The results of the preliminary geological engineering surveys along the supposed route of the International Linear Collider (ILC) in Taldom area of Moscow region.

V.S. Sokolov, A.A. Krestinin, A.G. Cherniatin, I.O. Gusakov
JSC «GSPI»

JINR-GSPI: DECADES OF COLLABORATION

GSPI

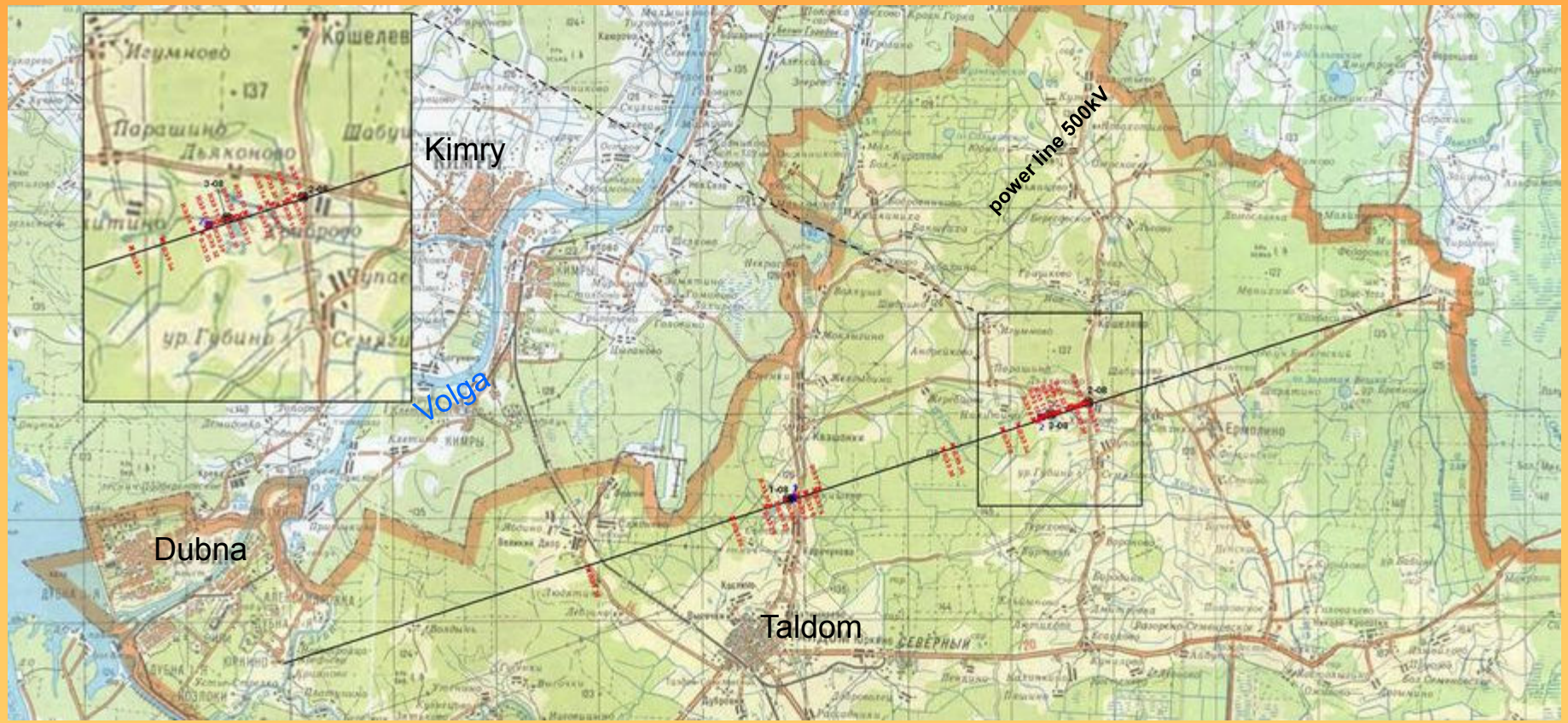
State Specialized Projecting Institute (Moscow)
Founded in 1948
Today GSPI is a commercial engineering company in structure of State Corporation ROSATOM
This survey is performed by GSPI Department of geological engineering survey

JINR

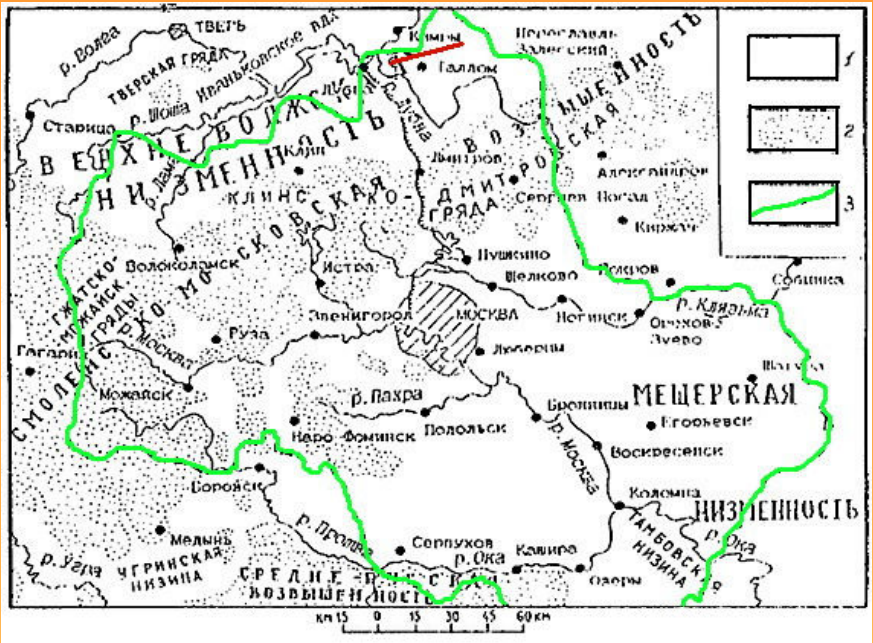
Joint Institute for Nuclear Research (Dubna)
International intergovernmental organization
Founded in 1956

ILC location in Taldom area of the Moscow region

- Close to Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna
- The area is sparsely populated
- Route of the accelerator crosses 2 small populated points and railway between the cities Taldom and Kimry
- Moderately-continental climate
- Average temperature in January -10.7°C, in July +17.8 °C
- Annual rainfall is 630 mm



Relief of the investigated area



Orohydrographic scheme of Moscow region

Track of assumed ILC placement within upper Volga lowland.

1 - lowlands and hollows,
2 - heights (higher than 200m),
3 - frontier of Moscow region.

