

КРИОЛИТОГЕНЕЗ

УДК 551.89:552.5

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-4(5-18)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА РЕЛИКТОВЫХ ГРУНТОВЫХ ЖИЛ
В ОСНОВАНИИ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛЕСОСТЕПНОГО ПРИТОБОЛЬЯС.И. Ларин¹, В.А. Алексеева², С.А. Лаухин³, Н.С. Ларина⁴, В.Л. Гусельников⁵¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; silarin@yandex.ru² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия³ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, гидрогеологический ф-т, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Россия⁴ Тюменский государственный университет, Институт химии, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия⁵ ООО "ЭкоСтройПереработка", 625001, Тюмень, ул. Чернышевского, 1, Россия

Приведены результаты изучения морфологии и вещественного состава реликтовых полигонально-жилных структур – мелких трещин, карманов и более крупных клинообразных жил, вскрытых в основании толщи покровных карбонатизированных отложений в пределах второй надпойменной террасы долины р. Tobol. Результаты гранулометрического анализа изученных отложений показывают преобладание фракций крупного алеврита и мелкого песка. Морфоскопия кварцевых зерен свидетельствует о преобладании частиц кварца (до 92 %) с поверхностью, характерной для эоловой обстановки седиментации. Суммарная доля частиц со следами элювиальной обработки и водного переноса невелика и составляет от 0 до 12–16 и 4–8 % соответственно. Коэффициент окатанности частиц 51–59 %, в среднем по разрезу жилы 54 %. Высокие значения доли зерен кварца со следами криогенного воздействия (60–84 %), а также коэффициента криогенной контрастности (1.03–1.99) отражают интенсивное проявление криогенных процессов во время заложения жил. Геохимические коэффициенты и индексы–климатические модули показывают слабую степень гипергенного преобразования заполняющих жилы осадков. Полученные данные свидетельствуют о формировании изученных структур во второй половине сартанского криохрона и в начале голоцена как изначально грунтовых жил в слое сезонного протаивания–промерзания, возможно, совместно с трещинами усыхания.

Криогенез, полигонально-жилные структуры, покровные отложения, сартанский криохрон, гранулометрия, морфоскопия песчаных зерен, криогенная контрастность, геохимические коэффициенты, эоловые процессы

FEATURES OF FORMATION OF THE COMPOSITION OF RELIC GROUND VEINS
IN THE BASE OF COVERING DEPOSITS IN THE FOREST-STEPPE OF THE TOBOL RIVER REGIONS.I. Larin¹, V.A. Alekseeva², S.A. Laukhin³, N.S. Larina⁴, V.L. Guselnikov⁵¹ Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, 86, Malygina str., 625026, Tyumen, Russia; silarin@yandex.ru² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia³ Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Faculty of Hydrogeology, 23, Miklukho-Maclay str., Moscow, 117997, Russia⁴ Tyumen State University, Institute of Chemistry, 6, Volodarskogo str., Tyumen, 625003, Russia⁵ LLC EcoStroiPererabotka, 1, Chernyshevskogo str., Tyumen, 625001, Russia

The results of studying of the morphology and material composition of relic polygonal structures – small cracks, pockets, and larger wedge-shaped veins, stripped at the base of the covering carbonated deposit-strata within the second fluvial terrace of the Tobol River valley – are presented. The particle size distribution analysis of the studied deposits displays the predominance of the coarse silt and fine sand fractions. Quartz grain surface textures reveal the predominance of sand grain with aeolian processing (up to 92 %). The total fraction of particles with eluvial features and traces water transfer is small and ranges from 0 to 12–16 and 4 to 8 %, respectively. The particle roundness ratio varies from 51 to 59 %, averaging 54 % through the vein section. High values of the quartz grain-fraction with traces of cryogenic processing (60–84 %), as well as the coefficient of cryogenic contrast (1.03–1.99) reflect the intense manifestation of cryogenic processes during the vein formation. Geochemical proxies and major element indices demonstrate a low degree of hypergenic transformation of the sediments filling the veins. The obtained data have revealed that the formation of the studied structures as originally ground veins in the active layer (possibly together with drying cracks), had occurred in the second half of the Sartan cryochron and at the beginning of the Holocene.

Cryogenesis, polygonal structures, covering deposits, Sartan cryochron, particle size distribution analysis, quartz grain surface texture, cryogenic contrast ratio, geochemical indices, aeolian processes

ВВЕДЕНИЕ

На юге Западной Сибири и в северном Казахстане в основании покровных отложений известно много разрезов с реликтовыми жильными структурами. Высказываются крайне противоречивые мнения в отношении их генезиса. В одном случае их считают криогенными образованиями – псевдоморфозами по ледяным жилам [Федорович, 1962], в другом – трещинами аридного усыхания, отмечая, что облик сети трещин не имеет ничего общего с морфологией мерзлотных образований [Волков и др., 1969]. В результате новейших исследований этих структур выявлен их сартанский возраст (МИС 2). В это время в южной части Западной Сибири господствовал аридный, резко континентальный климат, были широко развиты перигляциальные ландшафты холодных тундр, тундростепей и лесостепей [Зыкин и др., 2001; Палеоклиматы..., 2009], формировалась низкотемпературная (ниже -3°C) сплошная мерзлота с активным развитием морозобойного растрескивания и формированием полигонально-жильных образований [Фотиев, 2009].

В пределах Тобол-Ишимского междуречья мощность толщи многолетней мерзлоты достигала 300–500 м, температура пород опускалась до -5°C [Баулин и др., 1981; Динамика..., 2002; Палеоклиматы..., 2009; Фотиев, 2009]. Находки псевдоморфоз по ледяным жилам на 52° с.ш. [Зубаков, 1970; Архипов, 1971; Каплянская, Тарноградский, 1972] и даже на 50° с.ш. [Зыкин и др., 2001] позволили провести южную границу многолетнемерзлых горных пород в сартанское время в Западной

Сибири по $50-47^{\circ}$ с.ш. [Баулин и др., 1981]. В раннем голоцене, с 11 тыс. лет назад (т.л.н.) до конца эпохи климатического оптимума голоцена, фиксируется устойчивое и существенное по сравнению с сартанской эпохой потепление климата, повышение до положительных значений температуры горных пород и активная деградация криогенных толщ неоплейстоценового возраста [Фотиев, 2009].

Находки реликтовых жильных структур в пределах лесостепного и подтаежного Зауралья дают новую информацию об особенностях криолитозоны на юго-западе Западной Сибири в эпоху сартанского криохрона [Лаухин и др., 2012; Ларин и др., 2015, 2016, 2018]. В работе представлены результаты изучения морфологии и вещественного состава жильных структур, вскрытых в основании покровных отложений, перекрывающих поверхность второй правобережной 20-метровой террасы р. Тобол [Волков и др., 1969] вблизи тылового шва на абсолютной отметке 111 м. Сам разрез вскрыт в стенках карьера, используемого в настоящее время для свалки твердых бытовых отходов. Карьер расположен в 4 км от южной окраины с. Упорово Тюменской области ($56^{\circ}16'01.91''$ с.ш., $66^{\circ}17'00.75''$ в.д.), в 109 км к юго-востоку от Тюмени (рис. 1). Превышение разреза над урезом р. Тобол у с. Упорово составляет 56.7 м.

ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЯ РАЗРЕЗА И МОРФОЛОГИЯ ЖИЛ

Для изучения стратиграфии и морфологии жил по разрезу была сделана зачистка южной

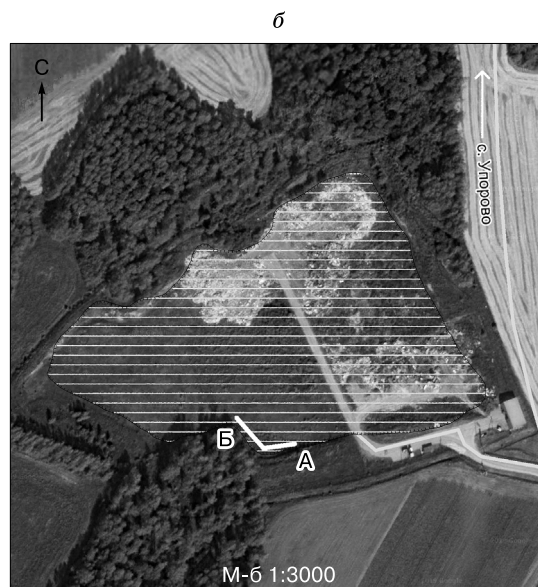
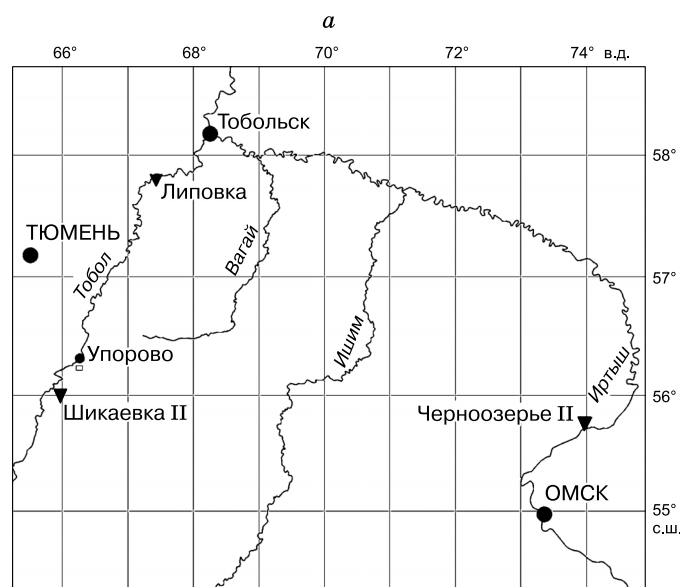


Рис. 1. Местоположение объектов:

а – разрез с реликтовыми полигонально-жильными структурами в карьере у с. Упорово Тюменской области; палеолитические стоянки Шикаевка II, Черноозерье II; разрез Липовка; б – расположение стенок А и Б в карьере у с. Упорово.

