

# РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТАБЛИЦЫ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

## DEVELOPING A REGIONAL TABLE OF DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF SOILS OF THE SOUTH OF THE TOMSK REGION

**СТРОКОВА Л.А.**

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Томского политехнического университета, к.г.-м.н., г. Томск, Россия, [strokova@sibmail.com](mailto:strokova@sibmail.com)

**STROKOVA L.A.**

An associate professor of the department of hydrogeology, engineering geology and hydrogeoecology of the Institute of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University, candidate of science (Geology and Mineralogy), Tomsk, Russia

### Ключевые слова:

многофакторный корреляционный анализ; грунт; прочностные характеристики; деформационные характеристики; нормативные значения; региональные таблицы.

### Key words:

multidimensional correlation analysis; soil; strength characteristics; deformation characteristics; normative values; regional tables.

### Аннотация

**В статье приводятся результаты исследований физико-механических характеристик грунтов, распространенных в южной части Томской области, в основном озерно-аллювиальных отложений четвертичного возраста. Исследования включали систематизацию архивных данных по лабораторным испытаниям этих грунтов, установление взаимосвязей между их физическими и механическими характеристиками, разработку региональных таблиц нормативных значений их деформационных и прочностных характеристик.**

### Abstract

**The article shows the research results of physical-mechanical characteristics of soils that are widespread in the southern part of the Tomsk Region. They are generally lake-alluvial deposits of the quaternary age. The investigations included systematization of archival data on laboratory testing of the soils, determination of interrelations between their physical and mechanical characteristics, development of regional tables of normative values of their deformation and strength characteristics.**

Томская область занимает огромную площадь и в инженерно-геологическом плане изучена крайне неравномерно. Инженерно-геологические исследования этой территории связаны с работами М.И. Кучина, Б.В. Плотникова, Г.А. Сулакшиной, Е.С. Цоцур, Т.Я. Емельяновой, Т.Г. Кривенцовой, Н.Г. Альшанской [2–4] и др.

Сложность инженерно-геологического изучения данной территории определяется рядом факторов, такими, например, как: закрытость территории, невозможность проведения непосредственных корреляций отложений, невозможность палеонтологической датировки многих поверхностей и др. Вероятно, это и явилось одной из причин того, что в настоящее время для Томской области отсутствуют нормативные документы (территориальные строительные нормы) по неоген-четвертичным отложениям в части физико-механических характеристик оснований зданий и сооружений. В то же время эти отложения широко представлены на данной территории и входят в сжимаемую зону от веса зданий и сооружений.

Отсутствие нормативных характеристик по неоген-четвертичным отложениям приводит к применению более материалоемких фундаментов (например, принимаются заведомо заниженные характеристики отложений и, соответственно, используется большее количество свай, что ведет к большим перерасходам материалов).

В то же время следует отметить, что намечено преобразование строительного комплекса Томской области в межотраслевой градостроительный кластер. Тем самым предполагается к 2022 г. повысить обеспеченность населения жильем, объектами социальной, транспортной и коммунальной инфраструктуры на 10,2% от среднего уровня по России. Все это требует проектирования и устройства рациональных фундаментов на основе достоверных характеристик неоген-четвертичных отложений, что позволит значительно уменьшить материальные затраты (на арматуру, цемент, бетон и др.).



Целью настоящей работы является разработка региональной таблицы прочностных и деформационных характеристик грунтов на основе исследования корреляционных связей между показателями физико-механических свойств наиболее характерных геолого-генетических комплексов пород исследуемого региона. В основу работы положены результаты теоретических, методических и экспериментальных исследований, выполненных автором в 1985–2012 гг.

Основными геоморфологическими элементами территории Томской области являются: высокие и низкие поймы рек Обь, Томь, Чулым, Шегарка, аллювиальные равнины надпойменных террас, озерные и озерно-аллювиальные равнины междуречий, расположенные на различных геоморфологических уровнях. В морфогенетическом отношении на территории выделяются два основных типа рельефа — аккумулятивно-денудационный (сюда относятся водораздельные равнины различного возраста) и аккумулятивный (древние ложбины стока и долины современных рек). В морфографическом отношении современный рельеф территории имеет холмисто-равнинный характер, незначительно расчлененный долино-овражно-балочной сетью.

Инженерно-геологические условия территории сформировались в неоген-четвертичное время. Позднеплиоценовый этап характеризуется сложными тектоническим развитием и палеогеографическими условиями с неоднократной сменой ледниковых и межледниковых периодов, во время которых сформировались следующие отложения (стратиграфо-генетические комплексы) [2]:

- эоплейстоценовые озерно-аллювиальные кочковской свиты ( $la_{Ekc}$ );
- эоплейстоценовые ниже-среднечетвертичные озерно-аллювиальные смирновской свиты ( $IQ_{E-IIsmr}$ );
- ниже-среднечетвертичные озерно-аллювиальные федосовской свиты ( $la_{Q_{I-II}fd}$ );
- аллювиальные тобольской свиты ( $aQ_{II}tb$ );
- среднечетвертичные озерно-аллювиальные сузгунской свиты ( $la_{II}sz$ );
- аллювиальные древних ложбин стока ( $aQ_{II-III}$ );
- аллювиальные первой, второй и третьей надпойменных террас ( $aQ_{1,2,3}$ ) и поймы ( $aQ_{IV}$ );
- субаэральные покровные ( $saQ_{III-IV}$ );
- золотые ( $vQ_{III-IV}$ );
- озерно-болотные ( $bQ_{IV}$ ).

Исследования физико-механических характеристик грунтов проводились в лабораторных условиях. При этом определялись их физические и механические (прочностные и деформационные) характеристики. В данной работе использованы результаты испытаний 346 монолитов и 2660 определений гранулометрического состава и физических свойств грунтов. Для установления взаимосвязей между полученными характеристиками результаты обрабатывались статическими методами на ЭВМ [2].

Современные болотные отложения ( $bIV$ ) представлены торфяниками, илами, глинами и суглинками с большим содержанием растительных остатков, которые или подстилают торф или замещают его в разрезе. Мощность торфа — от 0,5 до 7,5 м. Он имеет различную окраску и степень разложения органического ве-

щества. С ростом степени разложения повышается плотность, снижаются влажность, пористость и модуль деформации торфа.

