

О суточном ходе температуры в почве на разных глубинах в Екатеринбурге.

Директора Екатеринбургской обсерватории Г. Ф. Абельса.

В В Е Д Е Н И Е.

Наблюдения над температурою почвы на разных глубинах произведены при Екатеринбургской Обсерватории по трем сериям приборов, а именно:

1. Первая серия приборов. В 1880 году прежний заведующий Обсерваториею, О. Е. Клер, вставил в почву, близ нашей нормальной психрометрической будки, 4 термометра, глубины которых при поверке! произведенной мною в 1885 году, оказались равными 35, 80, 160 и 300 сантиметрам. Установка их была Ламоновская, т. е. в почву погрузили деревянные желоба, в которые вставляли деревянные же палки с термометрами. Пятый термометр лежал на поверхности земли.

Осенью 1900 года заменили деревянные желоба эбонитовыми трубами и установили еще один термометр на глубине 0.2. С этого времени глубина термометров была следующая

0.00, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60 и 3.20 метр.

Грунт в этом месте состоит почти из сплошного камня, змеевика, впрочем сильно растресканного. Встречаются здесь только некоторые незначительные прослойки земли, образовавшиеся без сомнения от выветривания змеевика.

Для установки термометров была выдолблена яма диаметром наверху немного больше одного метра. Внизу она была еще уже. По установке термометров это яма заполнялась обломками камня.

Место этих термометров зимою очищалось от снега на пространстве приблизительно в 11×11 квадратных метров. Летом здесь не росла трава.

Ежемесячные выводы из этих наблюдений опубликованы за годы 1880—86 в Метеорологическом сборнике т. XI, статья № 4, и за следующие годы в Летописях Главной Физической Обсерватории. За годы 1912—16 эти наблюдения напечатаны полностью.

2. Вторая серия почвенных термометров, также заключенных в эбонитовых трубах, была установлена в августе 1900 года с целью

наблюдать температуру почвы при естественных условиях, т. е. место этих приборов не очищалось зимою от снега и летом от травы. Чтобы наблюдатель не затапывал траву или снег, рядом с приборами, установленными по направлению с востока на запад, на северной их стороне был устроен мостик, стоя на котором наблюдатель делал свои отсчеты. Трубы этих термометров возвышаются над поверхностью земли на один метр.

Поверхность земли у второй серии приборов на 2,3 метра ниже чем у первой серии. Расстояние между ними 27 метров.

Еще нужно указать на некоторые недостатки в установке второй серии приборов: во первых почва оказалась не однородною, а именно она состоит в этом месте, приблизительно до глубины в 20 сантиметров, из чернозема; затем следует до глубины от 37 до 60 сантиметров, глина и песок, к которым примешаны мелкие камни, и, наконец, щебень и крупные камни, или сплошная скала. Во вторых, поверхность земли у этих термометров лишь метра на 4 довольно ровная, за тем же она, к северу и югу, возвышается. На расстоянии 10 метров от среднего термометра почва выше, чем у термометров, в северном направлении на 78 см., к югу на 38 см. По направлению же с запада на восток поверхность земли почти ровная. (Более подробное описание неровностей почвы дано в Летописях за 1901 год.).

Для измерения глубины снега нанесли деления, в сантиметрах, на эбонитовых трубах двух крайних термометров. Отсчеты по этим делениям производились, зимою, утром каждого дня.

Глубины этих термометров под поверхностью земли были те же, как у первой серии приборов, а именно 0.00, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60 и 3.20 метра.

Ежемесячные выводы также и этих наблюдений напечатаны в Летописях Главной Физической Обсерватории.

3. Третья серия почвенных приборов. Желая исследовать также и ход температуры в чистом песке, хотя только в верхних его слоях, я приступил к устройству этих наблюдений в 1896 году. Для этой цели была выстроена на дворе Обсерватории круглая ограда диаметром в 9,8 метра и наполнена песком, образовавшимся от выветривания гранита. Глины к этому песку, взятому из озера Шарташа, не было примешено.

Так как в этом песке встречались также и небольшие гальки, то все количество песку было просеяно, причем оставшиеся в сите более крупные части отбрасывались ближе к ограде, а середина насыпи наполнялась мелкозернистым песком. Большая часть этого песку была пылеобразная, но встречались здесь также и крупинки в 1—2—3—4 мм. и весьма немного более крупных размеров.

Вследствие неровностей почвы глубина насыпи не была всюду одинаковая, а именно она равнялась на севере 0,5 метра, на юге 1,1 м., на востоке 0,9 м., на западе 0,8, а в середине, где были установлены термометры, 0,6 м.

Термометры были установлены на глубинах 0.00, 0.05 0.10, 0.20 и 0.40 метра. Первый из них лежал горизонтально на поверхности, погруженный в песок до половины шарика. Следующие три термометра были вставлены в песок в наклонном положении, чтобы было удобнее производить отсчеты, а термометр на глубине 0.40 метра стоял вертикально в эбонитовой оправе.

Наблюдения по этой серии приборов производились только в летнее время, с 1 июня до 30 сентября. Окончились они в 1911 году.

По всем термометрам, установленным до глубины 0.2 метра, отсчеты производились ежедневно, днем и ночью, но не в одно и то же время, а именно: наблюдения по первым двум сериям приборов производились минуты за 2—3 до полного часа, а по термометрам, установленным в песке лишь спустя 15 минут после каждого полного часа по местному времени.

Термометры на глубине 0.4 метра отсчитывались восемь раз в сутки, а именно в 1ч., 4ч., 7ч., 10ч., 13ч., 16ч., 19ч. и 22 часа. Более же глубокие термометры (первых двух серий приборов) наблюдались только один раз в сутки, в 13 часов, так как наблюдения, произведенные в течение трех лет по термометру на глубине 0.8 м. первой серии приборов показали, что уже на этой глубине не обнаруживается и следа суточного хода температуры.

О количестве воды в песке.

Так как естественно было предположить, что теплопроводность песка должна находиться в зависимости от количества находящейся в нем воды, то мы старались определять, всего 11 раз, также и степень влажности песка. Для этой цели вынимались пробы его из нашей насыпи, взвешивались в первый раз немедленно и затем еще раз после того, как они высыхали. Эти пробы брались всегда при помощи отточенного медного цилиндра из глубин 0—5 см., 5—10 см., и 10—20 см. Кроме того я довольно часто измерял, до какой глубины песок вполне высыхал в сухую погоду. Наконец я еще насыпал песок, взятый, конечно, с той же насыпи, в цилиндрический деждемерный стакан, нижний конец которого был отделен вставленной пластинкой, чтобы наблюдать, каким образом входит в песок налитая на него вода.

Результаты этих измерений, которые я, за недостатком разрешенного для настоящей работы места, не могу привести полностью, были следующие:

Количество находящейся в песке воды меняется в зависимости от условий погоды. Но песок вполне высыхает лишь до небольшой глубины. Только в весьма жарком и сухом июле 1901 года я раз нашел песок нашей насыпи вполне высохшим до глубины в 65 мм. В другие годы эта глубина не превышала 55 мм. При этом нужно отметить, что вода входит в землю и испаряется из нее не вполне равномерно. Очевидно плотность песка не одинакова. Рыхлый

песок может поместить в себе больше влаги, чем плотный песок. Например песок, удельный вес которого был 1,47 содержал при насыщении его водою в одном кубическом сантиметре 0.40 гр. воды. А когда вес одного кубического см. сухого песку равнялся 1,67 граммам, то в нем поместилось лишь 0.32 гр. воды.

При измерениях влаги в нашей насыпи получился следующий результат:

В слое	0—5 см.	5—10	10—20
Вес 1 куб. см сухого песку в			
среднем выводе	1,607	1,648	1,638 грам.
В нем воды	0,031	0,056	0,069 грам.

Крайние величин:

Вес 1 куб. см. сухого песку	1,724	1,708	1,631
В нем воды	0,000	0,045	0,050
Вес 1 куб: см, сухого песку	1,567	1,638	1,638
Воды в нем	0,079	0,066	0,081

Из этих данных мы заключаем, что как плотность песка, так и количество находящейся в нем воды меняется сильнее всего в верхних 5 см. в которых в общем песок и рыхлее, чем в более глубоких его слоях.

