

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Васильчук Ю.К. Концентрация основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза // Арктика и Антарктика. 2025. № 1. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.1.73228
EDN: QBFPIY URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73228

Концентрация основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза

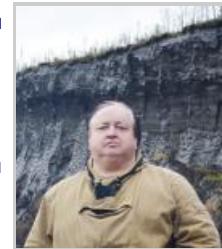
Васильчук Юрий Кириллович

ORCID: 0000-0001-5847-5568

доктор геолого-минералогических наук

профессор; кафедра геохимии ландшафтов и географии почв; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009



vasilch_geo@mail.ru

[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.1.73228

EDN:

QBFPIY

Дата направления статьи в редакцию:

02-02-2025

Дата публикации:

20-03-2025

Аннотация: Изучены сингенетические композитные песчано-ледяные жилы 10, 11, 12, 13, 14 и 15, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, расположенном в 10 км юго-восточнее пос. Батагай. Цель работы исследовать состав ионов в сложных песчано-ледяных жилах, для установления особенностей образования композитных жил. В ионном составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка преобладают анионы сульфатов, их содержание достигает 372 мг/л, среди катионов преобладает кальций – до 148 мг/л. Велико содержание хлоридов – до 94 мг/л, соотношение анионов хлоридов к сульфатам достигает 2,7. Среди катионов выделяются кальций – до 172 мг/л и натрий до 117 мг/л. Содержание катионов магния –

до 115 мг/л. Измерения выполнены с использованием ионного хроматографа «Стайер». Значения ЕС в среднем составляют в песчано-ледяных жилах: №10 – 407 мсм, №11 – 742 мсм, №12 – 583 мсм, №14 – 783 мсм, №15 – 696 мсм. Средние значения содержания катионов натрия в песчано-ледяных жилах: №10 – 22 мг/л, №11 – 63 мг/л, №12 – 28 мг/л №14 – 57 мг/л, №15 – 35 мг/л. Средние значения содержания катионов кальция в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,42 мг/л, №11 – 89 мг/л, №12 – 63 мг/л №14 – 92 мг/л, №15 – 98 мг/л. Средние значения содержания анионов хлоридов в песчано-ледяных жилах: №10 – 23 мг/л, №11 – 48 мг/л, №12 – 41 мг/л №14 – 51 мг/л, №15 – 35 мг/л. Средние значения содержания анионов сульфатов в песчано-ледяных жилах: №10 – 27 мг/л, №11 – 104 мг/л, №12 – 105 мг/л, №14 – 128 мг/л, №15 – 64 мг/л. В целом ионный состав композитных песчано-ледяных жил существенно отличается от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы.

Ключевые слова:

многолетнемерзлые породы, композитные песчано-ледяные жилы, поздний плейстоцен, ионный состав льда, криогеохимия, минерализация, катионы и анионы, верхний песок, Батагайский разрез, север Якутии

Исследования выполнены в рамках госбюджетной темы 1.4. "Антропогенная геохимическая трансформация компонентов ландшафтов" (№ ЦИТИС 121051400083-1, при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №23-17-00082: "Палеоциклы углерода-азота в экосистемах бугристых и полигональных торфяников, едомы и в пластовых льдах на севере России")"

Введение

Дж. Росс Маккай и Дж. Мэтьюз^[32] описали захороненные ледяные и песчаные клинья, которые, возможно, древнее раннего висконсина. Они предположили, что зимний и летний климат, были такими же как сейчас или даже, немного теплее. Сохранение здесь льда показывает, что многолетнемерзлые породы присутствовали на острове Хупера, по крайней мере, с раннего висконсина.

На островах Саммер и Хадвен, западная часть Арктической Канады Дж. Мёртоном^[33], встречены песчаные жилы, и композитные песчано-ледяные клинья, которые обычно имеют простую V-образную форму. Но, не все клинья имеют V-образную форму; некоторые из них имеют неправильную форму с ответвляющимися песчаными жилами. Вертикальная или крутонаклонная слоистость не очевидна во всех клиньях; некоторые, по-видимому, имеют массивное заполнение, что предполагает, что источник песка может быть очень однородным. Композитные песчано-ледяные клинья в Крамблинг-Пойнт, Саммер-Айленд, начинали расти как сложные композитные клинья, а продолжили как песчаные клинья, затем они были изменены термокарстом и, в некоторых случаях, позднее возобновили свой рост уже как ледяные клинья.^[33]

В районе пос. Тактояктак, на западе Арктической Канады Дж. Мёртоном и М. Бейтманом^[34] изучены сингенетические и антисингенетические песчаные и сложные композитные клинья.

Исследования, выполненные А.Ю.Деревягиным с соавторами^[15] показали, что в береговой зоне и на островах моря Лаптевых многолетнемерзлые песчаные отложения

нередко содержат полигонально-жильные структуры с песчано-ледяным заполнителем – песчано-ледяные жилы. Ширина песчано-ледяные жил достигает 4–5 м (возможно, они вскрыты не совсем фронтально). Возраст вмещающих песчано-ледяные жилы отложений более 50 тыс. лет. Многоярусное расположение песчано-ледяные жил в разрезах, частые переходы в пределах одной полигонально-жильной системы от песчано-ледяных к ледяным жилам свидетельствуют по заключению А.Ю.Деревягина о многократных сменах гидрологического режима мелководного, периодически осушающегося пресноводного бассейна и фациальных условий осадконакопления песчаных отложений. Толща песков с песчано-ледяными жилами в районе мыса Мамонтов Клык, перекрывается едомными отложениями, возраст которых составляет 30–35 тыс. лет. [\[15\]](#)

Я. В. Тихонравова с соавторами [\[23\]](#) отметили, что льды в мёрзлых сартанских и отложениях второй озёрно-аллювиальной террасы и голоценовых хасыреев в низовьях р. Гыда состоят из ледяных и ледогрунтовых частей. Ледяные участки жил сложены элементарными жилками льда, образованы за счёт преобладающих процессов морозобойного растрескивания и в разной степени перекристаллизованы в зависимости от их возраста. Ледогрунтовые включения в жилах сложены вертикальными и волнистыми прожилками льда и грунтовыми жилками. [\[23\]](#)

Включения ледогрунта приурочены к разным частям ледяных жил – верхним и нижним, боковым и центральным участкам, что указывает на разное время их формирования. Ледяные жилы первой и второй генераций в сартанских отложениях останца второй террасы характеризуются признаками первичной кристаллизации: чёткой ровной вертикально-полосчатой текстурой, образованной осевыми швами элементарных жилок, иногда подчёркнутыми зажатыми между кристаллами плёнками муты и пузырьками воздуха. Признаки первичной кристаллизации указывают на то, что процесс морозобойного растрескивания был основным при формировании ледяных жил. Формирование ледогрунтовых включений по мнению Я.В. Тихонравовой связано с локальным протаиванием, заполнением полостей и медленным двухсторонним промерзанием водонасыщенного грунта в полостях в жиле на разных этапах её роста. [\[23\]](#)

Данных аналитических исследований сложных композитных песчано-ледяных жил сравнительно немного. При этом, если изотопных исследований композитных жил мало, [\[15;25,26;35,36;38\]](#) то гидрохимических работ практически совсем нет. При этом исследования ионного состава ледяных жил в российской [\[1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,16,17,20,21,22\]](#) и англоязычной [\[24,25,26,27,28,29,30,31,37,38,39,40,41,42\]](#) литературе исчисляются десятками. В диссертации В.И.Бутакова [\[3, стр. 48-49\]](#) встречается гидрохимическая характеристика ледогрунтовых включений в жилах близ пос. Гыда. Он отмечает, что ледогрунтовые части жил останцов террасы различаются по составу. Ледогрунт одной из жил – гидрокарбонатный, кальциево-магниево-натриевый, пресный (164 мг/дм³). Ледогрунтовая часть другой жилы характеризуется хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-магниевым; пресным (94 мг/дм³) составом. Повышенная минерализация, мутность, содержание гумуса, железа в ледогрунте, по сравнению с «чистым» льдом жил, вероятно, связаны с водами, обогащенными минеральными частицами и водорастворимыми соединениями. Третья ледяная жила с минеральными прожилками супеси и тонкого песка ультрапресная (44 мг/дм³) имеет гидрокарбонатный, натриево-кальциево-магниевый состав. [\[3\]](#)

Цель данной работы изучить состав ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил.

Объекты и методы

Батагайский овраг

Автором изучены сингенетические композитные песчано-ледяные жилы, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, который сравнительно недавно образовался в 10 км юго-восточнее пос. Батагай, в Верхоянском улусе, Республики Якутия (Саха) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Схема распределения разрезов композитных песчано-ледяных жил в верхней песчаной пачке, расположенной в северной части Батагайского кратера: песчано-ледяная жила 10, (67,58344° с.ш., 134,764556° в.д.), С песчано-ледяная жила 11 (67,58346° с.ш., 134,76424° в.д.), песчано-ледяная жила 12 (67,58347° с.ш., 134,76402° в.д.), песчано-ледяная жила 13 (67,58347° с.ш., 134,76456° в.д.), песчано-ледяная жила 14 (67,58150° с.ш., 134,76227° в.д.) и песчано-ледяная жила 15 (67,58150° с.ш., 134,76227° в.д.)



Рис. 2. Местоположение разрезов композитных песчано-ледяных жил в верхней

песчаной пачке Батагайского разреза: песчано-ледяные жилы №№ 10-15. Исходное фото К. Орлински

Краткая физико-географическая характеристика района

Климат, по данным метеостанции Батагай близок к умеренно-холодному. Среднегодовая температура воздуха – -14,8 °С. Наиболее холодный месяц – январь с температурами от -43 до -51 °С. [10]

Многолетнемерзлые породы в бассейне р. Яны имеют сплошное распространение. Активный слой достигает мощности лишь 0,2-0,4 м под лесом и мхом, и 0,4-1,2 м на открытых площадках. Многолетнемёрзлые породы, как правило, высокольдистые.

Растительность северо-таежного и лесотундрового типа. Доминируют лиственничные редколесья. Видовой состав представлен лиственницей Каяндеры, берёзой, березой карликовой, ольхой, кедровым стлаником, багульником, лапчаткой Толля, осокой рыхлой, шикшай сибирской, брусликой, голубикой, мохово-лишайниковыми комплексами.