Аллювиальные отложения пойм ( $aIV$ ) имеют различную мощность и строение в долинах крупных рек и их притоков. Мощность пойменных отложений в долинах Оби, Чулыма и Томи достигает 25 м, а в долинах их притоков она уменьшается до 5–10 и 1 м. Аллювиальный комплекс современных пойм очень разнообразен и характеризуется закономерной сменой гранулометрических разновидностей в вертикальном разрезе от средне- и мелкозернистых песков с примесью гравия в базальных горизонтах до суглинков, глин и заторфованных пород в приповерхностных слоях; сильно выраженной фациальной изменчивостью отложений и наличием трех основных литолого-фациальных горизонтов руслового, старичного и пойменного аллювия (табл. 1, 2).

Русловые отложения представлены кварц-полевошпатовыми песками мелкими, пылеватыми, реже средними, с косой и горизонтальной волнистой слоистостью. Старичные отложения представлены темно-серыми, сизовато-серыми пылеватыми суглинками и глинами и гумусированными разновидностями этих пород. Отложения собственно пойменной фации представлены буровато-серыми и коричневатосерыми пылеватыми супесями, суглинками и глинами. Они характеризуются комковатым сложением, ожелезненностью [2].

Глинистые отложения пойм отличаются пылеватым составом, высокой пористостью и сжимаемостью. Пределы пластичности изменяются значительно как по площади, так и по мощности слоя в зависимости от количества песчаных фракций или растительных остатков. По консистенции встречаются суглинки от твердых до мягкопластичных, супеси — от твердых до пластичных. Глинистые породы имеют низкую водопроницаемость, размокают в воде. Встречаются набухающие разновидности. Породы поймы являются незасоленными, слабогумусированными, некарбонатными.

Пески в пойме р. Шегарки вскрыты в основании разреза, в пойме р. Оби они участками залегают и с поверхности. Выработками вскрыты пески пылеватые, мелкие и гравелистые, средней плотности и рыхлые, реже плотные; маловлажные, влажные и водонасыщенные, различные по степени однородности.

Верхнечетвертичные-современные золотые отложения ( $vIII-IV$ ) распространены в пределах древних ложбин стока на Обь-Томском междуречье, на поверхности высоких террас и реже на водораздельных равнинах и представлены в основном песками мелкими с маломощными прослоями суглинков и супесей. Мощность данных пород 0,5–7,4 м. В песках преобладает фракция 0,25–0,10 мм (более 50%). Эти пески являются плотными, редко средней плотности; маловлажными и влажными. Прочностные и деформационные свойства грунтов  $vIII-IV$  изучены слабо.

Субаэральные покровные образования ( $saIII-IV$ ) распространены на большей половине изучаемой территории, залегают с поверхности на левобережной Приобской равнине, Обь-Томском, Томь-Яя-Чулымском междуречьях. Мощность покровных отложений изменяется от 1 до 5–6 м, редко 8 м. Отложе-



Таблица 1

Обобщенная характеристика показателей гранулометрического состава, физических, физико-химических									
Стратиграфо-генетический комплекс	Тип грунта	Статистика	Процентное содержание фракций, мм					$W_e$ , %	$W_b$ , %
			> 0,25	0,25–0,1	0,01–0,05	0,05–0,005	< 0,005		
aIV	суглинок	X	0,00	7,8	19,7	55,4	16,7	<b>32,7</b>	<b>34,7</b>
		N	13	13	13	13	13	13	13
a <sup>1,2,3</sup> III	глина	X	0,00	0,3	4,1	61,1	<b>34,5</b>	32,8	41,1
		N	6	6	6	6	6	6	6
	суглинок	X	0,30	6,0	14,9	58,4	20,8	26,8	<b>33,7</b>
		N	80	80	80	80	80	80	75
	супесь	X	4,12	31,8	29,7	27,0	7,5	23,4	23,1
		N	16	16	16	16	16	16	14
saIII-IV	глина	X	0,00	0,0	5,1	63,3	33,0	27,8	42,0
		N	7	7	7	7	7	7	7
	суглинок	X	0,39	2,2	12,7	<b>65,0</b>	19,5	24,4	34,1
		N	178	178	178	178	178	174	177
	супесь	X	2,55	16,4	30,4	40,3	9,9	19,8	23,2
		N	28	28	28	28	28	27	28
aII-III	суглинок	X	1,13	8,3	13,7	56,6	<b>23,6</b>	25,6	30,4
		N	42	42	42	42	42	44	42
	супесь	X	7,00	33,3	21,4	24,4	9,8	20,9	19,2
		N	8	8	8	8	8	8	8
I IIsz	глина	X	0,00	0,9	11,4	54,4	<b>34,2</b>	26,4	42,2
		N	24	24	24	24	24	24	24
	суглинок	X	0,04	1,4	12,6	60,9	25,2	26,3	26,2
		N	351	351	351	351	351	333	348
	супесь	X	0,52	13,4	44,2	31,5	10,0	23,7	23,9
		N	42	42	42	42	42	36	38
aIItb	суглинок	X	1,38	5,4	19,9	49,8	23,4	27,4	<b>34,3</b>
		N	13	13	13	13	13	12	13
	супесь	X	9,80	29,6	31,8	19,2	9,9	20,8	20,6
		N	11	11	11	11	11	10	11
I I-IIfd	глина	X	0,64	1,0	5,0	<b>62,1</b>	31,7	<b>31,0</b>	41,3
		N	28	28	28	28	28	28	28
	суглинок	X	0,42	3,1	11,7	<b>62,4</b>	22,1	26,3	<b>33,6</b>
		N	351	351	351	351	351	345	349
	супесь	X	1,95	18,4	32,0	38,0	10,0	20,8	22,8
		N	44	44	44	44	44	41	41
aI E-II smg	глина	X	0,00	0,1	8,8	59,4	29,4	27,3	42,4
		N	22	22	22	22	22	22	22
	суглинок	X	0,04	0,8	10,7	<b>65,1</b>	23,4	27,1	37,2
		N	178	178	178	178	178	174	177
IaEkc	глина	X	0,05	1,3	14,8	51,1	32,7	26,8	40,5
		N	18	18	18	18	18	18	18
	суглинок	X	0,77	5,3	17,7	58,4	21,1	24,7	<b>32,9</b>
		N	130	130	130	130	130	127	129
	супесь	X	1,32	9,6	26,1	51,2	11,7	21,2	26,0
		N	25	25	25	25	25	25	25

\* X — среднее значение; N — число определений;  $W_e$  — естественная влажность;  $W_l$  — влажность на границе текучести;  $W_p$  — влажность на границе раскатывания;  $I_L$  — показатель текучести;  $\rho$  — плотность грунта естественного сложения;  $\rho_s$  — плотность частиц грунта;  $n$  — пористость;



