

О ХОЛОДНЫХ ПУСТЫНЯХ ЗАУРАЛЬСКИХ РАВНИН В ПОЗДНЕМ КВАРТЕРЕ

¹Ларин С.И., ²Алексеева В.А., ³Ларина Н.С.

¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия; silarin@yandex.ru

² МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва, Россия; valekseeva@rambler.ru;

³ Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия; nsLARINA@yandex.ru

По данным полевого изучения геологического строения и стратиграфии покровных отложений, а также подстилающей их погребенной сети трещин и жил, исследования особенностей вещественного состава выполнена реконструкция условий их формирования в конце сартанского криохрона на юго-западе Западной Сибири. Основные реконструированные параметры: среднее годовое количество осадков, средняя годовая температура воздуха, ветровой режим, средняя годовая температура почв, тип сезонного оттаивания многолетнемерзлых и сезонного промерзания талых пород, литогеохимические условия седиментации осадочных толщ. Реконструированные температуры почв показывают аккумуляцию покровных (гривных) толщ в диапазоне мерзлотно-климатических условий от сплошной мерзлоты до островной мерзлоты и смены устойчивого, переходного, полупереходного и длительноустойчивого, арктического и полярного типов сезонного оттаивания многолетнемерзлых и сезонного промерзания талых пород. Литогеохимические данные свидетельствуют о формировании большей части покровных отложений в относительно однородных условиях седиментации в интервале условий от холодного аридного до относительно умеренного климата. В средней части некоторых разрезов покровных (гривных) толщ фиксируется увеличение привноса вторичного материала. В верхней и приповерхностной части разрезов значения литохимических коэффициентов контрастны и показывают более гумидные условия.

Ключевые слова: *грядово-ложбинный рельеф, перигляциальные ландшафты, сартанский криохрон, криогенно-эоловые процессы, холодные пустыни*

В последние годы ряд исследователей считают возможным существование в Западной Сибири в позднеледниковое время ландшафтов холодных криогенных пустынь и полупустынь [Величко и др., 2007; Зыкин, Зыкина, 2012]. Ключевыми климатическими морфотипами - компонентами таких ландшафтов на территории юга Западной Сибири и Северного Казахстана, являются реликтовые образования - грядово-бугристо-ложбинно-котловинный (гривно-ложбинный) рельеф и генетически связанные с ними рельефообразующие, а в верхней части, и почвообразующие лессовидные отложения. Они представлены преимущественно низкосортированным мелким глинистым песком и песчаным алевритом. Содержание глинистой фракции в отдельно взятых разрезах непостоянно, поэтому выделяются алеврито-песчаные разности: глинистая, сильноглинистая, алевритисто-сильноглинистая, алевритово-глинистая [Ларин и др., 2021]. Наиболее обосновано их покровное залегание, и по меньшей мере два этапа формирования: максимум сартанского похолодания (позже 21-22 тыс.л.н.) и конец позднеледниковья-предбореальное время (10-9 тыс.л.н.) [Волков и др., 1969; Волков, 1971, 1976].

Изучение геологического строения и стратиграфии разрезов покровных отложений и прежде всего гривных толщ лесостепного и подтаежного Притоболья, Тобол-Ишимского и Ишим-Иртышского междуречий (54°-57° с.ш.), позволило получить новые данные об их морфологии, генезисе, возрасте, соотношении эоловых и криогенных процессов в ходе их эволюции. Полученные материалы позволили оценить возможность существования ландшафтов холодных пустынь и полупустынь в пределах рассматриваемой территории в конце сартанского криохрона. Реконструкция условий формирования покровных отложений и подстилающих их криогоризонтов выполнена по данным лабораторно-аналитических исследований их вещественного состава (гранулометрия, морфоскопия кварцевых зерен, криолитология (коэффициенты криогенной контрастности (ККК) [Конищев, Рогов, 1994]), литогеохимия) в ЦКП ИФХиБПП РАН (г. Пушино). Возраст осадочных образований

определен методом оптически стимулированной люминесценции в лаборатории ОСЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ».

В основании покровной толщи на разных элементах древнего рельефа и отложениях самого различного состава, происхождения и возраста выявлены погребенные единичные или парные жилы и трещины, а также фрагменты полигональных сетей жильных структур, образующие в геологических разрезах от одного-двух до трех-четырёх разновременных криогенных горизонтов [Ларин и др., 2019, 2020]. Глубина трещин и жил составляет 0,5-1,5 м, ширина 5-15 см. Жилы и трещины, как правило, имеют клиновидный облик, прямолинейны или слегка наклонны, в нижней части обычно образуют апофизы. Полости трещин чаще всего заполнены материалом, тождественным по цвету и составу нижней части перекрывающих осадков.

