

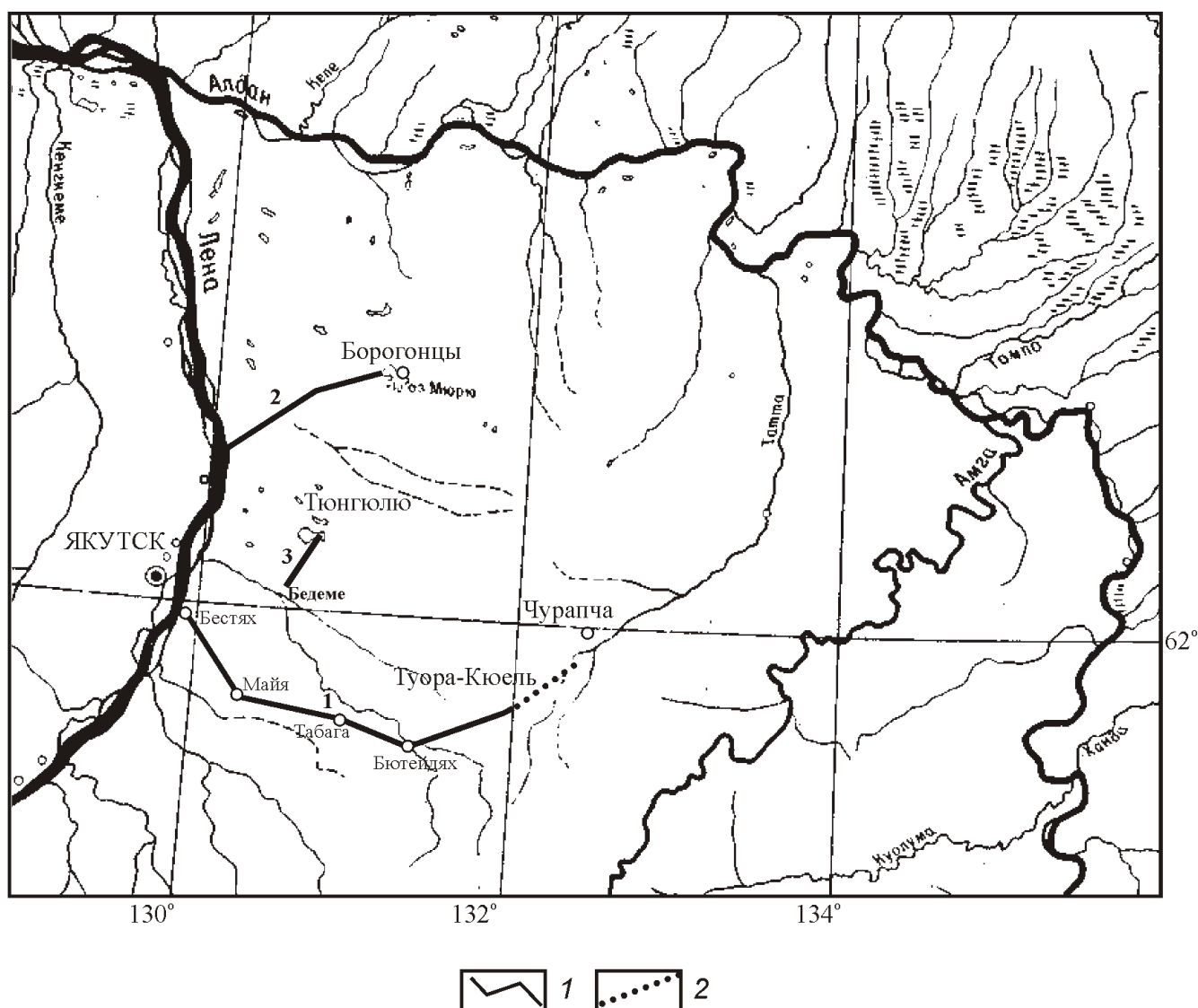
## Природные мерзлые грунты магистрального канала Центральной Якутии

А.М.САЛЬВА

Анализ водохозяйственного баланса на территории Республики Саха (Якутии) показал избыток водных ресурсов на одного человека. Однако неравномерное их распределение создает дефицит воды, и особенно питьевой, в некоторых районах Якутии. Проанализировав все причины дефицита воды в указанном регионе, специалисты решили использовать в качестве гарантированного источника водоснабжения — воды р.Лена. Было предложено строить водоводы сезонного действия с использованием дополнительно русел малых рек как магистральных каналов и водохранилищ для водоснабжения в зимнее время. Строительство предполагалось вести в сложных инженерно-геологических условиях, т.к. водоводы расположены в зоне

распространения многолетнемерзлых пород и на всем протяжении встречаются участки более или менее интенсивного развития мерзлотных процессов. В связи с этим актуальна задача возведения и эксплуатации гидротехнических сооружений. При решении данной задачи важную роль играла достоверная оценка характеристик грунтов, являющихся средой и одновременно естественными основаниями сооружений. К таким характеристикам относятся показатели физико-механических свойств грунтов.