и физико-механических свойств глинистых пород юга Томской области* [5]												
$W_p$ , %	$IL$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$n$ , %	$e$ , д.е.	$S_r$ , д.е.	Содержание CaCO <sub>3</sub> , %	$\varepsilon_{sw}$ , д.е.	$W_n$ , %	$E_{0-0,3}$ , МПа	$c$ , кПа	$\Phi$ , град
21,9	0,53	<b>1,81</b>	2,65	<b>48,7</b>	1,03	0,85	0,13	-	-	-	-	-
13	13	13	13	13	13	13	2	-	-	-	-	-
23,0	0,55	1,91	2,71	41,0	0,87	1,01	-	-	-	-	-	-
6	6	6	6	6	6	6	-	-	-	-	-	-
21,0	0,45	1,98	2,70	42,1	0,72	1,04	3,30	0,008	28,80	22,28	20,90	22,4
75	75	80	80	80	80	80	67	12	12	12	10	10
16,6	1,05	1,95	2,68	40,4	0,69	0,90	2,08	-	-	-	-	-
14	14	16	16	16	16	16	8	-	-	-	-	-
23,3	0,33	1,92	2,72	45,3	0,83	0,91	6,12	-	-	-	-	-
7	6	7	7	7	7	7	3	-	-	-	-	-
21,1	0,35	<b>1,88</b>	2,69	43,8	0,78	0,83	5,19	0,061	27,97	28,38	11,68	18,7
177	174	162	166	161	162	162	34	12	12	28	28	28
18,1	0,70	1,92	2,67	39,0	0,67	0,77	-	-	-	-	-	-
28	28	26	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-
19,9	0,59	1,93	2,67	42,0	0,70	0,94	-	-	-	-	-	-
42	42	44	43	42	42	42	-	-	-	-	-	-
16,3	1,18	2,01	2,65	36,6	0,60	0,92	-	-	-	-	-	-
8	8	6	6	6	6	6	-	-	-	-	-	-
23,8	0,21	1,96	2,68	42,7	0,76	0,93	2,21	-	-	3,81	21,80	20,4
24	24	24	24	24	24	24	4	-	-	9	9	9
23,4	0,31	<b>1,97</b>	2,70	42,2	1,16	0,96	3,18	0,008	30,86	4,64	23,90	17,0
348	329	331	340	331	331	331	116	29	29	33	27	27
18,8	0,82	1,99	2,68	39,2	0,66	0,99	3,29	-	-	-	-	-
38	31	34	38	35	35	36	12	-	-	-	-	-
22,0	0,46	1,95	2,67	40,9	0,73	0,96	-	-	-	-	-	-
12	13	12	11	10	10	11	-	-	-	-	-	-
16,8	0,37	1,95	2,67	39,1	0,66	0,94	0,25	-	-	-	-	-
11	7	10	11	10	10	10	2	-	-	-	-	-
23,7	0,39	1,95	2,70	43,8	0,81	1,02	5,71	-	-	27,99	1,56	14,8
28	28	28	28	28	28	28	10	-	-	12	18	18
22,1	0,47	<b>1,96</b>	2,69	42,1	0,73	0,96	4,94	0,014	30,04	4,64	12,06	18,0
349	344	336	334	344	334	335	51	19	19	33	53	53
18,2	0,80	1,98	2,65	37,8	0,62	0,89	3,29	-	-	-	-	-
41	37	38	39	38	38	38	12	-	-	-	-	-
22,5	0,21	1,91	2,71	44,4	0,70	0,91	2,23	-	-	6,85	35,73	12,8
22	22	22	22	22	22	22	3	-	-	15	15	15
34,6	0,29	1,92	2,70	43,8	0,78	0,91	3,77	0,014	31,65	4,58	32,70	15,7
177	175	173	177	173	173	173	79	43	43	43	38	38
22,7	0,24	1,91	2,70	43,6	0,78	0,92	3,53	-	-	37,50	0,45	18,0
18	18	18	18	18	18	18	2	-	-	4	6	6
21,2	0,39	<b>1,97</b>	2,68	40,5	0,69	0,95	2,29	-	-	41,70	4,06	17,0
129	126	115	119	115	115	113	49	-	-	24	26	26
20,5	0,44	1,92	2,66	40,4	0,75	0,83	1,02	-	-	-	-	-
25	25	22	24	22	22	22	2	-	-	-	-	-

$e$  — коэффициент пористости;  $S_r$  — коэффициент водонасыщения;  $\varepsilon_{sw}$  — относительная деформация набухания без нагрузки;  $W_n$  — влажность набухания;  $E_{0-0,3}$  — модуль общей деформации в интервале нагрузок 0,0–0,3 МПа;  $c$  — удельное сцепление;  $\Phi$  — угол внутреннего трения.

ния этого комплекса изучены относительно равномерно как по площади, так и по мощности разреза. По гранулометрическому составу они представлены преимущественно тяжелыми суглинками, в меньшей степени — легкими пылеватыми глинами, супесями, пылеватыми песками. Содержание песчаных фракций в них незначительное, преобладает содержание пылеватой фракции (в песках — от 2 до 66%, в супесях — от 40 до 80%, в суглинках — от 14 до 88%, в глинах — от 57 до 69%). Данные отложения являются слабогумусированными (до 0,7%), имеют наибольшую карбонатность по сравнению с другими стратиграфо-генетическими комплексами, содержание  $\text{CaCO}_3$  в них составляет 6–7%, карбонаты встречаются как в рассеянном виде, так и в форме стяжений. По содержанию и составу легкорастворимых солей рассматриваемые грунты можно отнести к незасоленным, редко к засоленным (с преобладанием хлоридно-гидрокарбонатного типа засоления). Эти отложения имеют высокую коррозионную активность по отношению к металлам. В минеральном составе глинистой фракции имеются гидрослюда, каолинит, кварц, полевые шпаты, монтмориллонит.

В связи с условиями формирования и залегания данных отложений показатели их свойств изменяются в значительных пределах (особенно в интервале глубины от дневной поверхности 0–2 м). Низкие плотность, степень влажности, высокие значения коэффициента пористости на глубине 1 м связаны с почвообразовательными процессами. По консистенции преобладают

твердые, полутвердые и тугопластичные разновидности. Эти грунты являются ненабухающими, но встречаются и сильнонабухающие. Они быстро размокают в воде (в течение 2 мин.), среди них редко встречаются неразмокающие, непросадочные.