(стенка А, протяженность 12.5 м; жилы 1–9) и юго-юго-западной (стенка Б, протяженность 21.4 м; жилы 10, 11, 11а, 12–15) стенок карьера (см. рис. 1, б). Обобщенное строение разреза сверху вниз приведено на рис. 2, 3.

1. Дернина, гумусовый горизонт современных почв со следами антропогенного воздействия. Мощность 0–70 см. Следы землероев, корни растений до глубины 20–70 см от дневной поверхности.

2. Песок мелко- и тонкозернистый, алевритовый, желтовато-коричневый и бурый, плотный, слоистый (на сколах), заметна вертикальная трещиноватость. Мощность слоя от 25 до 112 см, средняя мощность 81–82 см. На участке разреза вблизи жил 1 и 2, в основании горизонта, в интервале глубин 57–80 см залегает прослой желтовато-коричневого крупнозернистого песка и гравия размером до 0.5 см, с косой слоистостью.

3. Песок тонкозернистый, алевритовый, сизовато-серый, горизонтально- и линзовидно-слоистый с железнением по отдельным слоям мощностью до 5 см. На общем фоне заметны редкие овальные сизые пятна диаметром до 1 см и следы землероев. Вскрыт на глубину 220–370 см от дневной поверхности; ниже 190 см увеличивается количество слоев более крупнозернистого песка сизого и охристого цвета. Верхняя граница слоя резкая, разбита густой сетью небольших мелких, часто клинообразных трещин и карманов глубиной до 3–10 см и шириной по верху 1–2 см, а также более крупными по размерам жилами глубиной 70–90 см и шириной в верхней части до

7–28 см. Трещины и жилы полностью заполнены материалом вышележащих отложений второго слоя. Расстояние между срединными осями верхней части наиболее крупных жил составляет по стенке А: 1/2 – 268 см, 2/3 – 139 см, 3/4 – 102 см, 4/5 – 58 см, 5/6 – 75 см, 6/7 – 425 см, 7/8 – 125 см, 8/9 – 56 см; по стенке Б: 9/10 – 373 см, 10/11 – 246 см, 11/11а – 205 см, 11а/12 – 276 см, 12/13 – 305 см, 13/14 – 735 см. Большая часть жил имеет клинообразную форму. Некоторые из них наклонны, коленообразны, в нижней части ветвятся, образуя многочисленные апофизы в виде нитевидных хвостов или узких трещин. Глубина проникновения жил 1–9 (стенка А) составляет 120–180 см от дневной поверхности, вертикальная протяженность от основания второго слоя 70–90 см; жил 10–15 (стенка Б) соответственно 150–203 и 50–120 см.

По всем стенкам разреза, начиная с глубины 30–45 см, но особенно в интервале от 80–110 до 120–165 см, обильны карбонаты в виде рассеянных белесых пятен с отдельностями в 0.2–0.3 мм, плотных округлых конкреций размером до 1–2 см, а также вытянутых сверху вниз полос. В ряде случаев карбонаты буквально “пропитывают” и цементируют очень плотный слой вмещающих отложений. Наибольшие скопления карбонатов отмечены в стенке А на глубине 110–130 см; по стенке Б фиксируются два уровня карбонатов – на глубинах 84 и 120–165 см от дневной поверхности. В центральной части жилы 3 на глубине 70–90 см заметны вертикальные полосы черного цвета в виде примазок.

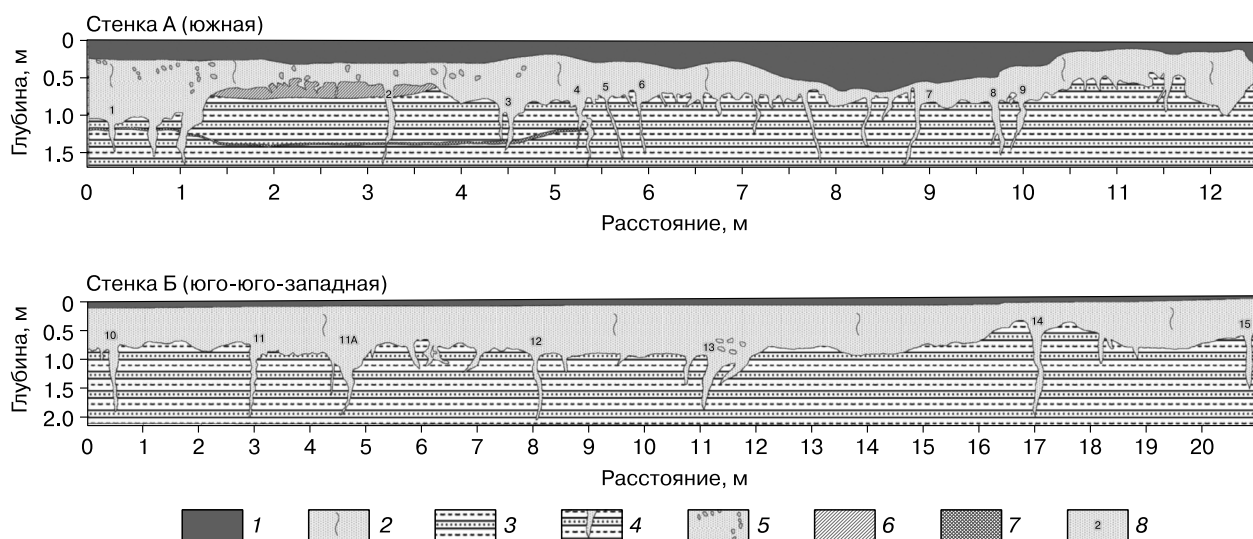


Рис. 2. Строение верхней части разреза в стенках карьера у с. Упорово Тюменской области.

1 – дерновый гумусовый горизонт современных почв; 2 – песок мелко- и тонкозернистый, алевритовый, желтовато-коричневый и бурый с вертикальными трещинами; 3 – песок тонкозернистый, алевритовый, сизовато-серый, горизонтально- и линзовидно-слоистый; 4 – грунтовые жилы; 5 – крупные карбонатные конкреции; 6 – линза крупнозернистого песка и мелкой гальки с косой слоистостью; 7 – прослой крупнозернистого песка охристого цвета; 8 – номера жил.

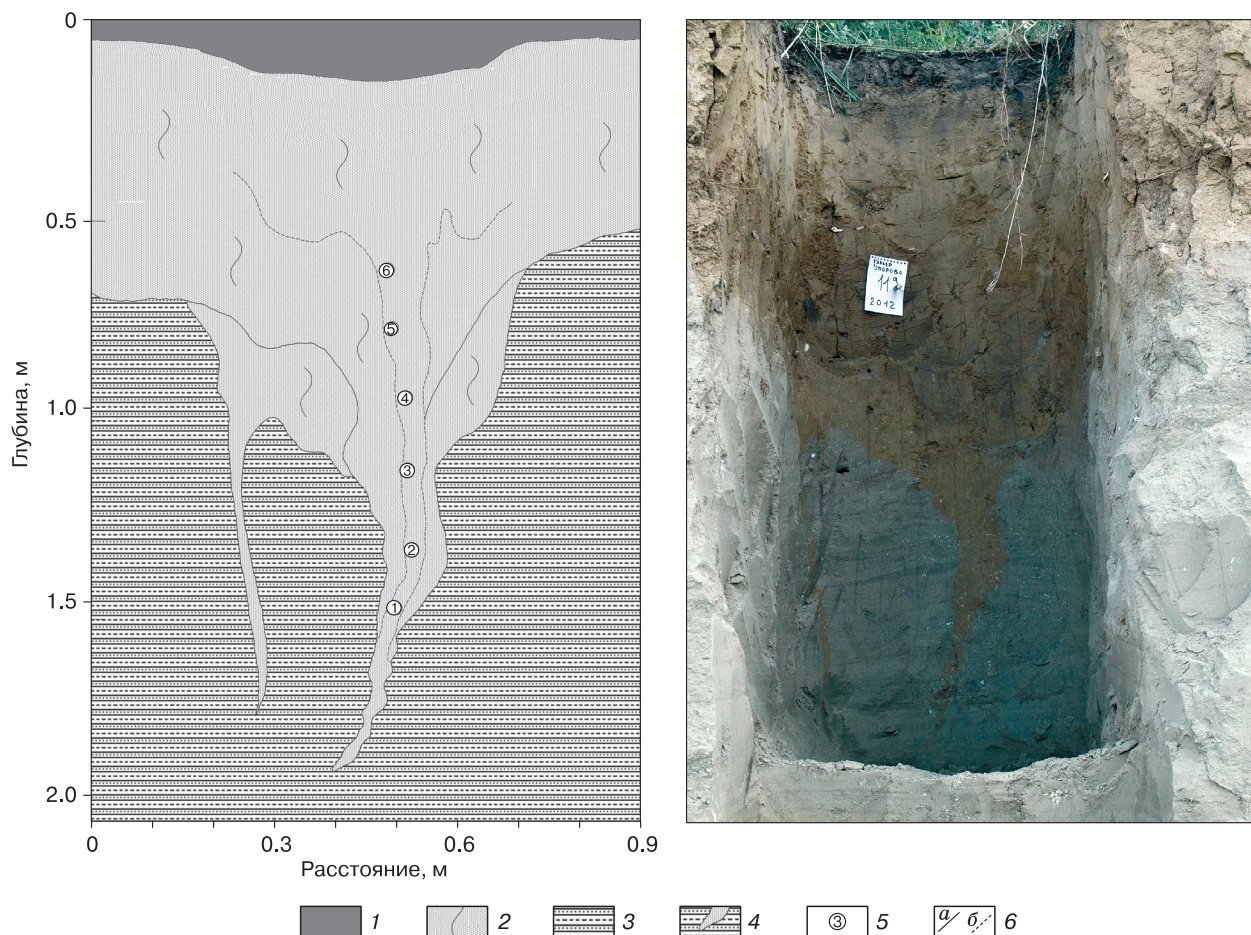


Рис. 3. Структура жили 11а.