**Виды, объемы и методы исследования.** Исследования проводились на участке полукрытого водовода — магистрального самотечного канала (см. рисунок) протяженностью 17 км.



Схематическая карта района исследований:

1 — водоводы: 1 — магистральный Лена—Туора Кюель—Татта, 2 — групповой Лена—Мюрю, 3 — групповой Бедеме—Тюнгилю; 2 — магистральный канал Туора Кюель—Татта

По инженерно-геологическим условиям и в качестве естественных оснований магистрального канала служат природные мерзлые дисперсные грунты преимущественно суглинистые, реже супесчаные, песчаные и глинистые. Грунты были исследованы в процессе инженерно-геологических изысканий предприятия АО «Якутводопроект», в которых автор принимал непосредственное участие. Была проведена их статистическая обработка и анализ с целью получения общей информации, которая помогла ответить на вопрос: могут ли мерзлые грунты в районе возведения магистрального канала являться их естественными основаниями?

В программу изысканий входило: 1) бурение механическим и ручным способом 53 скважин (4 — 10-метровых на мостовых переходах и 8 — 5-метровых на примыканиях, 21 — 5-метровые по трассе канала, 20 — 3-метровые на пониженных участках) общим объемом 245 км; 2) отбор проб (для определения влажности с каждых 0,5 м, для определения других физико-механических свойств с каждого 1 м); 3) лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов и камеральные работы.

В процессе исследования было сделано 23 определения гранулометрического состава песчаных грунтов, 467 — суммарной влажности грунтов, 140 — пластичности, 40 — степени засоленности, а также 8 — компрессионных испытаний, 16 — объемной массы. В 4-х 10-метровых скважинах были проведены температурные измерения.

**Краткая природно-геологическая характеристика района.** Трасса проектируемого участка водовода протяженностью 17 км проходит по территории Чурапчинского района Республики Саха (Якутия). В орографическом отношении полоса трассы приурочена к Лено-Амгинскому междуречью (равнина) Центрально-Якутской низменности юго-востока Средней Сибири. Относительные отметки высот рельефа непосредственно в районе исследований колеблются в пределах 185—201 м (по Балтийской системе высот). Территория, по которой проходит трасса, характеризуется как долина руч. Синниэгэс, впадающего в р.Татта. Климат рассматриваемой территории относится к резкоконтинентальному и отличается большими годовыми колебаниями температуры воздуха: минимальная зимняя — 64 °С, максимальная летняя — 38 °С (перепад летних и зимних температур составляет 102 °С, г.Якутск) и относительно малым количеством осадков 200—300 мм в год. Согласно дорожно-климатическому районированию по СниП 2.01.01-82, район расположения трассы относится к дорожно-климатической зоне 1, к центральной подзоне низкотемпературных многолетнемерзлых грунтов. В тектоническом отношении район расположения трассы находится в пределах восточной части Сибирской платформы и приурочен к границе Якутского поднятия и Алданского прогиба. В геологическом строении района принимают участие отложения кембрийской, юрской и меловой систем мезозойской группы, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем кайнозойской. Четвертичные озерно-аллювиальные отложения представлены суглинками, супесями, подземными льдами, песками разной зернистости, реже крупнообломочными грунтами, отнесенными к современным озерно-аллювиальным отложениям аласных долин.

Температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд, принятой равной 10 м, колеблется от —5,2 °С до 8,2 °С, данные получены по замерам температур грунтов пробуренных скважин 1—4. Мощность слоя сезонного от-

таивания определяется нормативной глубиной сезонного оттаивания и составляет 2,0—2,4 м.

Полоса трассы характеризуется широким развитием экзогенных геологических процессов. Наиболее распространены термокарст (в форме аласов и воронок (просадок) по бортам аласов и в межаласье) и полигонально-жильные структуры (повторно-жильные льды, байджерахи, полигональная система морозобойных трещин). В межаласье развиты бугры пучения (мелкобугристый рельеф), а в аласах — многолетние бугры пучения в форме «булгунняхов». Долина ручья заболочена. В результате распашки местности развивается термокарст на местах разработок грунта, образуются промоины по колее и обочине грунтовых автодорог. Гидрогеологические условия полосы трассы характеризуются возможностью ограниченного развития надмерзлотных грунтовых вод в слое сезонного оттаивания. При проведении буровых работ по трассе канала грунтовые воды скважинами не вскрывались. Для района строительства проектируемого водовода наблюдается сейсмичность 5 баллов, т.е. он является сейсмически не активным.