Вот почему нужно предположить, что и теплопроводность песка должна меняться особенно сильно в верхнем слое. Подтверждающие это предположение числовые данные будут даны ниже. Разрыхляется почва в особенности от действия мороза, так как лед имеет больший об'ем, чем вода, из которой он образовался.

Из этих опытов получился еще тот результат, что насыщенный водою песок пропускает воду весьма медленно. Столб песка высотой в 118 мм. и поперечным сечением в 30 кв. см. пропустил в течение 11 дней лишь 15 куб. см. воды, хотя все время над песком стояла вода.

Средние ежемесячные величины из наблюдений над температурой песка.

Средние месячные величины из наблюдений над суточным ходом температуры песка на указанных выше глубинах даны в следующих таблицах. Для их вывода, правда, не удалось по некоторым причинам воспользоваться всеми имеющимися наблюдениями, а только наблюдениями шести лет 1901—1902 и 1908—11. Но и эти наблюдения дают плавные кривые.

Сутки считаются от полуночи = 0 часов до следующей полуночи = 24 часа. Суточные средние величины вычислены по формуле

$$\frac{1}{24} \left| \frac{0^h}{2} + 1^h + \dots + 23^h + \frac{24^h}{2} \right|$$

Суточный ход температуры почвы по наблюдениям 1901-2 и 1908-11 в отклонениях от среднего.

1. Температура песка.

	На глубине 0 см.				На глубине 5 см.				На глубине 10 см.			
	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Июнь	Июль	Авг.	Сент.
0h 15m	-8.52	7.92	-5.64	-3.99	-3.51	-3.20	-2.55	-1.72	-1.80	-1.40	-1.22	-0.73
1 "	-9.25	8.48	6.03	4.26	4.20	3.84	3.05	2.11	2.41	2.01	1.71	1.06
2 "	-9.74	8.99	6.42	4.49	4.84	4.40	3.45	2.29	2.99	2.53	2.14	1.34
3 "	-10.14	9.39	6.70	4.74	5.33	4.91	3.83	2.55	3.50	3.00	2.42	1.59
4 "	-10.17	9.51	6.94	4.90	5.77	5.30	4.14	2.77	3.99	3.45	2.84	1.83
5 "	-9.61	9.05	6.85	5.07	5.94	5.49	4.37	2.97	4.31	3.81	3.13	2.01
6 "	-6.93	7.48	6.15	4.94	5.56	5.28	4.35	3.24	4.41	3.94	3.33	2.21
7 "	-3.34	4.33	3.72	3.90	4.57	4.36	3.75	3.00	4.11	3.75	3.25	2.29
8 "	0.97	0.37	0.90	1.48	2.64	2.84	2.67	2.34	3.20	3.07	2.77	2.15
9 "	4.82	3.95	2.17	1.22	0.74	0.94	1.09	1.33	1.92	2.01	1.91	1.67
10 "	8.43	7.73	5.48	4.28	1.39	1.29	0.71	0.18	0.49	0.67	0.75	0.89
11 "	10.93	10.19	7.62	6.82	3.34	3.05	2.39	1.78	0.98	0.68	0.50	0.15
12 "	12.64	12.01	8.70	8.50	4.86	4.49	3.66	3.23	2.29	1.91	1.62	1.17
13 "	12.91	12.56	9.92	8.85	6.04	5.61	4.74	4.26	3.45	2.95	2.60	2.12
14 "	12.06	11.85	10.21	8.58	6.47	6.00	5.53	4.64	4.04	3.59	3.38	2.74
15 "	11.26	11.06	9.14	7.06	6.44	6.22	5.65	4.58	4.51	4.05	3.88	3.03
16 "	8.46	8.96	7.23	5.08	6.08	5.84	5.25	3.97	4.58	4.25	3.93	2.97
17 "	5.78	6.20	4.55	2.39	5.15	5.04	4.46	3.03	4.32	4.02	3.71	2.66
18 "	3.05	2.99	1.66	0.11	3.69	3.96	3.09	1.82	3.72	3.53	3.05	2.04
19 "	-0.61	0.43	0.83	1.64	2.62	2.50	1.73	0.72	2.97	2.75	2.23	1.31
20 "	-3.36	3.23	2.81	2.49	1.00	0.90	0.37	-0.10	2.01	1.83	1.32	0.67
21 "	-5.35	5.25	3.81	3.06	-0.36	0.48	-0.66	-0.75	0.98	0.88	0.47	0.16
22 "	-6.68	6.39	4.57	3.43	-1.57	-1.46	-1.44	-1.22	-0.01	-0.02	-0.22	-0.33
23 "	-7.69	7.31	5.19	4.01	-2.52	-2.53	-2.11	-1.69	-0.86	-0.80	-0.87	-0.71
24 "	-8.34	7.98	5.73	4.40	3.29	3.17	-2.70	-2.07	-1.57	-1.44	-1.38	-1.07
Средн.	20.34	22.27	16.86	9.96	18.64	21.08	16.31	9.98	18.11	20.65	16.19	10.09
	На глубину 20 см.				На глубину 40 см.							
0 15m	0.15	0.29	0.26	0.28	—	—	—	—				
1 "	-0.29	-0.11	-0.09	0.03	0.26	0.35	0.36	0.35				
2 "	-0.72	-0.53	-0.41	-0.19	—	—	—	—				
3 "	-1.10	-0.84	-0.74	-0.40	—	—	—	—				
4 "	1.48	1.22	1.04	0.60	0.06	0.13	0.18	0.19				
5 "	-1.92	-1.56	-1.24	-0.78	—	—	—	—				
6 "	-2.12	-1.85	-1.50	-0.95	—	—	—	—				
7 "	-2.33	-2.04	-1.68	-1.08	-0.23	-0.20	-0.12	-0.05				
8 "	-2.29	-2.10	-1.78	-1.22	—	—	—	—				
9 "	-2.08	-1.92	-1.72	-1.22	—	—	—	—				
10 "	-1.66	-1.59	-1.44	-1.09	-0.45	-0.39	-0.32	-0.19				
11 "	-1.07	-1.10	-1.02	-0.84	—	—	—	—				
12 "	-0.42	-0.49	-0.49	-0.57	—	—	—	—				
13 "	0.28	0.16	0.08	0.00	-0.40	-0.38	-0.35	-0.24				
14 "	0.94	0.72	0.65	0.47	—	—	—	—				
15 "	1.49	1.29	1.15	0.85	—	—	—	—				
16 "	1.91	1.70	1.55	1.19	-0.10	-0.12	-0.12	-0.09				
17 "	2.19	1.92	1.79	1.30	—	—	—	—				
18 "	2.29	2.09	1.87	1.33	—	—	—	—				
19 "	2.19	2.03	1.76	1.21	0.29	0.23	0.16	-0.04				
20 "	2.02	1.82	1.56	0.98	—	—	—	—				
21 "	1.73	1.52	1.21	0.72	—	—	—	—				
22 "	1.27	1.10	0.82	0.46	0.47	0.37	0.30	0.13				
23 "	0.82	0.68	0.48	0.21	—	—	—	—				
24 "	0.38	0.24	0.10	—	—	—	—	—				
Средн.	17.05	19.90	15.96	10.36	25.038	0.33	0.25	0.07				
					15.22	18.65	15.94	11.27				

2) Температура под оголенной поверхностью земли.

