настолько «верхушкой вниз» как голоценовая. Во-вторых, действовавшее в Степной Арктиде подземное водоснабжение растений, аналогичное капельному орошению, поддерживало вегетацию на уровне весенней на протяжении всего безморозного сезона, в то время как в голоценовых степях столь активная вегетация поддерживается только весной. Причём, благодаря подземному водоснабжению поддержка растительности степного типа требовала в Степной Арктиде принципиально меньше водных осадков, чем требуется в голоценовых степях. Эти обстоятельства вполне объясняют обилие мамонтовой мегафауны, располагавшей более богатой кормовой базой, чем крупные травоядные в степях голоцена.

Список литературы:

- [1] Большианов Д.Ю., Макаров А.С. Геоморфологические свидетельства формирования ледового комплекса пород в связи с колебаниями уровня моря Лаптевых // Заповедники Российской Арктики: проблемы и пути решения. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. посв. 25-л ГПЗ «Усть-Ленский» (пос. Тикси Респ. Саха (Якутия), декабрь 2010). – Москва. МПР РФ, ФГУ ГПЗ «Усть-Ленский». – 2010. – С. 16-19.
- [2] Гравис Г.Ф. Роль флювиальных процессов в развитии пород ледового комплекса // Криосфера Земли. – 1997. – Т.1. – №2. – С.56-59.
- [3] Колпаков В.В. Механизм формирования грунтово-ледовых толщ. // Изв. АН СССР. – Серия географическая. – 1982. – №4. – С.87-93.
- [4] Попов А.И. Избранные труды и о нём, к 100-летию со дня рождения (1913-2013). – Москва. Научный мир. – 2013. – 535 с.
- [5] Томирдиаро С.В. Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей. На примере Магаданской области и Якутской АССР. – Магадан. Кн. изд. – 1972. – 174 с.
- [6] Томирдиаро С.В. Лёссово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. – Москва. Наука. – 1980. – 184 с.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТОГЕНЕЗА ЛЁССОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РУССКОЙ РАВНИНЫ

П.И. Калинин¹, А.О. Алексеев¹, И.Ю. Кудреватых¹, П.Г. Панин², Н.В. Карпучина²

¹ Институт Физико-Химических и Биологических Проблем почвоведения РАН,
kalinin331@rambler.ru

² Институт географии РАН, Москва, Россия, pgranin@igras.ru

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LITHOGENESIS OF LOESS OF THE RUSSIAN PLAIN

P.I. Kalinin¹, A.O. Alekseev¹, I.Y. Kudrevatykh¹, P.G. Panin², N.V. Karpukhina²

¹ Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, Pushchino, Russia

² Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

Несмотря на то, что изучение лёссов Русской равнины имеет вековую историю, большинство научных заключений о генезисе лёссового материала носит характер гипотез, слабо обеспеченных данными естественно-научных анализов как самих лёссов, так и потенциальных источников их формирования. Вся сложная цепочка процессов, которые привели к формированию лёссов, начиная от мобилизации вещества, седиментогенеза и заканчивая формированием и преобразованием лёсса, является крайне дискуссионной.

Сравнительный литологический анализ соседних лёссовых регионов Европы, Средней Азии, Китая позволил получить общую картину механизма формирования лёссового пояса Евразии [3]. На данный момент среди ученых превалирует мнение о том, что основным источником материала для лёссов Русской равнины была континентальная ледниковая область, покрывавшая Фенноскандинавский щит. Исходный материал транспортировался на юг в равнинные районы по рекам Днепр, Дон и Волга, которые забирали талую воду с ледника [4]. Некоторые районы в среднем течении этих рек служили вторичными

источниками материала. Эоловый перенос был в основном обеспечен преобладающими западными ветрами из Северной Атлантики [2].

