

Инженерно-геологические особенности синкриогенных песков территории России

Аверкина Татьяна Ивановна

кандидат геолого-минералогических наук

доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ)

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 109

✉ averkinati@yandex.ru



Балькова Светлана Дмитриевна

кандидат геолого-минералогических наук

старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 109

✉ balykova@geol.msu.ru



Андреева Татьяна Васильевна

кандидат геолого-минералогических наук

доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

119234, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 109

✉ andreeva@geol.msu.ru



[Статья из рубрики "Грунты холодных равнинных и горных регионов"](#)

Аннотация.

Объектом исследования являются синкриогенные пески, развитые на территории криолитозоны России. Они залегают в верхней части геологического разреза и являются основанием многих инженерных сооружений, поэтому важное значение приобретает их инженерно-геологическая характеристика. В статье обсуждаются особенности состава, строения и свойств синкриогенных песков в пределах различных регионов страны: Европейского севера, Западной и Восточной Сибири, Яно-Колымской низменности и горно-складчатых сооружений Сибири и Дальнего Востока. Отмечено, что среди рассматриваемых грунтов встречаются самые разные гранулометрические разности – от гравелистых до пылеватых. Криогенная текстура преимущественно массивная, в пылеватых и оторфованных песках, а также при наличии глинистых прослоев – часто слоистая. Синкриогенные пески обычно имеют более высокую льдистость, чем эпикриогенные, и характеризуются относительно равномерным или равномерно-циклическим распределением объемной льдистости по глубине. Чем выше дисперсность песков, тем обычно выше их естественная влажность и пористость и ниже плотность грунта и скелета грунта. Мелкие и пылеватые разности со слоистой криотекстурой при оттаивании дают заметную осадку и нередко переходят в пльвунное состояние. В приморских районах синкриогенные пески часто засолены. Чем выше их засоленность, тем выше сжимаемость.

Ключевые слова: пески синкриогенные, грунты, состав, строение, свойства,

льдистость, криотекстура, платформы, орогены, Россия

DOI:

10.7256/2453-8922.2019.1.29448

Дата направления в редакцию:

06-04-2019

Дата рецензирования:

06-04-2019

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-05-00944а)

Введение

Синкриогенные многолетнемерзлые песчаные грунты развиты в основном на севере криолитозоны России. Они залегают в верхней части разреза различных геоморфологических элементов и часто попадают в основания инженерных сооружений – дорог, трубопроводов, зданий, промышленных объектов и др. С этим связана необходимость изучения синкриогенных песков как грунтов, т.е. выявление закономерностей их распространения и изменения по площади и разрезу, исследование состава, строения и свойств. Закономерности пространственного распределения на территории России синкриогенных песков были описаны в работе [1]. Здесь же будут рассмотрены особенности состава строения и свойств данного типа многолетнемерзлых отложений в различных регионах нашей страны.

Европейский север России

На Европейском севере России синкриогенные пески выделяются в приморских районах Тимано-Печорской плиты (побережья Печорского моря, Коровинской, Колоколковой, Болванской, Паханческой и Хайпудырской губ), узкой прибрежной полосе Пай-Хоя, островах Вайгач и Новая Земля, а также в поймах рек. Они участвуют в строении самой низкой морской террасы, лайды, речных пойм и дельт, приурочены к *верхнеплейстоценовым*, а чаще *голоценовым морским, аллювиально-морским и аллювиальным* отложениям. Пески от гравелистых до пылеватых (преобладают мелкие и пылеватые), местами (а на лайде почти везде) оторфованные или с прослоями супесей, реже суглинков. Криотекстура грунтов в основном массивная, иногда микрошлировая частослоистая с толщиной ледяных шлиров до 1 мм, объемная льдистость до 40–45 %. Характерной особенностью многолетнемерзлых грунтов Севера Европейской части является их довольно высокая температура (по сравнению с Сибирью), наличие маломощных повторно-жильных льдов и пластовых сегрегационно-инъекционных льдов. Встречаемость повторно-жильных льдов уменьшается в южном направлении [14]. В табл. 1, 2 приведены некоторые показатели состава и свойств многолетнемерзлых голоценовых аллювиально-морских песков северо-востока Большеземельской тундры, а также их возможная осадка при оттаивании.