По данным ОАО «ТомскТИСИЗ», покровные отложения при дополнительных давлениях могут быть просадочными. Начальное просадочное давление составляет 0,15–0,20 МПа, коэффициент относительной просадочности равен 0,01–0,05. По данным Г.А. Сулакшиной [4], районы Томской области, сложенные лессовыми грунтами, имеют 1-й тип грунтовых условий, когда просадка возможна от воздействия дополнительной нагрузки. Преобладают слабо- и среднесжимаемые разности. Показатели свойств покровных отложений незначительно меняются по площади и по глубине в широких пределах [2]. Верхняя часть покровных суглинков может обладать пучинистыми свойствами в различной степени, т.к. в ряде скважин по показателю консистенции грунты отнесены к мягкопластичным, текучепластичным и текучим. Коэффициенты фильтрации покровных суглинков изменяются от 0,002 до 0,77 м/сут.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения первой надпойменной террасы ( $a^1 III$ ) в большей степени распространены на правобережье р. Оби и на меньших по площади участках — по обоим берегам Томи, Чулыма и их притоков. Они представлены преимущественно песками всех разновидностей, местами с прослоями суглинков, супесей, с гравийно-га-

Таблица 2

Характеристика гранулометрического состава и физических свойств песчаных пород юга Томской области* [2]														
Стратиграфо-генетический комплекс	Статистика	Процентное содержание фракций, мм					$W_c$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$n$ , %	$e$ , д.е.	$S_r$ , д.е.	Содержание $\text{CaCO}_3$ , %	Содержание гумуса, %
		> 0,25	0,25–0,1	0,01–0,05	0,05–0,005	< 0,005								
aIV	X	29,6	30,0	23,0	12,7	3,6	13,5	1,58	2,64	33,0	0,87	0,45	-	-
	N	12	12	12	12	12	11	10	11	9	9	10	-	-
a <sup>1,2,3</sup> III	X	34,1	49,1	9,0	7,0	1,0	17,1	1,96	2,64	36,4	0,59	0,83	0,25	0,26
	N	50	50	50	50	50	48	38	50	38	38	48	15	13
saIII-IV	X	9,0	44,7	19,7	19,3	6,5	14,1	1,79	2,61	40,2	0,70	0,51	-	-
	N	14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	-	-
vIII-IV	X	25,3	50,0	16,8	4,2	2,83	10,6	1,77	2,64	38,2	0,61	0,50	-	-
	N	47	47	47	47	47	47	39	34	28	28	28	-	-
aII-III	X	10,7	48,4	27,9	9,1	3,2	14,8	1,92	2,65	38,7	0,54	0,80	-	-
	N	25	25	25	25	25	25	25	15	11	11	11	-	-
aIItb	X	29,0	50,2	10,2	9,8	1,3	20,5	2,01	2,64	36,1	0,58	0,96	0,53	0,67
	N	88	88	88	88	87	47	45	73	45	45	71	24	10
II-IIfd	X	10,4	50,0	16,6	15,0	5,5	20,7	1,90	2,65	40,4	0,68	0,76	-	-
	N	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	19	-	-
IE-IIsmr	X	5,3	30,5	40,6	48,7	5,0	19,5	2,00	2,65	38,1	0,57	0,91	2,02	0,31
	N	59	59	59	59	59	38	36	55	36	36	53	26	1
laEkc	X	16,2	50,5	17,3	10,4	5,1	18,4	2,19	2,63	35,1	0,56	0,96	0,97	0,77
	N	38	38	38	38	38	14	16	28	11	11	35	18	18

\* Условные обозначения — те же, что в табл. 1.



лечниковым горизонтом в основании. Пески относятся к несортированным разновидностям, являются плотными и средней плотности, с глубиной в них закономерно увеличивается содержание крупных фракций. Мощность отложений  $a^1III$  в долинах Оби, Томи, Чулыма — до 20–25 м.

Суглинки в разрезах первых террас Оби и Томи имеют ограниченное распространение и залегают в виде маломощных прослоев по всему разрезу, но большая часть их встречена в кровле, к подошве же их количество значительно уменьшается.

*Верхнечетвертичные аллювиальные отложения второй надпойменной террасы ( $a^2III$ )* наиболее распространены на правобережье Томи севернее реки Большая Киргизка и на правобережье Оби севернее устья Томи и русла Чулыма. Отложения имеют преимущественно двухслойное строение. В верхней части залегают суглинки с прослоями супесей, глин и песков, в нижней — пески пылеватые, мелкие и средние с гравийно-галечниковыми отложениями в подошве. По консистенции глинистые грунты — преимущественно от твердых до мягкопластичных, в меньшей степени — текучепластичные и текучие в линзах, содержащих верховодку [2]. Пески — главным образом несортированные, но участками встречаются и хорошо отсортированные. Преобладают пески рыхлые и средней плотности. Мощность отложений  $a^2III$  — до 30–35 м.

*Верхнечетвертичные аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы ( $a^3III$ )* распространены только в долине р. Томи в районе г. Томска. Верхняя часть разреза указанной террасы представлена суглинком с прослоями супеси и глины. Для этих отложений характерны признаки облессования: повышенная пылеватость, включения карбонатов, столбчатая отдельность, желтовато-бурый цвет, твердое-полутвердое состояние. Мощность — до 35 м и более [2]. Нижняя часть представлена песками различной крупности с включениями гравийно-галечниковых отложений в подошве. Пески — пылеватые и мелкие, с высоким содержанием фракций 0,05–0,10 и 0,10–0,25 мм.

Отложения  $a^3III$  имеют отличительную особенность: глинистый аллювий, слагающий верхнюю часть разреза, облессован. Лессовые суглинки при низкой влажности и коэффициенте пористости склонны к доуплотнению при замачивании под нагрузкой 0,3 МПа. Коэффициент относительной просадочности при этом имеет значения в диапазоне 0,01–0,07.

Породы надпойменных террас являются слабокарбонатными (со средним содержанием  $CaCO_3$  3,3%, максимальным — 7,5%), слабогумусированными (с содержанием гумуса менее 1%), преимущественно незаполненными (водорастворимых солей — до 0,2%). В минеральном составе глинистой фракции преобладает гидрослюда, меньше кварца, присутствует каолинит, кальцит, примесь органики.

По ГОСТ 25100-95 грунты представлены суглинками, супесями, реже глинами. Для каждого типа этих пород характерны большие интервалы колебаний показателей свойств. По  $I_L$  присутствуют все разновидности грунтов. Супеси преобладают текучие, т.к. они залегают либо вблизи уровня грунтовых вод, либо являются водовмещающими. Преобладают ненабухаю-

щие разновидности, единичные образцы слабонабухающие, преимущественно слаборазмозающие и неразмозающие. Преобладают среднесжимаемые разности при нагрузках до 0,3 МПа, реже встречаются слабосжимаемые.