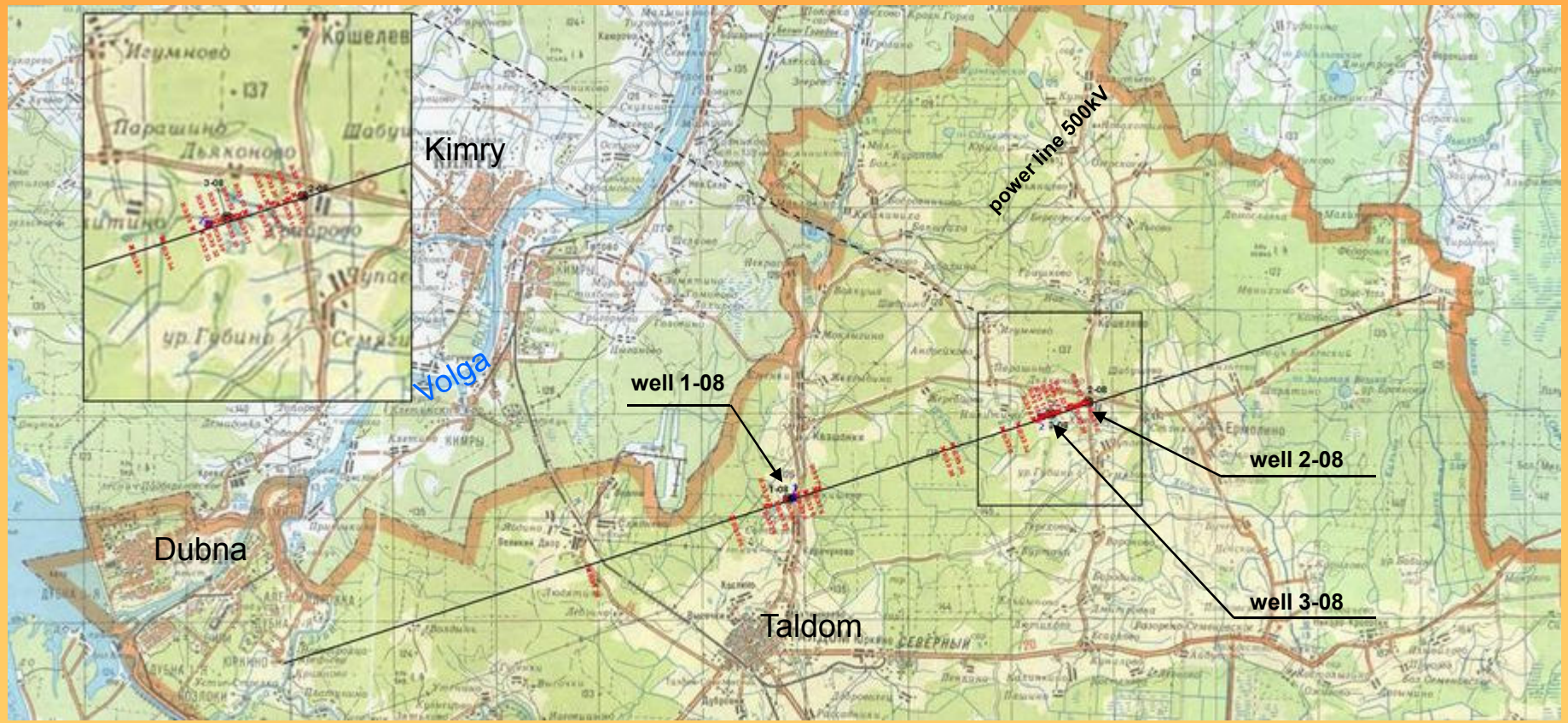
Main features:

- practically flat surface
- existing hills are smooth
- the altitudes are varying from 120 to 150m (in Baltic system of the heights)
- mainly woodland, grassland and cropland partly swampy

Preliminary geological engineering surveys (October - November 2008)

- drilling of 3 wells in depth of 36.0-47.0 m with full core extraction;
- selection of 40 monoliths of soil, 16 samples of disturbed soil for laboratory investigations of their physical-mechanical properties;
- selection of 10 probes of ground water for chemical analysis;
- gamma-ray logging;
- thermometry;
- vertical seismic profiling;
- 35 points of vertical electric sounding;
- high-resolution surface seismic survey using shear wave reflection method

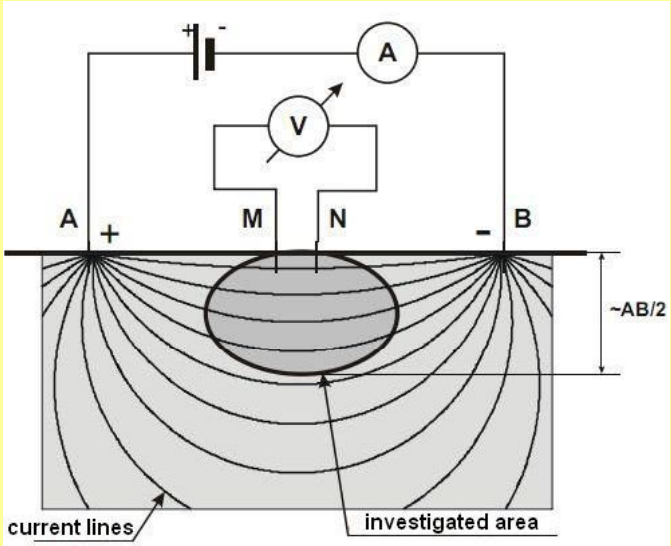
The aim: to confirm the presence of thick solid stratum of moraine loam



Methods and techniques

Vertical Electric Sounding (VES)

A and B – current source probes (I_{AB}),
M and N – measuring probes (ΔU_{MN})
Investigation depth ~AB/2



$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}$$

where K – coefficient, depending on the distance between electrodes A, B, M, N.
ρ_a- apparent resistance of medium.
It depends on the structure of strata with different resistance.
Using set of measurements it is possible to define the structure of soil layers.

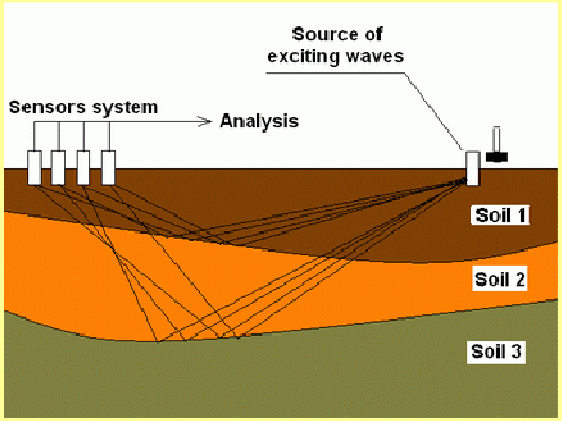
Gamma-ray logging, thermometry and vertical seismic profiling

All these logging methods are done by lowering of corresponding instrument down the hole and measuring necessary physical quantity at each depth.

