

## Micromorphological properties of al-fe- humus soils of the north taiga of Western Siberia

I.V. Kritskov, S.V. Loiko, L.I. Geras'ko, G.I. Istigechev, D.M. Kuzmina

*National Research Tomsk State University  
Tomsk, Russia, E-mail: [krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)  
Submitted: 30.10.2017. Accepted: 28.12.2017*

Soil-forming rocks of the territory being researched consists of layers of polymict sands which is distinctly visible in the soil profile of present-day soil. The prevalent components of the sandy rocks are minerals resistant to weathering, namely quartz and feldspars. One can observe a high content of minerals that do not participate in the soil formation process; their amount can reach up to 90% of the sample's weight. Minerals susceptible to weathering are featured in the altered feldspars which are comprised of a mixture of acid plagioclase grains partially or completely replaced by sericite particles. These particles are susceptible to various degrees of weathering due to mineralogical compositional heterogeneity. A sample of the sandy fraction was compared with the microscopic structure of soil particles selected from the primary genetic horizons. Due to the acid hydrolysis, the diagnostics of the primary mineral weathering was conducted based on eluvial horizons, where the crystal lattice of the mineral is most actively destroyed through the influence of acidic solutions, which results into a series of cavities in the dissolution area. Two main types of particle dissolution were identified and the connection between the type of weathering and soil composition was established. The intensity of illuviation was examined through the morphology of iron hydr/oxide films, as well as the description of their amount, shape, and structure. A characteristic of the primary soil processes featuring the description of the surfaces of mineral particles was revealed. In addition, current primary processes were identified; specifically, Al-Fe-humus process and superficial gleying process. A comparison between the eluvial horizon sandy particles and the particles of the parent rock material indicates a small number of mechanisms transforming them via soil processes. Consequently, coarse particles retain a greater volume of lithogenic memory.

**Key words:** Northern taiga; soil micromorphology; soil minerals; podzols; al-fe-humus soils; Western Siberia

---

## Микроморфологические свойства альфегумусовых почв северотаежной подзоны Западной Сибири

И.В. Крицков, С.В. Лойко, Л.И. Герасько, Г.И. Истигечев, Д.М. Кузьмина

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томск, Россия, E-mail: [krickov\\_ivan@mail.ru](mailto:krickov_ivan@mail.ru)*

Нами были изучены процессы трансформации минерального скелета в альфегумусовых почвах таежной зоны Западной Сибири. Почвообразующие породы исследованной территории сложены полиминеральными песками, что отчетливо отражается в профиле современных почв. В минералогическом составе песчаных пород преобладают устойчивые к выветриванию минералы – кварц и полевые шпаты. Отмечается высокое содержание минералов, которые не участвуют в процессе почвообразования, их количество может достигать 90% от массы образца. Минералы со следами химического выветривания представлены, в основном, измененными полевыми шпатами, состоящими из смеси зерен кислых плагиоклазов, частично или полностью замещенных минеральными частицами серицита. Неоднородность минералогического состава определяет различную степень подверженности элементарных почвенных частиц химическому и физическому выветриванию. Нами был осуществлён микро- и мезоморфологический анализ песчаной фракции, проведена сравнительная характеристика микростроения почвенных частиц, отобранных из основных генетических горизонтов альфегумусовых почв. Поиск признаков химического выветривания первичных минералов, вследствие кислотного гидролиза, проведен на примере

элювиальных горизонтов, где происходит наиболее активное разрушение кристаллической решетки минералов под действием кислых растворов с образованием сети пустот в месте растворения. Было выделено два основных типа растворения минеральных частиц, при этом показана связь формы «каверн травления» с минералогическим составом элементарных почвенных частиц. Интенсивность и продолжительность иллювирования исследовалась посредством морфологии пленок (гидр-)оксидов железа, описания их обилия, формы, типа строения. Определены основные элементарные почвенные процессы с характеристикой поверхности элементарных почвенных частиц, при этом выделены основные современные процессы, которыми являются – Al-Fe-гумусовый и поверхностное оглеение.

Сравнение песчаных зерен элювиальных горизонтов, иллювиальных горизонтов и почвообразующей породы показывает, что механизмы их трансформации элементарными почвенными процессами немногочисленны, следовательно, крупные фракции сохраняют большой объем литогенной памяти.