Таблица 1

Состав и свойства мерзлых аллювиально-морских песков

Приуральской области Мало-Большеземельского региона [7]

Грунт	Влажность, %	Плотность грунта, т/м ³	Плотность скелета, т/м ³	Плотность твердых частиц, т/м ³	Пористость, %	Коэффициент пористости
Песок гравелистый	15,9	2,02	1,74	2,69	35	0,545
Песок мелкий	<u>13-31</u> 23,0 (3,1)	<u>1,82-2,12</u> 1,95 (0,07)	<u>1,43-1,82</u> 1,58 (0,09)	<u>2,64-2,67</u> 2,64 (0)	<u>31-48</u> 40,2 (3,2)	<u>0,452-0,849</u> 0,676 (0,091)

Примечание: в числителе – предельные значения показателей, в знаменателе – средние значения,

в скобках – среднее квадратическое отклонение

Таблица 2

Осадка при оттаивании мерзлых аллювиально-морских песков

Приуральской области Мало-Большеземельского региона [7]

Грунт	Относительная осадка (см/м) при нагрузках (МПа)				Коэффициент оттаивания
	0,05	0,1	0,2	0,4	
Песок гравелистый	–	–	–	–	0,014
Песок мелкий	<u>0,006-0,060</u> 0,026 (0,16)	<u>0,012-0,084</u> 0,037 (0,019)	<u>0,025-0,092</u> 0,047 (0,020)	<u>0,024-0,119</u> 0,057 (0,021)	0,032

Примечание: в числителе – предельные значения показателей, в знаменателе – средние значения, в скобках – среднее квадратическое отклонение

В прибрежной полосе Печорской плиты и Пай-Хоя, как и на всем Арктическом побережье, широко распространены засоленные многолетнемерзлые отложения морского генезиса. С охлажденными породами связаны напорные минерализованные охлажденные воды – криопэги.

Западная Сибирь

В Западной Сибири синкриогенные пески развиты, в основном, в северной половине Ямальского, Гыданского и Тазовского полуостровов. Самыми древними синкриогенными толщами, вероятно, являются морские отложения регрессивной пачки *салехардской свиты среднего плейстоцена*. Они представлены 5–6-метровой пачкой песков или оторфованными суглинками и супесями с прослоями песка. С запада на северо-восток и вниз по разрезу содержание песков в составе салехардской свиты резко уменьшается, а глинистых грунтов, наоборот, увеличивается.

В минеральном составе песков абсолютно преобладает кварц (более 90%), содержание глинистых минералов составляет единицы процентов, в незначительном количестве присутствуют полевые шпаты, слюды, графит, а в тяжелой фракции – лимонит, пироксены, гранат и эпидот [12].

Встречаются пески самого разного гранулометрического состава – от гравелистых до пылеватых. Пески крупные, средней крупности и мелкие хорошо отсортированы. У песков средней крупности, мелких и пылеватых разброс значений показателей свойств небольшой (значительно меньше, чем в глинистых грунтах). Наименьшая плотность скелета наблюдается у песков пылеватых со слоистой криогенной текстурой (в большинстве случаев она массивная). У мерзлых песков пористость выше, чем у талых, особенно у пылеватых разновидностей. Пески в мерзлом состоянии имеют достаточно высокие прочностные показатели. По данным А.Н. Козлова, даже при температуре минус 0,50С их сопротивление одноосному сжатию составляет 2–2,5 МПа, а при более низких температурах еще выше.

Более молодые синкриогенные пески *позднеплейстоцен-голоценового* возраста морского генезиса мощностью до 10–15 м участвуют в строении казанцевской прибрежно-морской равнины, а также более молодых террас и лайды. Их объемная льдистость доходит до 40–45%, криотекстура преимущественно массивная, а при наличии глинистых и оторфованных прослоев льдистость повышается до 60% и появляется слоистая криотекстура (табл. 3).

Таблица 3

Суммарная объемная льдистость сингенетически промерзших песков п-ова Ямал за счет сегрегационного льда и льда-цемента [\[3\]](#)