Эти выводы основаны, по большей части, на обзорах литературы, посвященной инженерно-геологическим работам, относящимся ко второй половине 20 века. В отличие от Восточной Европы, сравнительного анализа литологических свойств лёссовых отложений различных частей Русской равнины не проводилось. С этой точки зрения, европейская часть России остается белым пятном на литологической карте лёссовых отложений Евразии. Ближайшим исследованным разрезом, данные по которому были сопоставлены с лёссовыми отложениями Сербии и Румынии, является разрез «Старые Кодачи» на Украине [1].

Нами были изучены литологические особенности лёссовых отложений Русской равнины от Москворецко-Окской равнины до Северо-Западного Кавказа (разрезы Отказное, Порт-Катон, Шабельское, Мелекино, Стрелица, Венев). Изученная территория охватывает основной ареал распространения лёссов и лёссовидных суглинков европейской части России. Методами абсолютного и относительного датирования для всех изученных объектов установлено положение горизонтов лёссов и палеопочв в хроностратиграфической схеме плейстоцена Восточно-Европейской равнины [5].

Гранулометрический состав лёссовых отложений Предкавказья, Азово-Кубанской низменности и Среднерусской возвышенности показывает свою схожесть с преобладанием фракции крупной пыли (0,01-0,05 мкм). Лишь в Предкавказских лёссах (разр. Отказное) основной гранулометрической фракцией является не крупная пыль (до 25 %), а фракция тонкого песка (до 38 %). Кроме того лёссовые горизонты разреза Отказное характеризуются высоким содержанием илистой (до 9 %) и фракции тонкого песка (0,05-0,1 мм).

В целом, разрезы перегляциальных областей (Азово-Кубанская низменность, Терско-Кумская равнина) характеризуются глинисто-алевритовым составом, тогда как северные разрезы (Среднерусская возвышенность, Москворецко-Окская равнина) имеют песчано-алевритовый состав. В лёссах отмечается тренд уменьшения содержания фракции тонкого песка (0,05-0,1 мм), как и в целом фракции песка (>0,01 мм) с севера на юг. В обратном направлении растет содержание фракций глины (<0,01 мм). Индексы размера зерен $GSI = (\% \text{ } 20\text{--}50 \text{ мкм}) / (\% < 20 \text{ мкм})$ и индекс грубого ила $CSI = (\% \text{ от } 20 \text{ до } 63 \text{ мкм}) / (\% < 20 \text{ мкм})$ демонстрируют увеличение своих значений от более древних лёссов к более молодым, что может говорить как об усилении интенсивности палеоветров, так и о близости источника лессового материала.

Проведенные исследования показывают, что изученные лёссово-почвенные серии имеют схожий химический состав с преобладанием SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O . В масштабе континента такой состав наиболее близок к лёссам Китайского лессового плато и Средней Азии. Установлено, что изученные лёссы обеднены большинством породообразующих элементов (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O , MgO , K_2O) относительно верхней континентальной коры (UCC) и пород ближайших кристаллических щитов (Балтийского и Украинского). Выше содержание в лёссах выявлено только у CaO , TiO_2 и Zr .

Обеднение лёссовых отложений большинством макроэлементов говорит о том, что их источником послужили не первичные породы Фенноскандинавского щита, а отложения покровных ледников. Причем лессовый материал формировался не из механически измельченных пород щита, а из продуктов его гипергенной трансформации, при которой происходило разрушение первичных (плагиоклазов, биотита, пироксенов и др.), и формирование вторичных глинистых минералов. В результате для лёссов характерно низкое содержание Na_2O , MgO , K_2O , Fe_2O_3 и высокое содержание TiO_2 и Zr , вызванное остаточным обогащением устойчивыми к выветриванию минералами тяжелой фракции, такими как ильменит, циркон, рутил, сфен. Повышенное содержание CaO , объясняется наличием в лёссах значительного количества карбонатов, источниками которых являлись отложения осадочного чехла Русской равнины.