Структура почвенного покрова представлена типичными почвами бореальной и лесотундровой зон. Почвообразующими породами района Батагайского оврага, в основном, являются делювиально-солифлюкционные отложения супесчано-легкосуглинистого гранулометрического состава, подстилаемые алевролитами, аргиллитами и песчаниками триасового возраста. [10] Глубина сезонно-талого слоя почв зависит от их гранулометрического состава: чем он легче, тем большую мощность имеет сезонно-талый слой. Многолетнемерзлые породы представлены слабольдистыми слитыми отложениями, чаще всего имеющими супесчано-легкосуглинистый состав, содержащими большое количество влаги и мало различных включений, имеющими окраску, как правило, более тёмную, чем вышележащие горизонты. Профили почв, были классифицированы, [10] как петрозёмы и псаммозёмы (отдел слаборазвитых почв), по наличию подстильочно-торфянистого и грубогумусового горизонта в почвенном профиле, соответственно. Мощность данных почв не превышала 10 см, резко переходя на этой глубине в грубообломочный материал с небольшими количеством мелкозёма – вероятно, делювий коренных трассовых пород. В седловине на пологом склоне к Батагайскому оврагу вскрывается почвенный профиль подбура иллювиально-железистого мерзлотного. Ряд разрезов представлены светлозёмыми различной мощности профиля, для которых диагностическим признаком является наличие горизонта криометаморфизации – CRM. Фоновыми почвами в районе Батагайского оврага являются светлозёмы, встречающиеся в разнообразных ландшафтных условиях, островное распространение в районе имеют подбуры, а к повышениям рельефа с близким к поверхности залеганием коренных пород приурочены слаборазвитые почвы. Основными процессами характерными для почв в районе Батагайского оврага являются: подстилкообразование, грубогумусово-аккумулятивный процесс, альфегумусовый процесс, оглеение и криогенное оструктуривание. [10]

Сингенетические композитные песчано-ледяные жилы, располагаются в северной части Батагайского оврага в толще верхнего песка - фациально замещающего едомные отложения (рис. 3, 4)



Рис. 3. Композитные песчано-ледяные жилы в толще верхнего песка Батагайского разреза, фациально замещающего едомные отложения, 2017 г.



Рис. 4. Северный край толщи верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

Отбор образцов и пробоподготовка

Отбор образцов льда из композитных песчано-ледяных жил, вскрываемых обнажением Батагайского оврага (рис. 5-7), производился 10-14 августа 2019 гг.

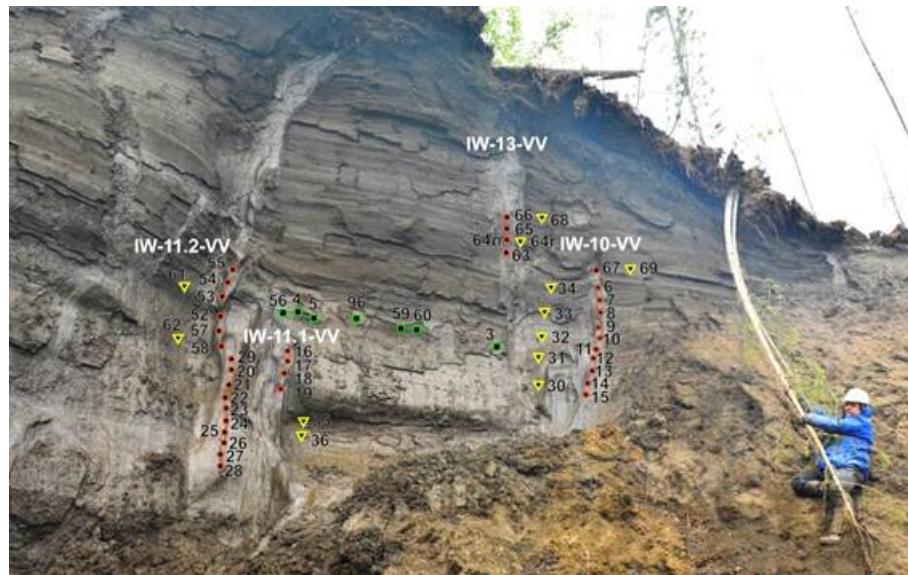


Рис. 5. Схема отбора образцов из композитных песчано-ледяных жил из верхнего песка Батагайского разреза. Песчано-ледяная жила 10 (IW-10-VV), песчано-ледяная жила 11 (IW-11-VV) и песчано-ледяная жила 13 (IW-13-VV), 2019 г.



Рис. 6. Схема отбора образцов из композитной песчано-ледяной жилы 12 (IW-12-VV) из верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

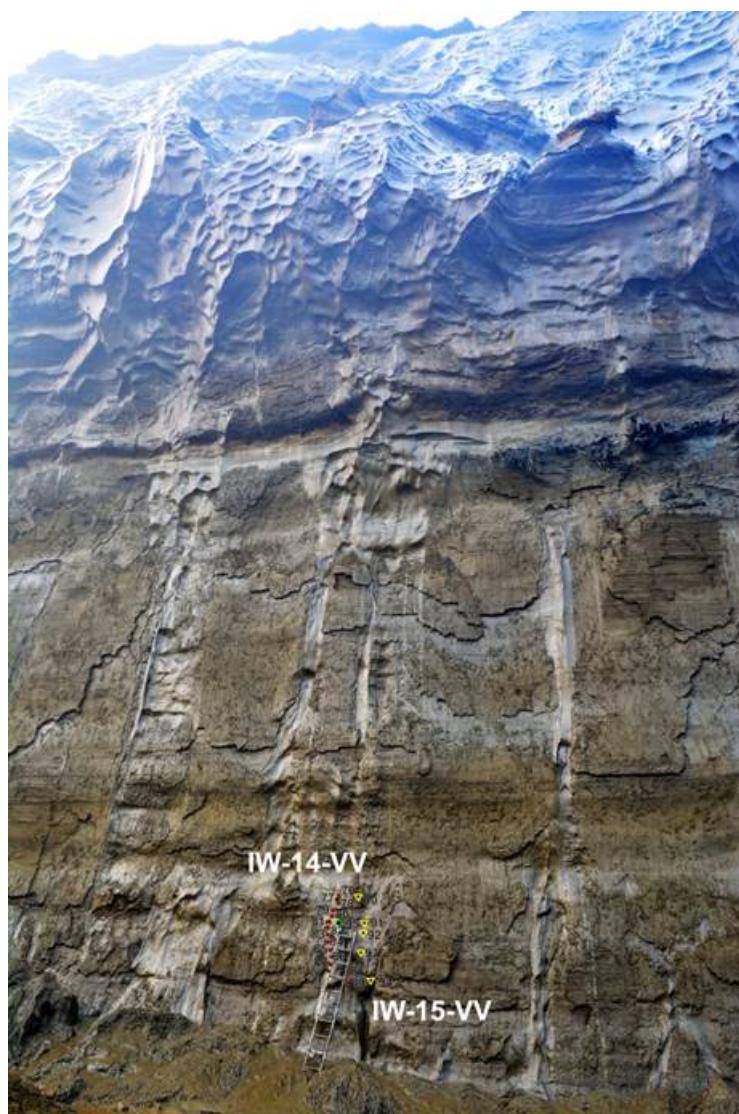


Рис. 7. Схема отбора образцов из композитных песчано-ледяных жил в нижней части верхнего песка Батагайского разреза. Песчано-ледяная жила 14 (IW-10-VV) и песчано-ледяная жила 15 (IW-11-VV), 2019 г.

Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см (рис. 8) с помощью дрелей Makita DDF481rte 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LiC стальными коронками для льда диаметром 51 мм.

Для зачистки места отбора приповерхностный слой мощностью 2-3 см с поверхности композитных песчано-ледяных жил снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS.



Рис. 8. Отбор образцов из композитной песчано-ледяной жилы 11 (CW-11-VV) из верхнего песка Батагайского разреза, 2019 г.

Лёд растапливался в пакетах при температуре +20°C. С помощью pH- и EC-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Технические характеристики pH-метра HANNA pHep 4 HI98127 следующие: диапазон pH – от 0,0-14,0; точность измерения – до 0,1 единицы pH; погрешность измерения – 0,1 единица pH. Технические характеристики EC-метра HANNA HI 98311 следующие: диапазон электропроводности – от 0,0 до 3999,0 μ S/cm; точность измерения – до 0,1 μ S/cm, конверсионный коэффициент EC-TDS равен 0,45. Затем талая вода переливалась в пластиковые флаконы ёмкостью 10 мл с плотно закрывающейся крышкой.

Характеристика песчано-ледяных жил, вскрываемых обнажением Батагайского оврага

Песчано-ледяная жила 10 сложена льдом серовато-бурым с тонкими прожилками грунта (рис. 9) и пузырьками воздуха. Композитная жила 10 имеет ширину от 10 до 30 см, высоту около 1,4 м. Ее голова, залегает на глубине чуть более 2 м. В этой жиле можно выделить 3 пары слабо выраженных "плечиков".



Рис. 9. Образец из композитной песчано-ледяной жилы 10 (обр. 13)

Песчано-ледяная жила 11 имеет ширину от 15 до 30 см (рис. 10, 11), высоту более 7 м, она сложена мутным льдом серо-бурового цвета. Отмечено чередование вертикально ориентированных тонкие и толстых (толщиной более 1 мм) прожилок льда сгруппированных по 3 шт. В ней выделены 3 пары "плечиков".

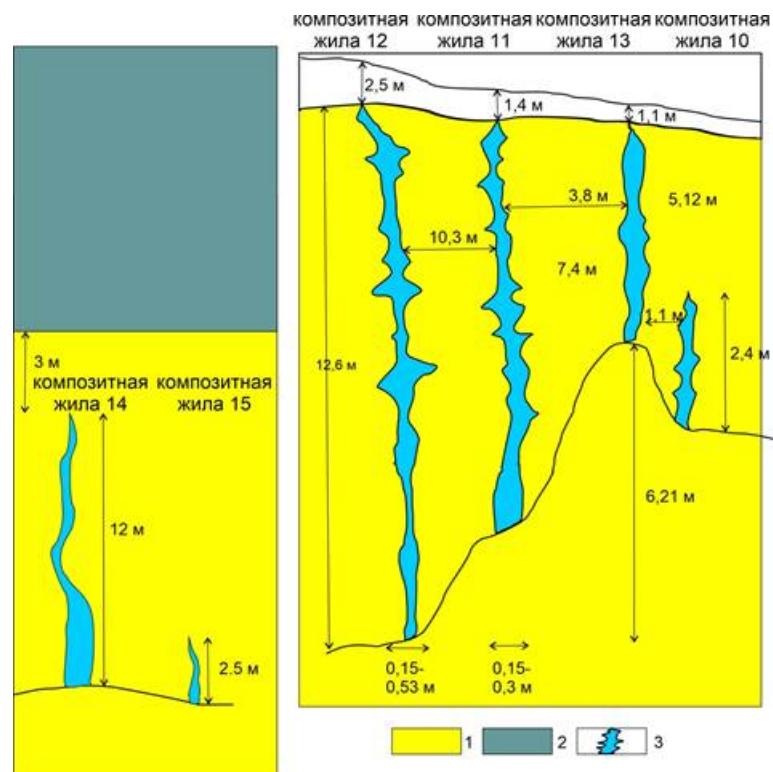


Рис. 10. Взаимное расположение и параметры композитных песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15 в толще верхнего песка. Полевая зарисовка: 1 – толща верхнего песка; 2 – верхняя часть перекрывающей едомной толщи; 3 – композитные песчано-ледяные жилы