1–4 – усл. обозн. см. на рис. 2; 5 – места отбора образцов и их номер; 6 – границы: а – ясные, б – неясные.

ВОЗРАСТ ЖИЛЬНЫХ СТРУКТУР

Информацию о возрасте полигонально-жильных структур несут следы морозобойного растрескивания и криогенные клиновидные нарушения, обнаруженные в стенках раскопов палеолитических стоянок Шикаевка II в Варгашином районе Курганской области на правом берегу р. Тобол и Черноозерье II в Саргатском районе Омской области на берегу левобережной первой надпойменной террасы р. Иртыш [Цейтлин, 1979; Петрин, 1986; Горбунова и др., 2016; Осинцева, 2017]. Приводимые ниже календарные датировки рассчитаны Ф.Е. Максимовым (СПбГУ) с помощью программы OxCal 4.3 [Reimer et al., 2013].

Стоянка Шикаевка II (см. рис. 1, а) находится на расстоянии 35 км к югу от изучаемого разреза на западном берегу оз. Слободчиково. Озеро расположено в 10–12 км от р. Тобол. Урез воды в озере не превышает 15 м над уровнем поймы. Возраст отложений с культурными остатками и мамонтовой фауной, подстилающих осадки со следами па-

леокриогенеза, определен в 13–11 т.л.н. [Петрин, 1986]. Судя по ребру млекопитающего, разорванному реликтовой клиновидной структурой, следы криогенеза могут быть связаны с усилением похолодания в МИС 1 (10.3–10.8 т.л.н.) [Цейтлин, 1979]. Позднее по кости мамонта из этой стоянки была получена ^{14}C -датировка $18\,050 \pm 95$ л.н. ($21\,870 \pm 150$ кал. лет назад) (СОАН-2211) [Деревянко и др., 2003].

Возраст культурных горизонтов стоянки Черноозерье II (см. рис. 1, а), деформированных более поздними следами криогенеза, по ^{14}C -датировкам углей составляет $14\,500 \pm 500$ л.н. ($17\,610 \pm 630$ кал. лет) (ГИН-622) [Цейтлин, 1985]. По фрагменту кости из кровли горизонта погребенной почвы на глубине около 1.4 м была получена ^{14}C -датировка $10\,526 \pm 44$ л.н. ($12\,490 \pm 70$ кал. лет) (MAMS-27135) [Горбунова и др., 2016; Осинцева, 2017].

В разрезе Липовка ($57^{\circ}49'20.6''$ с.ш., $67^{\circ}23'18.5''$ в.д.), расположенном в пределах второй надпойменной правобережной террасы (высо-

той 20–25 м) р. Тобол, в 184 км ниже по течению от разреза вблизи с. Упорово (см. рис. 1, а), выше слоя с датировкой $21\,400 \pm 290$ л.н. ($25\,690 \pm 290$ кал. лет) (ЛУ-7259), в интервале глубин 0–12 м от поверхности, выявлено три горизонта с клиновидными изначально грунтовыми жилами небольших размеров (до 0.5 м) [Ларин и др., 2015].

Таким образом, радиоуглеродные даты палеолитических стоянок Шикаевка II и Черноозерье II, а также разреза Липовка указывают на формирование криогенных клиновидных структур в основании покровных отложений рассматриваемой территории в позднем неоплейстоцене в интервале 25.6–12.4 тыс. кал. лет назад. Судя по ^{14}C -датировке $10\,526 \pm 44$ л.н. ($12\,490 \pm 70$ кал. лет), наиболее молодая фаза криогенеза имела место во время глубокого и резкого похолодания позднего дриаса (11.0–10.3 т.л.н.). Можно предположить, что именно в это время произошло формирование жил характеризующего разреза. Для изучения вещественного состава заполнения жил разреза более детально была изучена жила 11а.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ

Гранулометрический состав отложений жилы 11а изучен ситовым методом с применением стандартного набора сит [Воронин, 1986]. Фракция менее 0.01 мм была отделена отмучиванием из предварительно диспергированного образца. Для характеристики условий транспортировки и накопления отложений использован метод морфоскопии песчаных частиц. Подготовка образцов для данного анализа осуществлялась по опробованной ранее методике [Алексеева, 2005]. Образцы напылялись золотом в качестве токопроводящего материала. Форма и характер поверхности кварцевых зерен изучались для фракции среднего (0.25–0.5 мм) песка с использованием сканирующего электронного микроскопа SEM TESCAN VEGA 3 LMU при ускоряющем высоком напряжении 15–30 кэВ, в режиме SE (Secondary Electron Image) и высокого вакуума с увеличением от 300–400 раз (для целых зерен) до 1500–2000 раз (для фрагментов зерен, отдельных элементов поверхности). Из каждого образца исследовалось по 25 случайно отобранных зерен кварца. При описании зерна оценивались три группы признаков: 1) общие морфологические особенности (форма и характер рельефа поверхности зерна); 2) элементы поверхности, образованные в результате механического воздействия на зерна (сколы, ступени, поверхности расколов, царапины, желобки, V-образные микроуглубления, мелкоямчатый микрорельеф и др.); 3) текстуры, имеющие химическое происхождение (следы травления, скопления прилипших

частиц, кремневая пленка и др.). Окатанность зерен кварца оценивалась визуально, по пятибалльной шкале. Для каждого образца вычислялся коэффициент окатанности по формуле, предложенной А.В. Хабаковым [1946], который характеризует среднюю окатанность зерен в выборке. Комбинация признаков морфоскопии песчаных зерен, основанная на представлениях разных исследователей [Алексеева, 2003, 2005; Mahaney, 2002; Krinsley, Doornkamp, 2011; Vos et al., 2014], использовалась для суждения об их происхождении.

В качестве количественного показателя степени участия криогенеза в формировании заполнения жильных структур был рассчитан коэффициент криогенной контрастности (ККК). Это мерзлотно-климатический показатель, не зависящий от петрографического состава и терригенно-минералогических провинций, учитывающий распределение кварца и полевых шпатов по гранулометрическому спектру [Конищев, Рогов, 1994]: $KKK = (Q_1/F_1)/(Q_2/F_2)$, где Q_1/F_1 – отношение содержания кварца и полевых шпатов во фракции 0.05–0.01 мм; Q_2/F_2 – то же отношение во фракции 0.1–0.05 мм. Значения $KKK > 1$ показывают определяющую роль криогенных факторов в комплексе гипергенных процессов, в зависимости от которых формируется грануломинералогический состав вещества отложений; $KKK < 1$ указывают на формирование отложений в условиях относительно теплого климата с подчиненной ролью криогенных процессов. Содержание кварца и полевых шпатов во фракциях осадков 0.05–0.01 и 0.1–0.05 мм было определено методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Bruker D2 Phaser ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, параметры генератора рентгеновской трубки: 30 кВ, 10 мА). Рентгеновская диагностика минералов проводилась с использованием сопоставления в базах порошковых данных ICDD PDF2 и COD, полуколичественный фазовый анализ выполнялся с использованием пакета DIFFRAC.EVA.

Для независимой оценки палеоклиматических условий накопления отложений, заполняющих жильные структуры, использован геохимический подход. Он базируется на эмпирических зависимостях коэффициентов выветривания, связывающих изменения валового химического состава пород с климатическими факторами [Алексеев и др., 2019].

Химический состав проб изучен методом рентгенофлуоресцентного анализа (рентгеновский спектрометр Spectroscan МАКС-GV) по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах. Среднюю пробу измельчали до пудры и помещали в специальную кювету. Стандартная навеска составляла не менее 200 мг. Количественные калибровки проведены с помощью комплекта государственных

стандартных образцов химического состава пород и почв, а также стандартных образцов пород и почв, полученных от Института геологии Университета Мехико (Мексика) [Lozano, Bernal, 2005]. По значениям содержания химических элементов из проб отложений, заполняющих жилу 11а, рассчитаны геохимические коэффициенты, являющиеся показателями условий осадконакопления [Лукашев, 1970; Retallac, 2001, 2003]: кремнекислый ($Ki = SiO_2/Al_2O_3$) – соотношение кварца (устойчивого к химическому выветриванию минерала) и полевых шпатов (неустойчивых компонентов); основной ($BA = (CaO + K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$) – соотношение подвижных элементов и инертного алюминия (глинистая составляющая); химической зрелости ($Kz = Al_2O_3/Na_2O$) – соотношение алюминия и максимально подвижного натрия; карбонатный ($Kk = CaO/MgO$) – соотношение кальция и магния, отражающее накопление кальцита и доломита; щелочной ($Kh = K_2O/Na_2O$) – соотношение калия и натрия, характеризующее поведение легкорастворимых солей по профилю; биопродуктивности ($(Fe_2O_3 + MnO)/Al_2O_3$; MnO/Al_2O_3 ; MnO/Fe_2O_3 ; $(Fe_2O_3 + MnO)/Fe_2O_3$ [Калинин и др., 2009; Vlag et al., 2004]; степени однородности пород TiO_2/Al_2O_3 и Zr/TiO_2 [Schilman et al., 2001]; устойчивости различных минералов к выветриванию (Rb/Sr), а именно слюды и калиевых полевых шпатов, с которыми Rb находится в ассоциации, и карбонатов, с которыми ассоциирует Sr [Gallet et al., 1996]; Sr/Ba – отражает гидротермические условия накопления осадков [Сысо, 2007], в частности, процесс выщелачивания, при этом Sr ассоциирует с карбонатами [Перельман, 1989], а Ba находится в ассоциации с калиевым полевым шпатом и выносится из осадков и почв слабее. В породах междуречий Западной Сибири значения отношения Sr/Ba возрастают с усилением аридности климата с севера на юг, от 0.2 и менее в переувлажненной северной тайге Пурской низменности до 1.4 в сухих степях Кулундинской равнины [Сысо, 2007].