Генезис и возраст пород	Состав пород	Объемная льдистость, %	Криогенная текстура
mQ ^I _{III}	Пески мелкие и пылеватые	35-45	массивная массивная, редко- слоистая слоистая
	Пески пылеватые, оторфованные	35-50	
	Пески с прослоями суглинков и супесей	40-55	
mlQ ²⁻³ _{III}	Пески мелкие и пылеватые	35-45	массивная редкослоистая, массивная
	Пески оторфованные с прослоями супеси и суглинков	42-60	
mlQ ³⁻⁴ _{III}	Пески мелкие и пылеватые с прослоями супесей	40-50	массивная, редкослоистая
mlQ _{III-IV}	Пески мелкие и пылеватые	35-45	массивная
mlQ _{IV}	Пески мелкие и пылеватые	35-45	массивная
mQ _{IV}	Пески пылеватые с прослоями супесей	45-50	массивная
aQ _{IV}	Пески мелкие и пылеватые	30-40	массивная массивная, редко- слоистая слоистая слоистая
	Пески пылеватые, оторфованные	35-45	
	Пески с прослоями супесей	40-50	
	Пески с прослоями суглинков, оторфованные	45-55	

Примечание: ml- лагунно-морские отложения

Более ограниченное распространение получили на Ямале и Гыданском полуострове *позднеплейстоцен-голоценовые синкриогенные аллювиальные и озерно-аллювиальные* отложения. Они характеризуются литологическим однообразием, что обусловило близость их криогенного строения и льдонасыщенности, и развитием в них сложных

повторно-жильных образований сингенетического типа.

Важнейшая характеристика многолетнемерзлых грунтов приморских районов, которая существенно влияет на их свойства, – засоленность. Например, компрессионные испытания грунтов морского и аллювиального генезиса (в том числе песков), развитых на Ямале в районе Бованенковского газового месторождения и в разной степени засоленных, говорят о том, что с ростом засоленности увеличивается сжимаемость мерзлых грунтов [4]. В табл. 4 приведены данные о засоленности песков западного побережья Ямала.

Таблица 4

Засоленность (D_{sal} , %) и концентрация поровых растворов (C_p , г/л) песков западного побережья Ямала [10]

Тип грунтов	Состояние грунтов	D_{sal} , % (max-min)	D_{sal} , %, среднее	C_p , г/л
III морская терраса				
песчаные	мерзлые	0,06 – 0,19	0,12 (7)	2 – 10
II морская терраса				
песчаные	мерзлые	0,03 – 0,33	0,10 (23)	2 – 18
I морская терраса				
песчаные	мерзлые	0,03 – 0,29	0,14 (18)	1 – 18
Морская лайда				
песчаные	мерзлые	0,15 – 0,55	0,33 (15)	5 – 40
	охлажденные	0,59 – 3,2	1,63 (13)	29 – 73
Пляж				
песчаные	мерзлые	0,1 – 0,5	0,28 (16)	6 – 11
	охлажденные	1,5 – 3,8	2,8 (8)	56
Пойма дельтовой части рек				
песчаные	мерзлые	0,11 – 0,52	0,29 (15)	3 – 52
	охлажденные	0,80 – 1,5	0,98 (9)	28 – 75

Примечание: в скобках – количество определений

Южнее полярного круга синкриогенные песчаные грунты в Западной Сибири приурочены к речным поймам, причем преобладают среди них аллювиальные пески *позднеголоценового* возраста. Они часто представлены заторфованными разностями, для которых характерны тонкошлировая среднеслоистая криогенная текстура и льдистость 20–40%.

В синкриогенных песчаных толщах довольно часто встречаются повторно-жильные льды, но мощные образования являются редкостью. Макрольдистость разреза за счет таких льдов обычно не превышает 5–8 %, но на лаиде и пойме она может достигать до 16–18 % [9].

Восточная Сибирь

В пределах Восточной Сибири (на территории Сибирской платформы) синкриогенные пески имеют ограниченное распространение. В северных районах к данной категории относят средне-верхнеплейстоценовые песчаные грунты озерно-аллювиального, озерно-

ледникового и водно-ледникового генезиса, а также верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиального, аллювиально-морского и эолового генезиса.

Озерно-ледниковые, озерно-аллювиальные и флювиогляциальные пески развиты в пределах котловин и речных долин, а последние еще и на водораздельных пространствах. Флювиогляциальные пески мощностью до 40 м полимиктовые, преимущественно крупно- и среднезернистые, косослоистые, с включениями гальки и валунов (иногда до 50 %). Криотекстура грунтов массивная, суммарная влажность составляет 20–30 %, при протаивании возможна незначительная осадка – от 0,5 до 5%. Озерно-ледниковые и озерно-аллювиальные пески более дисперсные – мелкие и пылеватые с прослоями глины или торфа. У мелких песков криотекстура массивная и льдистость 10–15%, у пылеватых часто тонкошлировая и более высокая льдистость [13].

