

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 624.131.2

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА  
МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

**А.М. Сальва**

*Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, salva65@mail.ru*

Дано описание инженерно-геокриологических условий района магистрального самотечного канала, одного из сложных участков в системе магистрального водовода Лена–Туора Кюель–Татта в Центральной Якутии. Рассмотрены рельеф, гидрография, геологическое строение исследуемого района, состав, физико-механические свойства мерзлых грунтов, геоморфологические и мерзлотные условия.

*Мерзлый грунт, магистральный канал, инженерно-геокриологические условия, криогенные процессы*

**ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS IN THE REGION OF CONSTRUCTION  
OF WATERSYSTEM IN CENTRAL YAKUTIA**

**A.M. Salva**

*Earth Crust Institute SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia, salva65@mail.ru*

The description of the engineering-geocryological conditions in the region of one of the most complicated sections of the watersystem Lena–Tuora Kuel–Tatta in Central Yakutia is given in this article. Relief, hydrography, geological structure, composition, physical properties of frozen grounds, geomorphological and geocryological conditions of the research zone are examined.

*Frozen ground, watersystem, engineering-geocryological conditions, cryogenic processes*

**ВВЕДЕНИЕ**

Анализ водохозяйственного баланса на территории Республики Саха (Якутия) показал избыток водных ресурсов, однако неравномерное их распределение создает дефицит воды, особенно питьевой, например, в заречной группе районов Центральной Якутии. Проанализировав все причины дефицита воды в указанном регионе, специалисты решили использовать в качестве гарантированного источника водоснабжения воды великой сибирской реки Лены. В 1980–1990-х гг. было предложено строить магистральные и групповые водоводы сезонного действия с использованием дополнительно русел малых рек в качестве магистральных каналов и строительством водохранилищ для водоснабжения в зимнее время.

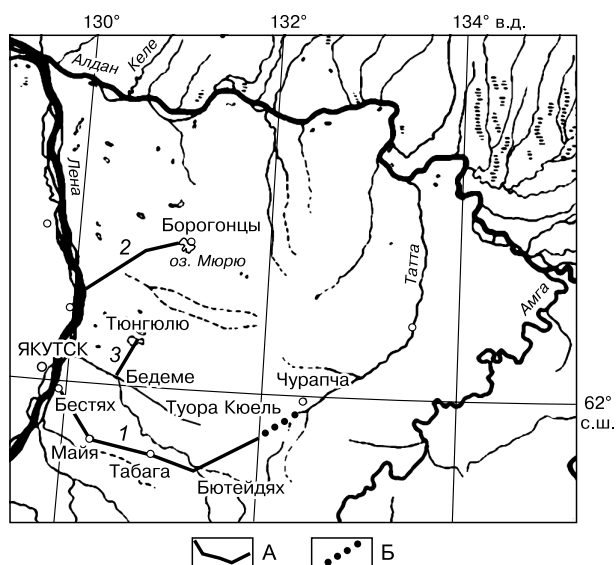
В июне 1992 г. вышло постановление Правительства Республики Саха (Якутия) о водоснабжении заречных районов, давшее старт работам по проектированию и строительству системы магистрального водоснабжения. В 1993 г. правительством утверждено два технико-экономических обоснования по обводнению и водоснаб-

жению Усть-Алданского, Чурапчинского, Мегино-Кангаласского и Таттинского районов Республики Саха.

Предусматривалось строительство трех водоводов (рисунок): 1 – река Лена–поселок Туора Кюель и канал пос. Туора Кюель–река Татта общей длиной 150 км, 2 – река Лена–озеро Мюрю (с. Борогонцы), 3 – водохранилище поселка Бедеме–озеро поселка Тюнгюлю. В настоящее время строительство всех водоводов закончено и ведется их эксплуатация. Водовод представляет собой комплекс, состоящий из трубопроводов, насосных станций, промежуточных водоемов, плотин и каналов.

Магистральный канал Туора Кюель–Татта протяженностью 17 км является заключительным участком водовода Лена–Туора Кюель–Татта. Он проходит по руслу ручья Синниэгэс, который впадает в р. Татта и расположен в сложных инженерно-геологических условиях, связанных с мерзлотными процессами.

Исследования проводились по профилю трассы магистрального канала. В качестве естествен-



### Карта-схема территории.

А – водоводы (1 – магистральный канал Лена–Туора Кюель–Татта, 2 – групповой водовод Лена–Мюрю, 3 – групповой водовод Бедеме–Тюнгюлю); Б – исследуемый участок (магистральный канал Туора Кюель–Татта).