**Ключевые слова:** Северная тайга; почвенная микроморфология; почвенные минералы; подзолы; альфегумусовые почвы; Западная Сибирь

## Введение

К настоящему времени исследованиями покрыта достаточно обширная площадь севера Западной Сибири, однако большинство из них приурочено к более северным районам (лесотундра, тундра) или к южной границе северной тайги (Сибирские Увалы). Территория, располагающаяся на границе многолетней мерзлоты с преобладанием почв, сформированных на рыхлых песчаных отложениях различного генезиса, в условиях длительного сезонного промерзания и переувлажнения, изучена не достаточно. Более того исследования почвообразовательных процессов и почв, на уровне мезо- и микроморфологии проведены нами на этой территории впервые.

Анализ поверхности элементарных почвенных частиц является очень перспективным направлением в исследовании почв, так как морфологическая память обладает большой временной емкостью и несет информацию о направленности и интенсивности процессов почвообразования. Слой морфологической памяти о трансформации минерального скелета процессами выветривания представляет наибольший интерес в контексте чтения «почвенных записей» истории педогенетических процессов и природной среды. Этот слой имеет сложную организацию и отражает разнообразие частных механизмов выветривания первичных минералов, записанное в разных морфологических признаках (Sedow et al, 2008).

## Объекты и методы

Нами были исследованы альфегумусовые подзолы северной тайги, с применением профильно-генетического, сравнительно-географического, сравнительно-аналитического и морфогенетического, методов, которые позволяют получить детальную характеристику почв на разных уровнях организации почвенных систем, таких как:

- 1) Горизонтный уровень, отражающий дифференциацию свойств и процессов;
- 2) Морфонный уровень;
- 3) Порово-сегрегатно-агрегатный уровень;
- 4) Надуровень почвенной массы.

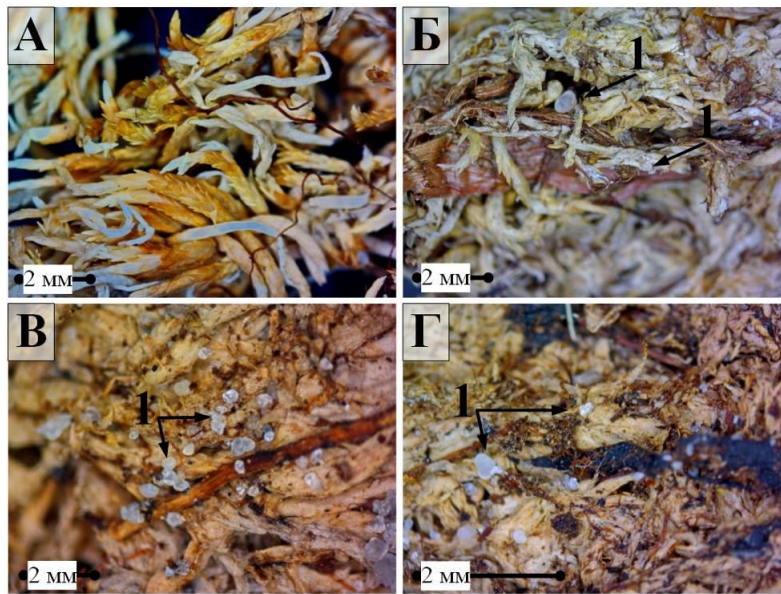
Для детального изучения надуровня почвенной массы, являющегося отражением внутреннего строения вещества почвы, его элементов и их взаимного расположения, нами был проведен морфогенетический анализ на уровне мезо- и микроморфологии почвенной массы. Мезоморфологический анализ производился на стереомикроскопе «Zeiss Stemi 2000-с», в отраженном свете. Микроморфология (субмикроморфология) изучалась посредством сканирующего электронного микроскопа «Hitachi TM-3000».