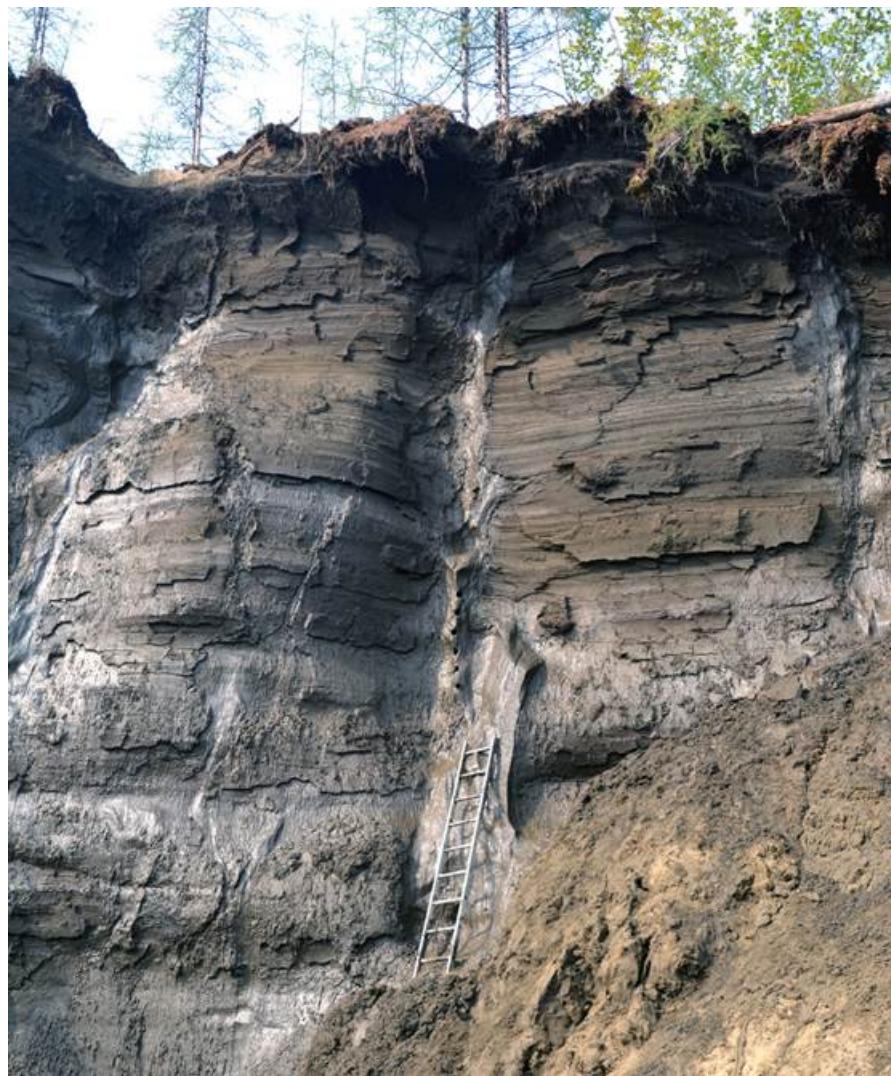


Рис. 11. Песчано-ледяная жила 11 (рядом с ней – лестница), толща верхнего песка

Песчано-ледяная жила 12 имеет ширину от 15 до 53 см (см. рис. 10, 12), высоту более 12,5 м, она сложена льдом преимущественно серовато-бурым и коричневато-желтым льдом. В жиле 12 можно выделить 5 пар "плечиков".

Песчано-ледяная жила 13 имеет ширину от 10 до 21 см, высоту около 5,8 м. (см. рис. 5, 10), она сложена льдом мутным, коричневато-желтого цвета, с вертикально ориентированными прожилками грунта серовато-бурового, грунтовые жилки шириной от 2 до 5 мм. В жиле 13 можно выделить 3 пары слабо выраженных "плечиков".

Песчано-ледяная жила 14 в нижней части пачки верхнего песка имеет ширину до 0,7 м, высоту широкой части около 3,6 м (см. рис. 7, 10), а вверх еще примерно на 2 м она резко утоньшается и ее голова в виде острой пики заканчивается в песке на глубине более 44 м. Над жилой 14 залегает верхняя часть едомной толщи мощностью более 35 м.



Рис. 12. Образец №58 из композитной песчано-ледяной жилы 11, залегающей в толще верхнего песка Батагайского разреза



Рис. 13. Песчано-ледяная жила 12, толща верхнего песка Батагайского разреза

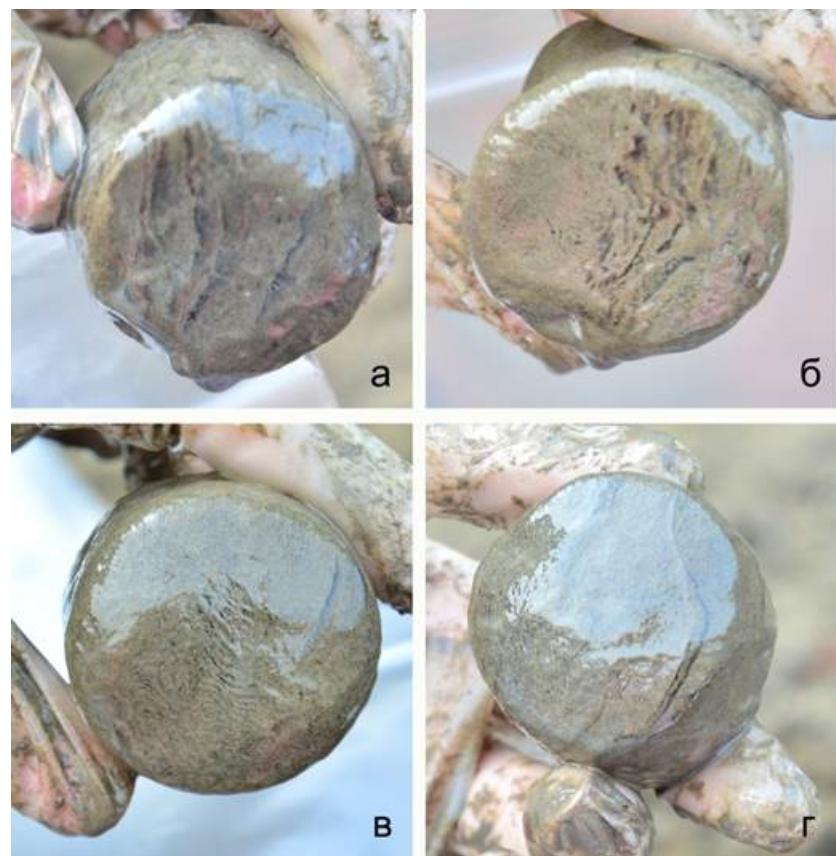


Рис. 14. Образцы из композитной песчано-ледяной жилы 12 из толщи верхнего песка Батагайского разреза: а – обр. 40; б – обр. 41; в – обр. 43; г – обр. 44



Рис. 15. Образцы из композитной песчано-ледяной жилы 12, залегающей в толще верхнего песка Батагайского разреза: а – обр. 71; б – обр. 75

Песчано-ледяная жила 15 в нижней части пачки верхнего песка имеет ширину до 0,2 м, высоту около 2,5 м (см. рис. 7, 10). Она залегает в самой нижней части пачки верхнего песка. Над жилой 15 залегает верхняя часть едомной толщи мощностью более 35 м.

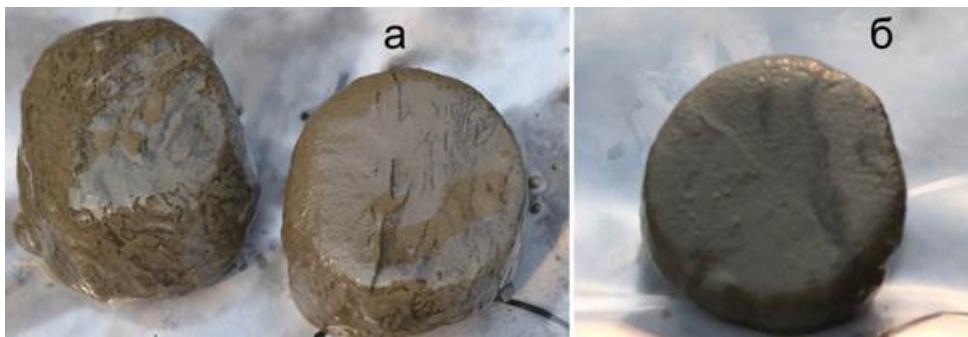


Рис. 16. Образцы из композитных песчано-ледяных жил верхнего песка Батагайского разреза: а – из песчано-ледяной жилы 14, обр. 76; б – из песчано-ледяной жилы 15, обр. 86

Лабораторный анализ и анализ и данных

Лабораторные методы

Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил, в 52 образцах, проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия), предел детектирования по хлорид-иону 0,02 мг/л. Ионный хроматограф «Стайер» предназначен для качественных и количественных определений неорганических соединений F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} в водных растворах различного происхождения (природных, технических, питьевых).

Для проб из композитных песчано-ледяных жил использована методика измерений массовой концентрации катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ в пробах питьевой, минеральной, природной и сточной воды методом ионной хроматографии ФР.1.31.2005.01738. Диапазон определяемых концентраций 0,10-20,00 мг/дм³, а для определения анионов – использована методика измерений массовой концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- в пробах питьевой, минеральной, природной и сточной воды методом ионной хроматографии ФР.1.31.2005.01724, Диапазон определяемых концентраций от 0,10 до 20,00 мг/дм³, применена методика измерений массовой концентрации ионов в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии ПНД Ф 14.1:2:4. 132-98. Диапазон определяемых концентраций по катионам 0,10-150,00 мг/дм³.

Результаты

Ионный состав композитных песчано-ледяных жил и содержание макроэлементов

Изучен ионный состав композитных песчано-ледяных жил, вскрытых в Батагайском цирке в 52 образцах из песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 10 из верхнего песка отмечено (см. табл. 1) преобладание анионов сульфатов (SO_4^{2-}), содержание которых достигает 130 мг/л, среди катионов преобладает кальций (Ca^{2+}) – 105 мг/л. В верхней части жилы велико содержание хлоридов (Cl^-) – от 34 до 66 мг/л, что приводит к наиболее высокому среди композитных жил этого разреза соотношению анионов Cl^- к SO_4^{2-} – до 2,7 (см. табл. 2).