Laboratory investigations of soil and water probes

- **grain-size composition;**
- **natural moisture;**
- **density;**
- **liquid limit and limit of plasticity;**
- **flow limit;**
- **porosity factor;**
- **modulus of deformation;**
- **chemical analysis of water probes etc.**

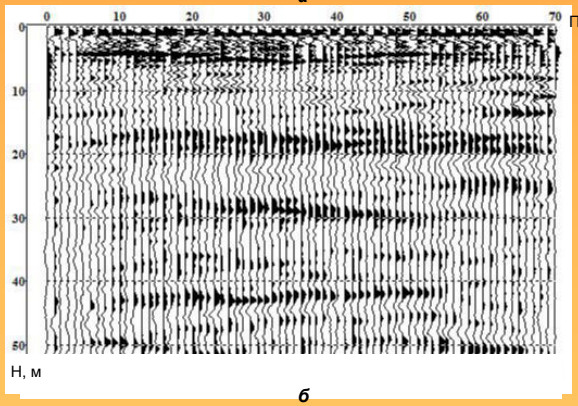
High-resolution prospecting seismology based on reflected SH-waves



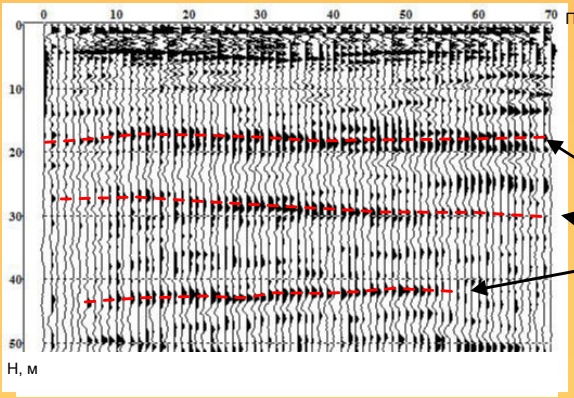
A reflection experiment is carried out by initiating a seismic source (dynamite or hummer in our case), recording the reflected waves using set of seismometers, collecting and analyzing data

Seismic investigations on the profile 1 near the village Miakishevo

а



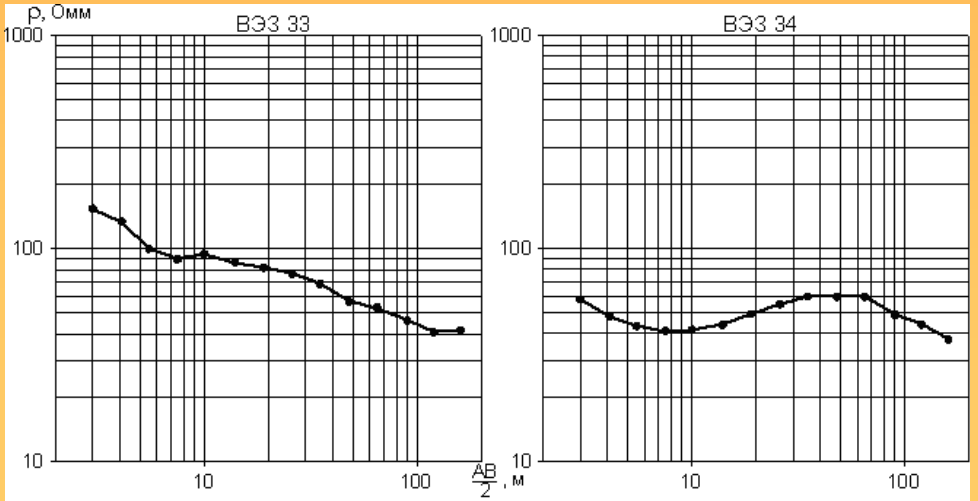
б



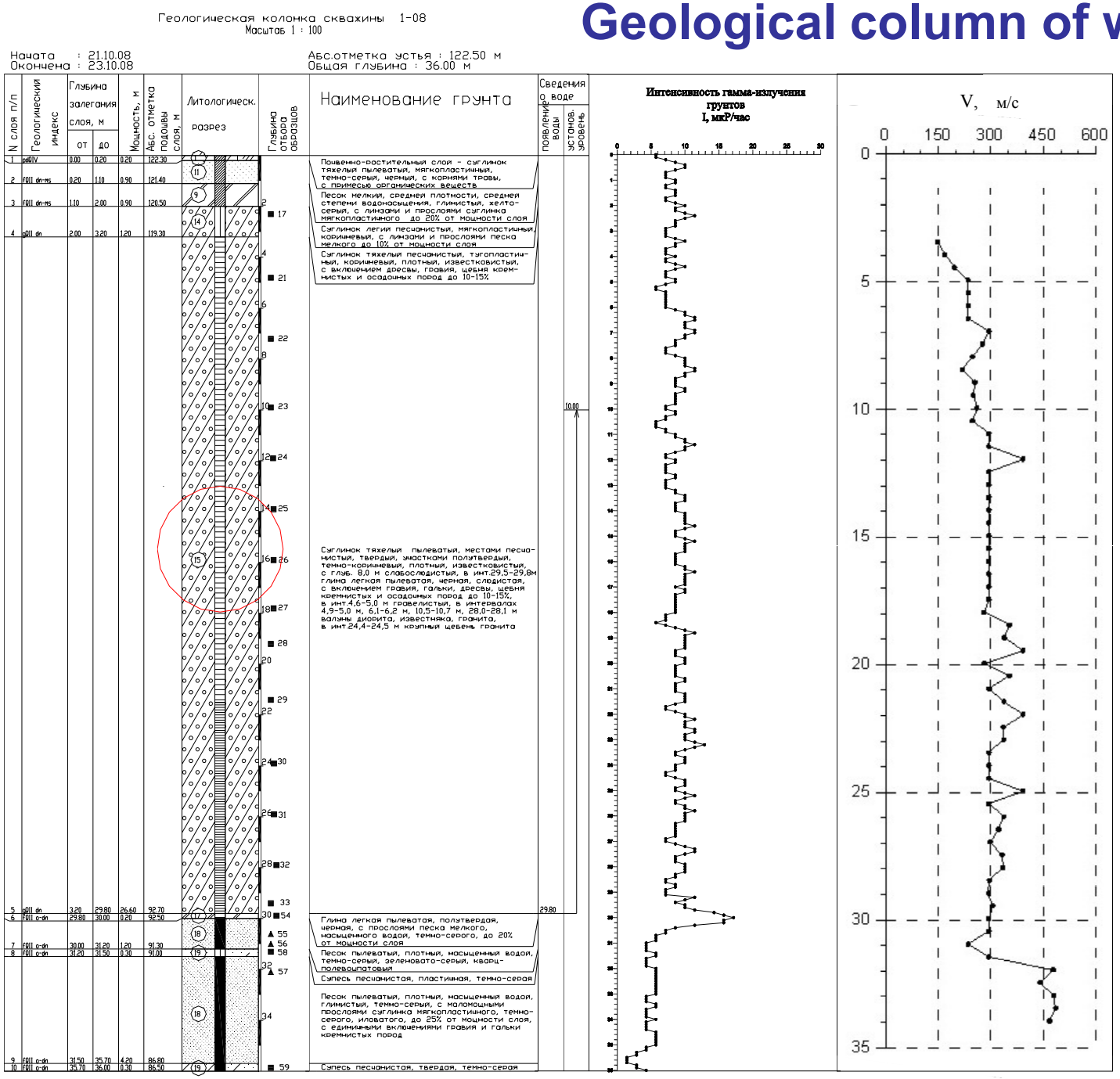
reflecting boundaries

Drilling of well 3-08 in the region of Khrabrovo village.