## Результаты и обсуждение

Основу почвообразующих пород составляют песчаная, и связнопесчаная фракции, иногда с небольшим количеством гравелистой фракции. Большинство исследованных почв содержат в профиле небольшие прослойки горизонтального простираения, состоящие из фракции крупного песка. Их происхождение, по-видимому, связано с активизацией эоловых процессов, так как выдуванию подвержены более мелкие частицы, при этом крупно-песчаные и гравелистые фракции постепенно образуют слой, препятствующий дальнейшему разрушению. Активность эоловых перемещений наглядно демонстрируется наличием минеральной примеси в органогенных горизонтах исследованных почв (рис.1), практически во всех органогенных горизонтах обнаруживается примесь минеральных частиц, свидетельствующая о совпадении фаз накопления торфа и активизации эоловых процессов. При определении зольности органогенных горизонтов было также обнаружено высокое содержание так называемой вторичной золы, которая является следствием наличия минеральных включений.

Эоловая природа песчаных отложений северной части Западной Сибири описывается группой ученых (Velichko et al., 2011), они доказали, что пески, залегающие под торфяниками, претерпели фазу эоловой переработки в субэаральных условиях, так как в основной своей массе имеют высокую степень матовости, сферической форму, а также покрыты микрокрапчатым рисунком, образующимся при соударении частиц в воздушной среде.

Современная динамика эоловых процессов рассматривается (Sizov, 2015). Он утверждает, что в настоящее время наравне с природным потенциалом развития эоловых процессов выступает антропогенный фактор, приводящий к росту техногенных пустынь, а так же высока роль вовлечения облесённых пространств в хозяйственную деятельность, приводящую к возобновлению процессов дефляции и образованию вторичных эоловых форм.

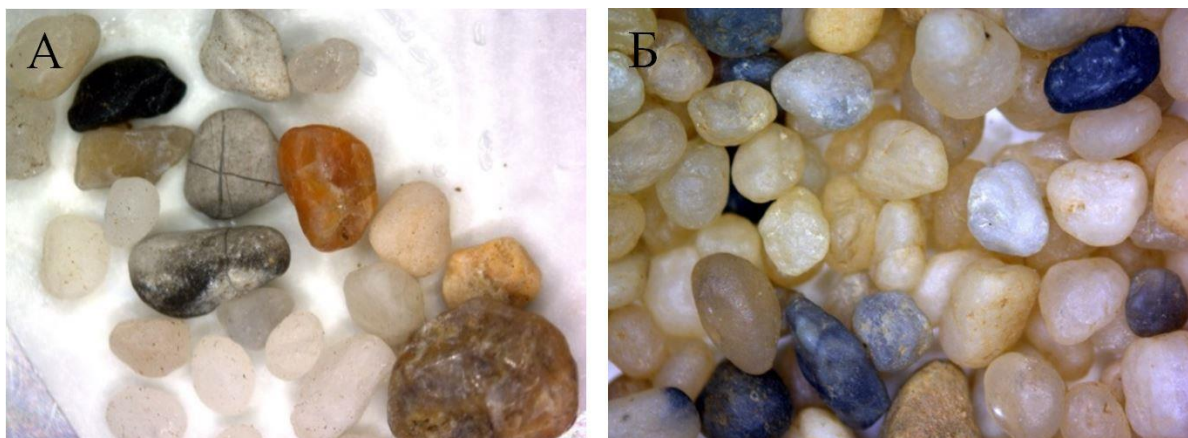


**Рис. 1.** Мезоморфология органогенных горизонтов торфяно-подзола глеевого иллювиально-железистого. 1 – отмытые зерна песчаной размерности

Почвообразующие породы исследованной территории сложены полиминеральными песками (рис. 2), что отчетливо отражается в профиле современных почв. В минералогическом составе песчаных пород преобладают устойчивые к выветриванию минералы – кварц и полевые шпаты. Крупные фракции малоподвижны, их распределение в профиле обусловлено литогенезом, что может служить надежным критерием однородности или неоднородности литоматрицы (Дукарев, 2004). Содержание минералов, не участвующих активно в процессе почвообразования достигает 90% от массы образца.

Особенно показательны различия в строении литоматрицы по содержанию песчаного компонента и отношению наиболее крупных фракций: песка и крупной пыли.