ных оснований канала служат мерзлые, преимущественно суглинистые, реже супесчаные, песчаные и глинистые грунты. Грунты были исследованы в процессе инженерно-геологических изысканий, была проведена их статистическая обработка и анализ с целью получения общей информации.

Магистральный канал планировался как самостоятельный участок водовода при условии подачи воды из водохранилища оз. Туора Кюель в реку Татта. В настоящее время разрабатывается прогноз воздействия водного потока на геологическую среду канала.

Основная цель работы – изучение инженерно-геокриологических условий района магистрального канала и оценка его влияния на геологическую среду.

### РЕЛЬЕФ И ГИДРОГРАФИЯ

В физико-географическом отношении рассматриваемый район расположен в юго-восточной части Центрально-Якутской низменности на Лено-Амгинском междуречье. Он представляет собой Абалахскую аллювиальную террасированную равнину, слабо наклоненную на север и запад. Эрозионно-аккумулятивный рельеф образовался в результате деятельности рек Лена, Алдан и Амга [Снектор, 2002].

Абсолютные отметки высот непосредственно в районе исследования (от створа плотины до сооружения сопряжения с р. Татта) составляют 185–

201 м. Поверхность Абалахской террасы холмистая и холмисто-увалистая с пойменными и эрозионно-термокарстовыми и карстовыми формами рельефа. Абалахская эрозионно-аккумулятивная терраса имеет относительно приподнятый цоколь и общий пологий уклон поверхности в направлении к тюнгюлюнской террасе. На плоских водораздельных участках данной террасы широко развиты многочисленные замкнутые озерные котловины термокарстового происхождения, а также эрозионно-термокарстовые и термокарстово-эрозионные долины на дренируемых участках.

Река Татта (левый приток р. Алдан) – основная водная артерия в районе исследования, протекает с юго-запада на северо-восток. Большинство притоков р. Татта полностью пересыхают в летний период. Русло ее сильно меандрирует и имеет ширину от 2 до 20 м. Глубина русла от 0,3 до 1,7 м. Средняя скорость течения воды до 0,2 км/ч. В р. Татта впадает ручей Синниэгэс, который является основой исследуемого магистрального канала. Реки данного района имеют смешанное питание с преобладанием снегового.

Озера в районе распространены широко, они разнообразны по генезису, величине и форме. Большая часть их имеет термокарстовое происхождение. В долинах небольших речек много пойменных старичных озер. Основные источники питания озер – талые, дождевые воды и подземные льды. Роль подземного питания невелика. Качество воды в озерах различное. Озера находятся на разной стадии усыхания. В процессе усыхания минерализация озерной воды повышается, и вода становится непригодной для питьевых нужд. Под наиболее крупными озерами сохраняются водоносные талики большой мощности.

Наиболее крупные озера Кетит-Кюель и Арылах были выбраны в качестве действующих водохранилищ.

### ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

В геоморфологическом отношении район трассы канала входит в состав Алданской геоморфологической области Восточной Якутии и относится к Абалахской эрозионно-аккумулятивной равнине Центрально-Якутской низменности. Современная поверхность Абалахской террасы (равнины) неровная, увалистая, имеются локальные приподнятые участки, обусловленные неровностями коренных пород. Поверхность террасы сильно изъедена термокарстовыми впадинами, что привело к образованию типично аласного и аласно-долинного рельефа [Варламов и др., 2002].

На плоских водораздельных участках Абалахской равнины широко развиты термокарстовые замкнутые озерные котловины (аласы), ярко выраженного разновозрастного характера. Зрелые

Таблица 1. Значения естественной (природной) влажности, пластичности, степени заторфованности (относительное содержание органических веществ) и содержания солей на участке магистрального канала