Example of VES-curves



Geological column of well 1-08



1. Recommended soils for accelerator placement: firm loamy soils, dense including grus and rubbles up to 15 %.

2. Recommended depth of tunnel placement is 13,0m (absolute mark is 110,0m).

Core samples from well 1-08

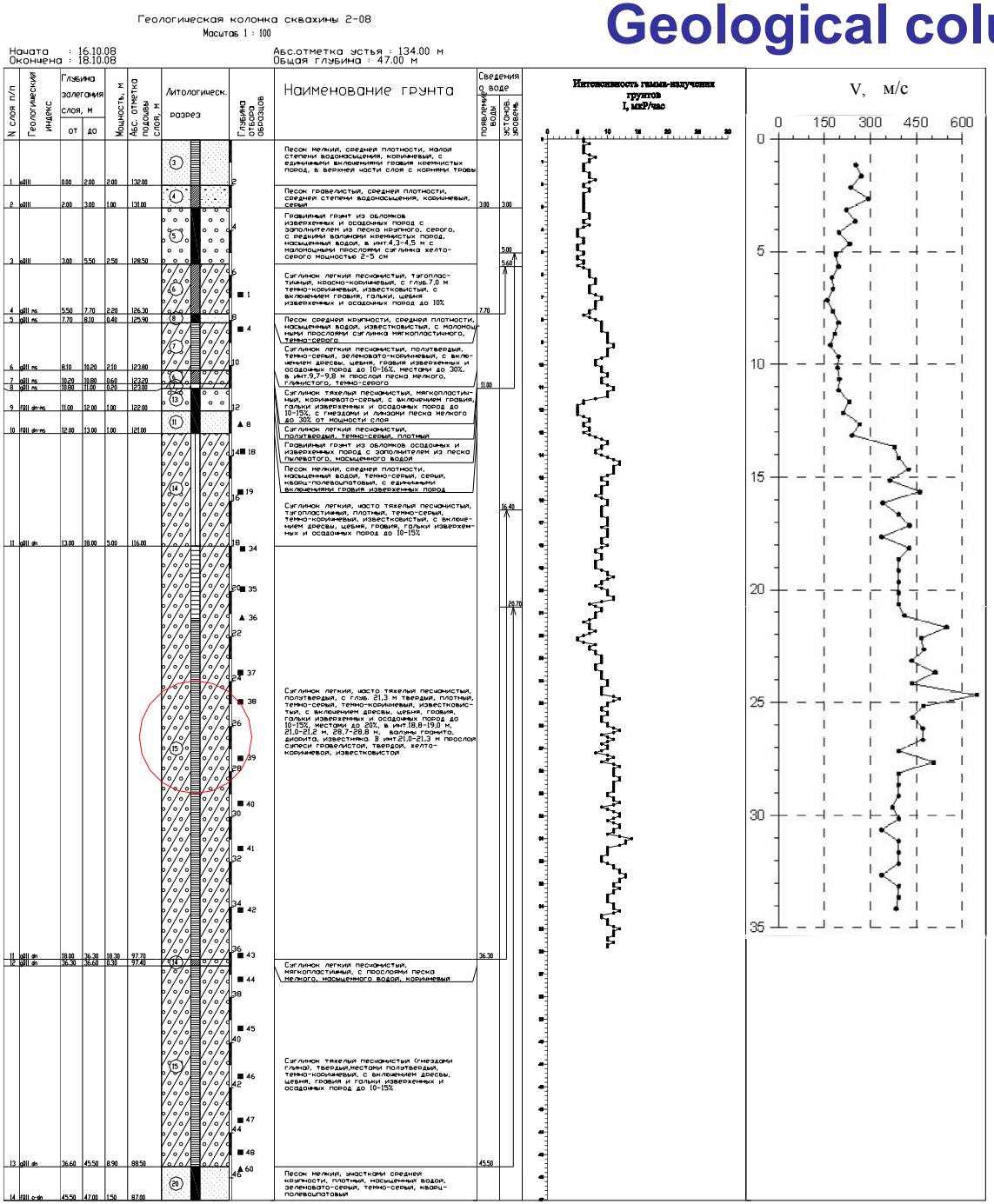
Description of the Dnieper moraine loam

Heavy pulverescent loam , sometimes sandy, sometimes light pulverescent clay, solid, sometimes semisolid, dense, dark grey, olive-brown, with inclusions up to 10-15% of gravel, grit and rubble of sedimentary and igneous rocks, rarely with lenses of semi-gravel.

It is found in middle and bottom part of stratum of the Dnieper moraine sediments.

Power of a layer is 2.8-27.2 m.