Морфология жил и трещин, а также особенности вещественного состава их заполнителя позволили выделить среди них трещины усыхания, изначально-грунтовые жилы и псевдоморфозы по ледово-грунтовым жилам. Данные гранулометрического анализа показывают, что жилы и трещины заполнены преимущественно мелко-тонкозернистым алевритистым и алевритовым песком эолового, иногда водного генезиса. Отчетливо проявляются следы воздействия криогенных факторов, в виде различных дефектов поверхности кварцевых частиц: сколов, трещин и борозд, высоких значениях ККК, индикаторных значениях литохимических коэффициентов. Доля зерен кварца с поверхностями криогенного происхождения в отдельных жилах достигает 60-84% (разрез Упорово) и даже 79-92% (разрез Верхняя Каменка) [Ларин и др., 2020]. По связи значений ККК и средней годовой температуры поверхности почвы [Конищев и др., 2005] для нижней части заполнения жил реконструируются ландшафты южной тундры - северной тайги со средними годовыми температурами поверхности пород в интервале от 0°...-2°С, развитием островной мерзлоты и глубоким сезонным промерзанием. В основании некоторых жил (разрез Упорово) фиксируется кратковременный этап более суровых мерзлотно-климатических условий. В средней и верхней части заполнения жил влияние криогенеза заметно снижается или полностью исчезает [Ларин и др., 2020]. Значения ККК указывают на положительные средние значения температуры грунта и последовательное уменьшение глубины сезонного промерзания. Рассчитанные по результатам валового химического состава заполнения жил значения литохимических коэффициентов: кремнекислого $K_i = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, основного $\text{VA} = (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$, зрелости $\text{Kz} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O}$, карбонатного $\text{Kk} = \text{CaO} / \text{MgO}$, щелочного $\text{Kh} = \text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$, характерны для суровых условий северных природных зон. Они показывают очень слабую степень выветрелости, химической зрелости отложений и формирование в криоаридных климатических условиях.

Для оценки степени выветрелости и климатических условий формирования отложений были рассчитаны литохимические индексы CIA, CIW и ICV. Индекс выветривания $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \cdot 100$ отражает соотношение первичных и вторичных минералов. В холодной аридной климатической обстановки значения CIA ~50 ед. Для отложений, формировавшихся в условиях холодного аридного климата пороговое значение CIA ~70 ед. [Nesbitt, Young, 1982]. $\text{CIW} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})] \cdot 100$ [Fedo et al., 1995] – индекс химической преобразованности отложений без учета эффекта от биологического круговорота калия. Величина CIW возрастает с ростом степени разложения исходных пород или осадков. Степень химической зрелости тонкой алюмосиликокластики, поступающей в область седиментации отражает индекс $\text{ICV} = [\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2] / \text{Al}_2\text{O}_3$ [Cox et al., 1995]. В незрелых отложениях с высоким содержанием неглинистых минералов индекс >1, у более зрелых с большим количеством глинистых минералов индекс < 1.

Используя указанные выше критерии можно видеть, что заполнение жил формировалось в обстановках холодного аридного климата в диапазоне значений CIA=51-60, CIW=55-66, ICV=1,09-1,36 (разрез Упорово). Этот вывод подтверждается также минимальными значениями коэффициентов биоактивности и биопродуктивности $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) / \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{MnO} / \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{MnO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$; $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) / \text{Fe}_2\text{O}_3$ [Vlag et al., 2004]. В некоторых случаях индексы

свидетельствуют о холодных (судя по высокой доле зерен кварца со следами криогенеза) и гумидных ($CIA=75-80, CIW=90-86, ICSV=0,73-0,60$, разрез Верхняя Каменка) условиях. Такие жилы отличаются небольшими размерами и имеют признаки формирования в условиях глубокой сезонной мерзлоты.

Образование сети трещин и начало накопления покровных отложений происходило более или менее одновременно, поскольку зияющие трещины не могли долго сохраняться. Накопление самой нижней части покрова осадков, когда формирование трещин уже завершилось, происходило в условиях холодного аридного климата ($CIA= 51-55, CIW = 55-60, ICSV=1.4-1.2$, разрез у с. Красноорловское). В процессе дальнейшего накопления основная часть покровной осадочной толщи испытала воздействие процессов выветривания и формировалась в условиях слабо умеренного климата ($CIA = 59-65, CIW = 72-64, ICSV =1,0-1,2$). Самые верхние приповерхностные части разрезов покровных отложений, формировались в более гумидных условиях, при большем воздействии процессов выветривания ($CIA=71-79, CIW=82-88, ICSV=0,8-1,0$).