Таблица 1. Ионный состав позднеплейстоценовых композитных песчано-ледяных жил

верхнего песка Батагайского разреза (52 образца)

Полевой номер образца	Глуб., м	ЕС, мсм	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	F, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
<i>Композитная песчано-ледяная жила №10</i>											
B-VV/2019-6	3,3	256	28,57	8,80	8,60	32,64	0,31	34,80	1,06	15,25	2,28
B-VV/2019-7	3,5	660	46,53	7,36	18,40	68,45	0,30	41,50	9,15	56,73	0,73
B-VV/2019-8	3,7	898	62,66	6,80	26,40	105,03	0,41	66,15	0,10	57,50	1,50
B-VV/2019-9	3,9	506	37,05	4,90	10,65	95,60	0,47	41,70	1,06	15,25	2,73
B-VV/2019-10	4,1	793	30,00	7,80	22,30	25,30	0,14	37,45	0,10	130,6	0,29
B-VV/2019-11	4,3	204	4,50	2,32	5,20	25,08	0,17	9,44	0,38	3,65	2,59
B-VV/2019-12	4,5	193	3,95	2,24	5,46	26,42	0,28	9,21	12,00	4,63	1,99
B-VV/2019-13	4,7	204	4,25	2,17	5,50	22,38	0,20	8,30	11,40	4,75	1,75
B-VV/2019-14	4,9	169	2,17	2,01	4,90	22,38	0,22	4,45	12,23	4,36	1,02
B-VV/2019-15	5,1	183	4,07	3,78	5,38	25,53	0,27	5,74	0,40	7,54	0,76
<i>Композитная песчано-ледяная жила №11</i>											
B-VV/2019-55	5,22	404	37,45	3,38	15,16	61,88	0,55	34,44	16,95	17,47	1,97
B-VV/2019-54	5,42	587	33,36	2,40	29,13	73,83	1,27	28,41	15,43	112,9	0,25
B-VV/2019-53	5,62	1491	117,20	5,42	63,62	74,20	1,95	67,45	23,65	372,0	0,18
B-VV/2019-52	5,82	945	55,08	2,78	67,03	102,6	0,16	60,12	27,70	108,3	0,56
B-VV/2019-57	6,02	807	57,48	4,01	42,00	84,50	0,70	67,53	7,99	60,66	1,11
B-VV/2019-58	6,22	884	59,44	6,57	57,00	135,3	0,58	55,81	54,03	102,1	0,55
B-VV/2019-29	6,4	1002	62,50	9,60	56,22	137,7	0,20	28,35	21,36	92,13	0,31
B-VV/2019-20	6,6	1101	85,95	6,71	40,71	86,14	0,46	94,50	1,12	134,0	0,71
B-VV/2019-21	6,8	845	68,78	6,10	50,42	108,54	0,50	60,08	51,37	111,1	0,54
B-VV/2019-22	7,0	343	23,00	4,00	13,06	32,63	0,46	17,03	18,55	40,08	0,42
B-VV/2019-23	7,2	989	97,05	6,55	71,95	148,8	1,11	58,30	68,60	253,9	0,23
B-VV/2019-24	7,4	956	89,68	6,03	55,12	110,4	0,92	60,72	29,12	101,6	0,60
B-VV/2019-25	7,6	498	39,63	3,33	28,49	65,22	1,05	24,52	9,74	27,22	0,90
B-VV/2019-26	7,8	264	84,33	4,21	68,28	85,56	0,95	58,91	29,49	61,17	0,96
B-VV/2019-28	8,2	497	83,52	4,63	63,54	91,68	0,35	48,42	20,56	60,80	0,80
<i>Композитная песчано-ледяная жила №12</i>											
B-VV/2019-70	13,3	734	32,77	3,42	28,78	112,4	0,12	43,26	22,45	186,8	0,23
B-VV/2019-71	13,5	644	34,86	2,63	20,32	78,53	0,22	39,74	1,22	151,7	0,26
B-VV/2019-72	13,7	672	33,56	2,18	19,60	75,65	0,16	34,17	10,28	142,0	0,24
B-VV/2019-73	13,9	841	39,51	2,09	26,43	86,65	0,29	68,70	14,76	196,4	0,35
B-VV/2019-37	14,9	622	32,48	3,55	18,61	70,00	0,20	46,41	5,71	144,9	0,32
B-VV/2019-38	15,1	1576	25,25	2,81	11,36	41,22	0,24	35,68	6,10	72,70	0,49
B-VV/2019-39	15,3	429	23,36	2,30	7,62	38,52	0,35	34,81	5,23	46,62	0,75
B-VV/2019-40	15,5	353	18,40	1,88	9,80	37,94	0,28	27,27	4,31	46,80	0,58
B-VV/2019-41	15,7	349	18,11	1,32	10,15	38,51	0,29	27,50	4,33	46,80	0,59
B-VV/2019-42	15,9	574	28,44	2,78	20,89	76,31	0,14	40,35	5,36	189,4	0,21
B-VV/2019-43	16,13	469	35,62	1,89	11,20	39,40	0,29	46,26	4,18	71,85	0,64
B-VV/2019-44	16,33	360	29,55	2,33	14,87	63,45	0,35	46,91	6,50	67,37	0,70
B-VV/2019-45	16,53	408	21,02	1,89	13,40	60,45	0,39	31,63	8,78	57,42	0,55
B-VV/2019-46	16,73	361	43,45	2,74	23,94	88,89	0,40	74,68	16,80	110,0	0,69
<i>Композитная песчано-ледяная жила №13</i>											
B-VV/2019-65	2,48	-	47,70	4,48	39,60	117,2	0,18	37,90	2,46	210,9	0,18
<i>Композитная песчано-ледяная жила №14</i>											
B-VV/2019-78	46,85	723	48,60	2,74	38,20	58,72	0,21	58,42	140,4	91,23	0,64
B-VV/2019-79	47,0	331	38,00	5,47	44,92	83,65	0,26	40,25	0,10	72,15	0,56
B-VV/2019-80	47,1	736	44,25	5,36	40,62	90,45	0,30	41,34	3,84	72,96	0,57
B-VV/2019-81	47,2	818	46,30	3,60	44,00	88,70	0,40	48,00	50,54	92,61	0,52
B-VV/2019-82	47,3	704	38,14	3,06	35,03	67,81	0,60	37,90	50,34	67,50	0,56
B-VV/2019-83	47,4	864	51,56	3,90	50,36	96,10	0,55	48,48	46,92	86,70	0,56
B-VV/2019-84	47,5	1359	90,33	5,82	80,00	108,0	0,77	65,60	0,10	237,7	0,28
B-VV/2019-85	47,65	-	85,50	6,86	115,0	172,0	0,80	57,88	5,83	286,0	0,20
B-VV/2019-86	47,75	727	78,50	2,74	74,80	80,90	1,24	69,15	88,90	157,4	0,44
B-VV/2019-87	47,85	-	76,30	4,13	85,50	113,5	0,60	60,00	35,21	180,6	0,33
<i>Композитная песчано-ледяная жила №15</i>											
B-VV/2019-88	47,95	774	41,90	3,51	44,85	112,0	0,16	40,00	46,74	67,59	0,59
B-VV/2019-89	48,25	617	32,46	5,50	32,63	85,36	0,40	31,36	56,08	62,38	0,50

Таблица 2. Минимальные, средние и максимальные значения содержания ионов в композитных песчано-ледяных жилах верхнего песка Батагайского разреза

Значения содержания	ЕС, мсм	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	F, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
<i>Композитная песчано-ледяная жила №10 (10 образцов)</i>										
Минимальные	169	2,17	2,01	4,90	22,38	0,14	4,45	0,10	3,65	0,29
Средние	407	22,38	4,82	12,00	42,84	0,26	23,93	4,36	27,63	1,45
Максимальные	898	62,66	8,8	26,40	105,03	0,47	66,15	12,23	130,6	2,73
<i>Композитная песчано-ледяная жила №11 (15 образцов)</i>										
Минимальные	264	23,00	2,40	13,06	32,63	0,16	17,03	1,12	17,47	0,18

Средние	742	63,59	4,88	45,92	89,48	0,71	48,85	24,80	104,56	0,64	
Максимальные	1491	117,2	9,60	71,95	148,8	1,95	94,50	68,60	372,0	1,97	
<i>Композитная песчано-ледяная жила №12 (14 образцов)</i>											
Минимальные	349	18,11	1,32	7,62	37,94	0,12	27,27	1,22	46,62	0,21	
Средние	583	28,97	2,32	16,31	63,06	0,26	41,64	7,82	105,16	0,45	
Максимальные	1576	43,45	3,55	28,78	112,4	0,40	74,68	22,45	196,4	0,75	
<i>Композитная песчано-ледяная жила №14 (10 образцов)</i>											
Минимальные	331	38,00	2,74	35,03	58,72	0,21	37,90	0,10	67,50	0,20	
Средние	783	57,77	4,22	58,50	92,60	0,54	51,36	38,39	128,40	0,44	
Максимальные	1359	90,33	6,86	115,0	172,0	1,24	69,15	140,4	286,0	0,64	
<i>Композитная песчано-ледяная жила №15 (2 образца)</i>											
Минимальные	617	32,46	3,51	32,63	85,36	0,16	31,36	46,74	62,38	0,50	
Средние	696	35,60	4,51	36,70	98,68	0,28	35,68	51,41	64,99	0,55	
Максимальные	774	41,90	5,50	44,85	112,0	0,40	40,00	56,08	67,59	0,59	

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 11 из верхнего песка зафиксировано самое высокое среди композитных жил верхнего песка анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 372 мг/л (см. табл. 1) и даже среднее их значение превышает 100 мг/л. Среди катионов выделяются кальций (Ca^{2+}) - до 148 мг/л и натрий (Na^+) до 117 мг/л. Соотношению хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) не превышает 2, составляя в среднем 0,64 (см. табл. 2).

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 12 из верхнего песка выделено заметное присутствие катионов кальция (Ca^{2+}) - до 112 мг/л (см. табл. 1), анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 196 мг/л и хлоридов до 74 мг/л. Соотношению хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) относительно невелико: в среднем 0,45 и не превышает 0,75 (см. табл. 2).

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 13 из верхнего песка зарегистрировано высокое содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 210 мг/л (см. табл. 1), низкое присутствие хлоридов 37 мг/л. Это определяет и низкое значение соотношения хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) - 0,18 (см. табл. 2). Среди катионов преобладает кальций (Ca^{2+}) 117 мг/л.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 14 из верхнего песка установлено довольно высокое содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) до 286 мг/л (см. табл. 1) и хлоридов - до 69 мг/л, при этом средние их значения составляют соответственно 128 и 51 мг/л. Соотношение хлоридов к сульфатам ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) тоже высокое и в среднем составляет 0,44 (см. табл. 2). В этой жиле зафиксировано самое высокое содержание нитратов (NO_3^-) - до 140 мг/л. Среди катионов преобладают кальций (Ca^{2+}) - в среднем 92 мг/л и магний (Mg^{2+}) - в среднем 58 мг/л, заметно и присутствие натрия (Na^+) - в среднем 57 мг/л.

В ионном составе композитной песчано-ледяной жилы 15 из верхнего песка констатировано стабильное содержание анионов сульфатов (SO_4^{2-}) от 62 до 64 мг/л, сравнительно высокое содержание нитратов (NO_3^-) от 46 до 56 мг/л (см. табл. 1).