*Средне-верхнечетвертичные отложения пайдугинской свиты ( $laII-IIIpd$ )* распространены на междуречье Оби и Томи. Это отложения древних ложбин стока, которые четко выражены в рельефе, образуют полосы, ограниченные долинами рек, и простираются с северо-востока на юго-запад. Мощность данных отложений — от первых метров до 10–20 м в крупных ложбинах. Они имеют песчаный состав с маломощными прослоями супесей и суглинков, в основании разреза — с гравием и галькой. Пески — пылеватые, мелкие и средние, неоднородные по грансоставу, несупфозионные, с высокой влажностью, средней плотностью, низким содержанием глинистой фракции (0–8%). Супеси и суглинки имеют консистенцию, близкую к текучей, плотность 1,9–2,0 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости 0,6–0,7.

*Среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения сузгунской свиты ( $laIIIsz$ )* выходят на поверхность на склонах водораздельной левобережной равнины к долинам Оби и Шегарки. Они представлены глинистыми и песчаными разновидностями, причем первые слагают преимущественно верхнюю часть разреза. Преобладают суглинки, реже встречаются глины и супеси, встречаются прослои погребенных почв. Породы весьма неоднородны по гранулометрическому составу (от легких до тяжелых разностей), местами алевритистые и иловатые, карбонатные, с выраженной горизонтальной слоистостью. В минеральном составе глинистой фракции преобладают гидрослюда, монтмориллонит, органика. Пески в нижней части разреза — преимущественно пылеватые и мелкозернистые, полевошпатово-кварцевые, глинистые, часто тонкослойные. Мощность отложений  $laIIIsz$  — более 20 м.

*Среднечетвертичные аллювиальные отложения тобольской свиты ( $aIIIb$ )* залегают под породами пойменных и надпойменных террас притоков р. Оби в северной части района и под отложениями сузгунской свиты. Это преимущественно пески и супеси, в меньшей степени — суглинки легкие и тяжелые с преобладанием песчаной фракции.

Пески — разного типа (от пылеватого до гравелистого), с увеличением к подошве более крупных разностей. Пески — пылеватые и мелкие, преимущественно насыщены водой (коэффициент водонасыщения  $S_r = 0,96$ ), но присутствуют и влажные разновидности. Среди них преобладают плотные, реже средней плотности. Пески, неоднородные по гранулометрическому составу, могут проявлять супфозионные свойства. Содержание гумуса в них — около 0,6%, (максимальное значение 3,6%, что, возможно, объясняется фаціальными условиями образования старичного аллювия). Содержание карбоната кальция в среднем составляет 0,5%.

Глинистые отложения представлены суглинками и супесями, залегают либо в кровле, либо в виде прослоев и линз в песках. Для суглинков характерны низкие значения коэффициента пористости, высокая степень влажности. Для супесей — высокие показатели пористости ( $e = 0,94$ ) и влажность. В них преобладают (31–44%) песчаные частицы размером 0,10–0,05 мм.

Нижне-среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения фэдосовской свиты (*laI-IIfd*) залегают первыми от дневной поверхности на значительной площади водораздельных равнин междуречий Оби и Томи, Оби и Чулыма или же перекрываются субэдральными покровными отложениями, редко эоловыми. Средняя мощность отложений свиты — 15–20 м, на юге Обь-Томского междуречья — до 50 м и более, на склонах — до 2–5 м. Представлены эти грунты легкими и тяжелыми пылеватыми суглинками, часто иловатыми, участками с повышенной карбонатностью. Суглинки — серого цвета с зеленоватым и голубоватым оттенком, с большим включением сажистого материала. По гранулометрическому составу преобладает пылеватая фракция (45–71%), значительно меньше содержание песчаной (10–41%) и глинистой (11–23%). Встречаются редкие прослои глин и супесей. По консистенции отложения *laI-IIfd* — от твердых до текучих. В минеральном составе глинистой фракции преобладают гидрослюда, кварц, кальцит, меньше содержится монтмориллонита, полевого шпата, органики.

В основании разреза грунтов *laI-IIfd* местами залегают пески мелкие и средней крупности, средней плотности, несортированные, от малой степени водонасыщения до насыщенных водой.

Эоплейстоцен-нижнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения смирновской свиты (*laE-IIsmr*) распространены на Обь-Шегарском и Обь-Томском водоразделах, имеют здесь довольно большую мощность и очень мало распространены на остальной территории. Они представлены однообразной толщей суглинков или глин, редко с прослоями супесей. Глины и суглинки — плотные, слабокарбонатные, часто железненные. В глинистой фракции присутствуют гидрослюда, монтмориллонит, примеси каолинита, кварца, органики. На левобережье р. Оби в нижней части разреза грунты *laE-IIsmr* сложены песками глинистыми от пылеватых до средней крупности иногда с гравием и галькой в подошве. Их мощность — от 5 и до 50 м и более.

Показатели физико-механических свойств отложений *laE-IIsmr* меняются в широких пределах. Эта неоднородность по свойствам связана с неоднородностью гранулометрического состава этих грунтов, присутствием в них прослоев с органическими остатками, наличием карбонатных включений. В разрезе присутствуют все разновидности отложений по показателю текучести, преобладают ненабухающие разновидности, реже слабонабухающие. Грунты *laE-IIsmr* слабосжимаемы. По лабораторным данным они являются непросадочными, но при дополнительной нагрузке до 0,3 МПа могут давать просадку.

Эоплейстоценовые озерно-аллювиальные отложения кочковской свиты (*la<sub>E</sub>Kc*) залегают в подошве разреза четвертичной системы, прослеживаются повсеместно в пределах водораздельных равнин Обь-Томского, Томь-Яйского и Обь-Чулымского междуречий, на поверхность выходят только на склонах. В верхней части они сложены толщей плотных глин с повышенным содержанием пылеватой и глинистой фракций. Ниже залегают тяжелые суглинки. Встречаются прослои супесей, песков. Пески на междуречье Оби и Томи залегают в основании разреза.

Мощность отложений *la<sub>E</sub>Kc* на Обь-Томском междуречье — более 50 м, на Томь-Яйском она уменьшается в среднем до 10–20 м, а в местах развития древних ложбин стока — до 5 м.

На рассматриваемой территории встречаются разновидности глинистых грунтов от твердой до мягкопластичной консистенции, но преимущественно твердой и полутвердой. В них преобладают гидрослюда, полевой шпат, кварц, в меньшем количестве присутствуют монтмориллонит, каолинит, органика. В воде они не размокают, их относительная деформация набухания  $e_{sw}$  изменяется от 0,5 до 2,4%. Глины по коэффициенту уплотнения отнесены к средне- и слабосжимаемым грунтам.