Среднеплейстоценовые аллювиальные пески выделяются на севере в долинах наиболее крупных рек, где они участвуют в строении II-ой и более высоких террас и имеют мощность от 3 до 10 м. Древнюю палеодолину р. Лены вдоль р. Кютингде заполняют пески и галечники мощностью 20–25 м. Пески русловой фации грубозернистые, их криотекстура – массивная, плотность 0,98–1,68 (средняя 1,39) г/см³, пористость 38–46 %, суммарная влажность 8–12%. Пески пойменной фации традиционно более тонкие – мелкие и пылеватые. В табл. 5 приведены некоторые показатели их свойств.

Таблица 5

Свойства аллювиальных песков пойменной фации II надпойменной террасы р. Котуй [13]

Свойства	Пески мелкозернистые	Пески пылеватые
Плотность частиц, г/см ³	2,66	2,66
Плотность грунта, г/см ³	2,02 $\frac{\quad}{1,96 - 2,1}$ ⁹	1,91 $\frac{0,024(1,2)}{1,77 - 2,12}$ ⁷⁵
Плотность скелета грунта, г/см ³	1,47 $\frac{\quad}{1,44 - 1,74}$ ⁹	1,55 $\frac{0,089(5,7)}{1,21 - 1,75}$ ⁷⁵
Суммарная влажность, %	26,4 $\frac{\quad}{20,5 - 36,2}$ ⁹	28,2 $\frac{3,9(13,7)}{20,4 - 53,6}$ ⁷⁵
Пористость %	38,2 $\frac{\quad}{35 - 49,1}$ ⁹	41,2 $\frac{4,17(10,1)}{34,1 - 54,5}$ ⁷⁵
Коэффициент пористости	0,627 $\frac{\quad}{0,531 - 0,845}$ ⁹	0,706 $\frac{0,105(14)}{0,52 - 1,198}$ ⁷⁵
Сопrotивление мерзлых грунтов нормальному давлению, 105Па	17	17

Примечание: перед дробью – среднее значение показателя, в числителе дроби – среднее квадратическое отклонение, в скобках – коэффициент вариации, в знаменателе дроби – минимальное и максимальное значения, после дроби – количество определений

Голоценовые аллювиальные пески залегают на первой террасе и пойме всех рек, представлены мелкими и пылеватыми разностями с массивной криотекстурой, суммарной влажностью 15–65 %, коэффициентом пористости 0,61–1,32, плотностью 1,3–1,9 г/см³, плотностью скелета 0,8–1,4 г/см³. Пылеватые пески при оттаивании могут приобретать плавунные свойства, а сильно льдистые глинистые пески старичной фации давать неравномерную осадку до 20 % [13]. В пределах Хатангского прогиба на прирусловых отмелях и намывных островах некоторых рек (р. Пясины и др.) в аллювиальных песках

отмечены небольшие захоронения вертикальных ледяных жил [9].

В центральной части платформы основные площади развития синкриогенных песков сосредоточены в центральной Якутии, в долинах крупных рек – Лены, Вилюя, Алдана, Амги. Пески *аллювиального* и *озерно-аллювиального* генезиса от *нижнеплейстоценовых* до *современных* участвуют в строении надпойменных террас и поймы. Озерно-аллювиальные отложения в пределах Нижне-Алданской впадины залегают также и на водораздельных пространствах. Пески этого комплекса представлены большим набором гранулометрических разностей – от пылеватых до крупнозернистых. В пределах террас они в некоторых случаях перекрываются сильнольдистыми отложениями так называемого «ледового комплекса» или «едомы» (рис. 1), а иногда – эоловыми образованиями.



Рис. 1. Обнажение едомной толщи на правом берегу р. Вилюй, 10 км вниз по течению от г. Верхневилуйска. Фото С.Д. Балыковой

Наиболее широко синкриогенные пески развиты в разрезах средних террас (бестяхская, тунгюлюнская, абалахская, маганская), где они преобладают и представлены преимущественно слабольдистыми среднезернистыми и мелкими разностями, кварцево-полевошпатовыми, горизонтально- и косослоистыми (рис. 2). Пески в нижних горизонтах более грубые – в гранулометрическом составе преобладают фракции более 0,1 мм, средний диаметр частиц составляет 0,25 мм. Вверх по разрезу они становятся более тонкими – преобладают фракции менее 0,1 мм, средний диаметр частиц равен 0,08 мм [13].