	На глубине 0 см.				На глубине 20 см.				На глубине 40 см.			
	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Июнь	Июль	Авг.	Сент.
0h	7.24	6.49	4.87	3.51	0.15	0.31	0.32	0.28	—	—	—	—
1	7.93	7.10	5.27	3.80	0.25	0.06	0.01	0.07	0.14	0.25	0.27	0.26
2	8.50	7.59	5.66	4.05	0.64	0.43	0.29	0.13	—	—	—	—
3	8.99	8.08	5.98	4.33	1.03	0.79	0.58	0.34	—	—	—	—
4	9.11	8.28	6.22	4.50	1.38	1.12	0.84	0.53	0.07	0.13	0.18	0.17
5	8.60	7.85	6.21	4.72	1.69	1.44	1.10	0.72	—	—	—	—
6	7.64	6.94	5.63	4.59	1.89	1.68	1.33	0.90	—	—	—	—
7	3.28	4.44	4.45	3.81	2.03	1.82	1.47	1.03	0.12	0.05	0.00	0.03
8	1.36	0.76	0.40	0.65	1.88	1.73	1.43	1.03	—	—	—	—
9	4.53	4.11	2.58	1.80	1.68	1.55	1.30	0.96	—	—	—	—
10	7.05	6.38	4.84	4.37	1.32	1.27	1.06	0.89	0.25	0.22	0.15	0.09
11	9.18	8.33	6.54	6.15	0.90	0.88	0.76	0.57	—	—	—	—
12	10.58	9.97	7.56	7.52	0.36	0.41	0.38	0.27	—	—	—	—
13	11.15	10.27	8.65	7.57	0.21	0.10	0.06	0.09	0.27	0.26	0.22	0.15
14	10.46	9.81	8.88	7.18	0.71	0.57	0.49	0.43	—	—	—	—
15	9.75	9.29	7.99	5.85	1.23	1.05	0.89	0.72	—	—	—	—
16	7.27	7.19	6.22	3.81	1.61	1.42	1.22	0.94	0.12	0.16	0.12	0.11
17	4.93	4.99	3.91	2.10	1.81	1.64	1.42	1.05	—	—	—	—
18	2.75	2.42	1.78	0.05	2.00	1.78	1.49	1.03	—	—	—	—
19	0.10	0.22	0.56	1.21	1.88	1.78	1.42	0.92	0.11	0.08	0.02	0.02
20	2.37	2.32	2.18	1.95	1.76	1.57	1.22	0.77	—	—	—	—
21	4.07	3.90	3.11	2.51	1.49	1.31	1.00	0.61	—	—	—	—
22	5.31	5.00	3.83	3.04	1.15	0.98	0.73	0.41	0.31	0.20	0.13	0.04
23	6.28	5.81	4.44	3.53	0.78	0.64	0.44	0.20	—	—	—	—
24	6.99	6.49	5.00	3.90	0.39	0.26	0.14	0.03	—	—	—	—
Сред.	20.25	22.21	16.97	10.08	17.50	20.70	16.72	11.13	25h0.38	0.23	0.11	0.01
									15.44	19.38	16.38	11.72

3) Температура под естественной поверхностью земли.

0ч	5.44	5.26	3.62	2.61	0.53	0.38	0.19	0.02	—	—	—	—
1	5.96	5.81	4.00	2.70	0.73	0.62	0.30	0.14	0.06	0.02	0.08	0.12
2	6.39	6.24	4.31	2.90	0.89	0.82	0.43	0.23	—	—	—	—
3	6.78	6.64	4.51	3.11	1.06	1.00	0.57	0.32	—	—	—	—
4	6.91	6.87	4.70	3.31	1.21	1.16	0.69	0.41	0.07	0.04	0.06	0.08
5	6.57	6.51	4.70	3.41	1.32	1.27	0.79	0.49	—	—	—	—
6	5.11	5.40	4.00	3.48	1.28	1.29	0.88	0.57	—	—	—	—
7	4.15	4.21	3.29	2.8	1.19	1.20	0.88	0.62	0.09	0.09	0.01	0.04
8	0.80	1.35	1.21	1.43	0.97	1.03	0.79	0.56	—	—	—	—
9	2.38	2.06	1.10	0.40	0.61	0.66	0.55	0.41	—	—	—	—
10	4.64	4.44	3.08	2.3	0.20	0.21	0.40	0.18	0.06	0.04	0.04	0.01
11	6.44	6.43	4.44	3.79	0.22	0.22	0.06	0.08	—	—	—	—
12	7.98	7.88	5.53	5.11	0.61	0.60	0.33	0.31	—	—	—	—
13	8.84	8.64	6.43	5.72	0.94	0.93	0.58	0.50	0.01	0.01	0.03	0.03
14	8.45	8.73	6.81	5.51	1.19	1.16	0.81	0.6	—	—	—	—
15	7.90	8.10	6.23	4.92	1.34	1.39	0.95	0.68	—	—	—	—
16	6.31	6.74	5.12	3.80	1.41	1.42	1.00	0.67	0.06	0.06	0.00	0.02
17	4.40	4.85	3.56	2.36	1.31	1.34	0.95	0.61	—	—	—	—
18	2.57	2.79	1.88	0.70	1.15	1.17	0.80	0.43	—	—	—	—
19	0.42	0.63	0.16	0.54	0.89	0.90	0.58	0.26	0.08	0.05	0.00	0.04
20	1.24	1.28	1.21	1.28	0.60	0.58	0.36	0.14	—	—	—	—
21	2.53	2.85	2.12	1.82	0.33	0.27	0.18	0.05	—	—	—	—
22	3.89	3.96	2.78	2.21	0.09	0.01	0.03	0.06	0.09	0.02	0.01	0.03
23	4.63	4.81	3.31	2.61	0.14	0.22	0.12	0.16	—	—	—	—
24	5.26	5.36	3.70	2.89	0.34	0.42	0.28	0.26	—	—	—	—
Сред.	16.87	19.66	15.48	9.62	13.75	16.96	14.75	10.52	25h0.10	0.02	0.02	0.05
									11.61	14.98	14.06	10.88

Сравнение средних месячных температур.

Приступая к выводу результатов из приведенных данных, сперва сопоставляю в следующих таблицах средние месячные температуры. Притом я к вышеприведенным за четыре месяца данным прибавлю еще и температуры других месяцев, конечно только по рядам наблюдений «под оголенной» и «под естественной» поверхностями земли. Эти средние величины выведены по наблюдениям тех же шести лет 1901—2 и 1908—11, к которым относятся и вышеприведенные данные.

Для краткости я буду обозначать
 через I—наблюдения в песке,
 .. II .. под оголенную поверхность земли,
 .. III .. естественную ..

а) на глубине 0 см.

	Я.	Ф.	М.	А.	М.	И.	И	А.	С.	О.	Н.	Д.	Год.
I	—	—	—	—	—	20°3	22°3	16°9	16°0	—	—	—	—
II	-16.9	-12.6	-6.2	5.8	12.4	20.3	22.2	17.0	10.1	0.0	-7.1	-14.2	2.6
III	-3.8	-3.2	-2.0	3.6	10.4	16.8	19.6	15.5	9.6	1.4	-2.6	-3.4	5.2

б) на глубине 20 см

I	—	—	—	—	—	17.0	19.9	16.0	10.4	—	—	—	—
II	-14.4	-11.8	-6.6	3.5	10.4	17.5	20.7	16.7	11.1	2.1	-4.2	-10.9	2.9
III	-1.9	-1.9	-1.2	1.6	8.0	13.8	17.0	14.8	10.5	3.6	0.2	-1.4	5.2

в) на глубине 40 см.

I	—	—	—	—	—	15.2	18.6	15.9	11.3	—	—	—	—
II	12.6	-10.8	-6.7	1.5	8.6	15.4	19.4	16.4	11.7	3.6	-2.0	-8.7	3.0
III	-0.8	-1.0	-0.8	1.0	6.6	11.6	15.0	14.1	10.9	5.0	1.2	-0.1	5.2

д) на глубине 80 см.

II	-8.8	-8.6	-6.2	-0.9	5.4	11.6	16.3	15.2	12.2	6.0	1.2	-4.5	3.2
III	0.6	0.2	0.0	0.7	4.9	9.4	12.8	13.1	11.2	6.7	3.3	1.5	5.4

е) на глубине 160 см.

II	-2.8	-4.5	-4.2	-1.9	1.3	6.4	11.2	12.5	11.5	8.2	4.4	0.8	3.6
III	2.4	1.7	1.3	1.2	3.2	6.5	9.7	11.0	10.6	8.2	5.3	3.3	5.4

ф) на глубине 320 см

II	2.8	1.5	0.2	-0.1	0.5	2.4	5.4	7.7	8.6	8.2	6.7	4.8	4.1
III	5.0	4.2	3.7	3.2	3.2	4.1	5.6	7.2	8.0	8.0	7.1	6.0	5.4

Для большей наглядности привожу еще разности приведенных чисел:

на глубине 0 см.