Номер ИЭ	Тип грунта	Интервал глинистых скважин			Влажность (W, доли ед.)			Пластичность (I <sub>p</sub> )			Степень заторфованности (I <sub>зм</sub> )			Содержание солей (D <sub>сол</sub> )			
		Кол-во проб	макс.	мин.	сред.	Кол-во проб	макс.	мин.	сред.	Кол-во проб	макс.	мин.	сред.	Кол-во проб	макс.	мин.	сред.
<i>Слой сезонного промерзания – оттаивания (сезонный слой)</i>																	
ИЭ-1	Суглинок твердый	59	0,30	0,06	0,19	17	0,16	0,07	0,10	15	0,05	0,01	0,03	–	–	–	–
ИЭ-2	Суглинок текучий	102	1,16	0,15	0,39	26	0,14	0,03	0,08	23	0,05	0,02	0,03	5	0,10	0,050	0,066
ИЭ-3	Суглинок с примесью органических веществ	40	1,76	0,13	0,30	21	0,33	0,04	0,13	21	0,18	0,06	0,09	3	0,14	0,058	0,089
ИЭ-4	Песок крупный	6	0,85	0,06	0,25	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Вечномёрзлая толща</i>																	
ИЭ-5	Суглинок	129	0,49	0,16	0,30	40	0,17	0,06	0,09	30	0,05	0,02	0,03	13	0,10	0,040	0,065
ИЭ-6	Суглинок льдистый	43	0,82	0,34	0,49	12	0,11	0,08	0,09	12	0,05	0,02	0,04	3	0,08	0,050	0,067
ИЭ-7	Суглинок с примесью органических веществ	6	0,64	0,24	0,36	5	0,20	0,07	0,13	5	0,09	0,06	0,07	1	–	–	0,060
ИЭ-8	Песок пылеватый	4	0,25	0,18	0,22	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ИЭ-9	Песок средней крупности	40	0,39	0,14	0,24	–	–	–	–	1	–	–	0,02	5	0,06	0,030	0,046
ИЭ-10	Супесь	34	0,42	0,16	0,29	16	0,07	0,03	0,06	16	0,05	0,02	0,03	8	0,09	0,040	0,057

аласы имеют овальную форму и ориентированы в северо-западном и северо-восточном направлениях. Размеры котловин (с ровными днищами и высотой задернованных бортов 6–10 м) изменяются от нескольких сотен метров до 4,5 км. На склонах южной экспозиции развиты байджарахи, на днищах встречаются мелкие сезонные бугры пучения, многолетние бугры пучения – булгуныхи и озера. Молодые аласы, формирующиеся в основном вблизи зрелых котловин и уступающие им по размерам (от 50 до 200 м в поперечнике), имеют сравнительно подчиненное распространение. Впоследствии, соединяясь через перемычки, молодые аласы расширяются и осложняют контуры зрелых аласов. Молодые аласы обычно приурочены к приподнятым водораздельным участкам долины, имеют отвесные разрушающиеся борта высотой 3–5 м. Они отличаются полноводностью и значительной глубиной (до 10 м).

Ручей Синниэгэс, впадающий в реку Татта, – главный рельефообразующий элемент района исследований. Долина ручья шириной 80–100 м имеет корытообразную форму с асимметричными склонами: левый склон пологий, правый – крутой. Склоны долины заросли лиственницей. По склонам часто наблюдаются байджарахи. Днище долины плоское, с многочисленными аласами и булгуныхами.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

В тектоническом отношении район расположения трассы канала находится в пределах северо-восточной окраины Сибирской платформы, на границе Якутского поднятия и Алданского прогиба Алданской антеклизы. Поверхность кристаллического фундамента Алданской антеклизы пологая, почти ровная и только в местах сочленения с соседними тектоническими структурами имеет незначительный наклон. В пределах района работ известны крупные Ноторский и Борогонский глубинные разломы фундамента северо-западного простирания. Разрывные нарушения осадочного покрова вследствие слабой обнаженности завуалированы. Судя по рисунку гидросети, основные водотоки района приурочены к разрывным нарушениям субширотного и субмеридионального направлений.

Четвертичные отложения пользуются широким распространением в пределах всего района исследования. До изученной глубины (5–10 м) участок сложен верхнечетвертичными озерно-аллювиальными отложениями, представленными суглинками, супесями легкой, средней, тяжелой разности, песками разной крупности, отнесенными к современным озерно-аллювиальным отложениям с незначительным почвенно-растительным слоем (0,1–0,2 м).

Таблица 2. Показатели плотности и пористости мерзлых пород на участке магистрального канала

Номер ИГЭ	Тип грунта	Номер скважины	Глубина, м	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость (n, %)	Коэффициент пористости (e)
				минеральной части ( $\rho_s$ )	грунта ( $\rho$ )	скелета ( $\rho_d$ )		
ИГЭ-5	Суглинок	1	4,5	2,70	1,65	1,11	58,89	1,43
			5,5	2,70	1,90	1,50	44,44	0,80
			6,5	2,70	1,84	1,46	45,93	0,85
		3	7,5	2,70	1,82	1,50	44,44	0,80
			4,5	2,70	1,87	1,41	47,78	0,91
			5,5	2,70	1,80	1,29	52,22	1,09
		4	6,5	2,70	1,91	1,59	41,11	0,70
			5,5	2,70	1,93	1,52	43,70	0,78
			7,5	2,70	1,68	1,20	55,56	1,25
ИГЭ-7	Суглинок с примесью органических веществ	2	7,5	2,70	1,68	1,20	55,56	1,25
ИГЭ-9	Песок средней крупности	3	7,5	2,66	2,01	1,75	34,21	0,52
		4	6,5	2,65	1,77	1,30	50,94	1,04
ИГЭ-10	Супесь	2	4,5	2,67	1,81	1,36	49,06	0,96
			5,5	2,67	1,79	1,38	48,31	0,93
			6,5	2,67	1,81	1,36	49,06	0,96
		4	4,5	2,67	1,78	1,35	49,44	0,98
			7,5	2,67	1,98	1,57	41,20	0,70

Особенность района исследования – повышенная льдистость грунтов и многочисленные повторно-жильные льды.