В ходе аккумуляции верхних частей разрезов (4-10 м.) покровных отложений и прежде всего глинных толщ преобладала сезонная мерзлота со среднегодовыми температурами грунтов $+2...+6$ °С. Два-три-четыре резких похолодания, отраженных в толщах отдельных разрезов глин, резко меняли мерзлотные условия в сторону более суровых условий. В эти периоды сезонная мерзлота трансформировалась в островную, массивно-островную и сплошную мерзлоту [Ларин и др., 2021].

Реконструкция средних годовых сумм осадков (МАР, мм/год) и средних годовых температур воздуха (МАТ, °С) выполнена по формулам, в основе которых находятся геохимические эмпирические зависимости коэффициентов выветривания с климатическими факторами [Алексеев и др., 2019]. Расчеты показывают, что средние, максимальные и минимальные значения МАР по разрезам отложений глин, вероятно, завышены и составляют соответственно 682-704мм, 848-875мм и 542-635мм [Ларин и др., 2021]. При этом рисунки изменчивости МАР по профилю разрезов глин визуально очень похожи между собой. Отчетливо выделяются нижние и средние «сухие» части разрезов с относительно небольшой амплитудой колебаний значений осадков в сторону увеличения и уменьшения и верхние «гумидные» части, где значения средних годовых осадков резко возрастают. Это свидетельствует об относительной однородности условий увлажнения во время формирования большей части глинных толщ. Верхние «гумидные» участки разрезов глин в этом отношении резко контрастируют с нижележащими отложениями. В основании покровной пачки глинных толщ отмечается резкое снижение количества осадков. Средние годовые температуры воздуха, реконструированные по разрезам отложений глин, находятся в диапазоне от $-0,30...-0,42$ °С до $+0,98 ...+1,15$ °С. Аналогично отмеченным выше другим показателям, на графиках отчетливо выделяются нижние и средние части разрезов глин с небольшой амплитудой колебаний температур и верхние относительно «теплые» части разрезов, где значения МАТ, °С резко возрастают. В основании верхней пачки глинных толщ отмечается заметное похолодание.

Графики изменчивости литохимических коэффициентов TiO_2/Al_2O_3 и Zr/TiO_2 [Schilman et al., 2001] показывают относительно однородные условия седиментации большей части покровной осадочной толщи с некоторым увеличением привноса вторичного материала в средней части разрезов. В основании приповерхностной части толщи покровных отложений, значения литохимических коэффициентов контрастны.

Морфоскопия зерен кварца из толщи глин показывает преобладание частиц в разной степени испытавших перенос в воздушной среде [Ларин и др., 2019, 2021]. В одних случаях доля таких зерен достигает 88-100% (разрез у с.Чуртан), в других (разрез у с.Кареглазово), снижается до 68-72% - 88-96% , иногда до 48%. В некоторых разрезах (разрез у с.Кареглазово) обращает внимание низкая (редко средняя) степень выраженности эоловых текстур поверхности, часто встречающихся только лишь на незначительных по площади участках видимой поверхности зерен. Содержание зерен кварца с криогенными текстурами поверхности в одних случаях составляет от 64% до 96 % (грина у с.Чуртан), в других (грина у

с.Кареглазово) достигает 36-68% (среднее 50%) в самой верхней части разреза, ниже по разрезу снижаясь до 24-28% и даже 4-9% [Ларин и др., 2021]. В последнем случае незначительная встречаемость криогенных текстур поверхности (за исключением самой верхней части разреза) говорит скорее об умеренном климате, а широкое развитие пленок кремнезема на поверхности кварцевых зерен о его гумидности, когда становится возможной миграция коллоидных растворов. Судя по OSL датам, умеренные условия могут характеризовать условия формирования отложений каргинского термохрона, подстилающих покровные осадки.

Значения ККК в разрезе гривы у с.Чуртан последовательно снижаются снизу вверх от 1,40 до 1,09, 0,72 и 0,32 [Ларин и др., 2019]. При этом ККК=1.40 и ККК=1,09 предполагают существование маломощной высокотемпературной островной мерзлоты, ККК=0.72 отражают условия глубокого сезонного промерзания, а еще меньшие значения ККК=0.30 свидетельствуют о весьма теплом времени накопления этих отложений.