Дискуссия

Композитные песчано-ледяные жилы

Композитные песчано-ледяные жилы встречены автором в самой верхней части разреза Усть-Алганский, который расположен на левом берегу р. Майн в 6 км ниже устья р. Алган, по течению реки на 7 км выше Ледового Обрыва.^[91] Высота его на момент описания составляла около 60 м. Усть-Алганская толща представлена, в основном, мелкими горизонтально-слоистыми песками, желтовато-серыми и серыми. В интервале глубин 20-23 м (на высоте 37-40 м от уреза реки), 49-53 м (на высоте 7-11 м от уреза реки) и 55,3-55,7 м (на высоте 4,7-4,3 м от уреза реки) отмечены частые прослои аллохтонного торфа мощностью от 0,5 до 2 см. В двух нижних оторфованных слоях также содержится большое количество веток кустарников, изредка стволов деревьев. В разрезе прослежено 7 циклитов - внизу 5 ярусов узких повторно-жильных льдов, а вверху два яруса песчаных (м.б. песчано-ледяных?) жил (рис. 17), ширина их редко превышает 1 м, высота составляет 7-8 м, расстояние между жилами от 3 до 4 м.

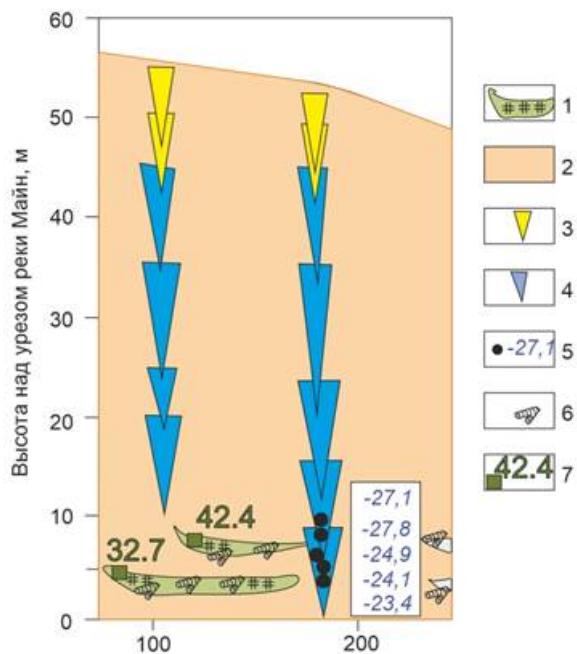


Рис. 17. Циклитное строение криолитологического разреза позднеплейстоценового песчаного комплекса в долине р.Майн, в обнажении Усть-Алганский. По [91]: 1 – торф; 2 – песок; 3 – песчаные (песчано-ледяные?) жилы; 4 – повторно-жильный лед; 5 – значения $\delta^{18}\text{O}$ в ледяных жилах, ‰; 6 – древесные остатки; 7 – отбор образцов для радиоуглеродных определений

По-видимому, в начальный период формирования Усть-Алганской толщи в ее образовании активно участвовали русловые процессы, что и приводило к накоплению мощных линз и прослоев аллохтонного органического материала. Об аллохтонном происхождении говорит и инверсия радиоуглеродных дат. На высоте 5 м над урезом по хорошо сохранившимся веткам и древесине авторами получена дата 32700 ± 1800 лет (ГИН-5367), а на высоте 7 м – более древняя 42400 ± 2100 лет (ГИН-5366). Ранее, в основании разреза по веткам получена дата 43 тыс. лет назад, а выше – более 57 тыс. лет назад.^[7] Инверсия вызвана привносом органики из более древних толщ, размывавшихся выше по течению реки. Более молодую датировку можно принять за нижнюю границу накопления толщи и тогда, с учётом большой мощности толщи, надо

признать, что на отдельных этапах седиментация здесь происходила очень быстро и скорость осадконакопления достигала 5 м за тысячу лет.

Композитные песчано-ледяные жилы описали Т.Н. Каплина и А.В.Шер^[18] в разрезе Сыпной яр. Здесь на большом протяжении вскрывается преимущественно песчаная толща аллювиальных осадков мощностью около 50 м. Для толщи Сыпного яра в целом характерно отсутствие крупных скоплений костей различных животных. Это обстоятельство отражает констративный тип накопления толщи, отсутствие интенсивного перемыва осадков, приводящего обычно к вторичной концентрации костных остатков. Т.Н. Каплина подчеркивает, что наличие двух ярусов ледяных жил, и, по крайней мере, одного яруса псевдоморфоз в нижней пачке осадков с древесными остатками позволяет уверенно говорить о том, что процессы формирования полигонально-жильных льдов протекали не только после завершения, но и в ходе накопления песчаной толщи Сыпного яра. Более того, несмотря на то что ледяные жилы погребались под песками и, испытывали хотя бы временное затопление, они не вытаивали. Ледяные жилы в супесчано-суглинистых пачках имеют различные размеры, причем отмечается связь как вертикальных, так и горизонтальных размеров с мощностью пачек. Наиболее мощные ледяные жилы были обнаружены на высоте 14-18 м над рекой, где ширина жил по верху составляла 2,5 м. Размеры полигонов в среднем составляют 7-9 м, но следует отметить, что часто встречаются сгущения сетки до 3-4 м, правда, в этих случаях сами жилы имеют меньшие размеры. Особый интерес, по мнению Т.Н. Каплиной и А.В. Шера^[18] представляет взаимоотношения супесчано-суглинистых осадков, песков и ледяных жил. При резкой смене снизу вверх по разрезу (при налегании) русловых песков на супеси (легкие суглинки) верхняя поверхность ледяных жил имеет обычно ровный горизонтальный срез. При постепенном изменении супесчано-суглинистого состава на песчаный, или через переслаивание заиленных и мелкозернистых песков, часто у ледяных жил сохраняются небольшие ростки, иногда в разрезах можно видеть несколько вложенных ярусов ледяных жил, что свидетельствует о динамичности, изменчивости условий их роста, вероятно, о достаточно быстром накоплении насылающихся друг на друга пачек аллювия. Исследованные жилы имели высокую степень загрязненности грунтом – в них встречается много вертикальных полосок, состоящих из тонкого песка или пыли. Наряду с ледяными в разрезах были встречены некрупные ледогрунтовые жилы – шириной до 0,3 м, вертикальной протяженностью до 1,5 м. Такие жилы встречены в заиленных песках, но часто приурочены и к мелкозернистым пескам, т.е. они росли в нижней части прирусовой отмели. Они отличаются особенно часто перестроенными решетками. Такие системы в целом являются синхронными вмещающим осадкам. В свое время Ю.А. Лаврушин наметил два типа разрезов констративного аллювия, в которых размещение ледяных жил может быть ярусным. В первом случае ярусность обусловлена четкой сменой литологии, во втором – климатическими колебаниями. Т.Н. Каплина заключает, что Сыпной яр является примером толщи первого типа.^[18]

Дж. Мёртон и М. Бейтман^[34] изучили в пределах песчаных толщ формации киттигазуит, мощностью не менее 10 м, на юго-западе острова Саммер и прилегающем острове Ричардс три изолированные, заполненные песком жильные структуры узкой, трубообразной формы. Песчаные позднеплейстоценовые толщи в прибрежных районах близ пос. Тактояктак, западная арктическая Канада, содержат сингенетические песчаные жилы шириной 1-21 см, иногда достигающие более 9 м в высоту. Их высокая и узкая, похожая на трубу морфология отличается от известных сингенетических ледяных клиньев и указывает на необычно близкий баланс между скоростью накопления

песчаной толщи и частотой растрескивания при термическом сжатии.[\[34\]](#)

Под голоценовой песчаной толщей около залива Джонсон песчаные клинья с необычно широкими вершинами (шириной около 3,9 м) простираются вниз от выступающей поверхности эрозии. Песчаные клинья росли вертикально вниз во время дефляции поверхности земли и представляют собой антисингенетические клинья.[\[34\]](#)

Трубообразная форма характеризует более или менее равномерную ширину структур с глубиной; поскольку у них отсутствует нисходящая конусность, обычно характерная для клиньев. Стороны песчаных жил содержали от одного до семи горизонтальных «плечиков», над которыми жила резко сужалась, обычно на несколько сантиметров. Высота одной из жил превышала 9 м. Внутри жилы были заполнены мелким песком и илистым мелким песком, похожим на переслаивающиеся песчаные и илистые песчаные фации вмещающего песчаного пласта. Заполнение жил содержало случайные гранулы до мелкой гальки.[\[34\]](#)

Следует отметить, что эоловый генезис песков с композитными песчано-ледяными жилами автору представляется весьма малореалистичным. В связи с этим можно вспомнить криогенном строении таких характерных эловых форм, как ткуланы. В песчаной толще ткуланов, часто можно встретить песчаные небольшие жилки, но протяженных песчано-ледяных жил пока ни разу не встречено. Если ледяные жилы и отмечены в толще ткуланов, то они приурочены к озерно-болотным фациям, как например, ледяные жилы, встреченные в разрезе Кысыл-Сырского ткуланы, под мощным автохтонным торфяником, формировавшимся 10-3,5 тыс. лет назад.[\[19, с.17\]](#)

А.Ю.Деревягиным и др.[\[15\]](#) приведены данные по распространению, криогенному строению и изотопному составу композитных песчано-ледяных жил в плейстоценовых песчаных отложениях (возраст более 50 тыс. лет) на побережье и островах моря Лаптевых. Мощные толщи песков подстилают отложения верхнеплейстоценового ледового комплекса и содержат несколько ярусов композитных песчано-ледяных жил. В изученных разрезах описаны переходы от композитных песчано-ледяных жил к повторно-жильным льдам и зоны контакта песчано-ледяных жил с вышележащими повторно-жильными льдами ледового комплекса. Наиболее легким изотопным составом (средние значения $\delta^{18}\text{O}$ от -34,3 до -36,0 ‰ и величины $\delta^2\text{H}$ от -258,2 до -280,8 ‰) характеризуются древние полигонально-жильные системы, развитые в отложениях о. Большой Ляховский. Песчано-ледяные жилы в верхнеплейстоценовых песках мыса Мамонтов Клык (Анабаро-Оленекское междуречье) имеют более тяжелый изотопный состав (средние значения $\delta^{18}\text{O}$ от -28,5 до -31,7 ‰ и величины $\delta^2\text{H}$ от -222,4 до -245,4 ‰). Изотопный состав песчано-ледяных жил указывает на холодные и сухие климатические условия периода их формирования. Сравнительный анализ изотопного состава изученных композитных песчано-ледяных жил и повторно-жильных льдов показывает их сходство. Приведенные А.Ю.Деревягиным[\[15\]](#) данные указывают на широкое распространение песчаных отложений с композитными песчано-ледяными жилами в разрезах четвертичных отложений на крайнем севере Якутии. Особенности криогенного строения отложений, включающих композитные песчано-ледяные жилы, свидетельствуют по мнению А.Ю.Деревягина[\[15\]](#) о субаэральных условиях их формирования. Он подчеркивает, что во многих случаях композитные песчано-ледяные жилы образуют с повторно-жильными льдами единую полигональную систему. Наблюдаются переходы от композитных песчано-ледяных жил к повторно-жильных льдам как в горизонтальном, так и в вертикальном профиле одной жилы. Переход от песчаной

