Песок		85	80	Глина	
	122	115	Мергель		142	134	Суглинок	
	115	106	Известняк		134	115	Песок	
	106	100	Глина		115	105	Песчаник	
Скв. 4 (слева) 62 метра	122	116	Оп. грунт	Скв. 3 (справа) 30 метров	105	95	Мергель	
	116	115	Мергель		105	95	Мергель	
	115	105	Известняк		95	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Скв. 5 (слева) 75 метров	121	115	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 32 метров	124	105	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		105	95	Мергель	
	105	100	Глина		95	85	Известняк	
Скв. 6 (слева) 80 метров	120	112	Оп. грунт	Скв. 5 (справа) 45 метров	85	80	Глина	
	112	105	Известняк		120	95	Оп. грунт	
	105	100	Глина		95	85	Известняк	
Скв. 7 (слева) 82 метра	122	115	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 70 метров	85	80	Глина	
	115	105	Известняк		115	92	Оп. грунт	
	105	100	Глина		92	85	Известняк	
Скв. 8 (слева) 85 метров	123	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина	
	115	105	Известняк		114	92	Оп. грунт	
	105	100	Глина		92	85	Известняк	
Скв. 9 (слева) 90 метров	120	118	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 80 метров	85	80	Глина	
	118	105	Известняк		115	90	Оп. грунт	
	105	100	Глина		86	85	Известняк	
Вариант 21			Вариант 22			85	80	Глина
с	1,4 тс/м ²	с	1,2 тс/м ²	Скв. 9 (справа) 90 метров	116	91	Оп. грунт	
φ	14°	φ	13°		91	85	Известняк	
γ	1,6 тс/м ³	γ	1,9 тс/м ³		85	80	Глина	

Вариант 23	Слои (в абс. отметках):			Вариант 24	Слои (в абс. отметках):			
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта	
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	144	143	Супесь	
	137	122	Песок		143	140	Суглинок	
	122	115	Мергель		140	115	Песок	
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник	
	105	100	Глина		105	95	Мергель	
139	135	Суглинок	95		85	Известняк		
Скв. 2 (слева) 30 метров	135	122	Песок	Скв. 2 (справа) 20 метров	85	80	Глина	
	122	114	Мергель		143	140	Суглинок	
					140	115	Песок	
	114	103	Известняк		115	105	Песчаник	
	103	100	Глина		105	95	Мергель	
138	135	Суглинок	95		85	Известняк		
Скв. 3 (слева) 50 метров	135	122	Песок	Скв. 3 (справа) 40 метров	85	80	Глина	
	122	115	Мергель		142	140	Суглинок	
	115	106	Известняк		140	115	Песок	
	106	100	Глина		115	105	Песчаник	
130	116	Оп. грунт	105		95	Мергель		
116	115	Мергель	105		95	Известняк		
Скв. 4 (слева) 55 метров	115	105	Известняк	95	85	Известняк		
	105	100	Глина	85	80	Глина		
	125	115	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 45 метров	135	105	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		105	95	Мергель	
105	100	Глина	95		85	Известняк		
120	112	Оп. грунт	85		80	Глина		
Скв. 5 (слева) 65 метров	112	105	Известняк	Скв. 5 (справа) 55 метров	130	95	Оп. грунт	
	105	100	Глина		95	85	Известняк	
	120	112	Оп. грунт		85	80	Глина	
Скв. 6 (слева) 80 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 70 метров	115	92	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		92	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Скв. 7 (слева) 82 метра	123	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	114	92	Оп. грунт	
	115	105	Известняк		92	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Скв. 8 (слева) 85 метров	120	118	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 80 метров	115	90	Оп. грунт	
	118	105	Известняк		86	85	Известняк	
	105	100	Глина		85	80	Глина	
Скв. 9 (слева) 90 метров	Вариант 23		Вариант 24		Скв. 9 (справа) 90 метров	116	91	Оп. грунт
	с	1,1 тс/м ²	с	1,2 тс/м ²		91	85	Известняк
	φ	14°	φ	13°		85	80	Глина
	γ	1,7 тс/м ³	γ	1,8 тс/м ³				