М.С. Иванов и Г.Ф. Гравис в песчаных разрезах бестяхская террасы обнаружили повторно-жильные и пластовые льды. Ширина жил поверху составляет 2,5–3 м, вертикальная протяженность 14–18 м, а пластовые залежи льда имеют толщину 0,5–4 м и протяженность 5–200 м. По данным бурения, часть ледяных жил до глубины 4–6 м замещена песчаными псевдоморфозами [9].



Рис. 2. Разрез бестяхской террасы на правом берегу среднего течения р. Лены. Опорное обнажение «Песчаная гора». Фото С.Д. Балыковой

И.Н. Вотяков, обработав большой объем данных по свойствам многолетнемерзлых грунтов, развитых на территории г. Якутска, предложил для них наиболее вероятные значения основных показателей плотности и влажности (по существу, нормативные показатели). В табл. 6 приведены эти показатели для мерзлых аллювиальных песков разного состава, из которой следует: чем выше дисперсность песков, тем выше их естественная влажность и коэффициент пористости и ниже плотность грунта и скелета грунта. Для мелкозернистых разностей аллювиальных песков И.Н. Вотяков привел также средние значения относительной осадки при свободном оттаивании и под нагрузками при разных значениях влажности. При свободном оттаивании относительная осадка составляет 1,1–1,4%, при нагрузке 1 кг/см² увеличивается до 2,3–2,8%, при нагрузке 3 кг/см² доходит до 3,4–3,8% [6].

Таблица 6

Наиболее вероятные значения показателей плотности и влажности многолетнемерзлых песчаных грунтов Якутска [6]

Тип грунта	Весовая влажность, %	Плотность грунта, г/см ³	Плотность скелета грунта, г/см ³	Объемная влажность, %	Коэффициент пористости
Крупнозернистые пески	15	2,10	1,85	30	0,46
Среднезернистые пески	18	2,05	1,75	35	0,54

мелкозернистые пески	25	1,90	1,50	42	0,80
-------------------------	----	------	------	----	------

Для тех же аллювиальных песков Якутска были определены некоторые показатели теплофизических свойств. Объемная теплоемкость изменяется от 2,07 до 2,12 кДж/м³·град, коэффициент теплопроводности – от 5,85·10⁻³ до 6,09·10⁻³ Вт/м·град, коэффициент температуропроводности – от 17,46 до 17,6 м²/4. При этом установлено, что по площади и глубине эти показатели изменяются незначительно – коэффициент изменчивости 0,3–0,7 % [13].

На территории Якутска проведено детальное изучение засоленности многолетнемерзлых аллювиальных пород поймы, I и II надпойменных террас. Оно показало, что возвышенные участки этих уровней сложены незасоленными песками, а на плоских поверхностях в пылеватых песках и супесях до глубины 3 м содержание солей составляет 0,1–1,26 % , а ниже изменяется в пределах 0,1–0,9%.

Яно-Колымская низменность

Яно-Колымская низменность (платформа) с прилегающими арктическими островами считается самым обширным на Земле регионом распространения синкриогенных отложений. Однако собственно песчаных толщ среди этих грунтов не так уж много и они практически не изучены в инженерно-геологическом отношении. Прослой и линзы песков встречаются в разрезах широко развитых в данном регионе синкриогенных *едомных толщ* (другие названия – ледовый комплекс и лессово-ледовый комплекс), но преобладают в них все-таки более дисперсные отложения.

Горно-складчатые сооружения Сибири и Дальнего Востока

В пределах горно-складчатых сооружений России песчаные грунты развиты ограниченно. Только часть от этого небольшого количества приходится на криолитозону и еще меньшая часть – на синкриогенные разности песков. Они встречаются в пределах впадин, чаще в составе аллювиальных отложений. При этом, если на платформенных реках пески обычно содержатся в русловой фации аллювия, то на горных – в пойменной. В русловой там преобладает грубообломочный материал, а песок обычно входит только в состав заполнителя.

Синкриогенные пески выделяются преимущественно в тех горно-складчатых сооружениях (или их частях), которые попадают в зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород – *Верхояно-Чукотский ороген, север Забайкальского, север Байкальского рифтогена* . На территории двух последних регионов особый интерес представляют золотые пески, залегающие на высоких террасах и низких водоразделах. Местами они закреплены растительностью, а иногда образуют обширные перевеваемые массивы – «мини-пустыни» с барханами и дюнами. В первом случае пески мерзлые, а во втором под ними развиты талики. Например, в центре Чарской впадины находится огромный массив перевеваемых песков – урочище Пески площадью около 40 км². На вершине одной из дюн здесь была пробурена скважина глубиной 30 м, которая мерзлоту не вскрыла – прошла через талые пески до уровня подземных вод [11]. Аналогичные золотые пески выделяются и в более южных впадинах Байкальского рифтогена и Забайкальского орогена, но там они трактуются как образования эпикриогенные.