I—II	—	—	—	—	—	0.0	0.1	-0.1	-0.1	—	—	—	—
II—III	-13.1	-9.4	-4.2	2.2	2.0	3.5	2.6	1.5	0.5	-1.4	-4.5	-10.8	-2.6

на глубине 20 см

I—II	—	—	—	—	—	-0.5	-0.8	0.7	-0.7	—	—	—	—
II—III	-12.5	-9.9	-5.4	1.9	2.4	3.7	3.7	1.9	0.6	-1.5	-4.4	-9.5	-2.3

на глубине 40 см.

I—II	—	—	—	—	—	0.2	-0.8	-0.5	-0.4	—	—	—	—
II—III	-11.8	-9.8	-5.9	0.5	2.0	3.8	4.4	2.3	0.8	-1.4	-3.2	-8.6	-2.2

на глубине 80 см.

II—III	-9.4	-8.8	-6.2	-1.6	0.5	2.2	3.5	2.1	1.0	-0.7	-2.1	-6.0	-2.2
------------------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

на глубине 160 см.

II—III	-5.2	-6.2	-5.5	-3.1	-1.9	-0.1	1.5	1.5	0.9	0.0	-0.9	-2.5	-1.8
------------------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	------	------	------

на глубине 320 см

II—III	-2.2	-2.7	-3.5	-3.3	-2.7	-1.7	-0.2	0.5	0.6	0.2	-0.4	-1.2	-1.3
------------------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	------	------	------

По приведенным данным заключаем во-первых, что температура естественной поверхности земли зимою, под снеговым покровом, значительно выше, чем температура оголенной поверхности, в январе на 13 градусов. С глубиною под поверхностью земли эта разность температур мало-по-малу уменьшается.

Глубина снега у наших почвенных термометров была в среднем выводе за те же годы 1901-2 и 1908-11, для которых здесь выведены температуры, следующая, в сантиметрах:

	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Окт.	Нояб.	Дек.
Глубина снега	46	52	51	7	3	8	27 см.

Таким образом, благодаря защите слоя снега, имевшего глубину только в 46 см., на поверхности земли наблюдалась в январе температура, такая в каменистой почве под оголенной поверхностью земли встречается лишь на глубине около 160 см.

В летнее же время наоборот, оголенная земля нагревается солнечными лучами больше, чем земля, покрытая травой, потому что часть солнечной энергии тратится на образование растительного покрова и его развития, между тем как эта энергия, попадая на голую землю, идет почти вся на нагревание земли. Подобные же разности температуры встречаются также и на глубинах. Притом время наступления их максимумов и минимумов перемещается, благодаря тому обстоятельству, что теплопроводность почвы под нашею «естественной» поверхностью земли меньше, чем под «оголенной» поверхностью.

Сравнивая температуры песка с температурами каменистой почвы под «оголенной» поверхностью земли, замечаем, что средние температуры на поверхности этих почв одинаковы. Этому результату, вероятно, содействовало то обстоятельство, что мы на нашу оголенную поверхность посыпали немного песка, чтобы погрузить в землю лежащий здесь термометр до половины его шарика. На глубинах же 20 и 40 см. песок во все месяцы с июня по сентябрь холоднее, чем наша каменистая почва. Причина этого результата, вероятно, кроется в испарении воды, которой в песке больше, нежели в каменистой почве.

Привожу еще максимальные и минимальные величины температуры, наблюдавшиеся в течение упомянутых шести лет на разных глубинах почвы.

Средние максимальные температуры почвы.

На глубине	0 см.	20 см.	40 см.	80 см.	160 см.	320 см.
II. под оголенной поверхн. земли	49° 6	28° 4	23° 3	18° 0	13° 2	8° 8
III. » естествен. » »	41.5	21.9	16.8	14.0	11.3	8.2
Разность	8.1	6.5	6.5	4.0	1.9	0.6

Средние минимальные температуры почвы.

На глубине	0 см.	20 см.	40 см.	80 см.	160 см.	320 см.
II под оголенную поверх. земли	-33.0	-22.6	-16.5	-11.7	-5.2	-0.2
III » естеств. » »	-12.1	-4.4	-2.2	-0.3	1.1	3.0
Разность	-20.9	-18.2	-14.3	-11.4	-6.3	-3.2

Абсолютные максимумы и минимумы в течение тех же шести лет были следующие:

Абсолютные максимумы температуры почвы.

На глубине	0 см.	20 см.	40 см.	80 см.	160 см.	320 см.
II под оголенную поверхн. земли	51°.1	30°.5	25°.5	20°.0	14°.2	9°.4
III » естествен. » »	47.5	25.4	18.4	15.5	12.4	8.6
Разность	3.6	5.1	7.1	4.5	1.8	0.8

Абсолютные минимумы температуры почвы.

II под оголенной поверхн. земли	-36.6	-24.8	-19.8	-14.5	-7.0	-0.8
III » естествен. » »	-16.5	-8.3	-3.7	-1.7	0.4	2.5
Разность	-20.1	-16.5	-16.1	-12.8	-7.4	-3.3

На основании двух последних табличек получаются следующие амплитуды колебаний температуры.

Амплитуды колебаний температуры в почве.

II под оголен. поверхн. земли	87.7	55.3	45.3	34.5	21.2	10.2
III » естеств. » »	64.0	33.7	22.1	17.2	12.0	6.1
Разность	23.7	21.6	23.2	17.3	9.2	4.1

Приведенные величины максимумов и минимумов подтверждают высказанный уже выше, при разборе средних температур, результат, что температура земли, покрытой зимою снегом и летом травой, колеблется в значительно меньших пределах, чем оголенная земля. Мороз входит у нас в землю, защищенную снегом, в среднем выводе только до глубины одного метра, в исключительных случаях до полутора метра. В обнаженную же почву мороз обыкновенно проникает до глубины в три с четвертью метра, а иногда и до трех с половиной метров. Впрочем здесь играет роль не одна только защита снегового покрова, но и различие теплопроводности грунта, которая, как

ниже подробнее будет изложено, под нашей „естественной поверхностью земли“ значительно меньше, чем под „оголенной поверхностью“.

Наконец обращая внимание на величину средней годовой температуры на разных глубинах по обоим рядам наших наблюдений, находим, что она под естественной поверхностью земли, возрастает от поверхности земли до глубины 3,2 метр. только на $0,2^{\circ}$. Под оголенной же поверхностью земли наблюдения на поверхности дали среднюю температуру $2,6^{\circ}$, а на глубине 3,2 м. $4,1^{\circ}$. Разность $1,5^{\circ}$. Этот результат я склонен приписать недостатку наших наблюдений, а именно тому обстоятельству, что снег с места этих наблюдений отбрасывался недостаточно далеко в сторону и потому более высокая температура почвы под снегом оказала зимою свое влияние на соседнее место под „оголенную“ поверхностью земли.

Перехожу к разбору суточного хода температуры в почве.

Сравнение величин минимумов и максимумов суточного хода температуры и времен их наступления.

В следующих таблицах сопоставлены величины минимумов и максимумов температуры по суточному ее ходу, амплитуда ее колебаний, время наступления этих крайних величин, и кроме того еще время, когда температура достигает своей средней величины. До глубины 10 см. эти данные взяты непосредственно по выпечерявленным числам суточного хода температуры. Кривые же хода температуры на глубинах 20 и 40 см. предварительно должны были быть исправлены по отношению к годовому ходу температуры. Как известно, годовой ход, высказывающийся в том, что начало и конец кривой суточного хода не согласуются между собою, исправляется следующим образом:

Оставляя середину кривой, полдень, неизменной, передвигают начало и конец кривой на равные величины, т. е. на половину их разности, пока они не совпадают. При том промежуточные величины исправляются пропорционально их расстоянию от середины кривой.

Таким образом получились следующие данные:

Температура в песке.