Степень зрелости вещества связана с климатическими условиями. Наиболее глубокие преобразования вещественного состава отложений происходят в теплом и жарком гумидном климате, минимальные – в холодном аридном [Перельман, 1989]. Чем больше значения Ki , Kz и меньше BA , тем выше степень химической зрелости материала.

Подробный анализ использования предложенных показателей и ряда других, а также обоснование этого подхода представлены в ряде публикаций последних лет [Калинин и др., 2009; Калинин, Алексеев, 2013; Алексеева и др., 2016; Алексеев и др., 2019; Sheldon, Tabor, 2009]. Для идентификации криогенных условий были рассчитаны геохимические индексы CIA , CIW , ICV .

Индекс выветривания $CIA = [Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \cdot 100$ отражает соотношения первичных и вторичных минералов в валовом образце, используется для получения информации об интенсивности выветривания и климатических условий формирования отложений. Слабо преобразованные невыветрелые в условиях холодной аридной климатической обстановки породы характеризуются пониженными значениями $CIA \approx 50$, тогда как для сильновыветрелых пород, сформировавшихся в условиях теплого гумидного климата, $CIA < 100$. Пороговое значение для отложений, сформировавшихся в условиях холодного аридного климата, составляет $CIA \approx 70$ [Nesbitt, Young, 1982]. Вариацией CIA является CIW – индекс химической преобразованности отложений без учета эффекта от биологического круговорота калия: $CIW = [Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \cdot 100$ [Fedo et al., 1995]. Индекс $ICV = [Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2]/Al_2O_3$ [Cox et al., 1995] отражает степень химической зрелости тонкой алюмосиликокластики, поступающей в область седиментации. Для незрелых отложений с высоким содержанием неглинистых минералов $ICV > 1$, для более зрелых отложений с большим количеством глинистых минералов $ICV < 1$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гранулометрический анализ. В гранулометрическом составе вещества из заполнения жилы 11а преобладает песчаная фракция с содержанием пылеватых и илстых частиц в диапазоне 16–18 % (до 28 % в самом верхнем образце) (рис. 4). Сверху вниз наблюдается изменение соотношений доминирующих фракций тонкого и мелкого песка. Верхняя часть жилы сложена песком тонкозернистым алевритовым (по номенклатуре В.Т. Фролова [1993]), ниже по разрезу вскрывается песок мелко- и тонкозернистый алевритистый с постепенным уменьшением содержания фракции тонкого песка (с 41.2 до 34.85 %). Самый нижний образец можно классифицировать как песок тонко- и мелкозернистый с содержанием фракции тонкого песка 26.86 %.

Коэффициент криогенной контрастности. В нижней части разреза жилы значения $KKK = 1.03–1.99$ свидетельствуют о заметном воздействии криогенеза на заполняющие отложения (рис. 5). В средней части разреза жилы влияние криогенеза заметно снижается или полностью исчезает ($KKK = 0.14–0.75$). В верхней части разреза роль криогенного воздействия на заполнение жилы снова повышается ($KKK = 1.35$). Значения KKK генетически связаны со средней годовой температурой поверхности пород [Конищев, 1999; Конищев и др., 2005], поэтому $KKK = 1.03$ соответствует условиям северной тайги с островной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием.

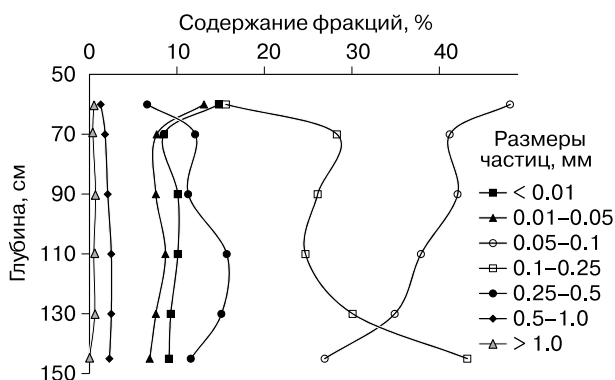


Рис. 4. Результаты гранулометрического анализа отложений, выполняющих жилу 11а.

Реконструированные средние годовые температуры поверхности пород находятся в интервале $0...-2$ °С. Значения $ККК = 1.99$ являются индикатором резкого похолодания и снижения средней годовой температуры пород до $-10...-11$ °С. На графике связи $ККК$ и средней годовой температуры поверхности пород это соответствует тундрово-глебовым почвам Арктики [Конищев, 1999; Конищев и др., 2005]. Значения $ККК = 0.75...-0.14$ указывают на положительные средние значения температуры пород и последовательное уменьшение глубины сезонного промерзания. При $ККК = 0.75$ реконструируется относительно глубокое сезонное промерзание, при $ККК = 0.29$ и 0.14 его глубина составляет $0.7-0.8$ м [Конищев, Рогов, 2016]. Значение $ККК = 1.35$ свидетельствует о возврате условий существования островной криолитозоны, глубоком сезонном промерзании и снижении средней годовой температуры грунтов до $0...-2$ °С.

Морфоскопия поверхности кварцевых зерен. Изучение песчаных частиц фракции $0.25-0.5$ мм показало преобладание по разрезу жилы зерен полуокатанной формы II класса окатанности (частота встречаемости по разрезу – от 48–60 до 76 %). Доля округлых зерен (III–IV класс окатанности) составляет 24–40 %, а угловатых (0–I класс окатанности) – от первых процентов до 20 %. Соответственно, коэффициент окатанности (по А.В. Хабакову [1946]) довольно высок (51–59 %), в среднем по разрезу составляет 54 %.

В изученных образцах из разреза жилы встречаются кварцевые зерна трех основных типов, несущих признаки транспортировки и накопления в различных обстановках.

К первому типу относятся угловатые частицы I (реже II) класса окатанности, с острыми или немного закругленными ребрами и углами, со средним и высоким рельефом и поверхностью, представляющей собой сочетание раковистых сколов

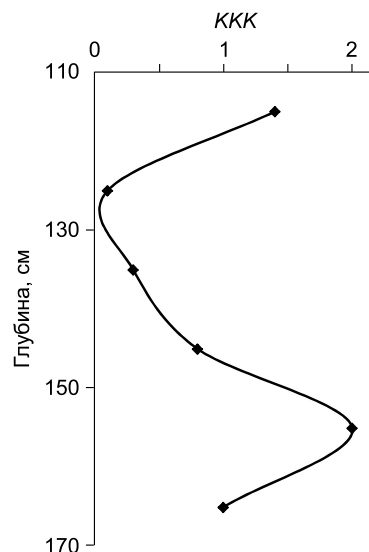


Рис. 5. Коэффициент криогенной контрастности (ККК) для образцов из жилы 11а.

различных размеров, аркообразных и прямых ступеней и плоских поверхностей расколов. Такой облик характерен для терригенных элювиальных зерен, не претерпевших значительного переноса в потоковых средах (рис. 6, а).

Второй тип зерен – это окатанные частицы (преимущественно III класс окатанности) с выпуклыми гранями, с низким или средним рельефом; поверхность частиц осложнена мелкоямчатым микрорельефом и прямыми царапинами, также встречаются сколы, аркообразные и прямые ступени. Такой комплекс элементов характерен для эоловой обстановки осадконакопления, основным фактором формирования поверхности песчаных зерен в которой является механическая коррозия (см. рис. 6, в). К промежуточному типу между этими двумя можно отнести частицы полуокатанной формы II (иногда I или III) класса окатанности, поверхность которых несет следы комбинированного воздействия процессов выветривания и эоловой транспортировки (см. рис. 6, б). Степень проявления черт эоловой обработки варьирует от закругленности углов и ребер и выпуклости граней до значительной доли (30 %) мелкоямчатого микрорельефа на поверхности песчаных частиц.

К третьему типу относятся кварцевые зерна II–III класса окатанности, с низким и средним рельефом, с зачастую гладкой поверхностью, на которой встречаются мелкие сколы, V-образные микроуглубления с разной степенью встречаемости, прямые царапины и серпообразные желобки. Значительная степень окатанности, а также специфическая комбинация элементов свидетельствуют об обработке в водной среде (см. рис. 6, г).