В пределах *Алтае-Саянского орогена* , расположенного на самом юге Сибири, мерзлые пески развиты ограниченно, только в верхнем высотном поясе. Тем не менее, в верховьях Енисея, на западе Тоджинской впадины, в уникальной обстановке

прерывистой седиментации была накоплена синкриогенная толща верхнеплейстоценово-голоценовых осадков, которая описана в разрезе 20-метровой террасы в урочище Мерзлый Яр. В составе этой толщи, пронизанной несколькими ярусами повторно-жильных льдов, преобладают пылеватые супеси, но выделяются и прослои песков [5, 2].

Заключение

1. Синкриогенные песчаные грунты развиты в основном на севере криолитозоны России в составе морских, аллювиально-морских и аллювиальных, реже озерно-аллювиальных, озерно- и водноледниковых, эоловых генетических комплексов четвертичных отложений.
2. Рассматриваемые грунты залегают в верхней части разреза различных геоморфологических элементов, имеют мощность, как правило, не более 10–15 м и нередко содержат залежи пластовых и повторно-жильных льдов.
3. Встречаются пески самого разного гранулометрического состава – от гравелистых до пылеватых. Криогенная текстура преимущественно массивная, в пылеватых и оторфованных разностях, а также при наличии глинистых прослоев часто формируется криотекстура слоистая.
4. Синкриогенные пески обладают повышенной льдистостью (по сравнению с эпикриогенными) и характеризуются относительно равномерным или равномерно-циклическим распределением объемной льдистости по глубине.
5. Чем выше дисперсность песков, тем обычно выше их естественная влажность и пористость и ниже плотность грунта и скелета грунта. Мелкие и пылеватые разности, имеющие слоистую криотекстуру, при оттаивании дают заметную осадку и часто переходят в плавунное состояние.
6. В приморских районах синкриогенные пески часто засолены. Чем выше засоленность, тем выше их сжимаемость.

Библиография

1. Аверкина Т.И. Распространение, возраст и генезис синкриогенных песков на территории России // Арктика и Антарктика. 2018. № 2. С. 20–28.
2. Алексеев С.В., Аржанников С.Г., Васильчук Ю.К., Алексеева Л.П. Новые данные о строении и эволюции мёрзлых толщ западной части Тоджинской котловины (Республика Тыва) // Криосфера Земли. 2005. Том 9. № 3. С. 3–9.
3. Баду Ю.Б., Трофимов В.Т. Основные закономерности криогенного строения многолетнемерзлых толщ полуострова Ямал / / Проблемы криолитологии. Вып. 4. М. Изд-во МГУ. 1974. С. 125–148.
4. Брушков А.В. Засоленные многолетнемерзлые породы Арктического побережья, их происхождение и свойства. М. Изд-во МГУ. 1998. С. 327.
5. Васильчук Ю.К., Алексеев С. В., Аржанников С. Г., Папеш В., Ранк Д., Васильчук А.К. Первые изотопные данные голоценовых сингенетических повторно-жильных льдов Мерзлого Яра в верховьях Енисея // Доклады Российской Академии Наук. 2002. Том 383. №2. С. 251–255.
6. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии. Новосибирск. Наука, 1975. С. 176.
7. Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М. Недра. 1988. С. 358.
8. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М. Недра. 1989. С. 454.

9. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М. Недра. 1989. С. 414.
10. Дубиков Г.И., Иванова Н.В., Зыков Ю.Д., Червинская О.П., Красовский А.Г. Засоление прибрежных отложений и их коррозионная агрессивность // Криосфера Земли. 1999. Т. III. № 1. С. 43—51.
11. Еникеев Ф.И. Урочище Пески Чарской впадины (северное Забайкалье) // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С.73–80.
12. Инженерная геология СССР. Т. 2. Западная Сибирь. М. Изд-во МГУ. 1976. С. 495.
13. Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь. М.: Изд-во МГУ. 1977. С. 657.
14. Оберман Н.Г. Мерзлые породы и криогенные процессы восточно-европейского сектора Арктики // Почвоведение. 1998. № 5. С. 540–551.