МЕСЯЦЫ	Величина			Время наступления				Разность между временем наступления	
	Миним.	Макс.	Амплит.	Мин.	Средн.	Макс.	Средн.	Мин. и макс.	Средн. и сред.
								ч.	ч.
	1) на глубине 0 см.								
Июнь	10.17	33.25	23.08	3.8	8.0	12.9	19.0	9.1	11.0
Июль	12.76	34.83	22.07	4.0	8.2	13.0	19.0	9.0	10.8
Август	9.92	27.07	17.15	4.3	8.5	13.0	18.9	8.7	10.4
Сентябрь	4.89	18.81	13.92	5.4	8.8	13.2	18.2	7.8	9.4
	Средние			4.4	8.4	13.0	18.8	8.6	10.4
	2) на глубине 5 см.								
Июнь	12.70	25.11	12.41	5.2	9.6	14.8	21.0	9.6	11.4
Июль	15.59	27.08	11.49	5.4	9.5	15.0	20.6	9.6	11.1
Август	12.25	22.14	9.89	5.7	9.9	14.8	20.6	9.1	10.7
Сентябрь	6.74	14.56	7.82	6.2	10.1	14.8	20.2	8.8	10.1
	Средние			5.6	9.8	14.8	20.6	9.3	10.8
	3) на глубине 10 см.								
Июнь	13.70	22.69	8.99	6.0	10.6	16.0	22.2	10.0	11.6
Июль	16.71	24.90	8.19	6.0	10.7	16.2	22.2	10.2	11.5
Август	12.86	20.12	7.26	6.4	10.8	15.8	22.0	9.4	11.2
Сентябрь	7.86	13.12	5.32	7.2	11.2	15.6	21.6	8.4	11.4
	Средние			6.4	10.8	15.9	22.0	9.5	11.4
	4) на глубине 20 см.								
Июнь	14.77	19.28	4.51	7.5	12.9	18.6	24.6	11.1	11.7
Июль	17.79	22.00	4.21	8.0	13.0	18.6	24.7	10.6	11.7
Август	14.15	17.87	3.72	8.0	13.1	18.0	24.5	10.0	11.4
Сентябрь	9.09	11.77	2.68	8.5	13.0	17.6	24.5	9.1	11.5
	Средние			8.0	13.0	18.2	24.6	10.2	11.6
	5) на глубине 40 см.								
Июнь	14.78	15.65	0.87	11	17	23	29	12	12
Июль	18.26	18.99	0.73	11	17	23	29	12	12
Август	15.59	16.28	0.69	12	17	23	30	11	11
Сентябрь	11.03	11.50	0.47	11.5	17	23	29.5	11.5	11.5
	Средние			11.4	17.0	23.0	29.4	11.6	11.6

Температура под оголенной поверхностью земли.

МЕСЯЦЫ	Величина			Время наступления				Разность между временами наступления	
	Миним.	Макс.	Ампл	Мин.	Средн.	Макс.	Средн.	Мин. и макс.	Средн. и сред.
1) на глубине 0 см.									
Июнь	11.24	31.40	20.16	ч. 3.5	ч. 7.7	ч. 13.0	ч. 19.1	ч. 9.5	ч. 11.4
Июль	13.93	32.48	18.55	4.0	7.9	12.8	19.1	8.8	11.2
Август	10.75	25.85	15.10	4.6	8.1	13.6	18.8	9.0	10.7
Сентябрь	5.36	17.65	12.29	5.2	8.2	12.8	18.0	7.6	9.8
Средние				4.3	8.0	13.0	18.8	8.7	10.8
2) на глубине 20 см									
Июнь	15.52	19.44	3.92	7.0	12.6	18.2	24.7	11.2	12.1
Июль	18.87	22.49	3.62	7.0	12.8	18.5	24.9	11.5	12.1
Август	15.21	18.25	3.04	7.2	12.9	18.0	24.9	10.8	12.0
Сентябрь	10.04	12.24	2.20	7.4	12.8	17.5	24.7	10.1	11.9
Средние				7.2	12.8	18.0	24.8	10.9	12.0
3) на глубине 40 см.									
Июнь	15.17	15.70	0.53	11.5	18	24	30	12.5	12
Июль	19.12	19.61	0.49	12	18	24	30	12	12
Август	16.16	16.57	0.41	12	18	24	30	12	12
Сентябрь	11.57	11.86	0.29	12	18	23.5	30	11.5	12
Средние				11.9	18.0	23.9	30.0	12.0	12.0
Температура под естественною поверхностью земли.									
1) на глубине 0 см.									
Июнь	9.96	25.71	15.75	3.7	8.2	13.2	18.8	9.5	10.6
Июль	12.79	28.39	15.60	4.0	8.4	13.8	19.3	9.8	10.9
Август	10.72	22.29	11.57	4.8	8.3	13.8	19.2	9.0	10.9
Сентябрь	6.14	15.34	9.20	5.8	8.7	13.4	18.6	7.6	9.9
Средние				4.6	8.4	13.6	19.0	9.0	10.6
2) на глубине 20 см									
Июнь	12.49	15.13	2.64	5.4	10.4	15.6	22.0	10.2	11.6
Июль	15.66	18.39	2.73	5.6	10.5	15.9	22.1	10.3	11.6
Август	13.85	15.77	1.92	6.5	10.9	16.0	22.5	9.5	11.6
Сентябрь	9.84	11.24	1.40	7.0	10.8	15.5	22.6	8.5	11.8
Средние				6.1	10.6	15.8	22.3	9.6	11.6
3) на глубине 40 см.									
Июнь	11.56	11.65	0.09	8.5	13	17.5	27	9.5	14
Июль	14.90	15.04	0.14	7	13	17	25	10	12
Август	14.01	14.11	0.10	10	15	26	30	16	15
Сентябрь	10.85	10.92	0.07	11.5	16	26	31	14.5	15
Средние				9.2	14.2	21.6	28.2	12.5	14.0

Обращая свое внимание сперва на амплитуды колебаний температуры видим, что они более всего в песке, не только на его поверхности, но и внутри его, на исследуемых глубинах 0,2 и 0,4 метр. Меньше всего амплитуды под нашей «естественной поверхностью земли», где они на глубине 0.4 метра уже почти исчезают, доходя в июле только до 0.14 и в сентябре до 0.07. Из этого результата мы должны заключить, что теплопроводность почвы, как и ниже подробнее будет доказано, значительно уменьшается растительным покровом. Дело в том, что корни растений, сплетаясь между собою, образуют как будто войлок древесной массы, а, как известно, дерево принадлежит к худшим проводникам тепла.

Совершенно неожиданный результат мы получаем, если сравнить между собою времена наступления минимума температуры. Сопоставляю эти данные, довольствуясь средним выводом из результатов всех четырех месяцев.

Время наступления минимума температуры.

	На глубине	На глубине	На глубине
	0 см.	20 см.	40 см.
В песке	4.4	8.0	11.4
Под оголен. поверх.	4.3	7.2	11.9
« естествен.	4.6	6.1	9.2

На поверхности наших почв минимум наступает почти одновременно. Небольшое его опаздывание в траве можно объяснить тем обстоятельством, что находящийся здесь термометр вставлен в медную пластинку, вследствие чего он должен был стать менее чувствительным, чем лежащие на земле термометры двух других серий приборов.

На глубине же как 20 см., так и 40 см. минимум температуры наступает под травяной растительностью значительно раньше, чем в других местах наших наблюдений. Этот результат наших наблюдений нужно признать неожиданным, имея в виду, что мы по амплитудам колебаний температуры должны были заключить, что почва под «естественной поверхностью» хуже проводит тепло, чем в двух других местах наших наблюдений. По этой причине и нельзя предположить, что тепло с нагретой солнцем поверхности проникает в почву быстрее под травяной растительностью, чем в почву, лишенную такого покрова, и нужно искать другую причину для объяснения нашего результата. Как мне кажется, эту причину нужно искать в самом растительном покрове, а именно в том, что растительность не только требует для своего развития тепла, но притом с своей стороны производит тепло, как и всякий другой жизненный процесс.

Таким образом более раннее наступление минимума температуры под растительным покровом объясняется тем, что выделяющееся из травы, в данном случае из ее корней, тепло, сперва лишь задерживая охлаждение почвы, наконец берет перевес над охлаждением, так что ее температура начинает повышаться раньше, чем, на тех же глубинах, в почвах, не имеющих растительного покрова.

Здесь я должен себе позволить небольшое отклонение от своей прямой задачи, чтобы указать, что и по наблюдениям других авторов было возможно доказать выделение тепла из растительного покрова:

В своей статье «К вопросу о влиянии растительного покрова на температуру и влажность нижних слоев воздуха»¹⁾ Г. А. Любославский сообщает несколько рядов наблюдений над температурой воздуха, произведенных им и его учениками в Петербургском Лесном Институте на различных высотах над травяным покровом и внутри его. Подобные же наблюдения были произведены также и «над кустами, или, лучше, куртинами малины и калины». Оказалось, что в ночное время, вследствие действия лучеиспускания, температура на самой поверхности травы, или над кустами, была ниже, чем ближе к земле и в более высоких слоях воздуха.