Установлено, что химический состав лёссов изменялся не только регионально, но и в течение плейстоцена в пределах одного разреза. Но территориальные изменения были более

значимы, чем изменения состава во времени. Во всех изученных разрезах отмечается уменьшение содержания K_2O и Al_2O_3 от более древних лессов к более молодым. Содержание Zr и SiO_2 , напротив, увеличивается. Это свидетельствует о поступлении все более грубого и менее преобразованного процессами выветривания материала. Индексы GSI и CSI демонстрируют аналогичный тренд. С учетом того, что ледник с каждым новым оледенением отступал все дальше на север, подобное изменение химического и гранулометрического состава лёссов говорит о все большем усилении ветра в каждом новом ледниковом периоде. Активизация воздушных течений, по всей видимости, была вызвана деградацией ледниковых покровов, достигшей максимума в валдайское оледенение.

Результаты наших исследований позволяют разделить Русскую равнину на три области лёссонакопления: северную, центральную и южную. Они различаются, главным образом, конечными источниками алевритового материала. Лессовые отложения северной части трансекты (Москворецко-Окская равнина и Среднерусская возвышенность) формировались путем развивания локальных преимущественно ледниковых, в меньшей степени аллювиальных, отложений и подстилающих пород осадочного чехла различного возраста. Лессы этой области имеют более грубый алевритово-песчаный состав. Химический состав характеризуется большим содержанием элементов, входящих в минералы тяжелой фракции: TiO_2 , Zr , Nb . Источниками лёссового материала центральной (перегляциальной) области лёссонакопления (Азово-Кубанская низменность) были преимущественно аллювиальные отложения. В ледниковые периоды активизировались локальные эрозионные и криогенные процессы, которые приводили к разрушению пойменных отложений крупных рек Русской равнины (Днепр, Дон) и эоловому переносу на небольшие расстояния. Лёссы этой области имеют глинисто-алевритовый состав с большим содержанием K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . По всей видимости в перегляциальной зоне происходило непрерывное перевевание материала преобладающими северо-западными ветрами, которое приводило к гравитационной дифференциации эолового материала, что отразилось в литологических особенностях лёссовых отложений. Южной областью является Предкавказье. Основными источниками эолового материала здесь были, по-видимому, породы Прикаспийского осадочного чехла и глинистые отложения речных террас рек Терек и Сулак, материал с предгорий Кавказа и, возможно, региональный перенос пыли из Средней Азии.

Таким образом, заключительная стадия седиментогенеза представляла собой совокупность процессов развеивания локальных речных, ледниковых, морских осадочных отложений и регионального эолового переноса и переотложения алевритового материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты № 19-29-05178 мк, 20-55-53003 ГФЕН а.

Список литературы:

- [1] Buggle, B., Glaser, B., Zöller, L., Hambach, U., Marković, S., Glaser, I. Geochemical characterization and origin of Southeastern and Eastern European loesses (Serbia, Romania, Ukraine) // Quat. Sci. Rev. – 2008. – Vol. 27. - P. 1058–1075.
- [2] Jefferson I.F., Evstatiev D., Karastanev D., Mavlyanova N.G., Smalley I.J. Engineering geology of loess and loess-like deposits: a commentary on the Russian literature // Engineering Geology. – 2003. – Vol. 68 (3-4). - P. 333-351.
- [3] Li Y.R., Shi W.H., Aydin A., Beroya-Eitner M.A., Gao G.H. Loess genesis and worldwide distribution // Earth Sci. Rev. – 2020. – V. 201.
- [4] Smalley I., O'Hara-Dhand K., Wint J., Machalett B., Jary Z., Jefferson I. Rivers and loess: the significance of long river transportation in the complex event-sequence approach to loess deposit formation // Quaternary International. - 2009. V. 198 (1-2). – P. 7-18.
- [5] Velichko, A.A., Morozova, T.D. Main features of soil formation within the Pleistocene on the East European Plain and their paleogeographical. // Evolution of soil and soil cover. Theory, diversity of natural evolution and antropogenic transformations of soil / Kudryarov, V.N., Ivanov, I.V. (Eds.). Moscow, GEOS, - 2015. - P. 321-337 (in Russian).