Вариант 25	Слои (в абс. отметках):			Вариант 26	Слои (в абс. отметках):		
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	137	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	144	143	Супесь
	137	122	Песок		143	140	Суглинок
	122	115	Мергель		140	115	Песок
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник
	105	100	Глина		105	95	Мергель
139	138	Суглинок	95		85	Известняк	
Скв. 2 (слева) 20 метров	138	122	Песок		Скв. 2 (справа) 20 метров	85	80
	122	114	Мергель	143		140	Суглинок
				140		115	Песок
	114	103	Известняк	115		105	Песчаник
	103	100	Глина	105		95	Мергель
138	137	Суглинок	95	85		Известняк	
Скв. 3 (слева) 40 метров	137	122	Песок	Скв. 3 (справа) 40 метров		85	80
	122	115	Мергель		142	140	Суглинок
	115	106	Известняк		140	115	Песок
	106	100	Глина		115	105	Песчаник
Скв. 4 (слева) 45 метров	133	116	Оп. грунт		105	95	Мергель
	116	115	Мергель		105	95	Мергель
	115	105	Известняк		95	85	Известняк
	105	100	Глина	85	80	Глина	
Скв. 5 (слева) 55 метров	130	115	Оп. грунт	Скв. 4 (справа) 45 метров	135	105	Оп. грунт
	115	105	Известняк		105	95	Мергель
	105	100	Глина		95	85	Известняк
Скв. 6 (слева) 70 метров	120	112	Оп. грунт		85	80	Глина
	112	105	Известняк	Скв. 5 (справа) 55 метров	130	95	Оп. грунт
	105	100	Глина		95	85	Известняк
85	80	Глина	85		80	Глина	
Скв. 7 (слева) 80 метров	122	115	Оп. грунт	Скв. 6 (справа) 70 метров	115	92	Оп. грунт
	115	105	Известняк		92	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Скв. 8 (слева) 85 метров	123	115	Оп. грунт	Скв. 7 (справа) 75 метров	114	92	Оп. грунт
	115	105	Известняк		92	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Скв. 9 (слева) 90 метров	120	118	Оп. грунт	Скв. 8 (справа) 80 метров	115	90	Оп. грунт
	118	105	Известняк		86	85	Известняк
	105	100	Глина		85	80	Глина
Вариант 25		Вариант 26		Скв. 9 (справа) 90 метров	116	91	Оп. грунт
c	1,2	c	1,4 тс/м²		91	85	Известняк
φ	11°	φ	11°		85	80	Глина
γ	1,7	γ	1,7 тс/м³				

Вариант 27	Слои (в абс. отметках):			Вариант 28	Слои (в абс. отметках):				
	Начало	Подошва	Описание грунта		Начало	Подошва	Описание грунта		
Скв. 1 (слева) 0 метров	140	139	Суглинок	Скв. 1 (справа) 0 метров	144	143	Супесь		
	139	122	Песок		143	140	Суглинок		
	122	115	Мергель		140	115	Песок		
	115	105	Известняк		115	105	Песчаник		
	105	100	Глина		105	95	Мергель		
Скв. 2 (слева) 10 метров	139	138	Суглинок		95	85	Известняк		
	138	122	Песок		85	80	Глина		
	122	114	Мергель	143	140	Суглинок			
				140	115	Песок			
	114	103	Известняк	115	105	Песчаник			
Скв. 3 (слева) 40 метров	103	100	Глина	105	95	Мергель			
	138	137	Суглинок	95	85	Известняк			
	135	122	Песок	85	80	Глина			
	122	115	Мергель	142	140	Суглинок			
	115	106	Известняк	140	115	Песок			
Скв. 4 (слева) 42 метра	106	100	Глина	Скв. 3 (справа) 20 метров	115	105	Песчаник		
	132	122	Оп. грунт		105	95	Мергель		
	122	115	Мергель		95	85	Известняк		
	115	105	Известняк		85	80	Глина		
Скв. 5 (слева) 65 метров	105	100	Глина	Скв. 4 (справа) 22 метров	132	130	Оп. грунт		
					130	105	Песок		
	120	112	Оп. грунт		105	95	Мергель		
	112	105	Известняк		95	85	Известняк		
Скв. 6 (слева) 80 метров	105	100	Глина	Скв. 5 (справа) 45 метров	85	80	Глина		
					130	95	Оп. грунт		
					95	85	Известняк		
Скв. 7 (слева) 82 метра				Скв. 6 (справа) 70 метров	85	80	Глина		
	122	115	Оп. грунт		115	92	Оп. грунт		
	115	105	Известняк		92	85	Известняк		
Скв. 8 (слева) 85 метров	105	100	Глина	Скв. 7 (справа) 75 метров	85	80	Глина		
	123	115	Оп. грунт		114	92	Оп. грунт		
	115	105	Известняк		92	85	Известняк		
Скв. 9 (слева) 90 метров	105	100	Глина	Скв. 8 (справа) 80 метров	85	80	Глина		
	120	118	Оп. грунт		115	90	Оп. грунт		
	118	105	Известняк		86	85	Известняк		
Вариант 27			Вариант 28			Скв. 9 (справа) 90 метров	85	80	Глина
c	1,3 тс/м²	c	1 тс/м²				116	91	Оп. грунт
φ	12°	φ	13°				91	85	Известняк
γ	1,7 тс/м³	γ	1,9 тс/м³			85	80	Глина	

Учебное издание

Стародубцев Виктор Сергеевич

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОДИНАМИКА

Учебное пособие для вузов

Редактор И.Г. Вальнкина

Подписано в печать 23.07.08. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,6.
Тираж 100 экз. Заказ 781.

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. 208-298, 598-026 (факс)
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: pp_center@ppc.vsu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3. Тел. 204-133