Для примера привожу один ряд наблюдений, произведенный Любославским в ясный и безветренный вечер 15 июля:

Высота над поверхностью почвы в см.	320	60	30	25	20	5	0
				Пов. травы			
Наблюд. температуры	13°6	11°4	10°0	8°3	10°6	11°2	13°6

Как видно, температура ниже всего на самой поверхности травы и растет отсюда в обе стороны. Подобные же результаты получил Любославский, когда он производил свои наблюдения в пасмурные и притом ветряные вечера.

Участвовавший в исследованиях Любославского Л. Ф. Рудовиц*) произвел такие же опыты в Боровом Опытном Лесничестве (Самарской губ., Бузулукского уезда), пользуясь лесными насаждениями, как хвойных, так и лиственных пород. Результаты его наблюдений сходились с выводами Любославского, как показывает следующий пример: 18 мая 1906 г. в 7 ч. 35 м. вечера наблюдались следующие температуры:

75 см. над почвою, или 40 см. над поверхн. хвои	11.8
40 » » » » 5 » » » »	11.0
35 » » » (поверхность хвои)	8.3
10 » »	11.7
Поверхность почвы под сосною	16.2

¹⁾ Метеорологический Вестник 1907 г., стр. 1—18.

*) Л. Рудовица «Распределение температур в нижних слоях воздуха в присутствии лесной растительности». Метеорологический Вестник 1906 г., стр. 45—55.

В дневные часы, когда преобладает инсоляция, как Любославский, так и Рудовиц нашли, что поверхность растительности нагревается больше, чем другие слои и поэтому Любославский называет эту поверхность «действующей поверхностью», которая преимущественно принимает и затем излучает солнечное тепло, так как более низкие части растительности ею затеняются.

Этот вывод Любославского, конечно, не может быть оспариваем, но он не объясняет наблюдаемого факта, что в ночное время температура растет от «действующей поверхности» по направлению к почве. Дело в том, что охладившийся на поверхности растительности воздух, благодаря своей большей тяжести, обязательно должен опускаться до самой поверхности земли и поэтому следовало ожидать, что и внутри растительности самые низкие слои воздуха должны быть самыми холодными.

Если же произведенные наблюдения доказали, что температура растет от поверхности растительности книзу, то нужно заключить, что здесь существует какой то источник тепла, благодаря которому опустившийся холодный воздух нагревается, и не может быть сомнения, что этот источник тепла находится в самой растительности, жизненный процесс которой должен производить тепло. Таким образом каждый древесный ствол, каждый стебелек травы, пока в них циркулируют соки, представляют собою как бы печи, отдающие свое тепло окружающему их воздуху, причем они сами, конечно, мало по малу остывают. Количество вырабатываемого растительностью тепла, следует предположить, должно находиться в зависимости от интенсивности ее жизненного процесса и будет поэтому различно в разные времена года и в разных растениях. Вероятно здесь имеет место даже суточный ход выделения тепла.

Возвращаясь к наблюдениям Екатеринбургской Обсерватории сопоставляю, в следующей таблице, времена наступления максимума температуры, в среднем выводе за все четыре месяца:

Время наступления максимума температуры.

	На глубине 0 с. см.	На глубине 20 с. см.	На глубине 40 с. см.
В песке	13.0	18.2	23.0
Под оголенной поверх. земли	13.0	18.0	23.9
» естествен. » »	13.6	15.8	21.6

Также и здесь ход температуры под естественною поверхностью отличается от ее хода по двум другим рядам наших наблюдений. При этом имею ввиду небольшое запаздывание максимума на естественной поверхности земли — оно может быть объяснено меньшей чувствительностью установленного здесь термометра — но тот результат, что на глубине 20 см. максимум температуры наступает не позже, чем в песке и в каменистой почве, как бы следовало

ожидать на основании худшей в этом месте теплопроводности земли, но раньше более чем на два часа. Причину этого результата наших наблюдений мы опять должны искать в самой растительности и сделать заключение, что не только наружная часть растений, но и их корни потребляют тепло и поэтому тепло, проникающее в глубину с поверхности земли, здесь не накапливается, как в местах, лишенных растительности, а расходуется отчасти на развитие корней растений.

Также и на глубине 40 см. максимум температуры под растительным покровом в среднем наступает раньше, чем под голой землей. Но этот результат нельзя считать надежным, имея в виду, что время этого максимума в отдельные месяцы сильно колеблется, вероятно потому, что суточный ход температуры под растительным покровом на этой глубине вообще незначителен, выражаясь только в сотых долях градуса.

Запаздывание с глубиною времен наступления минимумов и максимумов температуры.

По вышеприведенным таблицам получаем следующие величины, запаздывания времен наступления минимумов и максимумов в песке в среднем выводе за все четыре месяца.

На глубине	Запаздывание		Запаздывание через 5 см.	
	Миним.	Максим.	Миним.	Максим.
От 0 до 5 см.	h	h	h	h
» 5 » 10 »	0.8	1.0	0.8	1.0
» 10 » 20 »	1.6	2.3	0.8	1.2
» 20 » 40 »	3.6	4.8	0.9	1.2

Эти числа говорят, что запаздывание как минимумов, так и максимумов много значительнее в верхних 5 сантиметрах, чем на больших глубинах, где оно происходит довольно равномерно. Этим результатом доказывается, как и ниже будет подтверждено, что теплопроводность песка в самых верхних слоях его много меньше, чем в следующих его слоях. Причина тому кроется в том обстоятельстве, что как уже выше сказано, песок у нас вполне высыхал только до глубины в 5 см., редко немного глубже, и потому теплопроводность в особенности самих верхних его слоев должна была сильно изменяться, когда бывшая в нем влага заменялась воздухом — самым плохим проводником тепла.

Сопоставление всех трех рядов наших наблюдений дают следующие результаты, в среднем выводе за все 4 месяца:

Запаздывание минимумов и максимумов.

Глубины	В п е с к е		Под оголенную поверх. земли		Под естествен. поверхн. земли	
	Мин.	Макс.	Миним.	Максим.	Миним.	Максим.
0—20 см.	3.6	5.2	3.0	4.8	1.6	2.2
20—40 »	3.4	4.8	4.7	5.8	3.1	5.2

В данных, приведенных здесь для песка, также выказывается влияние уменьшенной теплопроводности верхних слоев песка, хотя не так резко, как мы это нашли выше.

В каменистой почве «под оголенную поверхность» земли повидимому имеет место обратное отношение, т.-е. здесь верхние слои почвы лучше проводят тепло, чем более глубокие слои. Впрочем обнаружившиеся разности, сравнительно, не велики.

Величины же, полученные для почвы под травой, сильно отличаются от двух других рядов наблюдений. Этим снова доказывается, что растительный покров имеет большое влияние на проникновение тепла в почву. К этому вопросу мы вернемся ниже.

Все три ряда наблюдений подтверждают известный уже вывод, что максимумы температуры более запаздывают, чем минимумы, так что разность времен их наступления с возрастающей глубиной более и более приближается к 12 часам.

Также и разности между временами, когда кривые температуры проходят через среднюю их величину, приближаются с глубиной к 12 часам.

О теплопроводности почвы.