Таким образом, в ходе формирования покровных отложений и гривных толщ, а также погребенной в их основании сети трещин и жил, заметную роль играли эолово-криогенные факторы. Наиболее холодные и аридные ландшафтно-климатические условия фиксируются в основании толщи покровных отложений. По всей видимости этот хроноинтервал является индикатором распространения в пределах Зауральских равнин перигляциальных аридных ландшафтов, приближающихся по своему облику к холодным пустыням или полупустыням (в понимании А.А.Величко). В целом процесс трансформации ландшафтов в позднем квартере носил сложный характер.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-05-00734А, частично в рамках государственного задания №АААА-А17-117051850064-0.

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. doi: 10.1134/S0032180X19040026

Величко А.А., Тимирева С.Н., Кременецкий К.В., Мак-Дональд Г., Смит Л. Западно-Сибирская равнина в облике позднеледниковой пустыни // Известия РАН, серия географическая. 2007. №4. С.16-28.

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

Волков И.А. Позднечетвертичная субаэральная формация. М.:Наука,1971.-354с.

Волков И.А. Роль эолового фактора в эволюции рельефа // Проблемы экзогенного рельефообразования: Кн.1.М.: Наука, 1976. С. 264-284.

Зыкина В.С., Зыкин В.С. Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. 477 с.

Конищев В.Н., Лебедева-Верба М.П., Rogov В.В., Сталина Е.Е. Криогенез современных и позднеплейстоценовых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы. Москва, ГЕОС. 2005. 133 с.

Конищев В.Н., Rogov В.В. Методы криолитологических исследований. Москва, Изд-во Моск. ун-та. 1994. 131 с.

Ларин С.И., Алексеева В.А., Лаухин С.А., Ларина Н.С. Литолого-геохимическая индикация генезиса покровных отложений Ишимской равнины (Юго-запад Западной Сибири) // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей // Материалы IX Всероссийского литологического совещания (с международным участием) (Казань,30 сентября-3 октября 2019г.). Казань: Изд-во Казанского университета, 2019. С. 239-240.

Ларин С.И., Алексеева В.А., Лаухин С.А., Ларина Н.С., Гусельников В.Л. Особенности формирования состава реликтовых грунтовых жил в основании покровных отложений

лесостепного Притоболья // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 4. С. 5-18. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2020-4(5-18)

Ларин С.И., Ларина Н.С., Алексеева В.А. Палеогеографические условия формирования грив на юго-западе Западной Сибири в позднем квартере // Пути эволюционной географии - 2021: Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А.Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М.: Институт географии РАН. 2021. С. 181-185.

Ларин С.И., Лаухин С.А., Алексеева В.А., Ларина Н.С. О мерзлотно-климатических условиях формирования гривных толщ Тобол-Ишимского междуречья // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов: Материалы науч. онлайн-сессии, 19–22 апреля 2021 г. [электронный ресурс] / Под ред. Н.К. Лебедевой, А.А. Горячевой, О.С. Дзюба, Б.Н. Шурыгина. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2021. С. 322-326. doi:10.18303/B978-5-4262-0104-0-322

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. doi: 10.1016/0016-7037(95)00185-9

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. doi: 10.1038/299715a0

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. doi:10.1016/S0031-0182(01)00336-4

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. doi:10.1016/j.palaeo.2004.05.015

ABOUT THE COLD DESERTS OF THE TRANS-URAL PLAINS IN THE LATE QUARTER

¹Larin S.I., ²Alekseeva V.A., ³Larina N.S.

¹Cryosphere Earth Institute SB RAS, Tyumen, Russia, silarin@yandex.ru;

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, valekseeva@rambler.ru;

³Tyumen State University, Tyumen, Russia, nslarina@yandex.ru

According to the field study of the geological structure and stratigraphy of cover deposits and underlying them the buried network of cracks and veins, the study of key features of their material composition, the reconstruction of the conditions of their formation in the south-west of Western Siberia was carried out. The main reconstructed parameters: the average annual rainfall, the average annual air temperature, the wind regime, the average annual soil temperature, the type of seasonal thawing of permafrost and seasonal freezing of melt rocks, the lithochemical conditions for sedimentation of sedimentary strata. Reconstructed soil temperatures show the accumulation of manes strata in the range of permafrost and climatic conditions from continuous permafrost to island permafrost and the change of stable, transitional, semi-transitional and long-lasting, Arctic and polar types of seasonal thawing of permafrost and seasonal freezing of melt rocks. Lithochemical data indicate the formation of most of the manes strata in relatively homogeneous sedimentation conditions in the range of conditions from cold arid to relatively temperate climate. In the middle part of some sections of the manes strata, an increase in the contribution of secondary material is recorded. In the upper and next parts of the incision, the values of the lithochemical coefficients are contrasting and show more humid conditions.

Keywords: *ridge-hollow relief, periglacial landscapes, Sartan cryochron, cryogenic-aeolian processes, cold deserts*