Неоднородность минералогического состава определяет различную степень подверженности элементарных почвенных частиц химическому и физическому выветриванию. Минералы, способные к выветриванию в основном представлены измененными полевыми шпатами, состоящими из смеси зерен кислых плагиоклазов, частично или полностью замещенных мелкими пластинками серицита (Tonkonogov, 2010).

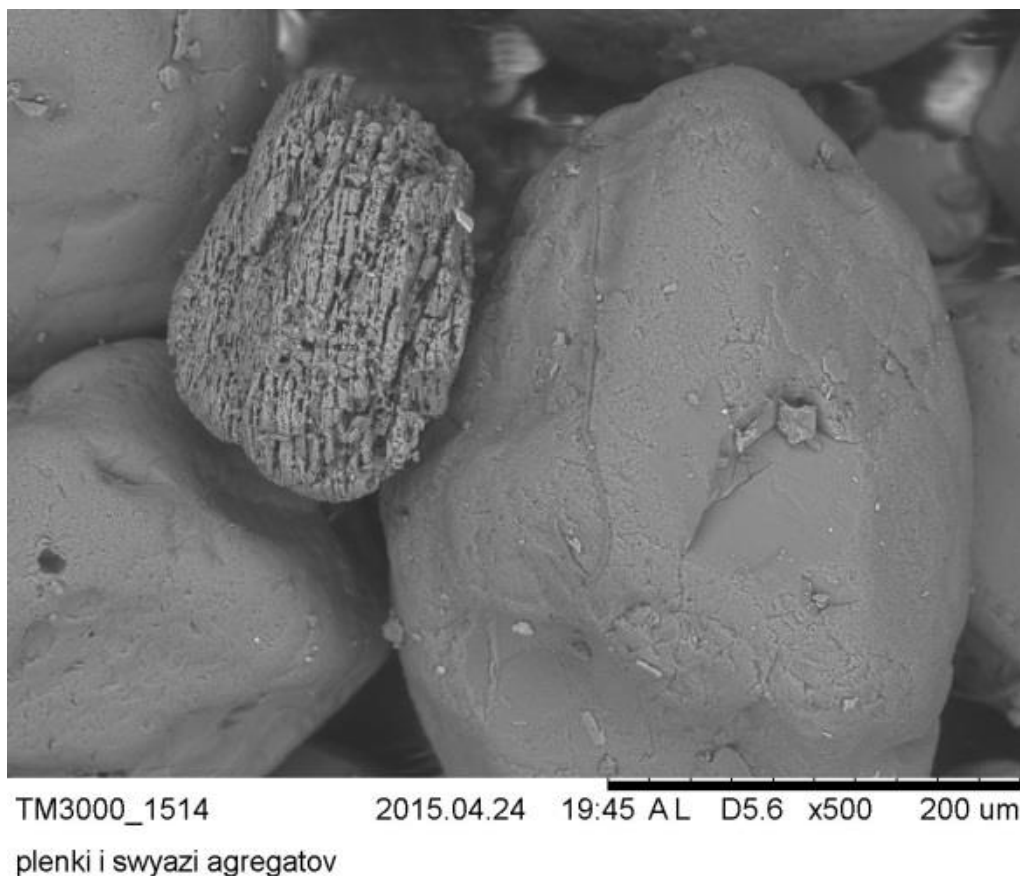


**Рис. 2.** Полиминеральный состав почвенной массы эллювиального (А) и иллювиального (Б) горизонтов подзола иллювиально-железистого

Как правило, химическое выветривание первичных минералов не сопровождается немедленным осаждением вторичных продуктов – напротив, все компоненты выносятся за пределы зоны реакции, и главным «остаточным продуктом» процесса является пустое пространство (рис. 3). В этом случае диагностическим признаком является морфология образующихся пустот. Растворение кристаллов происходит неравномерно, преимущественно в зонах решетки с ослабленными связями, результатом чего является образование коррозионных морфоструктур – фигур



травления (Berner and Holdren, 1979). Подобные морфоструктуры наблюдаются у любых первичных кристаллических минералов, подвергающихся растворению в почвенной среде.