Теория проникновения тепла в почву, как она до сих пор развивалась, предполагает, что почва плоская и совершенно однородна. Этого условия, однако, как уже выше указано, у наших рядов наблюдений не выполнено. Если же я, несмотря на то, постараюсь применить к нашим наблюдениям выработанные теорией законы, то это сделано с целью получить хотя бы лишь приблизительные величины теплопроводности наших почв и кроме того я желал указать, в каких отношениях эта теория должна быть подробнее разработана:

Один из законов теплопроводности гласит, что амплитуды суточных колебаний температуры уменьшаются с глубиной в геометрической прогрессии. Формула, если через Δ_0 обозначить амплитуду в верхнем слое почвы, через Δ_p амплитуду на глубине p , следующая:

$$\lg \Delta_0 - \lg \Delta_p = p \cdot B$$

или $B = \frac{\lg \Delta_0 - \lg \Delta_p}{p}$

Вставляя в эту формулу вышеприведенные величины амплитуд колебаний температуры на разных глубинах в течение суток, получаем для B следующие величины:

Для песка

При сравнении глубин	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
0 см. и 5 см.	0.0539	0.0567	0.0478	0.0509	0.0523
5 » и 10 »	280	294	269	335	294
10 » и 20 »	300	289	290	298	294
20 » и 40 »	357	380	366	378	370
0 » и 20 »	355	360	337	358	352
Для почвы под оголенной поверхн. земли					
0 см. и 20 см.	0.0356	0.0355	0.0348	0.0374	0.0358
20 » и 40 »	434	434	435	440	436
Для почвы под естественной поверхн. земли.					
0 см. и 20 см.	0.0388	0.0378	0.0390	0.0394	0.0388
20 » и 40 »	734	646	642	650	668

По приведенным величинам B находим термометрическую теплопроводность K по формуле:

$$k = \frac{\pi (\lg e)^2}{T \cdot B^2}$$

где e означает основание натуральных логарифмов (2.718...) и T продолжительность периода в минутах, т.-е. $T = 24 \times 60 = 1440$.

Так как величины B , вычисленные для отдельных месяцев, оказались согласными между собою, то я пользовался только их средними величинами для вывода теплопроводности. Результаты следующие:

Теплопроводность.

На глубинах . . .	0 см.—5 см.	5 см.—10 см.	10 см.—20 см.	20 см.—40 см.
В песке	0.150	0.476	0.476	0.300

Здесь выделяется теплопроводность верхних 5 сантиметров, которая раза в три меньше, чем в следующих слоях. Причина тому кроется, как уже выше сказано, в том, что верхние слои песка часто высыхают и тогда много хуже проводят тепло, чем в сыром состоянии. В доказательство этого результата ниже будет приведен еще другой пример.

Сопоставляю теперь величины теплопроводности по всем трем рядам наблюдений.

	На глубине	0 см.—20 см.	20 см.—40 см.
В песке		$k = 0.322$	0.300
Под оголенную поверх. земли		$k = 321$	216
» естествен. »		$k = 273$	092

По этим числам нужно заключить, что теплопроводность песка и каменной почвы под нашею оголенную поверхностью земли в верхних 20 сантиметрах почти одинакова. В следующем же слое от 20 см. до 40 см. песок как будто лучше проводит тепло, чем камень. Это результат неожиданный и для его объяснения я должен предположить, что яму, выдолбленную в скале для установки термометров, не удалось достаточно плотно заполнить обломками камня, так что между ними остался воздух, который, как известно, плохой проводник тепла.

Этот результат дает указание, что для установки почвенных термометров не должны быть вырыты ямы, также и не в мягкой землянистой почве, а должны быть проложены буровые скважины. Иначе нарушается плотность почвы, как ее создала природа, и изменяется ее теплопроводность, которую мы желаем изучать.

От результатов, полученных по первым двум рядам наблюдений, значительно отличаются величины теплопроводности, вычисленные для почвы под травяной растительностью. Правда, надо было ожидать, что теплопроводность под травой, корни которой образуют войлок древесной массы, меньше, чем под непокрытой поверхностью земли; все же я склонен думать, что приведенные числа не представляют собою истинной теплопроводности почвы. Это потому, что, как уже выше сказано, проникновение тепла здесь осложняется действием растительности, которая с одной стороны поглощает часть солнечного тепла, уменьшая тем величину максимума температуры и с другой стороны выделением тепла задерживает охлаждение почвы, так что амплитуды колебаний температуры ее влиянием уменьшаются. Поэтому и вышеприведенная формула в данном случае собственно не применима.

Теплопроводность почвы в июле годов 1901 и 1908.

Убедившись в том, что степень влажности почвы оказывает весьма большое влияние на ее теплопроводность, мне показалось интересным, исследовать этот вопрос несколько точнее при помощи сравнения двух месяцев, из которых один был бы сухим, а другой дождливым.

Такими месяцами я выбрал июль 1901 г. и июль 1908 г. В первом из них было только 9 дождливых дней, давших 40 мм. осадков. В июле же 1908 г. было 25 таких дней, давших 213 мм. дождя.

Величина амплитуд колебаний температуры почвы на разных глубинах была в июле этих годов следующая, опять по исключении годового хода температуры для глубин 20 и 40 см.

Амплитуды суточного хода температуры в июле

В песке						Под оголенную поверхн. земли			Под естест. поверхн. земли		
Нагл.	0	5	10	20	40	0	20	40	0	20	40
1901	23°55	11°38	7°38	3°48	0°79	18°38	3°55	0°48	20°61	3°90	0°40
1908	14.31	9.39	6.67	3.71	0.59	13.54	2.50	0.35	8.67	0.99	0.03

По этим данным, пользуясь вышеприведенными формулами, получаем следующие величины теплопроводности K .

Теплопроводность в песке.

В слое . . .	0—5	5—10	10—20	20—40 см.
VII 1901 . .	$k = 0.103$	0.291	0.387	0.397
VIII 1908 . .	$k = 0.309$	0.463	0.248	0.258

	В песке		Под оголенную поверхн. земли		Под естествен. поверхн. земли	
В слое	0—20	20—40	0—20	20—40	0—20	20—40
1901	0.239	0.397	0.323	0.218	0.314	0.065
1908	0.479	0.258	0.305	0.226	0.185	0.071

Здесь опять выделяются числа, полученные для верхних слоев песка: мы видим, что теплопроводность песка в слое 0-5 см. в сухом июле 1901 года в три раза меньше, чем в дождливом июле 1908 года. Также и в слое 5-10 см. сухость первого года отражается на величине теплопроводности. В более глубоких же слоях песка от 20 до 40 см., теплопроводность оказалась в 1908 г. меньшей, чем в сухом 1901 году. Как объяснить этот неожиданный результат, не знаю. Может быть, причина его кроется в том, что песок у нас, как уже выше сказано, никогда не высыхал до глубины 10 см. и потому в более глубоких слоях проводил тепло сравнительно хорошо, а хуже в дождливом июле 1908 г. оттого, что с увеличением количества воды в почве увеличивалась ее теплоемкость.

В почве под «оголенную поверхность земли» теплопроводность в оба рассматриваемые годы почти одинакова, совпадая притом с ее величиной, которую мы получили в среднем выводе за все годы имеющихся наблюдений. Это и понятно: почва здесь каменистая, а камень не впитывает в себя воду, почему его теплопроводность от дождя и не изменяется.

Третий ряд наблюдений «под естественной поверхностью земли» опять задает нам загадки. Почва здесь землянистая, почему можно было ожидать, что при сравнении между собою сухого и дождливого года получаются подобные же результаты, как для песка. Однако оказалось, наоборот, что теплопроводность в слое от 0 до 20 см. под травой в сухой год почти в два раза больше, чем в дождливое время. В этом результате земля сама по себе не может быть виновата. И она, как и песок, должна проводить тепло хуже, когда промежутки между отдельными ее частицами заполнены воздухом, нежели в том случае, когда воздух вытеснен водою. Следовательно причину кажущегося противоречия наших результатов нужно искать в растительном процессе, а именно, в том что, во первых, растительность высасывает воду из почвы, потребляя ее для своего развития. Во вторых, чем влажнее почва, тем пышнее и растительность и тем гуще должен быть войлок, образующийся сплетением ее корней. Затем, в третьих, более пышная растительность поглощает больше солнечного тепла и, с другой стороны, выделяет из себя больше тепла, нежели при скудном ее состоянии. Наконец, просачивание в почву дождевой воды нарушает закон теплопроводности.

Таким образом оказывается, что проникновение тепла в почву под растительным покровом явление весьма сложное и вышеприведенные величины теплопроводности под естественной поверхностью земли не могут быть приняты за истинную теплопроводность.

Г. Абельс.

Ueber den täglichen Gang der Temperatur im Erdboden.

von H. ABELS.

Im Observatorium zu Ekaterinburg sind Beobachtungen der Temperatur des Erdbodens in verschiedenen Tiefen eine Zeitlang gleichzeitig an drei Serien von Instrumenten gemacht worden.