Песок в комплексе отложений *la<sub>E</sub>Kc* встречается в виде прослоев небольшой мощности, количество которых увеличивается к подошве. По гранулометрическому составу это мелкие и средние по крупности разновидности с преобладанием фракций 0,10–0,05 и 0,25–0,10 мм. По коэффициентам пористости и водонасыщения это грунты соответственно средней рыхлости и рыхлые, малой и средней степени водонасыщения. По коэффициенту сортировки они отнесены к несортированным разновидностям [2].

Приведенное описание геологического разреза зоны взаимодействия наземных сооружений с геологической средой показывает, что на исследуемой территории она представлена молодыми слаболитифицированными отложениями. Характерна неоднородность их петрографического состава и по площади, и по глубине разреза. Относительно однородными (плотными слабо- и среднесжимаемыми глинистыми породами) являются самые древние отложения разреза — кочковской и смирновской свит. В долинах рек и на водоразделе Томи и Яи, особенно в его южной части, комплекс четвертичных грунтов резко уменьшает свою мощность (до 10–25 м). Подстилают их более древние отложения палеогена (преимущественно глинистые), коры выветривания («синие глины») и скальные породы палеозоя.

Автором была проведена проверка различий между выборочными совокупностями некоторых показателей физико-механических свойств, химического состава грунтов основных стратиграфо-генетических комплексов Томского Приобья при помощи параметрического критерия Фишера [2]. Например, результаты такой проверки для песков приведены в табл. 3.

Прогноз значений деформационных и прочностных характеристик по данным о составе, состоянии, физических свойствах грунтов представляется сложной геотехнической задачей, зависящей от различных факторов. Наиболее эффективным методом решения подобных задач является комбинация факторного и корреляционного анализа, а именно многофакторный корреляционный анализ. Данный метод представляет собой методику исследования факторов (параметров системы или их совокупностей), связь которых с резуль- тативным показателем в отличие от функциональной является неполной, вероятностной (корреляционной). Если при функциональной (полной) зависимости при изменении аргумента всегда происходит соответствующее изменение функции, то при корреляционной связи изменение аргумента может дать несколько



значений функции в зависимости от сочетаний других факторов, определяющих данный показатель.

При проведении многофакторного корреляционного анализа для решения указанной выше задачи выделяется несколько этапов [1]:

- определяются факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отбираются наиболее существенные из них для корреляционного анализа;
- собирается и оценивается исходная информация, необходимая для корреляционного анализа;
- изучается характер и моделируется связь между факторами и результативным показателем, т.е. подбирается и обосновывается математическое уравнение, которое наиболее точно выражает сущность исследуемой зависимости;
- проводится расчет основных показателей связи корреляционного анализа;
- дается статистическая оценка результатов корреляционного анализа и определяется их практическое применение.

Данный метод позволяет количественно оценить взнос каждого фактора в величину результирующего показателя, обеспечивая тем самым более высокую надежность результатов прогноза.

Определение интегрированного показателя инженерно-геологических факторов (целевой функции) основано:

- на анализе и синтезе инженерно-геологических факторов, влияющих на результирующий параметр, по данным испытаний;
- на моделировании связи между факторными и результативными показателями, т.е. на подборе соответствующего уравнения, которое наилучшим образом описывает изучаемые зависимости;
- на оценке надежности показателей связи и правомерности использования указанного уравнения в практических целях.

В качестве целевых функций  $Y$  для прогноза были выбраны: модуль общей деформации  $E_0$  (МПа), удель-

ное сцепление  $c$  (кПа) и угол внутреннего трения  $\phi$  (град.). Целевая функция  $Y$  является функцией инженерно-геологических факторов  $X_i$ , т.е.  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Этими факторами могут быть: коэффициент пористости, параметры пластичности, степень водонасыщения, карбонатность, грансостав и др. Все они связаны с целевыми характеристиками и между собой.

Следующим этапом анализа являются сбор и статистическая оценка исходной информации, которая будет использоваться в корреляционном анализе. Собранный исходная информация должна быть проверена на достоверность, однородность и соответствие закону нормального распределения. Решение задачи многофакторного корреляционного анализа проводится на ПЭВМ по типовым программам. Сначала формируется матрица исходных данных, в первой колонке которой записывается порядковый номер наблюдения, во второй — результативный показатель  $Y$ , а в следующих — факторные показатели  $X_i$ . Эти сведения вводятся в ПЭВМ, рассчитываются матрицы парных и частных коэффициентов корреляции, решается уравнение множественной регрессии, определяются показатели, с помощью которых оцениваются надежность коэффициентов корреляции и уравнения связи, — критерии Стьюдента и Фишера, средняя ошибка аппроксимации, множественные коэффициенты корреляции и детерминации [1].

Изучая матрицы парных и частных коэффициентов корреляции, можно сделать вывод о тесноте связи между изучаемыми явлениями. Коэффициенты парной корреляции (КПК) характеризуют тесноту связи между двумя показателями в общем виде с учетом взаимосвязей факторов, оказывающих воздействие на результирующий показатель. Однако необходимо отметить, что КПК получаются при условии воздействия других факторов на результат. Чтобы абстрагироваться от их влияния и получить количественную характеристику связи между результативным и факторными показателями в чистом виде, рассчитываются частные коэффициенты корреляции (ЧКК).

Таблица 3

**Проверка различий между выборочными совокупностями некоторых показателей состава и физико-механических свойств песков основных стратиграфо-генетических комплексов Томского Приобья (при односторонней доверительной вероятности  $\alpha = 0,05$ )**

Показатель	Значения критерия Фишера* (расчетное/табличное) для пар выборок				
	aIV, a <sup>2-3</sup> III	a <sup>2-3</sup> III, saIII-IV	saIII-IV, vIII-IV	vIII-IV, aII-III	vIII-IV, a <sup>2-3</sup> III
Содержание фракции > 0,25 мм	1,86/2,57	14,00/2,02	4,80/2,07	3,20/1,79	3,01/1,74
Содержание фракции 0,25–0,10 мм	1,24/2,07	1,14/2,42	1,74/2,07	1,29/1,92	1,58/1,74
Содержание фракции 0,10–0,05 мм	5,99/2,57	2,90/2,42	1,23/2,48	1,23/1,79	3,59/1,74
Содержание фракции 0,050–0,005 мм	2,11/2,07	12,30/2,42	24,10/2,48	4,88/1,92	1,90/1,74
Содержание фракции < 0,005 мм	3,39/2,57	2,55/2,42	4,45/2,48	1,48/1,92	1,74/1,74
Естественная влажность $W_e$	1,23/2,72	2,31/2,02	1,15/2,48	1,37/1,92	1,53/1,85
Пористость $n$	1,35/2,00	2,80/2,79	1,35/2,00	4,50/2,57	1,35/2,00
Плотность $\rho$	3,01/2,86	1,82/2,42	1,13/2,02	1,53/1,92	2,07/1,84
Плотность сухого грунта $\rho_d$	3,75/2,86	2,64/2,42	1,26/2,48	1,48/1,92	5,50/2,61

\* Для выделенных другим цветом ячеек таблицы нулевая гипотеза не доказана, выборки по данному показателю различаются.