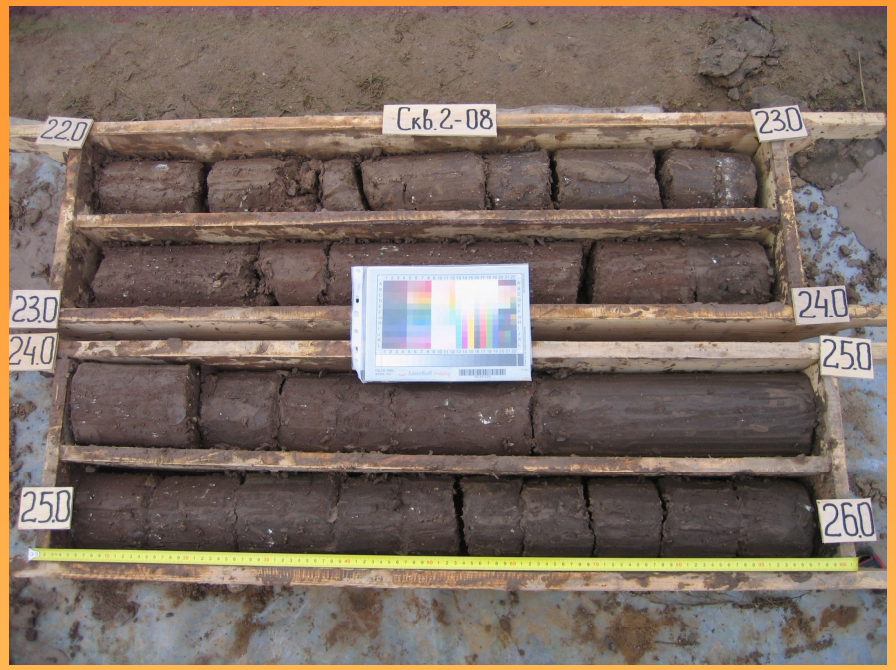
Geological column of well 2-08



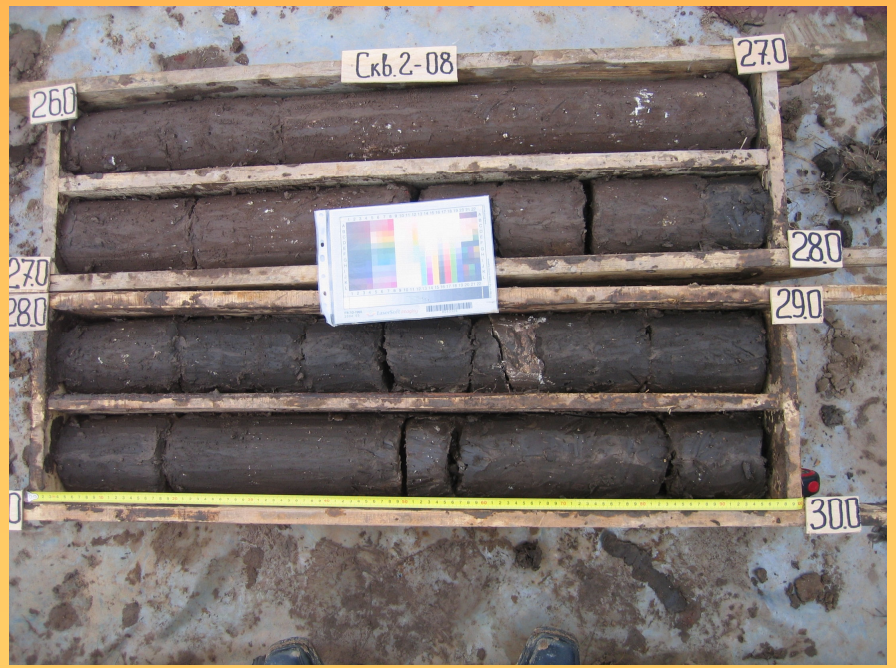
1. Recommended soils for accelerator placement: firm loamy soils, dense including grus and rubbles up to 15%.

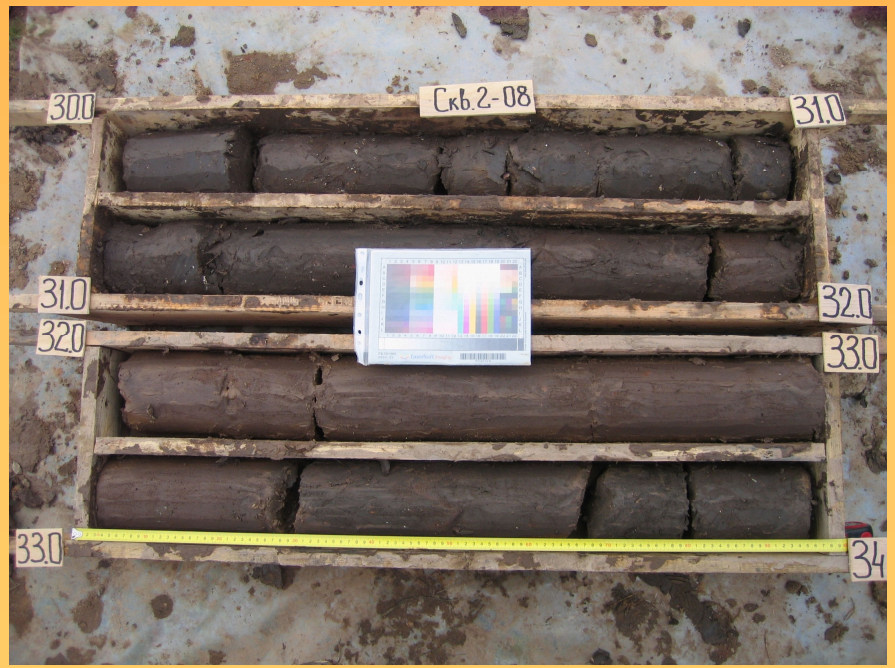
2. Recommended depth of tunnel placement is 24,0m (absolute mark is 110,0m).

Core samples from well 2-08

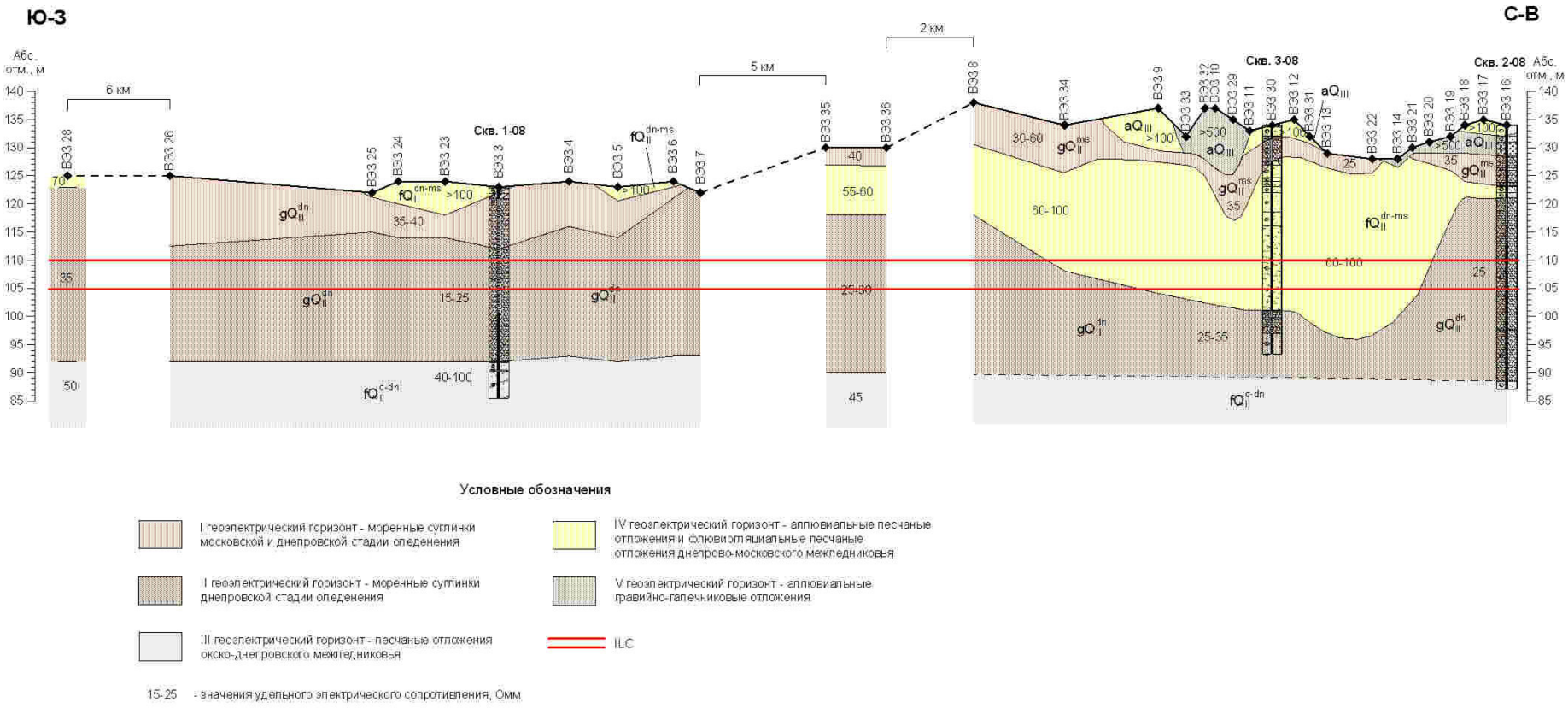


Between strata of different age moraine the stratum of water saturated sands was found. Therefore it was decided to perform electrical investigation of geological profile between wells 1-08 and 2-08 as well as to drill third well.