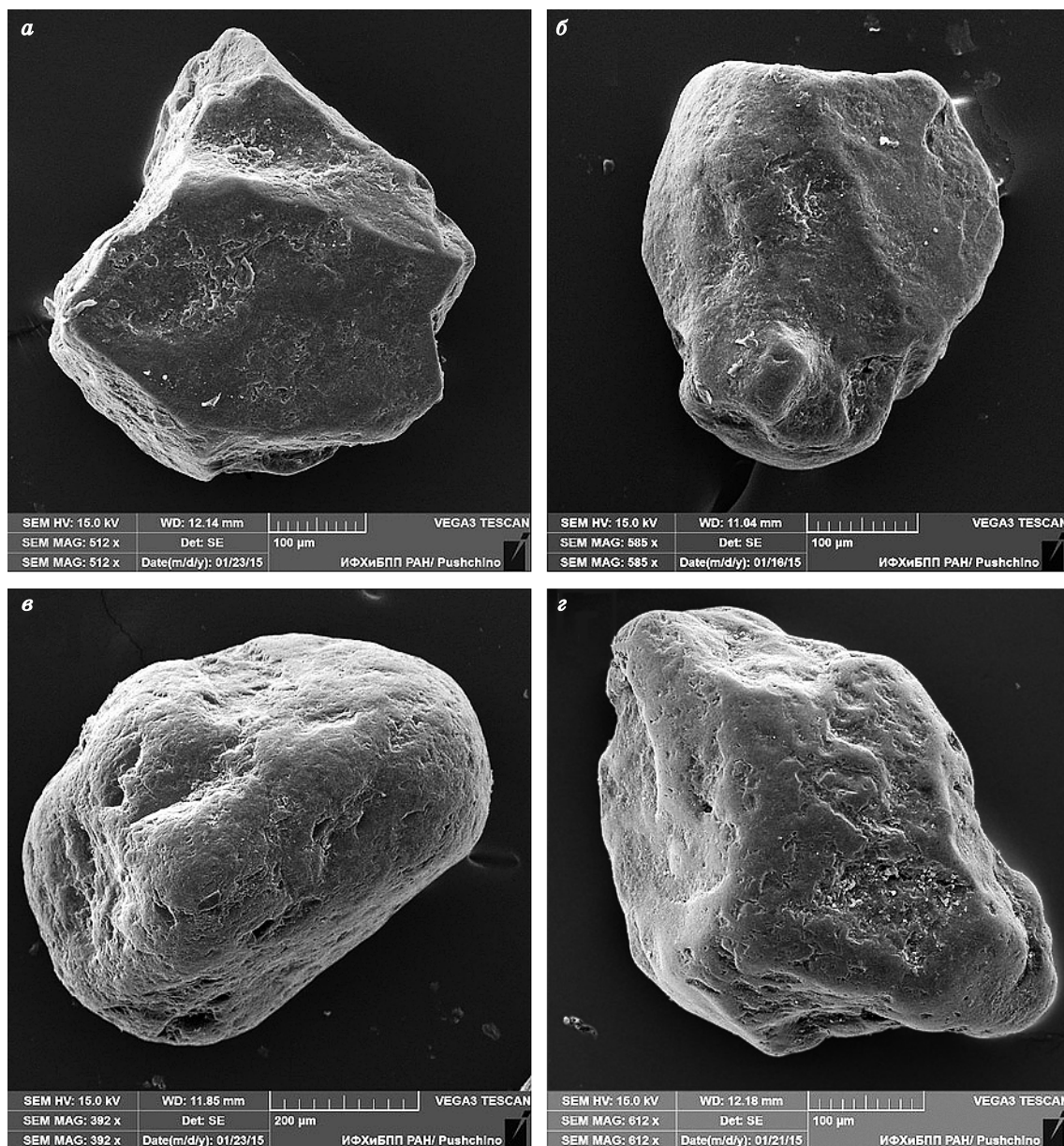


Рис. 6. Морфология поверхности кварцевых зерен фракции 0.25–0.5 мм из отложений жилы 11а:

а – кварцевое зерно элювиальной группы: угловатая форма, I класс окатанности, со средним рельефом, острыми ребрами и сколами, поверхность осложнена пленкой осажденного кремнезема; *б* – кварцевое зерно элювиальной группы с чертами эолового переноса: полуугловатая форма, II класс окатанности, со средним рельефом и единичными раковистыми сколами, края оглажены, наблюдаются следы истирания ребер, поверхность осложнена мелкоямчатым микрорельефом; *в* – кварцевое зерно, преобразованное в ходе эолового переноса: округлая форма с выпуклыми гранями, III класс окатанности, средний рельеф, поверхность осложнена мелкоямчатым микрорельефом и серпообразными желобками; *г* – кварцевое зерно элювиальной группы с чертами водного переноса: полуугловатая форма, II класс окатанности, средний рельеф, на невыветрелой поверхности присутствуют V-образные микроуглубления и серпообразные желобки, усугубленные процессами растворения, в понижениях наблюдаются единичные скопления аморфного кремнезема.

Таким образом, основная часть выборки – это частицы, в разной степени испытывавшие перенос в воздушной среде: 40–64 % среднеокругленных элювиальных зерен с чертами эолового переноса и 16–40 % хорошо округленных эоловых зерен

(рис. 7). В среднем по разрезу 81 % частиц в той или иной степени преобразованы в ходе эоловой транспортировки. Содержание угловатых частиц практически без следов перемещения колеблется от 0 до 12–16 %, составляя в среднем 11 %. Сум-

марная доля частиц со следами водного переноса в среднем не превышает 4–8 %, лишь для образца 5 составляет 20 %.

Результаты исследования показывают существенное воздействие криогенных процессов на отложения жилы в виде различных дефектов поверхности кварцевых частиц: сколов, трещин и борозд. Доля зерен с поверхностями криогенного происхождения в разрезе изученной жилы 11а колеблется от 60 до 84 %, в среднем по разрезу 69 %. Помимо следов дробления и раскалывания песчаных кварцевых частиц при криогенном воздействии наблюдается и образование тонких фракций в ходе циклического промерзания–протаивания. В результате на зернах кварца образуются пленки осажденных коллоидов, под которыми наблюдается разрушение частиц (образование трещин и откалывание фрагментов) [Рогов, 2009]. Поверхность подавляющего большинства кварцевых зерен образцов в той или иной степени осложнена элементами осаждения кремнезема как в виде кремнистых пленок, так и в виде скоплений разной мощности на плоских поверхностях, на стенках и днищах сколов.

Геохимические коэффициенты и индексы–климатические модули. Валовой химический состав заполнения жилы характеризуется относительно слабой (в пределах ошибки) изменчивостью содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O по профилю разреза (рис. 8, А). Заметно преобладание кремнезема (средние значения кремнекислого коэффициента $K_i = 5.6$, интервал значений 4.8–5.9). Коэффициенты K_i , BA , Kz , Kk , Kh характерны для суровых условий северных природных зон (см. рис. 8, Б). Они показывают очень слабую степень выветрелости и химической зрелости заполняющих жилу отложений. Средние значения и интервалы между минимальными и максимальными значениями коэффициентов: основного $BA = 0.74$ (0.66–0.94), зрелости $Kz = 13.35$ (12.61–15.05), щелочного $Kh = 2.0$ (1.98–2.34), карбонатного $Kk = 4.43$ (3.41–6.80). Минимальные значения коэффициентов уровня биоактивности и биопродуктивности также отражают неблагоприятные климатические условия во время заполнения жил (см. рис. 8, В). Особенно заметно это в нижней части разреза жилы 11а. О химической незрелости отложений, заполняющих жилу, повышенном содержании неглинистых минералов и их формировании в криоаридных климатических условиях свидетельствуют значения индексов $CIA = 51$ –60, $CIW = 55$ –66 и $ICV = 1.09$ –1.37 (см. рис. 8, Г). Наиболее холодные климатические условия реконструируются для нижней части заполнения жилы $CIA = 51$, $CIW = 55$, $ICV = 1.09$.

Распределение значений коэффициентов $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и Zr/TiO_2 по профилю жилы свиде-

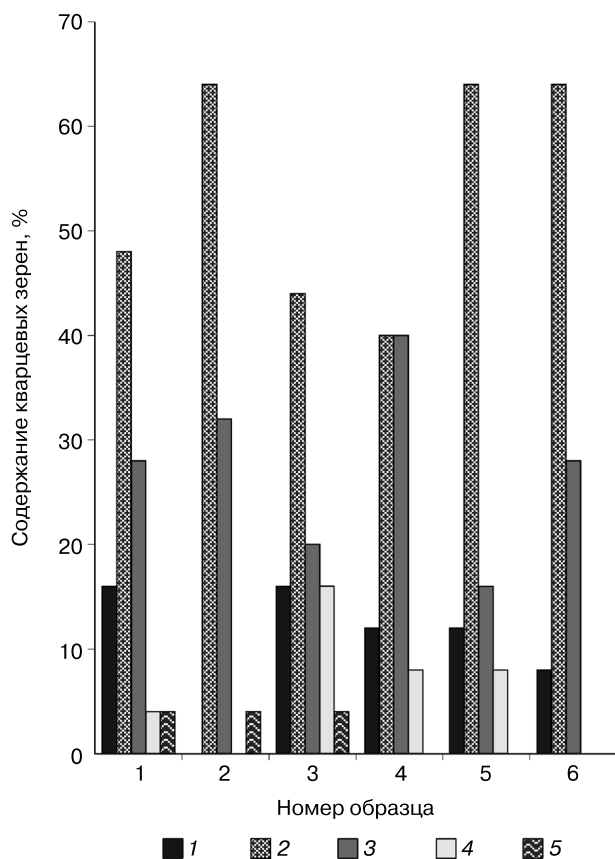


Рис. 7. Соотношение кварцевых зерен различных морфогенетических групп в образцах из жилы 11а.

Морфогенетические группы: 1 – элювиальные; 2 – с чертами эолового переноса; 3 – с чертами водного переноса; 4 – элювиальные с чертами эолового переноса; 5 – элювиальные с чертами водного переноса.

тельствует о достаточно однородном субстрате, сформированном на одной материнской породе (см. рис. 8, Д).

Относительное смягчение мерзлотных условий, зафиксированное низкими значениями коэффициента криогенной контрастности, соотносится с максимальным коэффициентом выветривания $Rb/Sr = 0.53$ в средней части разреза жилы. Выше по разрезу жилы значения Rb/Sr снижаются до 0.43, отражая ухудшение климатических условий и усиление криогенеза.

Значения отношения Sr/Ba по разрезу жилы 11а лежат в интервале 0.23–0.47 и соответствуют ландшафтно-климатическим условиям, характерным для северной, а затем, выше по разрезу, южной и средней тайги [Сысо, 2007]. Следует отметить корреляцию значений коэффициента Sr/Ba с коэффициентом криогенной контрастности и распределением карбонатов и легкорастворимых солей по разрезу.