Значительный интерес представляют коэффициенты корреляции (КК), характеризующие взаимосвязь факторов между собой. Как уже отмечалось, для создания корреляционной модели надо подбирать независимые друг от друга факторы. Если КК двух факторов выше 0,85, то один из этих факторов необходимо исключить из модели. При изучении тесноты связи надо иметь в виду, что величина коэффициента корреляции зависит от объема выборки. Известно, что с уменьшением количества наблюдений надежность КК падает, и наоборот, при его увеличении надежность КК возрастает [1].

По данным лабораторных испытаний монолитов записывается уравнение множественной регрессии между целевой функцией и инженерно-геологическими факторами и между самими этими факторами. Так определяется вес  $g_i$  каждого геотехнического фактора ( $i$ ) в целевой функции:

$$Y = \sum_{i=1}^n g_i R_i^H, \quad (1)$$

где  $Y$  — целевая функция;  $R_i^H$  — количественный параметр стандартизированного геотехнического фактора  $i$ .

Определение веса геотехнических факторов  $g_i$  осуществляется через следующие этапы.

1. Выбор, синтез, пересмотр, статистика результатов испытаний, связанных с инженерно-геологическими факторами и целевой функцией.

2. Создание уравнения связи между целевой функцией и каждым инженерно-геологическим фактором и между самими этими факторами на основе анализируемых данных лабораторных испытаний грунтов.

3. Вычисление парных коэффициентов корреляции ( $r_{iy}$ ,  $r_{ij}$ ) между инженерно-геологическими факторами и целевой функцией и между самими этими факторами.

4. Вычисление стандартизованных коэффициентов  $\beta_1(1)$ ,  $\beta_2(2)$ , ...,  $\beta_n(n)$ , которые являются корнями системы уравнений:

$$\begin{cases} r_{1y} = \beta_1 + \beta_2 r_{21} + \dots + \beta_n r_{n1} \\ \dots \\ r_{ny} = \beta_1 r_{1n} + \beta_2 r_{2n} + \dots + \beta_n \end{cases}, \quad (2)$$

где  $r_{iy}$  — коэффициент корреляции между геотехническим фактором  $i$  и целевой функцией  $Y$ ;  $r_{ij}$  — коэффициент корреляции между инженерно-геологическими факторами  $i$  и  $j$ ;  $n$  — количество факторов.

5. Вычисление многомерного коэффициента корреляции  $R$  с использованием формулы:

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \beta_i r_{iy}. \quad (3)$$

Коэффициент  $R$  позволяет оценить, являются ли значимыми инженерно-геологические факторы в целевой функции. Если  $R \geq 0,75$ , то выбранные факторы являются значимыми и адекватными. Если  $R < 0,75$ , то отсутствуют некоторые важные факторы и необходимо пересмотреть их набор в целевой функции.

6. Вычисление веса геотехнических факторов  $g_i$  в целевой функции:

$$g_i = \frac{|\beta_i r_{iy}|}{\sum_{i=1}^n |\beta_i r_{iy}|}. \quad (4)$$

Таблица 4

Корреляционные зависимости между характеристиками грунтов				
Стратиграфо-генетический комплекс	Грунт	$Y^*$	Уравнение связи	$R^{2**}$
Субаэральные отложения (saQIII-IV)	Суглинок	$E_0$	$E_0 = 29,38 - 22,42e - 23,32I_L$	0,38
		$c$	$c = 0,34 - 0,069e - 0,147I_L$	0,66
		$\varphi$	$\varphi = 120,58 - 3,83e - 11,99I_L$	0,66
Озерные отложения федосовской свиты (laQ <sub>1-п</sub> fd)	Суглинок	$E_0$	$E_0 = 27,93 - 13,72e - 7,14I_L$	0,20
		$c$	$c = 0,461 - 0,202e - 0,14I_L$	0,54
		$\varphi$	$\varphi = 31,2 - 12,3e - 8,74I_L$	0,46
	Глина	$E_0$	$E_0 = 80,18 - 42,05e - 37,55I_L$	0,61
		$c$	$c = 0,49 - 0,041e - 0,518I_L$	0,34
		$\varphi$	$\varphi = 33,09 - 14,12e - 20,69I_L$	0,36
Озерно-аллювиальные отложения кочковской свиты (laEkc)	Суглинок	$E_0$	$E_0 = 118,7 - 101,3e - 2,5I_L$	0,47
		$c$	$c = 0,49 - 0,25e - 0,16I_L$	0,78
		$\varphi$	$\varphi = 27,8 - 5,6e - 13,6I_L$	0,64
	Глина	$E_0$	$E_0 = 91,9 - 69,3e - 0,84I_L$	0,84
		$c$	$c = 0,648 - 0,082e - 0,817I_L$	0,79
		$\varphi$	$\varphi = 23,54 - 2,71e - 10,6I_L$	0,30

\*  $Y$  — целевая функция;  $E_0$  — модуль общей деформации, МПа;  $c$  — удельное сцепление, кПа;  $\varphi$  — угол внутреннего трения, град.  
 \*\*  $R^2$  — коэффициент детерминации.



Таблица 5

Нормативные значения модуля общей деформации ( $E_0$ ) грунтов юга Томской области									
Стратиграфо-генетический комплекс	Грунт	Нормативные пределы $I_L^*$	$E_0$ , МПа, при $e^{**}$ , д.е.						
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Субаэральные покровные отложения (saQ <sub>III-IV</sub> )	Суглинок	0,00–0,25	23	22	21	20	19	18	17
		0,25–0,50	18	17	15	14	13	12	11
		0,50–0,75	11	10	8	7	6	5	4
		0,75–1,00	6	5	4	3	2	1	0
Озерные отложения федосовской свиты (laQ <sub>I-II</sub> fd)	Суглинок	0,00–0,25	22	21	20	18	17	16	14
		0,25–0,50	21	19	18	17	15	14	12
		0,50–0,75	19	18	16	15	13	12	11
		0,75–1,00	18	16	15	14	13	11	10
	Глина	0,00–0,25	62	58	53	49	45	41	36
		0,25–0,50	52	48	44	40	35	31	27
		0,50–0,75	41	37	33	28	24	20	16
		0,75–1,00	34	29	25	21	17	13	8
Озерно-аллювиальные отложения кочковской свиты (laEkc)	Суглинок	0,00–0,25	53	50	46	43	32	22	12
		0,25–0,50	52	48	44	42	32	22	12
		0,50–0,75	51	46	42	41	31	21	11
		0,75–1,00	51	44	40	38	28	20	10
	Глина	0,00–0,25	29	28	27	26	25	24	23
		0,25–0,5	23	22	21	20	19	18	17
		0,50–0,75	17	16	15	14	13	12	11
		0,75–1,00	12	11	10	9	8	7	6

\*  $I_L$  — показатель текучести. \*\*  $e$  — коэффициент пористости.