**Результаты исследования.** В процессе статистической обработки показателей значений глубин буровых скважин в районе исследований обнаружилось, что в природном залегании мерзлые дисперсные грунты представлены в основном суглинками 72%, реже супесями 14% и песками 11%, на глины приходится менее 1%, торф и заторфованные суглинок более 1%, также 1% приходится на повторно-жильный лед и лед в виде линз. Грунты в момент проведения исследования (середина марта) находились преимущественно в твердомерзлом состоянии и очень редко в талом.

В результате анализа пространственной изменчивости частных значений основных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами, с учетом данных о мерзлотном состоянии и литологических особенностях грунтов до исследованной глубины по полосе трассы выделяются 10 инженерно-геологических элементов (см. таблицу).

**Слой сезонного промерзания—оттаивания (деятельный слой).**

**ИГЭ-1.** Суглинок твердый ( $W_{tot}$  0,18); грунты элемента имеют природную влажность 0,06—0,30, ее среднее значение 0,18 и включения растительных остатков ( $I_{om}$  0,03); распространены повсеместно от поверхности до глубины 2,8 м и представлены в основном суглинками от желтого до темно-коричневого цвета. Во время проходки скважин грунты были в твердомерзлом состоянии с массивной криогенной текстурой. Грунты непрасадочные, незасоленные.

**ИГЭ-2.** Суглинок текучий ( $W_{tot}$  0,39). Грунты этого элемента преимущественно подстилают ИГЭ-1, иногда залегают с поверхности до нижней границы сезонно-талого слоя. Суглинок, реже супесь, от желтого до темно-коричневого цвета с включениями растительных остатков ( $I_{om}$  0,03), слоистой криогенной текстурой. При оттаивании имеют текучую консистенцию. Грунты просадочные, незасоленные.

**ИГЭ-3.** Суглинок с примесью растительных остатков ( $W_{tot}$  0,30,  $I_{om}$  0,09). Грунты данного элемента залегают от поверхности до сезонно-талого слоя. Суглинок темно-серого цвета в твердомерзлом состоянии с тонкослоистой криогенной текстурой. В талом состоянии грунты текуче-пластичной консистенции, просадочные.

**ИГЭ-4.** Пески крупные ( $W_{tot}$  0,25) распространены на участке скважин 20—22, мощность 0,2—0,8 м, и подстила-

Максимальные, минимальные и средние значения влажности, пластичности, степени загорфованности и содержания солей на участке магистрального канала

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)	Грунт	Интервал глубин скважин, м	Естественная (природная) влажность $W_{\text{от}}$				Пластичность $J$				Относительное содержание органических веществ (степень загорфованности) $I_{\text{ог}}$				Содержание солей $D_{\text{сол}}$			
			Число проб	Максимальная	Минимальная	Средняя	Число проб	Максимальная	Минимальная	Средняя	Число проб	Максимальное	Минимальное	Среднее	Число проб	Максимальное	Минимальное	Среднее
ИГЭ-1	Суглинок твердый	0,5—2,0	59	0,30	0,06	0,19	0,17	0,16	0,07	0,10	15	0,05	0,01	0,03	—	—	—	—
ИГЭ-2	текучий	0,5—2,0	102	1,16	0,15	0,39	26	0,14	0,03	0,08	23	0,05	0,02	0,03	5	0,100	0,050	0,066
ИГЭ-3	с примесью органических веществ	0,5—2,0	40	1,76	0,13	0,30	21	0,33	0,04	0,13	21	0,18	0,06	0,09	3	0,140	0,058	0,089
ИГЭ-4	Песок крупный	0,5—2,0	6	0,85	0,06	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Слой сезонного промерзания—оттаивания (десятилетний слой)</i>																		
<i>Вечномерзлая толща</i>																		
ИГЭ-5	Суглинок	3,0—10,0	129	0,49	0,16	0,30	40	0,17	0,06	0,09	30	0,05	0,02	0,03	13	0,100	0,040	0,065
ИГЭ-6	Суглинок льдистый	3,0—5,0	43	0,82	0,34	0,49	12	0,11	0,08	0,09	12	0,05	0,02	0,04	3	0,080	0,050	0,067
ИГЭ-7	Суглинок с примесью органических веществ	2,2—7,5	6	0,64	0,24	0,36	5	0,20	0,07	0,13	5	0,09	0,06	0,07	1	—	—	0,060
ИГЭ-8	Песок пылеватый	3,5—8,5	4	0,25	0,18	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ИГЭ-9	Песок средней крупности	2,5—10,0	40	0,39	0,14	0,24	—	—	—	—	1	—	—	0,02	5	0,060	0,030	0,046
ИГЭ-10	Супесь	2,5—10,0	34	0,42	0,16	0,29	16	0,07	0,03	0,06	16	0,05	0,02	0,03	8	0,090	0,040	0,057

ют грунты ИГЭ-2, а на участке скважин 22—24 залегают непосредственно у поверхности, мощность до 2,35 м. Грунты от желтого до серого цвета, твердомерзлые с массивной криогенной текстурой. При оттаивании рыхлые.