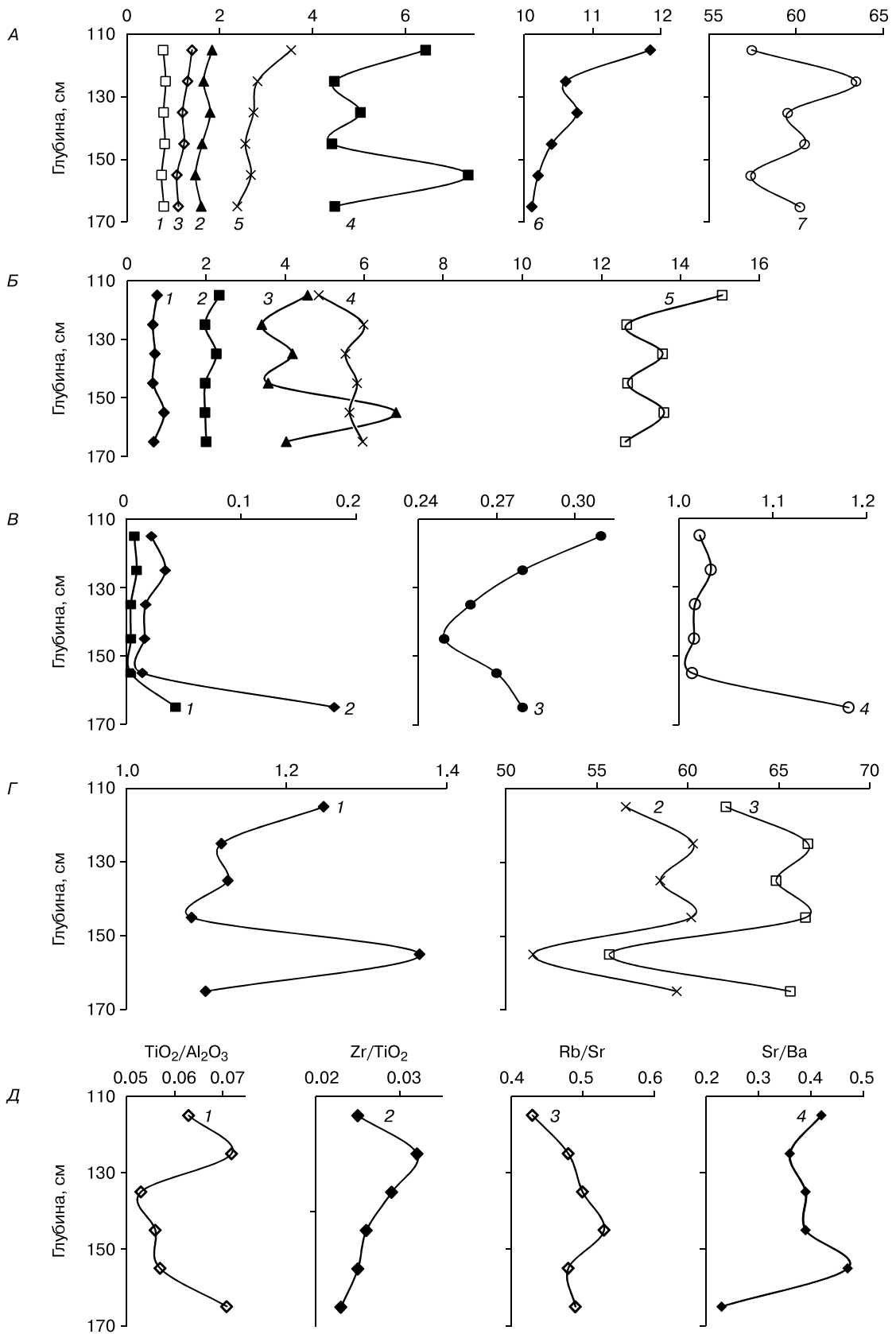


Рис. 8. Значения геохимических коэффициентов и климатических модулей по разрезу жилы 11а.

A – содержание оксидов (%): 1 – Na₂O, 2 – MgO, 3 – K₂O, 4 – Fe₂O₃, 5 – CaO, 6 – Al₂O₃, 7 – SiO₂; *B* – геохимические коэффициенты: 1 – $BA = (CaO + K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$, 2 – $Kh = K_2O/Na_2O$, 3 – $Kk = CaO/MgO$, 4 – $Ki = SiO_2/Al_2O_3$, 5 – $Kz = Al_2O_3/Na_2O$; *B* – коэффициенты уровня биоактивности и биопродуктивности: 1 – MnO/Al_2O_3 , 2 – MnO/Fe_2O_3 , 3 – $(Fe_2O_3 + MnO)/Al_2O_3$, 4 – $(MnO + Fe_2O_3)/Fe_2O_3$; *Г* – климатические модули: 1 – *ICV*, 2 – *CIA*, 3 – *CIW*; *Д* – степени геохимической однородности пород (1, 2), устойчивости минералов к выветриванию (3), гидротермических условий накопления осадков (4).

ВЫВОДЫ

1. Основание толщи карбонатизированных покровных отложений, перекрывающих поверхность второй правобережной террасы р. Тобол, разбито клинообразными трещинами, карманами и более крупными жилами, заполненными мелко- и тонкозернистым алевритистым и алевритовым песком преимущественно эолового генезиса. Около 92–96 % (в среднем по разрезу 81 %) зерен кварца в той или иной степени испытали перенос ветром. Содержание частиц элювиального и водного генезиса в среднем по разрезу жилы составляет 11 и 4–8 %. Коэффициент окатанности выборки частиц (по А.В. Хабакову) в среднем по разрезу равен 54 %.

2. Существенное воздействие на заполняющие жилу осадки оказали криогенные процессы, проявляющиеся в виде различных дефектов поверхности кварцевых частиц: сколов, трещин и борозд. Доля зерен кварца с поверхностями криогенного происхождения в разрезе изученной жилы 11а составляет 60–84 %. Значения коэффициента криогенной контрастности в верхней части разреза жилы показывают существование ландшафтов северной тайги со средними годовыми температурами поверхности пород в интервале 0...–2 °С, с развитием островной криолитозоны и глубоким сезонным промерзанием. В нижней части разреза жилы фиксируется кратковременный этап суровых мерзлотно-климатических условий, характерных для Арктики, со значениями средних годовых температур пород до –10...–11 °С. В средней части разреза жилы значения ККК указывают на положительные средние значения температуры пород и заметное уменьшение глубины сезонного промерзания.

3. Геохимические данные свидетельствуют о слабой преобразованности и химической незрелости заполняющих жилу отложений, их формировании на однородной материнской породе, заметном влиянии криогенных факторов на заполнение жил и об их формировании в диапазоне ландшафтно-климатических условий северной, средней и южной тайги.

4. Небольшая вертикальная протяженность, отсутствие структур отгибания вниз слоек вмещающих пород позволяют предположить, что изученные жильные структуры формировались как изначально грунтовые, возможно, совместно с тре-

щинами усыхания, возникшими в результате мезозойского растрескивания в пределах деятельного слоя. Судя по низким значениям реконструированных средних годовых температур пород (до –10...–11 °С в основании жилы 11а), не исключено, что в начальной стадии они могли развиваться как псевдоморфозы по повторно-жильному льду в относительно суровых условиях позднего дриаса, хотя других следов этого нет. С учетом данных по ККК и геохимии можно предположить, что формирование изначально грунтовых жил шло в более мягких условиях глубокого сезонного промерзания или островной мерзлоты начала голоцена [Романовский, 1977]. В ходе эволюции жильных структур они были заполнены преимущественно эоловым материалом перекрывающих отложений.

В целом такая палеогеографическая ситуация имела место на Западно-Сибирской равнине в сарганское время и позднеледниковье [Величко и др., 2007], когда на обширных территориях Западной Сибири в условиях многолетней мерзлоты формировались своеобразные, не имеющие современных полных аналогов, перигляциальные ландшафты.

Авторы благодарят члена-корреспондента РАН, д.б.н. А.О. Алексева, к.б.н. Т.В. Алексева и к.г.-м.н. П.И. Калинина (ИФХиБПП РАН, Пуццо) за проведение аналитических определений, к.г.н. Ф.Е. Максимова (СПбГУ) и к.г.-м.н. В.Е. Тумского (МГУ) за ценные консультации.

Работа выполнена по госзаданию (проект АААА-А17-117051850064-0), при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00734А).

Литература

- Алексеев А.О., Калинин П.И., Алексеева Т.В. Почвенные индикаторы параметров палеоэкологических условий на юге Восточно-Европейской равнины в четвертичное время // Почвоведение, 2019, № 4, с. 389–399.
- Алексеева В.А. Перемещение и диагенетическое преобразование кварцевых зерен и их палеогеографическая интерпретация // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2003, № 4, с. 40–46.
- Алексеева В.А. Микроморфология поверхности кварцевых зерен как индикатор условий ледникового осадкообразования (на примере бассейна р. Протвы) // Литология и полез. ископаемые, 2005, № 5, с. 485–494.
- Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Губин С.В. Палеопочвенный комплекс в кровле михайловского горизонта (визией-

ский ярус нижнего карбона) на территории южного крыла Московской синеклизы // Палеонтол. журн., 2016, № 4, с. 5–20.

Архипов С.А. Четвертичный период в Западной Сибири. Новосибирск, Наука, 1971, 332 с.

Баулин В.В., Чеховский А.Л., Суходольский С.Е. Основные этапы развития многолетнемерзлых пород Европейского Северо-Востока и Западной Сибири // История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М., Наука, 1981, с. 41–60.