Таблица 6

Нормативные значения угла внутреннего трения ( $\phi$ ) грунтов юга Томской области*									
Стратиграфо-генетический комплекс	Грунт	Нормативные пределы $I_L$	$\phi$ , град., при $e$ , д.е.						
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Субаэральные покровные отложения (saQ <sub>III-IV</sub> )	Суглинок	0,00–0,25	18	18	17	17	17	16	16
		0,25–0,50	15	15	14	14	14	13	13
		0,50–0,75	11	11	11	10	10	10	9
		0,75–1,00	9	9	8	8	8	7	7
Озерные отложения федосовской свиты (laQ <sub>I-II</sub> fd)	Суглинок	0,00–0,25	26	25	24	22	21	20	19
		0,25–0,50	24	23	21	20	19	18	16
		0,50–0,75	21	20	19	18	16	15	14
		0,75–1,00	19	18	17	16	15	13	12
	Глина	0,00–0,25	26	25	23	22	20	19	18
		0,25–0,50	21	20	18	17	15	14	12
		0,50–0,75	15	13	12	10	9	8	6
		0,75–1,00	11	9	8	6	5	4	2
Озерно-аллювиальные отложения кочковской свиты (laEkc)	Суглинок	0,00–0,25	25	24	23	23	22	22	21
		0,25–0,50	21	21	20	19	19	18	18
		0,50–0,75	17	16	16	15	15	14	14
		0,75–1,00	14	14	13	13	12	11	11
	Глина	0,00–0,25	22	21	21	21	20	20	20
		0,25–0,5	19	19	18	18	18	18	17
		0,50–0,75	16	15	15	15	15	14	14
		0,75–1,00	14	13	13	13	13	12	12

\*  $I_L$  — показатель текучести. \*\*  $e$  — коэффициент пористости.

Таблица 7

Нормативные значения удельного сцепления ( $c$ ) грунтов юга Томской области*									
Стратиграфо-генетический комплекс	Грунт	Нормативные пределы $I_L$	$c$ , кПа, при $e$ , д.е.						
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
Субаэральные покровные отложения ( $saQ_{III-IV}$ )	Суглинок	0,00–0,25	30	30	29	28	28	27	26
		0,25–0,50	27	26	25	25	24	23	23
		0,50–0,75	22	22	21	20	20	19	18
		0,75–1,00	19	19	18	17	17	16	15
Озерные отложения федосовской свиты ( $laQ_{I-II-fd}$ )	Суглинок	0,00–0,25	38	36	34	31	29	27	25
		0,25–0,50	34	32	30	28	26	24	22
		0,50–0,75	30	28	26	24	22	20	17
		0,75–1,00	27	25	23	21	19	17	15
	Глина	0,00–0,25	42	42	41	41	40	40	39
		0,25–0,50	29	29	28	28	27	27	27
		0,50–0,75	14	13	13	12	12	11	11
		0,75–1,00	5	4	3	3	2	2	1
Озерно-аллювиальные отложения кочковской свиты ( $laE_{kc}$ )	Суглинок	0,00–0,25	39	36	34	31	29	26	24
		0,25–0,50	35	32	30	27	25	22	20
		0,50–0,75	30	27	25	23	20	18	15
		0,75–1,00	27	24	22	19	17	14	12
	Глина	0,00–0,25	54	53	52	51	51	50	49
		0,25–0,5	33	33	32	31	30	29	28
		0,50–0,75	9	8	7	6	6	5	4
		0,75–1,00	7	6	5	4	4	3	2

\*  $I_L$  — показатель текучести. \*\*  $e$  — коэффициент пористости.

При этом  $\sum_{i=1}^n g_i = 1$ , т.е. общий вес геотехнических факторов равен 1.

В результате анализа результатов лабораторных испытаний грунтов были установлены корреляционные зависимости между целевыми параметрами и коэффициентом пористости  $e$  и показателем текучести  $I_L$ , которые для глинистых грунтов показаны в табл. 4.

С помощью уравнений связи между целевыми функциями и коэффициентом пористости и пределом текучести, принятыми согласно СП 22.13330.2011, были рассчитаны нормативные значения механических характеристик грунтов (табл. 5–7).

Следует отметить, что полученные результаты из-за отсутствия данных полевых испытаний недостаточны для составления полноценных нормативных таблиц и могут применяться лишь как рекомендательные с последующим их уточнением прямыми испытаниями.

На основе исследований парной и множественной корреляции между показателями физических и механических свойств отложений были составлены региональные таблицы нормативных значений показателей механических свойств грунтов. Полученные данные существенно дополняют и конкретизируют сведения о свойствах отложений, имеющиеся в таблицах СП [5, 6], а также отражают региональные особенности грунтов.

Составленные автором региональные таблицы механических характеристик грунтов дают возможность

упрощать и ускорять процессы проектирования оснований зданий и сооружений и уменьшать объем, стоимость и трудоемкость инженерно-геологических изысканий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. 4-е изд., перераб. и доп. Минск: ООО «Новое знание», 2000. 688 с.
2. Строчкова Л.А. Инженерно-геологическое районирование территории Томского Приобья по степени устойчивости геологической среды к техногенной нагрузке: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 1997. 20 с. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/a/2002/47s.pdf>.
3. Сулакишина Г.А., Цоцур Е.С., Емельянова Т.Я. Типизация инженерно-геологических условий как основа планирования и проектирования строительных объектов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1977. № 4. С. 90–95.
4. Сулакишина Г.А. Инженерно-геологическая типизация местности, как основа регионального прогноза изменения геологической среды в связи с инженерной деятельностью человека // Инженерная геология. 1973. № 3. С. 49–54.
5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Минрегионразвития, 2010. 161 с.
6. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: ФГУП ЦПП, 2005. 177 с.