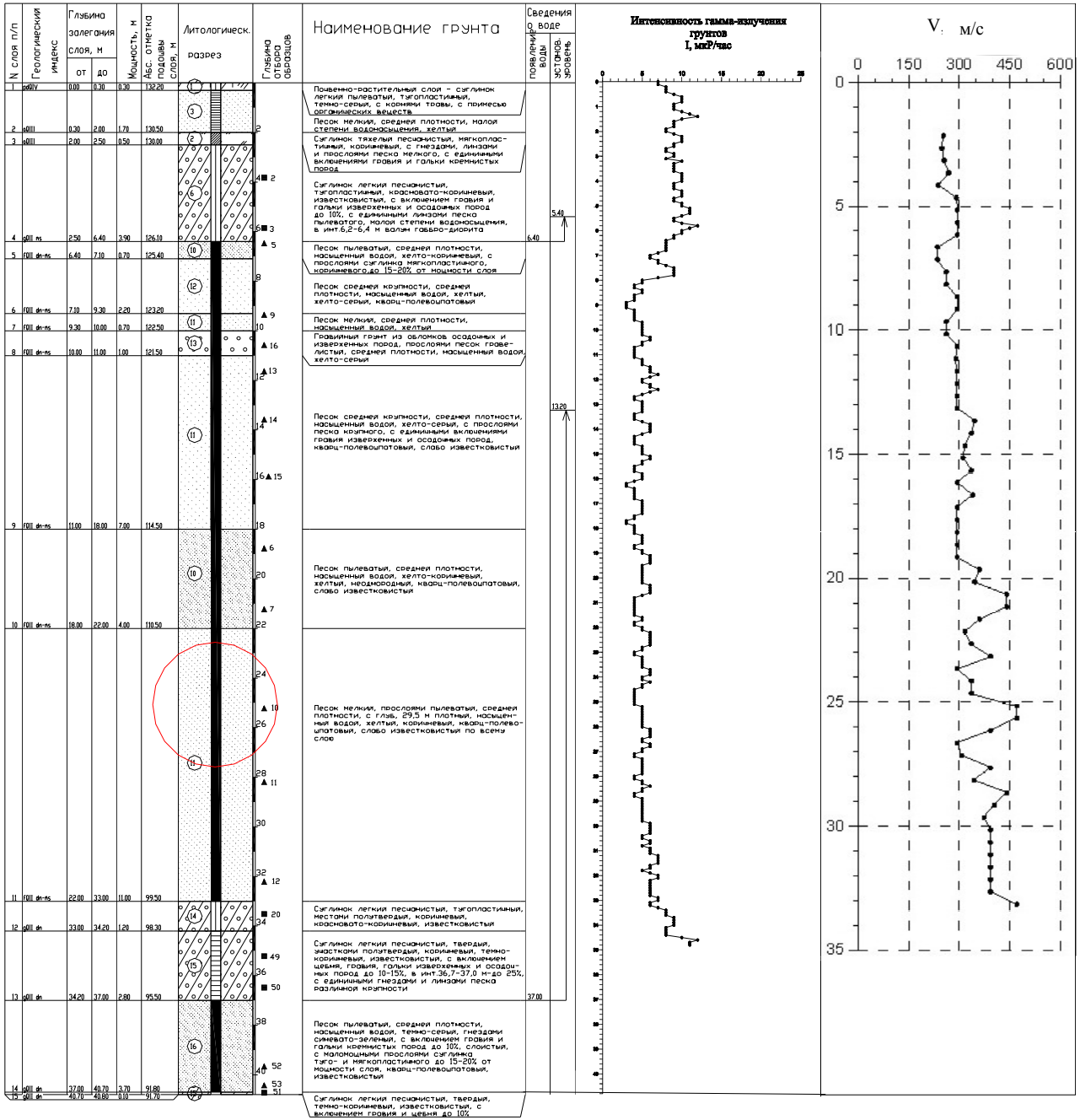




Geological-geophysical section (~14 km) of the collider territory



Geological column of well 3-08

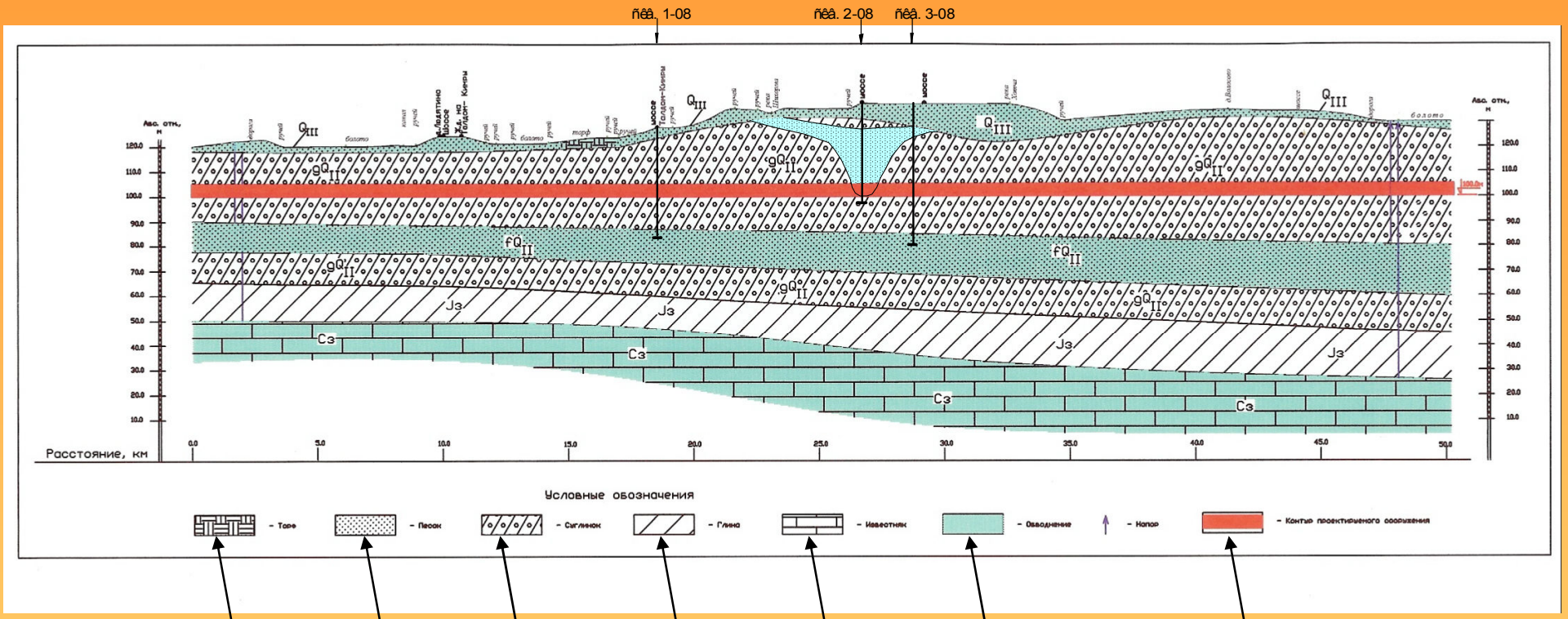


1. Recommended soils for accelerator placement: water-field fine sand of average density.

2. Recommended depth of tunnel placement is 22,5 m (absolute mark is 110,0m).

Core samples from well 3-08

Schematic geological engineering section of the ILC route



peat sand loam clay limestone watering tunnel

The main characteristics of soils

20 engineering-geological elements (EGE) were selected during area investigation

Номер слоя	Номер инженерно-геологического элемента	Геологический индекс	Наименование грунта	Коэффициент пористости e	Показатель текучести J_L	Нормативное значение			Модуль деформации E, МПа	Коэффициент фильтрации K, м/сутки	Нормативная глубина промерзания грунта d fn, м по формуле 12.1 СП 50-101-2004
						Плотность ρ, т/м³	Угол внутреннего Трения φ, градус	Удельное сцепление C, кПа			
1	1	pdQ_{IV}	Суглинок тяжёлый пылеватый, мягкопластичный	0,76	0,55	1,97	-	-	-	0,5	1,34
2	2	aQ_{III}	Суглинок тяжёлый песчанистый, мягкопластичный.	0,95	0,62	1,84	17	33	8	0,5	1,34
3	3	aQ_{III}	Песок мелкий, средней плотности, малой, средней степени водонасыщения.	0,70	-	1,73 /1,83	30	1	23	3,0	1,63
4	4	aQ_{III}	Песок гравелистый, средней плотности, средней степени водонасыщения и насыщенный водой.	0,65	-	1,87 / 2,01	38	0	30	10,0	1,75
5	5	aQ_{III}	Гравийный грунт из обломков изверженных и осадочных пород, с заполнителем из песка крупного, насыщенный водой.	-	-	2,44	-	-	50	25,0	1,98
6	6	gQ_{II}^{ms}	Суглинок лёгкий песчанистый, тугопластичный.	0,40	0,34	2,19	26	29	29	10^{-5}	1.34
7	7	gQ_{II}^{ms}	Суглинок легкий песчанистый, полутвердый.	0,31	0,01	2,27	30	40	62	10^{-5}	1,34
8	8	gQ_{II}^{ms}	Песок средней крупности, средней плотности, насыщен. водой.	0,64	-	2,02	34	7	24	7,6	1,75
9	9	fQ_{II}^{dn-ms}	Суглинок лёгкий песчанистый, мягкопластичный.	0,72	0,65	1,99	18	20	13		1,34
10	10	fQ_{II}^{dn-ms}	Песок пылеватый, средней плотности, насыщенный водой.	0,70	-	1,98	28	3	14	0,9	-
11	11	fQ_{II}^{dn-ms}	Песок мелкий, средней плотности, малой, средней степени водонасыщения и насыщенный водой	0,65	-	2,01	32	2	28	3,0	-