Величко А.А., Тимирева С.Н., Кременецкий К.В. и др. Западно-Сибирская равнина в облике позднеледниковой пустыни // Изв. РАН. Сер. геогр., 2007, № 4, с. 16–28.

Волков И.А. Покровные лессовидные отложения и палеогеография юго-запада Западной Сибири в плиоцен-четвертичное время / И.А. Волков, В.С. Волкова, А.А. Задкова. Новосибирск, Наука, 1969, 332 с.

Воронин А.Д. Основы физики почв. М., Изд-во Моск. ун-та, 1986, 244 с.

Горбунова Т.А., Осинцева Н.В., Шмидт И.В., Штойбле Х. Новые данные по геоморфологии, стратиграфии и датировке стоянки Черноозерье II // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 2016, вып. 5, с. 153–157.

Деревянко А.П. Позднепалеолитическое местонахождение Шестаково / А.П. Деревянко, В.И. Молодин, В.Н. Зенин и др. Новосибирск, Ин-т археологии и этнографии СО РАН, 2003, 168 с.

Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. Атлас-монография “Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен–голоцен – элементы прогноза. Вып. II. Общая палеогеография”. М., ГЕОС, 2002, 232 с.

Зубаков В.А. Палеогеография и геохронология верхнего плейстоцена и голоцена Западной Сибири // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1970, № 3, с. 36–45.

Зыкин В.С., Зыкина В.С., Орлова Л.А. Основные закономерности изменения природной среды и климата в плейстоцене и голоцене Западной Сибири // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2001, с. 208–228.

Калинин П.И. Лессы, палеопочвы и палеогеография квартера юго-востока Русской равнины // П.И. Калинин, А.О. Алексеев, А.Д. Савко. Воронеж, Воронеж. гос. ун-т, 2009, 139 с.

Калинин П.И., Алексеев А.О. Геохимический подход к исследованию происхождения лёссовых отложений юго-востока Русской равнины // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология, 2013, № 2, с. 53–60.

Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Плейстоценовые криогенные явления и история многолетней мерзлоты в Западной Сибири // Стратиграфия, седиментология и геология четвертичного периода. М., Наука, 1972, с. 47–57.

Конищев В.Н. Методы криолитологических исследований / В.Н. Конищев, В.В. Рогов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1994, 131 с.

Конищев В.Н. Эволюция температуры пород арктической зоны России в верхнем кайнозое // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 4, с. 39–47.

Конищев В.Н. Криогенез современных и позднеледниковых отложений Алтая и прилегающих областей Европы / В.Н. Конищев, М.П. Лебедева-Верба, В.В. Рогов, Е.Е. Сталина. М., ГЕОС, 2005, 133 с.

Конищев В.Н., Рогов В.В. Проявления процессов криогенеза в составе лессов // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 4, с. 37–44.

Ларин С.И., Алексеева В.А., Алексеев О.А. и др. Криогенные структуры и трещины усыхания на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Сб. докл. расшир. заседания Науч. совета по криологии Земли РАН “Актуальные проблемы геокриологии” с участием рос. и зарубеж. ученых, инженеров и специалистов (Москва, 15–16 мая 2018 г.). М., КДУ, Унив. книга, 2018, т. 1, с. 276–281.

Ларин С.И., Алексеева В.А., Лаухин С.А. и др. О генезисе реликтовых грунтовых жил в отложениях позднего неоплейстоцена на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Материалы Пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., Унив. книга, 2016, т. 2, с. 188–195.

Ларин С.И., Ларина Н.С., Лаухин С.А. и др. Новые данные об изменчивости палеогеографических условий верхнего неоплейстоцена в Западной Сибири (по результатам изучения опорного разреза Липовка) // Актуальные проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена: Материалы Всерос. конф. “Марковские чтения 2015 года”. М., МГУ, 2015, с. 100–102.

Лаухин С.А., Ларин С.И., Гусельников В.Л. Первые находки следов древней мерзлоты в Курганской области // Вестн. ТюмГУ. Науки о Земле, 2012, № 4, с. 104–112.

Лукашев В.К. Геохимия четвертичного литогенеза. Минск, Наука и техника, 1970, 528 с.

Осинцева Н.В. Гривный рельеф юга Западно-Сибирской равнины: морфология и возраст (на примере Черноозерской гривы, Саргатское Прииртышье) // Геосферные исслед., 2017, № 3, с. 26–32.

Палеоклиматы и палеоландшафты внутритропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен–голоцен. Атлас-монография / Под ред. А.А. Величко. М., ГЕОС, 2009, 120 с.

Перельман А.И. Геохимия. М., Высш. шк., 1989, 528 с.

Петрин В.Т. Палеолитические памятники Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, Наука, 1986, 142 с.

Рогов В.В. Основы криогенеза (учебно-методическое пособие). Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2009, 203 с.

Романовский Н.Н. Формирование полифункционально-жилых структур. Новосибирск, Наука, 1977, 215 с.

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2007, 277 с.

Федорович Б.А. Мерзлотные образования в степях и пустынях Евразии // Вопросы стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода (антропогена). Тр. Комис. по изучению четвертич. периода. М., Изд-во АН СССР, 1962, т. XIX, с. 70–100.

Фотиев С.М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2009, 279 с.

Фролов В.Т. Литология. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, т. 2, 432 с.

Хабакон А.В. Об индексах окатанности галечников // Сов. геология, 1946, № 10, с. 98–99.

Цейтлин С.М. Геология палеолита Северной Азии. М., Наука, 1979, 286 с.

Цейтлин С.М. Геология верхнепалеолитической стоянки Черноозерье II // Позднепалеолитическая эпоха на юге Западной Сибири / В.Ф. Генинг, В.Т. Петрин. Новосибирск, Наука, 1985, с. 67–71.

- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L.** The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States // *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1995, vol. 59, p. 2919–2940.
- Fedo C.M., Nesson H.W., Young G.M.** Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rock and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // *Geology*, 1995, vol. 23, p. 921–924.
- Gallet S., Jahn B., Torii M.** Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications // *Chem. Geology*, 1996, vol. 133, p. 67–88.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C.** Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2011, 102 p.
- Lozano R., Bernal J.P.** Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis // *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2005, vol. 22, No. 3, p. 329–344.
- Mahaney W.C.** Atlas of sand grain surface textures and applications. N. Y., Oxford Univ. Press, 2002, 237 p.
- Nesbitt H.W., Young G.M.** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*, 1982, vol. 299, p. 399–429.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al.** IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP // *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, No. 4, p. 1869–1887.
- Retallac G.J.** Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology. 2nd ed. Oxford, Blackwell, 2001, 600 p.
- Retallac G.J.** Soils and global change in the carbon cycle over geological time // *Treatise on Geochemistry*, 2003, vol. 5, p. 581–605.
- Schilman B., Bar-Matthews M., Almogi-Labin A., Luz B.** Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the Late Holocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, vol. 176, p. 157–176.
- Sheldon N.D., Tabor N.J.** Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols // *Earth-Sci. Rev.*, 2009, vol. 95, p. 1–52.
- Vlag P.A., Kruiver P.P., Dekkers M.J.** Evaluating climate change by multivariate statistical techniques on magnetic and chemical properties of marine sediments (Azores region) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, vol. 212, p. 23–44.
- Vos K., Vandenberghe N., Elsen J.** Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation // *Earth-Sci. Rev.*, 2014, vol. 128, p. 93–104.
- logicheskii Zhurnal [Paleontological J.]**, 2016, No. 4, p. 5–20 (in Russian).
- Arkhipov S.A.** Chetvertichny period v Zapadnoy Sibiri [Quaternary Period in Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1971, 332 p. (in Russian).
- Baulin V.V., Chekhov A.L., Sukhodolsky S.E.** Main stages of development of permafrost rocks of the European North-East and Western Siberia. In: *History of Development of Permafrost Rocks of Eurasia*. Moscow, Nauka, 1981, p. 41–60 (in Russian).
- Velichko A.A., Timireva S.N., Kremenetskiy K.V. et al.** West Siberian Plain in the image of the late-glacial desert. *Izv. RAN. Ser. Geographicheskaya [Proceedings of Russian Academy of Sciences, Section of Geography]*, 2007, No. 4, p. 16–28 (in Russian).
- Volkov I.A., Volkova V.S., Zadkova A.A.** Pokrovnnye lessovidnye otlozheniya i paleogeografiya yugo-zapada Zapadnoi Sibiri v pliotse-chetvertichnoe vremya [Cover Loess-Like Deposits and Paleogeography of South-West Western Siberia in Pliocene–Quaternary]. Novosibirsk, Nauka, 1969, 332 p. (in Russian).
- Voronin A.D.** Osnovy fiziki pochv [Basics of Soil Physics]. Moscow, Moscow Univ. Press, 1986, 244 p. (in Russian).
- Gorbunova T.A., Osintseva N.V., Shmidt I.V., Shtobile Kh.** New data on the geomorphology, stratigraphy and dating of the station Chernoozerie II. Evraziya v kainozoe. *Stratigrafiya, paleoekologiya, kultura [Eurasia in the Cenozoic. Stratigraphy, Paleocology, Culture]*. Irkutsk, Izd-vo Irkutsk. Univ-ta, 2016, vol. 5, p. 153–157 (in Russian).
- Derevyanko A.P., Molodin V.I., Zenin V.N. et al.** Pozdnepleisticheskoe mestonakhozhdenie Shestakovo [Upper Paleolithic Location Shestakovo]. Novosibirsk, Institut Arkheologii i Etnografii SO RAN, 2003, 168 p. (in Russian).
- Dynamics of landscape components and internal sea basins of Northern Eurasia over the past 130,000 years. Atlas-monograph “The development of landscapes and climate of Northern Eurasia. Late Pleistocene–Holocene – elements of forecast. Issue II. General Paleogeography”.** Moscow, GEOS, 2002, 232 p. (in Russian).
- Zubakov V.A.** Paleogeography and geochronology of Upper Pleistocene and Holocene of Western Siberia. *Izv. AN SSSR. Ser. Geografiya [Bulletin of the USSR Academy of Sciences, Section Geography]*, 1970, No. 3, p. 36–45 (in Russian).
- Zykin V.S., Zykina V.S., Orlova L.A.** Basic regularities of changes in the natural environment and climate in the Pleistocene and Holocene of Western Siberia. In: *Global Changes in the Natural Environment*. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2001, p. 208–228 (in Russian).
- Kalinin P.I., Alekseev A.O., Savko A.D.** Loessy, paleopochvy i paleogeografiya kvartera yugo-vostoka Russkoi ravniny [Loesses, paleosols and paleogeography of Quaternary period of the South-East of the Russian Plain]. Voronezh, Voronezhskiy Gos. Un-t, 2009, 139 p. (in Russian).
- Kalinin P.I., Alekseev A.O.** Geochemical approach to the study of the origin of loess deposits in the South-East of the Russian Plain. *Vestn. Voronezh. Gos. Un-ta. Ser. Geologiya [Bulletin of Voronezh State University. Section Geology]*, 2013, No. 2, p. 53–60 (in Russian).
- Kaplyanskaya F.A., Tarnogradsky V.D.** Pleistocene cryogenic phenomena and the history of permafrost in Western Siberia. In: *Stratigraphy, Sedimentology and Geology of the Quaternary period*. Moscow, Nauka, 1972, p. 47–57 (in Russian).
- Konischev V.N., Rogov V.V.** Metody kriolitologicheskikh issledovaniy [Methods of Cryolithological Research]. Moscow, Moscow Univ. Press, 1994, 131 p. (in Russian).
- Konischev V.N.** Evolution of ground temperature of Russian Arctic zone in the Upper Cenozoic. *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 1999, vol. III, No. 4, p. 39–47 (in Russian).