Die eine Serie ist in Felsboden, zerklüfteten Serpentin, eingebettet. Zu ihrer Aufstellung war eine Grube ausgehauen worden, die oben einen Durchmesser von etwas mehr als 1 Meter hatte, unten enger war. Die Tiefen der Thermometer, die in Ebonitröhren eingeschlossen waren, betragen 0.0 Meter, 0.2 m., 0.4 m., 0.8 m., 1,6 m. und 3.2 m. Die Oberfläche des Bodens wurde bei diesen Thermometern im Winter stets rein von Schnee gehalten auf einer Strecke von ungefähr 11 x 11 m. Im Sommer war hier auch kein Gras.

Die zweite Serie von Instrumenten ist ganz den natürlichen Verhältnissen ausgesetzt, d. h. im Sommer ist ihr Platz mit Gras bedeckt und im Winter wird der Schnee hier intakt erhalten. Damit weder das Gras noch der Schnee zertreten werde, ist neben den Thermometern eine Brücke gebaut, von welcher aus der Beobachter seine Ablesungen macht. Zur Aufstellung dieser Thermometer, welche ebenfalls in Ebonitröhren eingeschlossen sind, wurde ein Erdbohrer benutzt. Die Tiefen sind dieselben, wie bei der ersten Serie. Der Boden ist hier nicht gleichartig. Die oberste Schicht von ca 20 cm. besteht aus Schwarzerde; dann folgt bis zur Tiefe von 37 cm. bis 60 cm- Lehm und Sand, welchem auch kleine Steine beigemischt sind, und weiterhin Steinschutt, grössere Steine oder kompakter Fels.

Die dritte Serie der Thermometer war in reinem, ziemlich feinkörnigem Sand aufgestellt, mit welchem eine Umzäunung von 9.8 Meter Durchmesser ausgefüllt wurde. Die Tiefe des Sandes betrug in der Mitte der Umzäunung, wo die Thermometer aufgestellt waren, 0,6 Meter. Die Tiefen der Thermometer waren 0, 5, 10, 20 und 40 Centimeter. Das erste dieser Instrumente lag horizontal auf der Oberfläche bis zur Hälfte der Kugel eingebettet in den Sand. Die drei folgenden Thermometer hatten eine geneigte Stellung. Das Thermometer in 0,4 m. Tiefe endlich stand vertical und war in eine Ebonitroehre eingeschlossen.

Die Thermometer bis zur Tiefe von 20 cm. wurden stündlich abgelesen, die Thermometer in 40 cm. Tiefe alle 3 Stunden und die noch tiefer aufgestellten Instrumente nur einmal im Laufe des Tages.

Zur vorliegenden Arbeit sind die Beobachtungen der 6 Jahre 1901-1902 und 1908-1911 verwendet worden.

Die Hauptresultate der Arbeit sind im Schlusskapittel folgendermassen zusammengefasst:

Die Theorie des Eindringens der Wärme in den Erdboden, wie sie bis jetzt entwickelt ist, setzt voraus, dass der Boden vollkommen homogen ist und dass er unter dem Einfluss der wechselnden Witterung sich nicht ändert. Dieser Bedingung ist aber nur dann genügt, wenn der Boden aus kompaktem und dabei nicht zerklüftetem Gestein besteht. Hat der Boden aber eine erdähnliche Consistenz, besteht er zum Beispiel aus Sand, so ist seine Temperatur—Leitung schon nicht mehr eine constante Grösse, sondern ändert sich in Abhängigkeit von der Witterung. Durch die Kraft der Capillarität hebt sich der Boden bei Regen, wenn auch nur unbedeutend. In stärkerem Maasse bringt der Frost dieselbe Wirkung hervor, wenn der Boden vordem nass war. Deshalb muss der Boden, wenn er wieder austrocknet, einen verhältnissmässig lockeren Zustand haben, d. h. er enthält alsdann mehr Luft, den schlechtesten aller Wärmeleiter. Darin besteht der Grund, weshalb wir das Resultat erhielten, dass trockener Sand die Wärme etwa dreimal schlechter leitet als nasser Sand.

Diese Bemerkung bezieht sich namentlich auf die allerobersten Schichten der Erde, in welchen der Gehalt an Feuchtigkeit am veränderlichsten ist. Aus diesem Grunde hat man bei Anwendung der Theorie auf die Ergebnisse der Beobachtungen gewöhnlich auch nur Beobachtungen benutzt, die sich auf grössere Tiefen des Bodens beziehen.

Noch viel complicierter wird die Frage der Verbreitung der Wärme im Erdboden, wenn letzterer von irgend welchen Pflanzen — Gras, Gebüsch, oder Wald—bedeckt ist. Denn der Pflanzenwuchs schützt den Boden vor der directen Einwirkung der Sonnenstrahlen. Dabei erwärmen sich die Pflanzen selbst durch die Sonnenwärme nicht so stark wie unbedeckter Boden, weil ein Teil der Wärme in die Holzmasse der Pflanzen umgesetzt wird. Hierher ist auch diejenige Wärmemenge zu rechnen, welche auf die Verdunstung der in den Pflanzen circulierenden Säfte verwendet wird. Andererseits schützt der Pflanzenwuchs den Boden vor dem Winde, so dass die Sonnenwärme an den Stellen, in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Pflanzen, wo sie direct an den Boden ankommt, sich anhäufen kann, während sie an offenen Stellen zum Teil vom Winde fortgetragen wird. Ferner übt der Pflanzenwuchs dadurch einen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Bodens aus, dass seine Wurzeln einen Filz von schlecht leitender Holzmasse bilden, und endlich noch dadurch, dass er die Feuchtigkeit aus dem Boden aussaugt und auf diese Weise seine Leitungsfähigkeit vermindert.

Zu diesen bereits in der Litteratur erwachten Factoren, welche auf den Umsatz der Wärme im Boden unter einer Pflanzendecke ihren Einfluss ausüben, kommt als Resultat der vorstehenden Arbeit noch hinzu, dass nicht blos der aus der Erde hervorragende Teil der Pflanzen, sondern auch die Wurzeln der Pflanzen zu ihrer Entwicklung Wärme

verbrauchen. Dieser Schluss ergab sich aus dem Resultat unserer Beobachtungen, dass das Maximum der Temperatur in den Tiefen von 20 und 40 cm unter der Grasdecke früher eintritt, als, in denselben Tiefen, unter der von Pflanzen entblössten Erdoberflaeche.

Ferner ergaben unsere Beobachtungen, dass auch das Minimum der Temperatur in den genannten Tiefen unter dem Rasen früher eintritt, als unter der kahlen Erdoberflaeche, ungeachtet dessen, dass der Boden unter der Grasdecke sich als schlechterer Waermeleiter erwiesen hatte, als der Boden unter der unbedeckten Erdoberflaeche, und dass ersterer darum einen Zustrom von Waerme aus der von der Sonne erwärmten Oberflaeche nicht früher erhalten kann als der Boden unter der pflanzenlosen Oberflaeche. Aus diesem Resultat musste geschlossen werden, dass in dem Boden, der eine Pflanzendecke traegt, eine besondere Waermequelle existieren muss und dass diese Quelle in dem Lebensprocess der Pflanzen selbst gesucht werden muss und zwar darin, dass die Reibung, welche entsteht, wenn die Saefte der Pflaenzen sich durch enge Kanäle durchzwaengen, sich in Waerme umsetzt.

Soviel mir bekannt ist, hat man bei meteorologischen Untersuchungen auf diesen Einfluss der Pflanzendecke noch nicht Rücksicht genommen.

Indessen darf dieser Einfluss nicht ausser Acht gelassen werden, z. B. bei Untersuchungen ueber den Einfluss des Waldes auf das Klima einer Gegend. A priori kann man behaupten, dass die Amplitude der Waermeschwankung sowohl im Walde selbst, als auch im Boden unter ihm, geringer sein muss, als in einem pflanzenlosen Felde. Dabei laesst sich auch voraussetzen, dass der Einfluss des Waldes keine constante Grösse ist, sondern dass er von der Intensitaet des Wachstums abhaengen und darum einen jaehrlichen Gang und wahrscheinlich sogar einen taeglichen Gang haben muss.

Somit erweist sich der Umsatz der Waerme im Erdboden als ein sehr compliciertes Phaenomen und es kann die Theorie desselben, wie sie bis jetzt entwickelt ist, nur als eine erste Annaeherung angesehen werden.

H. Abels.