толщи к отложениям ледового комплекса сопровождается увеличением содержания пылеватых частиц, органических включений, прослоев и линз торфа, возраст которых около 40-46 тыс. лет. Мощные сингенетические ледяные жилы ледового комплекса внедряются в нижележащую песчаную толщу на глубину до 5-6 м, нередко расщепляя композитные песчано-ледяные жилы. Изотопный состав композитных песчано-ледяных жил весьма близок к изотопному составу ледяных жил ледового комплекса, что указывает на генетическое сходство источников их питания. А.Ю.Деревягин отмечает, что формирование композитных песчано-ледяные жил происходит на некоторых участках дельты Лены и Земли Бунге и в настоящее время.[\[15\]](#)

Современные песчаные жилы активно формируются в сезонно-мерзлых грунтах в пределах зоны прерывистого распространения многолетнемерзлых пород на западном берегу Большого Невольничего озера ($62,4302^{\circ}$ с.ш.; $115,2960^{\circ}$ з.д.), на Северо-Западной территории Канады, где господствует субарктический континентальный климат с осадками 291 мм в год, среднегодовой температурой воздуха $-4,1^{\circ}\text{C}$, теплым летом (средняя температура июля = $17,0^{\circ}\text{C}$) и холодной зимой (средняя температура января = $-26,6^{\circ}\text{C}$). Пять лет прямых полевых наблюдений, выполненных С. Вульфом с соавторами[\[45\]](#) показывают, что межгодовые изменения теплового режима грунта в основном определяются зимней температурой воздуха и состоянием снежного покрова. На песчаных участках тонкий снежный покров и высокая теплопроводность способствуют быстрому замерзанию, высоким темпам охлаждения грунта и низким температурам у поверхности грунта (от -15 до -25°C), что приводит к образованию трещин термического сжатия, проникающих на глубину до 1,2 м. Растрескивание при температурном сжатии происходит при низком содержании влаги (<4%). Потенциал растрескивания высок в песчаных почвах, когда температура воздуха $<-30^{\circ}\text{C}$, а толщина снежного покрова $<0,15$ м. Напротив, поверхностные условия в торфяниках поддерживают многолетнемерзлые породы, но растрескивание при температурном сжатии не происходит, поскольку более толстый снежный покров и термические свойства торфа поддерживают более высокие зимние температуры почвы. Трещины при температурном сжатии, которые развиваются в песчаных грунтах, заполняются поверхностным (аллохтонным) и/или вмещающим (автохтонным) материалом во время сезона оттаивания. Эпигенетические песчаные клинья, заполненные аллохтонным песком, развиваются в бывших пляжных отложениях под активным эоловым песчаным покровом. Более узкие и глубокие сингенетические клинья образуются в пределах аградирующих эоловых песчаных толщ, тогда как более широкие и мелкие антисингенетические клинья образовались в областях активной эрозии.[\[45\]](#)

Содержание ионов в композитных песчано-ледяных жилах

Использование ионного состава композитных песчано-ледяных жил, как геохимического трассера для исследования проблемы генезиса и процессов формирования композитных жил позволяет получить дополнительные доказательства природы песчано-ледяных жил и условий их формирования.

Согласно AMS датировкам органического материала, экстрагированного непосредственно из песчано-ледяных жил накопление композитных клиньев в пачке Верхнего Песка Батагайской толщи началось не позднее 38 тыс. кал. лет назад и закончилось не ранее 23,5 тыс. кал. лет назад.[\[43,44\]](#)

Примерно в это же время формировались жилы 17 и 20 в едомной части этого разреза. Интересно сравнить ионный состав этих почти синхронных фациальных разностей.

В ПЖЛ-5 Батагайской едомы содержание сульфатов изменяется от 2 до 17 мг/л, составляя в среднем 6,35 мг/л, в ПЖЛ-7 Батагайской едомы содержание сульфатов изменяется от 1,4 до 40,5 мг/л, составляя в среднем 5,79 мг/л. [7] Средняя концентрация анионов сульфатов в ледяной жиле IW-17 составляет - 4,15 мг/л, [6] максимальная 30,47 мг/л и минимальная 1,06 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка анионы сульфатов преобладают (рис. 18-21), при этом их содержание почти в 100 раз больше, чем во льду большинства едомных жил Батагайской толщи [6,7,42] и достигает 372 мг/л.

Наиболее существенным отличием ионного состава композитных песчано-ледяных жил от одновременно накапливавшихся повторно-жильных льдов Батагайской едомной толщи является преобладание анионов сульфатов их содержание на один и даже на два порядка больше, чем во льду большинства едомных жил; среди катионов в составе композитных жил выделяются кальций. Вероятно, на химический состав песчано-ледяных жил оказывали влияние континентальные аэрозоли и склоновые надмерзлотные воды. Надо, полагать, что композитные песчано-ледяные жилы формировались при активном участии склоновых процессов и склоновых надмерзлотных вод.

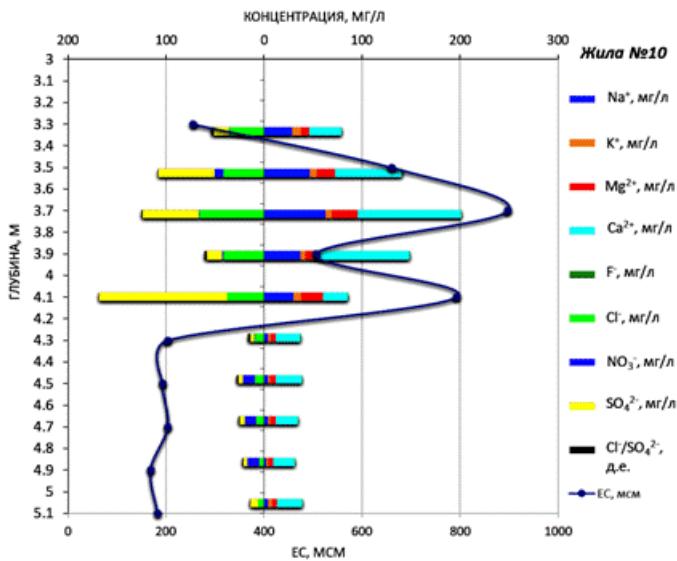


Рис. 18. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 10 из верхнего песка

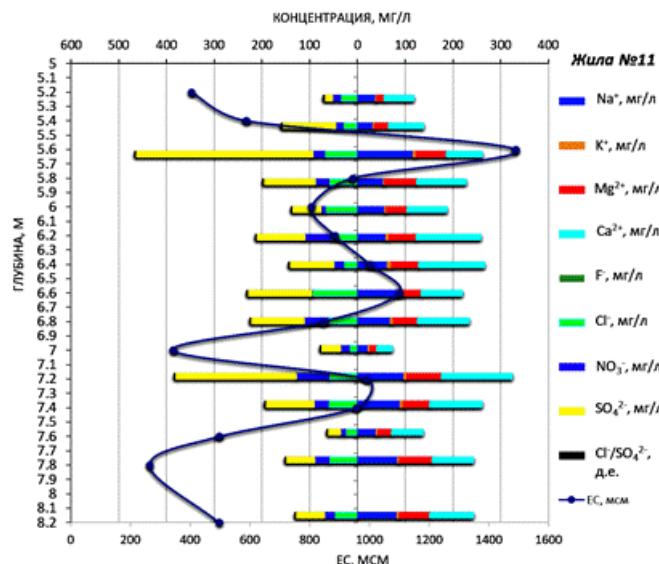


Рис. 19. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 11 из верхнего песка

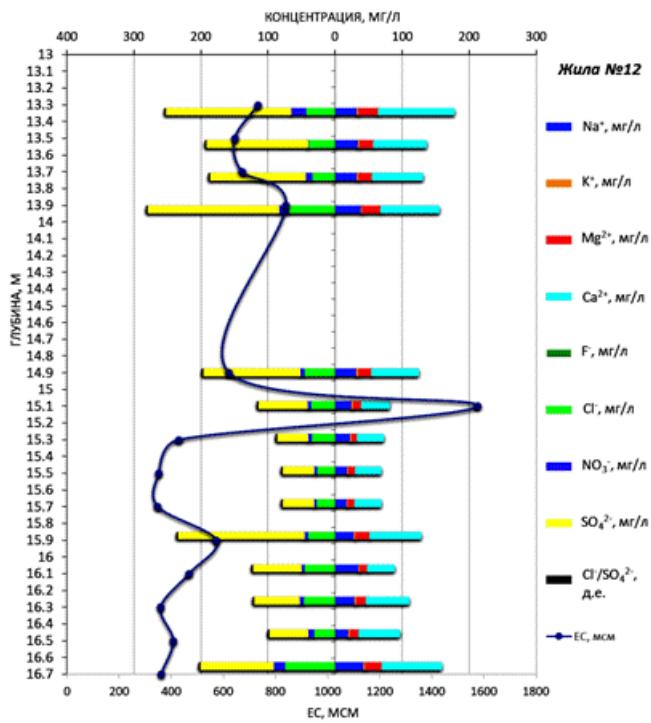


Рис. 20. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 12 из верхнего песка

В ПЖЛ-5 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 1,08 до 7 мг/л, составляя в среднем 2,6 мг/л, в ПЖЛ-7 содержание хлоридов изменяется от 1,13 до 4,5 мг/л, составляя в среднем 1,96 мг/л. В IW-17 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 0,9 до 34,51 мг/л, составляя в среднем 2,15 мг/л. В IW-20 Батагайской едомы содержание хлоридов изменяется от 1,18 до 50,32 мг/л, составляя в среднем 1,18 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил анионы хлора заметно представительнее и достигают в жиле 12 (см. рис. 20) – 74 мг/л (здесь в среднем анионы хлора 41 мг/л) и в жиле 11 (см. рис. 19) – 94 мг/л (здесь в среднем анионы хлора 48 мг/л), т.е. содержание хлоридов в композитных песчано-ледяных жилах почти в 20 раз больше, чем в ледяных жилах Батагайской едомы.