12	12	fQ_{II}^{dn-ms}	Песок средней крупности, прослоями крупный, средней плотности, насыщенный водой.	0,65	-	2,01	35	1	30	5,0	-
13	13	fQ_{II}^{dn-ms}	Гравийный грунт из обломков изверженных и осадочных пород, заполнитель – песок пылеватый, насыщенный водой.	-		2,44	-	-	50	25,0	-
14	14	gQ_{II}^{dn}	Суглинок лёгкий, участ. тяжёлый, песчанистый, полутвёрдый.	0,41	0,24	2,21	26	41	33	10^{-5}	-
15	15	gQ_{II}^{dn}	Суглинок тяжёлый пылеватый, участ. песчанистый, твёрдый.	0,43	<0	2,20	22	59	54	10^{-5}	-
16	16	gQ_{II}^{dn}	Песок пылеватый, средней плотности, насыщенный водой.	0,60	-	2,04	32	5	23	1,0	-
17	17	fQ_{II}^{o-dn}	Глина лёгкая пылеватая, полутвёрдая.	0,66	0,18	2,01	24	34	26	10^{-5}	-
18	18	fQ_{II}^{o-dn}	Песок пылеватый, плотный, насыщенный водой.	0,59	-	2,04	32	5	23	1,0	-
19	19	fQ_{II}^{o-dn}	Супесь песчанистая, пластичная, участками твёрдая.	0,34	0,32	2,02	22	24	38	0,5	-
20	20	fQ_{II}^{o-dn}	Песок мелкий, участками средней крупности, плотный, насыщенный водой.	0,59	-	2,05	34	3	33	2,0	-

Properties of soils, which are important from point of view of Building Code:

- Porosity factor
- Flow index
- Density
- Angle of internal friction
- Specific cohesion
- Modulus of deformation
- Filtration coefficient

Physical-mechanical properties of soil

Properties of EGE 15:
(for example)

- Soil grain-size composition
- Densities
- Deformation behavior
- Deformation moduli
- Shear resistance
- Angle of internal friction

Объект: Трасса размещения международного коллайдера
Номер выработки: 1-08 — Лабораторный номер: 2667
Интервал отбора, м: 19,00 – 19,30 — Структура грунта: ненарушена
ИГЭ №: 15 — Состояние образца: водонасыщенный
Наименование грунта: Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, незасоленный (g Q_{II}^{dn})

Испытание произведено на приборах "ГИДРОПРОЕКТ" — ГОСТ 12536-79. ГОСТ 5180-84
Диметр кольца – 87,5 мм. (сжатие) и 72 мм. (срез) — ГОСТ 12248-96
Высота кольца – 25 мм. (сжатие) и 35 мм. (срез) — ГОСТ 24143-80

Гранулометрический состав фракций, %

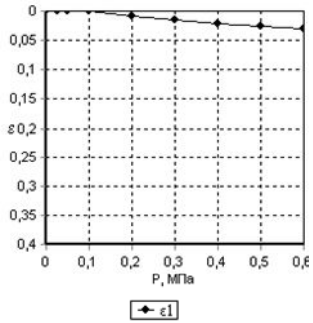
> 10	10 – 5	5 – 2	2 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	0,01 – 0,005	< 0,005
7,7	0,4	0,6	0,9	1,3	5,4	9,9	15,3	28,6	10,5	19,4