**Рис. 3.** Коррозионные микроформы на элементарных почвенных частицах

Диагностика выветривания первичных минералов производилась нами на примере элювиальных горизонтов, где происходит наиболее активное разрушение кристаллической решетки минералов под действием кислых растворов с образованием сети пустот в месте растворения. Песчаные зерна изученных почв имеют следы травления, что свидетельствует об активном протекании кислотного гидролиза. Степень растворения и количество зерен со следами выветривания варьирует в широких пределах, что является следствием полиминеральности почв.

Отмечено два типа поверхностей минеральных зерен, затронутых растворением – кавернозный и сетчато-линейчатый. Зерна различных минералов отличаются по формам «каверн травления», зависящих в первую очередь от формы и сингонии минерала. У наиболее устойчивого минерала – кварца, поверхность гладкая, сохраняющая исходную форму, связанную с литогенезом и возможными последующими преобразованиями. Изучение элементного состава зерен со следами травления показало идентичность зерен с различными типами травления. Зерна не подверженные растворению преимущественно состоят из кремния, а зерна минералов с развитой кавернозной сетью имеют значительное содержание калия, что указывает на их принадлежность к группе минералов калиевых полевых шпатов.

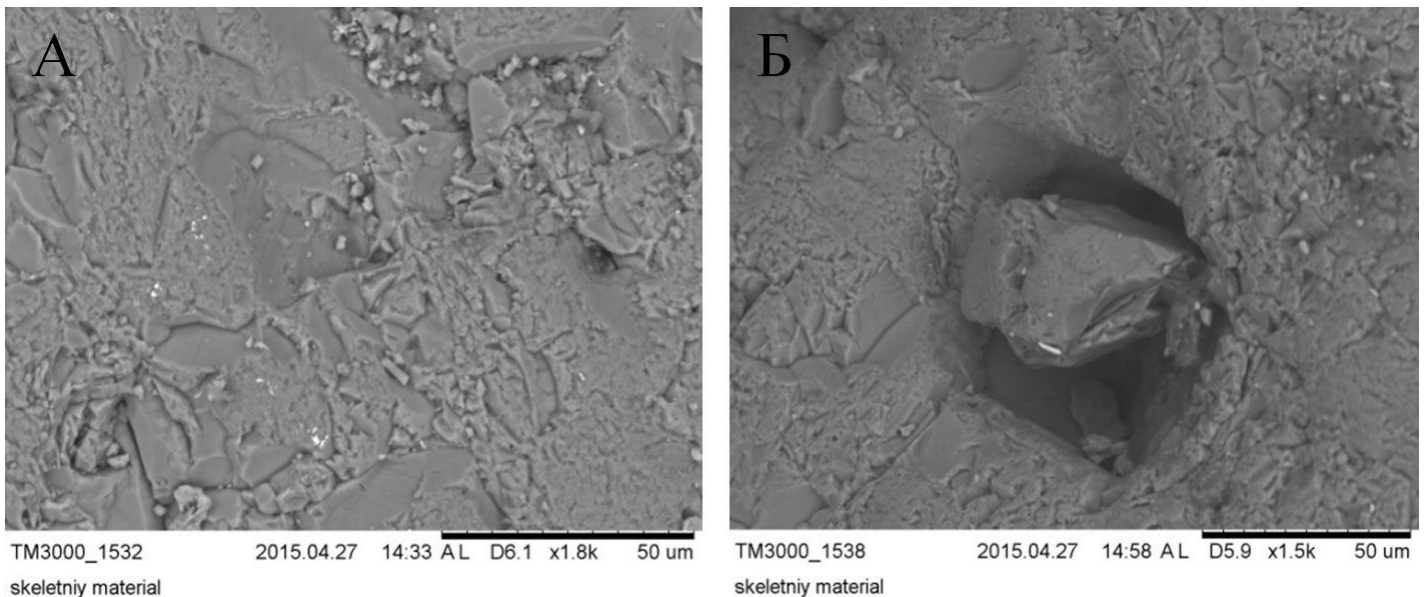
Именно степень развития признаков растворения минералов – наиболее надежный индикатор локализации и интенсивности развития выветривания в песчаных почвах. Он «работает» лучше, чем показатели, связанные с минералогическим составом крупных фракций, по следующей причине: выветриванию часто не хватает интенсивности, чтобы полностью разрушить зерна неустойчивых минералов и вызвать изменения в минералогическом составе скелета по сравнению с материнской породой.