**Многолетнемерзлая толща.**

*ИГЭ-5.* Суглинок ( $W_{tot}$  0,30). Грунты распространены широко во всех скважинах и представлены суглинками, реже супесями легкими, средними и тяжелыми от светло-серого до темно-коричневого цвета с включениями растительных остатков ( $I_{om}$  0,03); находятся в твердомерзлом состоянии с тонкослоистой криогенной текстурой; при оттаивании приобретают преимущественно текучую, реже мягко и текучепластичную консистенцию. По результатам компрессионных испытаний коэффициент сжимаемости этих грунтов 0,009—0,013, что характеризует их как слабо- и среднесжимаемые, а коэффициент оттаивания ( $A_{th}$  0,04—0,105), — сильнопросадочные.

*ИГЭ-6.* Суглинок льдистый с включениями растительных остатков ( $W_{tot}$  0,49;  $I_{om}$  0,04) распространен в основном на мостовых переходах и площадке сопряжения. Грунты темно-серого цвета, твердомерзлые со слоистой криотекстурой, просадочные.

*ИГЭ-7.* Суглинок с примесью органических веществ ( $W_{tot}$  0,36;  $I_{om}$  0,07) наблюдаются в районе мостовых переходов 2 и 3, залегают в нижней части разреза скважин. Грунты серые, находятся в твердомерзлом состоянии со слоистой криогенной текстурой.

*ИГЭ-8.* Песок пылеватый ( $W_{tot}$  0,22) залегают в нижней части разреза в скважинах 1, 21 и 29 в виде отдельных линз в супесчано-суглинистых отложениях. Грунты серого цвета, твердомерзлые массивной криогенной текстуры.

*ИГЭ-9.* Песок средней крупности ( $W_{tot}$  0,24) довольно широко распространен. Грунты преимущественно слагают среднюю и нижнюю части разреза в скважинах: 2, 3, 4, 26, 27, 28, 34, 37, 38, 44 и 45 и имеют различные мощности. Грунты от желтых до серых, незасоленные, твердомерзлые с массивной криогенной текстурой.

*ИГЭ-10.* Супесь ( $W_{tot}$  0,29) вскрыта в нижней части разреза в скважинах 1, 2, 4, 21, 26, 29 и 43. Супеси от желтого до серого цвета, представлены тяжелой разностью, незасо-

ленные, твердомерзлые с тонкослоистой криогенной текстурой. Консистенция грунтов при оттаивании текучая. По результатам компрессионных испытаний супеси на глубине 4,0—7,5 м характеризуются как практически несжимаемые и слабосжимаемые, а по коэффициенту оттаивания как сильнопросадочные ( $A_{th}$  0,072—0,133 м/м).

Природные мерзлые грунты района исследования могут служить как естественные основания для строительства магистрального канала, при условии соблюдения следующих рекомендаций:

1. По инженерно-геологическим условиям и установленным уклонам местности исследованная трасса канала рекомендуется для организации самотечного участка проектируемого водовода р.Лена—р.Татта.

2. Следует использовать нормативные значения физико-механических свойств грунтов для расчетов при проектировании и строительстве.

3. Необходимо предусмотреть мероприятия по инженерной подготовке территории, обеспечивающие соблюдение естественного гидрогеологического и теплового режима грунтов и предотвращение развития термокарста и эрозии, приводящих к изменению естественного состояния грунтов, а также к недопустимым нарушениям природных условий окружающей среды.

4. Принять на участках производства земляных работ по устройству каналов следующие коэффициенты заложения откосов в зависимости от грунтов: суглинки (для подводных откосов 1,25—2, надводных 1—1,5); суглинки с примесью органических веществ (для подводных откосов 1—1,5, надводных 0,5—1); пески крупные (для подводных откосов 1,25—1,5, для надводных 1); пески пылеватые (для подводных откосов 3—3,5, надводных 2,5).

5. В состав мероприятий по инженерной подготовке территории должны быть включены природоохранные мероприятия, направленные на восстановление нарушенных в процессе строительства природных условий, в т.ч. мероприятий по рекультивации и восстановлению почвенно-растительного слоя, а также по предупреждению развития эрозии, термокарста и процессов размыва грунта.