Физические свойства грунта

Плотность грунта, г/см³	Плотность сухого грунта, г/см³	Плотность частиц, г/см³	Коэф. пористости	Степень влажности, д.е.	Влажность, %			Число пластичности, %	Показатель текучести
					природная	на границе текучести	на границе раскат.		
2,13	1,84	2,72	0,480	0,90	15,9	32,2	18,1	14,1	-0,16

Вертик давл-е P	Отн. деф. ε	Коэф. порист. e	Коэф. уплотн. a	Мод. деф., МПа E	Отн. деф. (зам.) ε_1	Коэф. порист. (зам.) e_z	Коэф. уплотн. (зам.) a_z	Мод. деф. (зам.) E_z
0,0					0,0000	0,480		
0,025					0,0000	0,480	0,00	
0,05					0,0000	0,480	0,00	
0,1					0,0004	0,480	0,01	84,70
0,2					0,0087	0,467	0,12	7,16
0,3					0,0159	0,457	0,11	8,20
0,4					0,0206	0,450	0,07	12,63
0,5					0,0259	0,442	0,08	11,25
0,6					0,0302	0,435	0,06	13,78

График ε, δ = f(P)

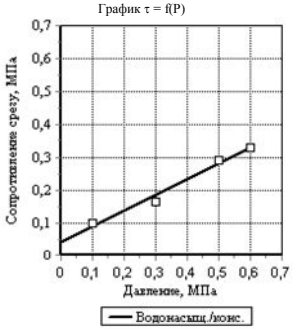


Модуль общей деформации $E_{0.1\text{-}0.2}$, МПа:
Модуль деформации с учетом M_k $E_{0.1\text{-}0.2}$, МПа:
Модуль общей деформации(водонасыщ) $E_{0.1\text{-}0.2}$, МПа: 7,16
Модуль деформации(водонасыщ) с учетом M_k $E_{0.1\text{-}0.2}$, МПа: 35,8
Относительная просадочность при P=0,3 МПа:
Начальное просадочное давление $P_{пр}$, МПа:
Относительное набухание (ПНГ), д.е.:
Влажность набухания (ПНГ), %:
Давление набухания (ПНГ), МПа:

	Состояние грунта			
	Водонасыщенное			
Вид среза	медленный консолидированный срез			
нормальное давление P, МПа	срезающая нагрузка, Кг	сопротивл. срезу τ, МПа	срезающая нагрузка, Кг	сопротивл. срезу τ, МПа
0,1	4,0	0,1		
0,3	6,6	0,165		
0,5	11,6	0,29		
0,6	13,2	0,33		

Тангенс угла внутр. трения	0,479	
Угол внутр. трения, град.	26	
Удельн. сцепление, МПа	0,042	

График τ = f(P)



Statistical investigation of soils

EGE 15 (for example)

Using 31 sample of soil

Grain size distribution:

From > 10 mm

To < 1μm

Other physical-mechanical properties

(ГОСТ 20522- 96)

Наименование характеристики	Кол-во значений характеристики		Значения характеристики			Коэф. вариа-ции	Коэф. надежности по грунту при доверительной вероятности		Расчетные значения характеристики при доверительной вероятности	
	общее	взятое в расчет	мин.	макс.	средн.		0,85	0,95	0,85	0,95
ИГЭ 15. Суглинок тяжелый пылеватый, твердый (g Q_{II}^{dn})										
Лаб. №№ 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2644, 2658, 2660, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2692, 2710, 2711										
1. Частиц >10 мм	31	31	0,3	17,7	4,9					
2. Частиц 10-5 мм	31	31	0,1	10,1	1,0					
3. Частиц 5-2 мм	31	31	0,2	3,1	1,1					
4. Частиц 2-1мм	31	31	0,5	8,3	1,4					
5. Частиц 1-0.5 мм	31	31	0,8	9,0	1,9					
6. Частиц 0.5-0.25 мм	31	31	4,1	18,1	6,9					
7. Частиц 0.25-0.1 мм	31	31	7,5	17,5	12,6					
8. Частиц 0.1-0.05 мм	31	31	1,6	48,4	14,3					
9. Частиц 0.05-0.01 мм	31	31	0,0	43,7	27,0					
10. Частиц 0.01-0.005мм	31	31	3,6	17,9	9,9					
11. Частиц 0.005-0.001мм	31	31	2,9	32,5	19,0					
12. Частиц < 0.001мм	31	31	0,0	0,0	0,0					
13. Плотность частиц грунта, г/см3	30	30	2,68	2,76	2,72	0,007	1,001	1,002	2,72	2,71
14. Влажность природная, %	30	30	10,0	17,4	14,2	0,15				
15. Плотность грунта прир. сложения, г/см3	30	30	2,10	2,30	2,17	0,024	1,005	1,007	2,16	2,16
16. Плотность сухого грунта, г/см3	30	30	1,81	2,09	1,90	0,041				
17. Плотность водонас. грунта, г/см3	30	30	2,14	2,32	2,20	0,021				
18. Коэффициент пористости прир.	30	30	0,301	0,517	0,432	0,142				
19. Влажность на границе текучести, %	30	30	18,2	38,0	29,7					
20. Влажность на границе раскатывания, %	30	30	10,5	19,8	15,5					
21. Число пластичности	30	30	7,2	18,3	14,2					
22. Показатель текучести	30	30	-0,39	0,23	-0,09					
23. Степень влажности	30	30	0,75	0,97	0,89	0,056				
24. Степень неоднородности грансостава	1	1	18,62	18,62	18,62					
25. Модуль деформации Emk водонас., МПа	27	24	19,8	134,8	53,5	0,597				
26. Удельное сцепление, МПа (водонас., конс.)	29	29	0,005	0,125	0,059	0,408	1,087	1,149	0,054	0,051
27. Тангенс угла (угол) внут. трения (водонас., конс.)	29	29	0,23 (13°)	0,60 (31°)	0,41 (22°)	0,234	1,048	1,08	0,39 (21°)	0,38 (21°)

Conclusions

The results of preliminary geological engineering survey

1. Route of the International Linear Collider passes in sparsely populated area near existent scientific center JINR (Joint Institute for Nuclear Research, Dubna)
2. Climatic conditions are comfortable.
3. Relief of the area is flat with soft outlines and small excess. The most part of the track is forest, the smaller part is meadows and tillage, partly is swamp land.
4. The route passes through the stable, steady structural element of the earth's crust – Russian plate. This territory is related to the 5-point zone under the MSK-64 scale.
5. Geological structure, hydrogeological conditions, geotechnical properties of soil are suitable for the ILC construction.
6. The ILC is planned to be placed at a shallow depth (13-24m) in layer of firm dense drift clay, partly in layer of water-field sand. Under the further researches of the region it is possible to place the route in drift clay entirely.
7. In general, the assumed route is favorable for the ILC construction. There is a positive experience of automated tunneling in similar soils in the Russian Federation.