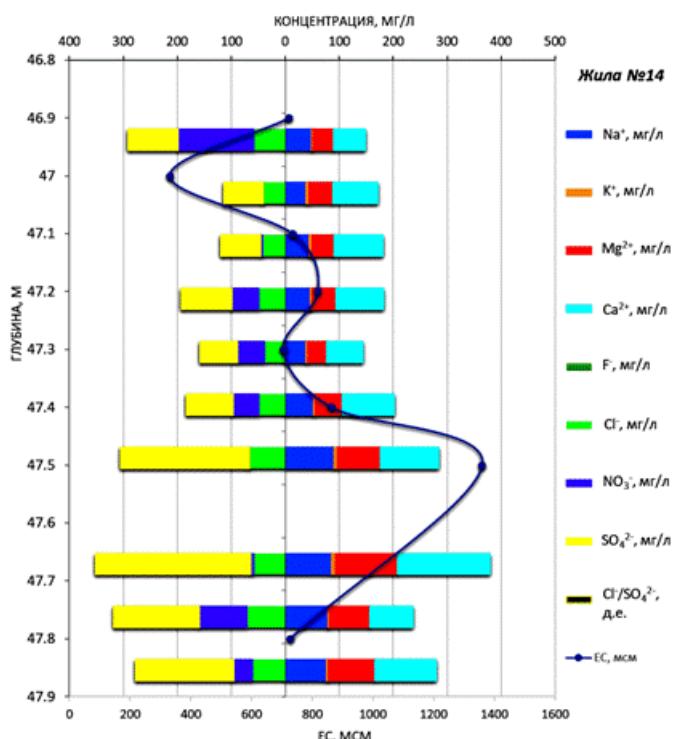


Рис. 21. Ионный состав композитной песчано-ледяной жилы 14 из верхнего песка

В ионном составе повторно-жильного льда IW-17 преобладают катионы натрия и кальция, достигая в одном из образцов 24 и 53 мг/л соответственно, [6] в этом же образце анионы хлора достигают 34 мг/л. В составе композитных песчано-ледяных жил 10-15 из верхнего песка среднее содержание катионов натрия увеличивается от 22 мг/л в жиле 10 (см. рис. 18) до 57 мг/л в жиле 14 (см. рис. 21), и даже до 63 мг/л в жиле 11 (см. рис. 19). Среднее содержание катионов кальция увеличивается от 42 мг/л в жиле 10 до 98 мг/л в жиле 15 и до 92 мг/л в жиле 14.

Ионный состав композитных песчано-ледяных жил существенно отличается от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы: а). Значения ЕС в среднем составляют в песчано-ледяных жилах: №10 – 407 мсм, №11 – 742 мсм, №12 – 583 мсм, №14 – 783 мсм, №15 – 696 мсм; б). Средние значения содержания катионов Na^+ в песчано-ледяных жилах: №10 – 22 мг/л, №11 – 63 мг/л, №12 – 28 мг/л №14 – 57 мг/л, №15 – 35 мг/л; в). Средние значения содержания катионов K^+ в песчано-ледяных жилах: №10 – 4 мг/л, №11 – 4 мг/л, №12 – 2 мг/л №14 – 4 мг/л, №15 – 4 мг/л; г). Средние значения содержания катионов Mg^{2+} в песчано-ледяных жилах: №10 – 12 мг/л, №11 – 45 мг/л, №12 – 16 мг/л, №14 – 58 мг/л, №15 – 36 мг/л; д). Средние значения содержания катионов Ca^{2+} в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,42 мг/л, №11 – 89 мг/л, №12 – 63 мг/л №14 – 92 мг/л, №15 – 98 мг/л; е). Средние значения содержания фторидов F^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 0,26 мг/л, №11 – 0,71 мг/л, №12 – 0,26 мг/л №14 – 0,54 мг/л, №15 – 0,28 мг/л; ж. Средние значения содержания анионов хлоридов Cl^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 23 мг/л, №11 – 48 мг/л, №12 – 41 мг/л №14 – 51 мг/л, №15 – 35 мг/л; з. Средние значения содержания анионов NO_3^- в песчано-ледяных жилах: №10 – 4 мг/л, №11 – 24 мг/л, №12 – 7 мг/л №14 – 38 мг/л, №15 – 51 мг/л; и. Средние значения содержания анионов SO_4^{2-} в песчано-ледяных жилах: №10 – 27 мг/л, №11 – 104 мг/л, №12 – 105 мг/л, №14 – 128 мг/л, №15 – 64 мг/л; к. Средние значения соотношения $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ в песчано-ледяных жилах: №10 – 1,45, №11 – 0,64, №12 – 0,45, №14 – 0,44, №15 – 0,55.

Выводы

1. Использование ионного состава композитных песчано-ледяных жил, как геохимического трассера для исследования проблемы генезиса и процессов формирования композитных жил позволяет получить дополнительные доказательства природы песчано-ледяных жил и условий их формирования.
2. Наиболее существенным отличием ионного состава композитных песчано-ледяных жил от одновременно накапливавшихся повторно-жильных льдов Батагайской едомной толщи является преобладание анионов сульфатов их содержание (до 372 мг/л) на один и даже на два порядка больше, чем во льду большинства едомных жил; среди катионов в составе композитных жил выделяются кальций (до 172 мг/л).
3. На химический состав песчано-ледяных жил располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера, оказывали влияние континентальные аэрозоли и склоновые надмерзлотные воды.
4. Композитные песчано-ледяные жилы формировались при активном участии склоновых процессов и склоновых надмерзлотных вод.

Благодарности

Автор благодарен Л.Б. Блудушкиной, Н.А. Буданцевой, А.П. Гинзбургу, Л.В. Добрыдневой, Е.С. Слышкиной и А.Ю. Тришину и за помощь в полевых и лабораторных исследованиях и в оформлении работы.

Библиография

1. Анисимова Н.П. *Криогидрохимические особенности мерзлой зоны*. Новосибирск: Наука. 1981. 151 с.
2. Бутаков В.И., Слагода Е.А., Опокина О. Л., Томберг И.В., Жученко Н.А. Особенности формирования гидрохимического и микроэлементного состава разных типов подземных льдов мыса Марре-Сале // *Криосфера Земли*. 2020. Том XXIV. № 5. С. 29-44. doi:10.21782/KZ1560-7496-2020-5(29-44).
3. Бутаков В.И. Особенности формирования геохимического состава подземных льдов Карского региона / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Тюмень, 2022. 25 с.
4. Васильчук Ю.К. *Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций)*. М.: Изд. Отдел. Теоретических проблем РАН. МГУ, ПНИИС. 1992. В 2-х томах. Т. 1. – 420 с. Т. 2. – 264 с.
5. Васильчук Ю.К. Геохимический состав подземных льдов севера Российской Арктики // Арктика и Антарктика. 2016. № 2. С. 99-115. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.2.21378 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=21378
6. Васильчук Ю.К. Ионный состав повторно-жильных льдов №17 и №20 Батагайской едомы // Арктика и Антарктика. 2024. № 3. С. 65-90. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.3.71272 EDN: QWEIZV URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71272
7. Васильчук Ю.К. Концентрация основных растворимых ионов в ледяных жилах ПЖЛ-5 и ПЖЛ-7 Батагайской едомы // Арктика и Антарктика. 2024. № 4. С. 57-80. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.72210 EDN: LBJOHS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72210
8. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. Изотопно-геохимические особенности Батагайской едомы (предварительные результаты) // Арктика и Антарктика. 2017. № 3. С. 69-98. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.3.24433 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=24433
9. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Типы циклитности едомных толщ в долине реки Майн, Чукотка // Арктика и Антарктика. 2019. № 2. С. 34-61. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.2.29667 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29667
10. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Гинзбург А.П. Криогенные почвы в районе Батагайского мегаоврага, север Якутии // Арктика и Антарктика. 2020. № 3. С. 52-99. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.3.33599 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33599
11. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Гинзбург А.П. Геохимический состав повторно-жильных льдов в Батагайской едоме // Арктика и Антарктика. 2021. № 2. С. 70-92. DOI: 10.7256/2453-8922.2021.2.35962 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35962
12. Волкова В. П., Романовский Н. Н. Некоторые особенности химического состава подземных льдов Уяндинской впадины и прилегающих частей Селенняхского хребта // *Мерзлотные исследования*, вып. 10. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1970. С. 114-128.
13. Волкова В. П., Романовский Н. Н. О химическом составе подземных льдов в четвертичных отложениях южной части Яно-Индигирской низменности // *Проблемы*

- криолитологии, вып. 4. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1974. С. 199-208.
14. Данилов И. Д., Соломатин В. И., Шмидеберг Н. А. Химический состав подземных льдов как показатель условий их формирования и генезиса вмещающих пород // *Природные условия Западной Сибири*. Вып. 7. М.: Издательство Московского университета. 1980. С. 119-126.
15. Деревягин А.Ю., Куницкий В.В., Мейер Х. Песчано-ледяные жилы на крайнем севере Якутии // *Криосфера Земли*. 2007. Том XI. № 1. С. 62-71.
16. Дубиков Г. И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: Изд-во "Геос". 2002. 246 с.
17. Дубиков Г.И., Иванова Н.В., Зыков Ю.Д., Червинская О.П., Красовский А.Г. Засоление прибрежных отложений и их коррозионная агрессивность // *Криосфера Земли*. 1997. Том III. № 1. С. 43-52.
18. Каплина Т.Н., Шер А.В. Криогенное строение, условия формирования и возраст констративной аллювиальной свиты Сыпного Яра на Индигирке // *Мерзлые породы и снежный покров*. М.: Наука, 1977. С. 27-41.
19. Куть А.А. Эолово-мерзлотные образования (тукуланы) Центральной Якутии: строение, генезис, возраст, закономерности распространения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Ин-т мерзлотоведения СО РАН. Якутск, 2015. 22 с.
20. Лахтина О.В. Физические и химические свойства грунтов Колымской низменности // *Труды ПНИИИС*. Вып. 54. М., 1978. С. 13-54.
21. Опокина О.Л., Слагода Е.А., Стрелецкая И.Д., Суслова М.Ю., Томберг И.В., Ходжер Т.В. Криолитология, гидрохимия и микробиология голоценовых озерных и повторно-жильных льдов о-ва Сибирякова Карского моря // *Природа шельфов и архипелагов Европейской Арктики*. Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 241-247.
22. Опокина О.Л., Слагода Е.А., Томберг И.В., Суслова М.Ю., Фирсова А.Д., Ходжер Т.В., Жученко Н.А. колебания уровня моря и их отражение в составе и строении полигонально-жильных льдов в низовьях Енисея // *Лёд и Снег*. 2014. Том 54(2). С. 82-90. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-82-90.
23. Тихонравова Я. В., Лупачев А. В., Слагода Е. А., Рогов В. В., Кузнецова А. О., Бутаков В. И., Симонова Г. В., Таратунина Н. А., Муллануров Д. Р. Строение и формирование ледогрунтовых жил второй озёрно-аллювиальной террасы на севере Гыдана в позднем неоплейстоцене-голоцене // *Лед и снег*. 2019. №4. С. 557-570. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-367.
24. Brown J. Ice-wedge chemistry and related frozen ground processes, Barrow, Alaska // *Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana*. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C. USA. 1966. P. 94-98.
25. Campbell-Heaton K. *Ice wedge activity in the Eureka Sound Lowlands, Canadian High Arctic*. A thesis submitted to the University of Ottawa in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science in Geography. Department of Geography, Environment and Geomatics. Faculty of Arts. CryoLab for Arctic, Antarctic and Planetary Studies (CLAAPS). University of Ottawa, 2020. 103 p.
26. Campbell-Heaton K., Lacelle D., Fisher D., Pollard W. Holocene ice wedge formation in the Eureka Sound Lowlands, high Arctic Canada // *Quaternary Research*. 2021. Vol. 102. P. 175-187. doi: 10.1017/qua.2020.126.
27. Douglas TA, Barker AJ, Monteath AJ, Froese DG. A local meteoric water line for interior Alaska constrains paleoclimate from 40 000 year old relict permafrost // *Environmental Research Letters*. 2025. Vol. 20:024029. doi: 10.1088/1748-9326/ada16b.
28. Fritz M., Opel T., Tanski G., Herzschuh U., Meyer H., Eulenburg A., Lantuit H. Dissolved