References

- Alekseev A.O., Kalinin P.I., Alekseeva T.V.** Soil indicators of paleoenvironmental conditions in the south of the East European Plain in the Quaternary Time. *Eurasian Soil Science*, 2019, No. 52 (4), p. 349–358.
- Alekseeva V.A.** Micromorphology of quartz grain surface as indicator of glacial sedimentation conditions: evidence from the Protva River basin. *Lithology and Mineral Resources*, 2005, vol. 40, No. 5, p. 420–428.
- Alekseeva V.A.** Displacement and diagenetic transformation of quartz grains and their paleogeographic interpretation. *Vestn. Moskovskogo Univ-ta. Ser. 5. Geografiya [Bulletin of Moscow University, Section 5. Geography]*, 2003, No. 4, p. 40–46 (in Russian).
- Alekseeva T.V., Alekseev A.O., Gubin S.V.** Paleosol complex in the uppermost Mikhailovian horizon (Viséan, Lower Carboniferous) in the southern flank of the Moscow syncline. *Paleonto-*

- Konishchev V.N., Lebedeva-Verba M.P., Rogov V.V., Stalina E.E. Kriogenez sovremennyh i pozdnepleistozenovyh otlozheniy Altaya i periglyazialnyh oblastei Evropy [Cryogenesis of Modern and Late Pleistocene Sediments of Altai and Europe Periglacial Areas]. Moscow, GEOS, 2005, 133 p. (in Russian).
- Konishchev V.N., Rogov V.V. Imprints of cryogenic processes in loess record. *Earth's Cryosphere*, 2016, vol. XX, No. 4, p. 34–39.
- Larin S.I., Alekseeva V.A., Alekseev A.O. et al. Cryogenic structures and drying cracks in the southwest of the West Siberian plain. In: Proc. of the extended meeting of the Scientific Council on Earth Cryology RAS “Actual problems of Geocryology” with the participation of Russian and foreign scientists, engineers and specialists (Moscow, May 15–16, 2018). Moscow, KDU, Univ. Kniga, 2018, vol. 1, p. 276–281 (in Russian).
- Larin S.I., Alekseeva V.A., Laukhin S.A. et al. On the origin of relict ground veins in the upper neo-Pleistocene sediments in the southwest of the West Siberian plain. In: Proc. of the Fifth Conference of Geocryologists (Moscow, June 14–17, 2016). Moscow, Univ. Kniga, vol. 2, p. 188–195 (in Russian).
- Larin S.I., Larina N.S., Laukhin S.A. et al. New data on the variability of paleogeographic conditions of the Late neo-Pleistocene in Western Siberia (based on the study of the Lipovka reference section). In: Actual problems of Pleistocene paleogeography and stratigraphy: Proc. of the all-Russia Conference “Markov readings–2015”. Moscow, Moscow University, 2015, p. 100–102 (in Russian).
- Laukhin S.A., Larin S.I., Guselnikov V.L. The first findings of ancient permafrost traces in the Kurgan region. *Vestnik TyumGU. Nauki o Zemle [Bulletin of TyumSU. Earth Sciences]*, 2012, No. 4, p. 104–112 (in Russian).
- Lukashev V.K. Geohimiya chetvertichnogo litogeneza [Geochemistry of Quaternary Lithogenesis]. Minsk, Nauka i Tekhnika, 1970, 528 p. (in Russian).
- Osintseva N.V. The crest relief of the South of the West Siberian plain: morphology and age (on the example of Chernoozerskaya mane, Sargat region). *Geosphernye Issledovaniya [Geosphere Studies]*, 2017, No. 3, p. 26–32 (in Russian).
- Velichko A.A. (Ed.). Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical area of the Northern Hemisphere. Late Pleistocene–Holocene. Atlas-monograph. Moscow, GEOS, 2009, 120 p. (in Russian).
- Perelman A.I. *Geokhimiya [Geochemistry]*. Moscow, Vysshaya Shkola, 1989, 528 p. (in Russian).
- Petrin V.T. Paleoliticheskie pamyatniki Zapadno-Sibirskoi ravniny [Paleolithic Monuments of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka, 1986, 142 p. (in Russian).
- Rogov V.V. Osnovy kriogeneza (uchebno-metodicheskoe posobie) [The Basics of Cryogenesis (Educational and Methodical Manual)]. Novosibirsk, Academic Publ. House “Geo”, 2009, 203 p. (in Russian).
- Romanovsky N.N. Formirovanie poligonalno-zhilnih struktur [Formation of Polygonal-Vein Structures]. Novosibirsk, Nauka, 1977, 215 p. (in Russian).
- Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazushchikh porodah i pochvah Zapadnoi Sibiri [The Patterns of Chemical Elements Distribution in Soil-forming Rocks and Soils of Western Siberia]. Novosibirsk, Izdvo SO RAN, 2007, 277 p. (in Russian).
- Fedorovich B.A. Permafrost formations in the steppe and desert regions of Eurasia. In: Questions of stratigraphy and paleogeography of the Quaternary period. Proc. of the Commission on Quaternary period study. Moscow, Izdvo AN SSSR, 1962, vol. XIX, p. 70–100 (in Russian).
- Fotiev S.M. Kriogeny metamorfizm porod i podzemnyh vod (usloviya i rezultaty) [Cryogenic Metamorphism of Rocks and Underground Waters (Conditions and Results)]. Novosibirsk, Academic Publ. House “Geo”, 2009, 279 p. (in Russian).
- Frolov V.T. *Litologiya [Lithology]*. Moscow, Moscow University Press, 1993, vol. 2, 432 p. (in Russian).
- Khabakov A.V. About the indexes of roundness of pebbles. *Sovetskaya Geologiya [Soviet Geology]*, 1946, No. 10, p. 98–99 (in Russian).
- Zeitlin S.M. *Geologiya paleolita Severnoi Azii [Geology of the Paleolithic Age of Northern Asia]*. Moscow, Nauka, 1979, 286 p. (in Russian).
- Zeitlin S.M. Geology of the upper Paleolithic station Chernoozeje II. In: Late Paleolithic Era in the South of Western Siberia / V.F. Gening, V.T. Petrin. Novosibirsk, Nauka, 1985, p. 67–71 (in Russian).
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1995, vol. 59, p. 2919–2940.
- Fedo C.M., Nessbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rock and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 1995, vol. 23, p. 921–924.
- Gallet S., Jahn B., Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications. *Chemical Geology*, 1996, vol. 133, p. 67–88.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge, Cambridge University Press, 2011, 102 p.
- Lozano R., Bernal J.P. Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2005, vol. 22, No. 3, p. 329–344.
- Mahaney W.C. Atlas of sand grain surface textures and applications. N. Y., Oxford University Press, 2002, 237 p.
- Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, p. 399–429.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, No. 4, p. 1869–1887.
- Retallac G.J. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. 2nd ed. Oxford, Blackwell, 2001, 600 p.
- Retallac G.J. Soils and global change in the carbon cycle over geological time. *Treatise on Geochemistry*, 2003, vol. 5, p. 581–605.
- Schilman B., Bar-Matthews M., Almogi-Labin A., Luz B. Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the Late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, vol. 176, p. 157–176.
- Sheldon N.D., Tabor N.J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Sci. Rev.*, 2009, vol. 95, p. 1–52.
- Vlag P.A., Kruiver P.P., Dekkers M.J. Evaluating climate change by multivariate statistical techniques on magnetic and chemical properties of marine sediments (Azores region). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, vol. 212, p. 23–44.
- Vos K., Vandenberghe N., Elsen J. Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. *Earth-Sci. Rev.*, 2014, vol. 128, p. 93–104.

*Поступила в редакцию 10 июля 2019 г.,
после доработки – 1 ноября 2019 г.,
принята к публикации 11 марта 2020 г.*