При обработке геолого-литологического разреза магистрального канала были выявлены (%): суглинки (72), супеси (14), пески (11), глины (1), торф (1) и заторфованные суглинки (1), а также лед подземный (1) и лед поверхностных вод (1).

Глинистые грунты большей частью имеют текучую консистенцию, песчаные грунты по степени влажности влажные, по составу преобладают среднезернистые. Грунты незасоленные, с примесью органических веществ, местами заторфованные.

В пределах инженерно-геологического разреза выделены 10 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (табл. 1, 2).

### ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Район магистрального канала расположен в зоне, характеризующейся развитием сплошной вечной мерзлоты сливающегося типа. Мощность многолетнемерзлой толщи в районе работ, по данным ранее проведенных исследований, колеблется от 300 до 500 м. Под Абалахской поверхностью непрерывный разрез многолетнемерзлых пород был установлен вблизи пос. Абалах – 260 м, пос. Чурапча – 540 м, пос. Ытык-Кюель – 486 м [Иванов, 1984; Спектор, 2002].

Сезонное протаивание пород в районе исследования начинается в начале мая и достигает 1,4–

2,8 м (в зависимости от литологического состава пород) в конце сентября. Промерзание сезонного слоя (СТС) начинается в октябре и происходит и сверху, и снизу. Слияние промерзающих слоев происходит в конце января–феврале на глубине 0,7–0,8 м от подошвы СТС.

Установлено, что вдоль трассы магистрального канала температура пород до изученной глубины (10 м) изменялась от –4,0 до –7,5 °С.

Надмерзлотные грунтовые воды в сезонном слое развиты ограниченно. Основную роль в питании подземных вод СТС играют атмосферные осадки.

### СОВРЕМЕННЫЕ КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Исследованный участок трассы магистрального канала характеризуется широким развитием криогенных геологических процессов, что обусловлено резко континентальным климатом, разнообразием генетических типов льдистых рыхлых отложений, рельефом, наличием многолетнемерзлых грунтов с различным температурным режимом и другими мерзлотными факторами.

В районе исследования распространены полигонально-жильные формы рельефа, выражающиеся в развитии полигонов и повторно-жильных льдов. На склонах аласов южной экспозиции и долин также наблюдаются байджарахи чешуеобразной формы, развивающиеся в результате вытравли-

ния повторно-жильных льдов и льдонасыщенных грунтов.

На мелкобугристом микрорельефе поверхности и аласно-низинных долинах развиты многолетние бугры пучения в виде булгуныхов. Высота отдельных булгуныхов достигает 3–7 м, а диаметр составляет 30–35 м по подножию.

Природно-техногенные нарушения природной среды проявляются в развитии промоин по колею и обочине местных грунтовых дорог, в развитии термокарста на местах разработок грунта, нарушений растительного покрова на местах заброшенных жилых и хозяйственных построек, просек ЛЭП и небольших каналов между озерами.

### ВЫВОДЫ

1. Инженерно-геокриологические условия магистрального канала являются довольно сложными. Это подтверждается широким распространением на самой трассе канала и в непосредственной близости от нее современных криогенных процессов (термокарстовые просадки, бугры пучения, морозобойные трещины и т. д.).

2. При распашке местности происходит развитие термокарста на местах разработок грунта, на открытой местности – промоин по колею и обочине грунтовых автодорог.

3. Наибольшее техногенное воздействие на магистральный канал при его эксплуатации будет оказывать водный поток, который будет подаваться из водохранилища небольшими попусками. Это, в свою очередь, приведет к активизации криогенных процессов по трассе канала.

### Литература

**Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н.** Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2002, 216 с.

**Иванов М.С.** Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск, Наука, 1984, 126 с.

**Спектор В.В.** Происхождение криолитогенных комплексов высокой равнины Лено-Амгинского междуречья: Дис. ... канд. геогр. наук. Якутск, 2002, 207 с.

*Поступила в редакцию  
5 декабря 2005 г.*