- organic carbon (DOC) in Arctic ground ice // *The Cryosphere*. 2015. Vol. 9. P. 737-752. doi:10.5194/tc-9-737-2015.
29. Holland K.M. *Ice-Wedge Archives in the Northwestern Canadian Arctic*. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science. Department of Geography and Planning. University of Toronto, 2020. 85 p.
30. Holland K.M., Porter T.J., Criscitiello A.S., Froese D.G. Ion geochemistry of a coastal ice wedge in Northwestern Canada: Contributions from marine aerosols and implications for ice-wedge paleoclimate interpretations // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2023. Vol. 34(2). P. 180-193. doi:10.1002/ppp.2184.
31. Iizuka Y., Miyamoto C., Matoba S., Iwahana G., Horiuchi K., Takahashi Y., Kanna N., Suzuki K., Ohno H., Ion concentrations in ice wedges: An innovative approach to reconstruct past climate variability // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2019. Vol. 515. P. 58-66. doi:10.1016/j.epsl.2019.03.013.
32. Mackay J.R., Mathews J.V. Pleistocene ice wedges and sand wedges, Hooper Island, NWT // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1983. Vol. 20. P. 1087-1097. doi: 10.1139/e83-097
33. Murton J. Morphology and Paleoenvironmental Significance of Quaternary Sand Veins, Sand Wedges, and Composite Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Journal of Sedimentary Research*. 1996. Vol. 66(1). P. 17-25. doi: 10.1306/D4268298-2B26-11D7-8648000102C1865D.
34. Murton J.B., Bateman M.D. Syngenetic Sand Veins and Anti-Syngenetic Sand Wedges, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2007. Vol. 18. P. 33-47. doi: 10.1002/ppp.577.
35. Murton J.B., Opel T., Toms P., Blinov A., Fuchs M. et al. (2022). A multi-method dating study of ancient permafrost, Batagay megaslump, East Siberia // *Climate of the Past*. 2022. Vol. 105. P. 1-22. doi:10.1017/qua.2021.27.
36. Murton J., Opel T., Wetterich S., Ashastina K., Savvinov G., Danilov P., Boeskorov V. 2023. Batagay megaslump: A review of the permafrost deposits, Quaternary environmental history, and recent development // *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 34(3). P. 399-416. doi: 10.1002/ppp.2194.
37. O'Sullivan J.B. Geochemistry of permafrost: Barrow, Alaska // *Proceedings, International Conference on Permafrost, Lafayette, Indiana*. 1963, 11-15 November. National Academy of Sciences-National research Council. Washington, D.C.USA. 1966. P. 30-37.
38. Park P., Ko N.-Y., Kim J.E., Opel T., Meyer H., Wetterich S., Fedorov A., Shepelev A.G., Jung H., Ahn J. A Biogeochemical Study of Greenhouse Gas Formation From Two Ice Complexes of Batagay Megaslump, East Siberia // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2024. Vol. 35(4). P. 437-449. doi:10.1002/ppp.2234.
39. Savoskul O.S. Ion content of polygonal wedge ice on Bolshoi Lyakhov: a source of palaeoenvironmental information // *Ann. Glaciol.* 1995. Vol. 21. P. 394-398. doi:10.1017/s026030550001612827.
40. Schirrmeister L., Grosse G. et al. Permafrost, periglacial and paleoenvironmental studies on New Siberian Islands // *Russian-German Cooperation System Laptev Sea. The expedition Lena 2002*. M.N. Grigoriev, V. Rachold et al. (eds.). *Berichte zur Polar- und Meeresforschung. Rep. on Polar and Marine Res.* 2003. Vol. 466. P. 195-261.
41. Vasil'chuk Yu.K., Trofimov V.T. Cryohydrochemical peculiarities of ice-wedge complexes in the north of Western Siberia // *Permafrost. Fourth International Conference, Proceedings*. Fairbanks. Alaska. National Academy Press. Washington. 1983. P. 1303-1308.
42. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Belik A.D., Bludushkina L.B., Ginzburg A.P., Krechetov P.P., Terskaya E.V. Major and trace elements, δ13C, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Late Pleistocene ice wedges: A case-

- study of Batagay yedoma, Central Yakutia // *Applied Geochemistry*. 2020. Vol. 120. P. 104669. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104669.
43. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C. MIS 3-2 paleo-winter temperature reconstructions obtained from stable water isotope records of radiocarbon-dated ice wedges of the Batagay Ice Complex (Yana Upland, eastern Siberia) // *Radiocarbon*. 2022. Vol. 64(6). P. 1403-1417. doi: 10.1017/RDC.2022.60.
44. Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A.C., Budantseva N. A., Tokarev I.V., Vasil'chuk J.Yu. Direct AMS radiocarbon age of the MIS2-3 thin composite wedges from Batagay Upper Sand // *Radiocarbon*. 2025. Vol. 67.
45. Wolfe S.A., Morse P.D., Neudorf C.M., Kokelj S.V., Lian O.B., O'Neill H.B. Contemporary sand wedge development in seasonally frozen ground and paleoenvironmental implications // *Geomorphology*. 2018. Vol. 308. P. 215-229. doi: 10.1016/j.geomorph.2018.02.015.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является оценка концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Актуальность.

Данная статья затрагивает актуальную проблему изучения концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза. Это позволит дать более полную характеристику многолетнемерзлым породам Батагайского разреза. Автор указывает, что данных аналитических исследований сложных композитных песчано-ледяных жил сравнительно немного, что делает данную работу особенно актуальной. Цель данной работы изучить состав ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил.

Методологией исследования основана на геолого-полевой разведке и отборе образцов льда для дальнейшего лабораторно-химического анализа. Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см с помощью дрелей Makita DDF481rt 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LIc стальными коронками для льда диаметром 51 мм. Для зачистки места отбора приповерхностный слой мощностью 2-3 см с поверхности композитных песчано-ледяных жил снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS. Лёд растапливался в пакетах при температуре +20°C. С помощью pH- и EC-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Затем талая вода переливалась в пластиковые флаконы ёмкостью 10 мл с плотно закрывающейся крышкой. Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил в 52 образцах проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия), предел детектирования по хлорид-иону 0,02 мг/л. Ионный хроматограф «Стайер» предназначен для качественных и количественных определений неорганических соединений F-, Cl-, NO3-, NO2-, SO42-, PO43-, Na+, NH4+, K+, Mg2+ и Ca2+ в водных растворах различного происхождения (природных, технических, питьевых).

Научная новизна заключается в том, что авторы впервые провели изучение ионного

состава композитных песчано-ледяных жил, вскрытых в Батагайском цирке в 52 образцах из песчано-ледяных жил 10, 11, 12, 13, 14 и 15 что, несомненно, является достоинством данной работы.

Стиль статьи - научный, соответствует установленным требованиям журнала. Структура статьи включает в себя введение, результаты и обсуждение, заключение, библиографию. Содержание научной статьи полностью раскрывает ее тему, выводы доказательны и обоснованы. Текст написан научным языком, статья соответствует объему согласно требованиям журнала.

Библиография статьи слишком обширна и включает в себя 45 литературных источников, в том числе 22 - на иностранном языке.

Однако выводы в статье не совсем передают основную мысль автора по проведенным результатам исследований, а представляют собой некий повтор информации по результатам лабораторных анализов образцов льда.

Считаем, что выводы в статье нужно доработать и представить в виде 3-4 пунктов заключительных мыслей по результатам оценки концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на использованные литературные источники и выражении авторского мнения по изучаемой проблеме.

Рецензируемая статья несомненно будет интересна и полезна грунтоведам-практикам, студентам и аспирантам, обучающимся по направлению 1.6.7. «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение».

Данная статья заслуживает внимания научного сообщества, рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки выводов.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по мнению автора, анализ концентрации основных растворимых ионов в композитных песчано-ледяных жилах в толще верхнего песка Батагайского разреза.

Методология исследования, в статье указаны как анализ состояния и расположения сингенетических композитных песчано-ледяных жил, располагающиеся в толще верхнего песка Батагайского оврага, который сравнительно недавно образовался в 10 км юго-восточнее пос. Батагай, в Верхоянском улусе, Республики Якутия (Саха). Образцы льда отбирались из композитных песчано-ледяных жил по вертикали через каждые 10-20 см с помощью дрелей Makita DDF481ite 18В и Bosch GSR 36 VE-2-LI с стальными коронками для льда диаметром 51 мм. Снимался с помощью бура и далее отбирались более глубинные образцы из той же лунки. Образец, состоящий из песка и льда диаметром 5 см, высверливался из песчано-ледяных жил, при этом масса каждого образца составляла около 150 г, и упаковывался в полиэтиленовые пакеты. Координаты песчано-ледяных жил регистрировались с помощью GPS. С помощью pH- и ЕС-метров измерялись кислотность и электропроводность талой воды. Измерения макрокомпонентного состава льда композитных песчано-ледяных жил, в 52 образцах, проводились с помощью ионного хроматографа «Стайер» (Россия). Из анализа статьи можно сделать вывод о использовании методов оценки современной площади наледи на основе анализа космических снимков спутников за длительный период, статистического анализа, климатологический анализ с построением связей между метеорологическими

характеристиками и интенсивностью гидрологических процессов.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении информации о составе ионов в сложных композитных песчано-ледяных жилах, располагающихся в толще верхнего песка Батагайского кратера с целью определения особенностей образования композитных жил. В этой связи исследования режима питания в частности и гидрологического режима в целом в зависимости от условий формирования, депонирования и таяния является важным аспектом понимания геоэкологического механизма гидрологических динамических процессов.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований и динамики ионного состава композитных песчано-ледяных жил отличающихся от ионного состава ледяных жил Батагайской едомы как важное значение для понимания динамики водных ресурсов криолитозоны. Это является важным дополнением в развитии геокриологии.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, отражающим процесс картографического моделирования. Статья иллюстрирована визуализированными формами, графиками, картами и фотографиями.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты и методические рекомендации по геохимическому анализу особенности грунтов.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволившие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.