В связи с этим вполне закономерно, что многие исследователи столкнулись с очень незначительной дифференциацией профилей подзолистых почв по минералогии песчано-пылеватых фракций (Tonkonogov, 2010). Образование же коррозионных форм происходит довольно быстро, поэтому их признаки гораздо более информативны. Более того, подзолы подвергаются значимому влиянию фитотурбаций, что приводит к гомогенизации грануло-минералогического состава в пределах подзолистого и иллювиально-железистого горизонтов (Istigechev et al., 2016).

Выветривание и травление минералов может происходить не только в элювиальном, но и в нижележащих горизонтах (Tonkonogov, 2010). Выветрелые, «кавернозные» зерна встречаются и в иллювиальных горизонтах, однако «каверны травления» здесь единичны, скрыты под толстыми железистыми пленками, что затрудняет их поиск (рис. 4).

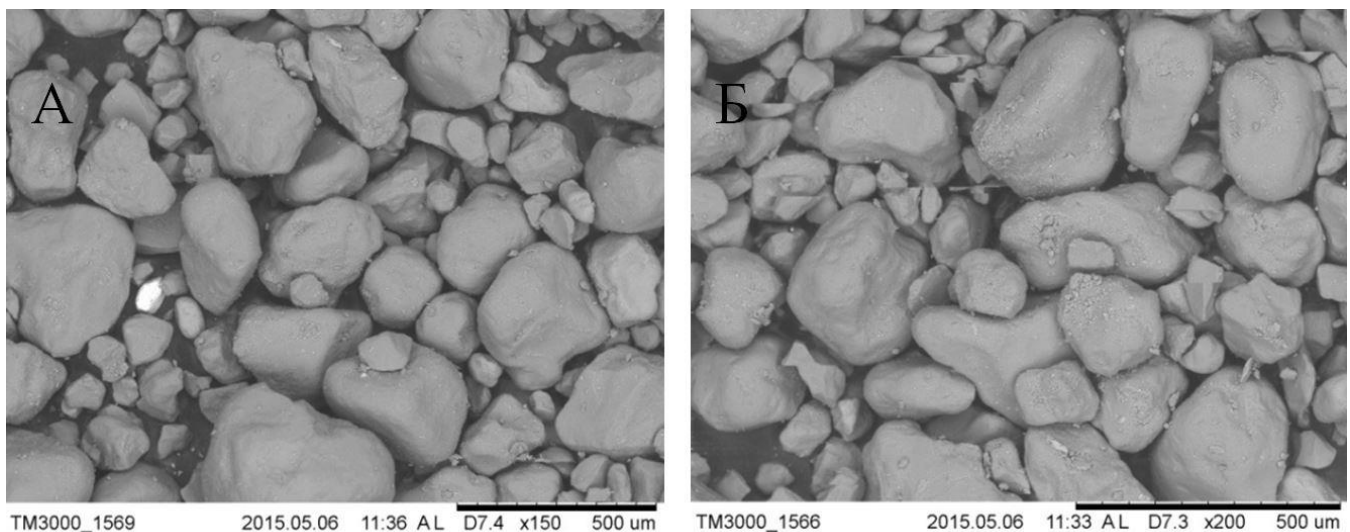
Обнаружение минеральных частиц, подвергшихся растворению в иллювиальных горизонтах связано с некоторыми трудностями: необходимо производить отсеивание скелетной фракции для последующего ее исследования, так как пленки здесь гораздо тоньше, нежели во фракции мелкого и среднего песка, а также осуществлять отмыв минеральной

фракции от иллювиальных пленок. Некоторые зерна в иллювиальном горизонте также имеют четкие кристаллографические очертания, угловатую форму и сколы по плоскостям спайности.



**Рис. 4.** Следы растворения минералов в горизонте BF

Для контроля процесса корродированности зерен были обследованы также горизонты BC и C (рис. 5). В них поверхность зерен имеет округлую форму, не затронутую процессами растворения, поэтому каверны травления здесь отсутствуют, что подтверждает положение об активном протекании процессов кислотного гидролиза в элювиальных горизонтах и его затухании в почвообразующей породе.



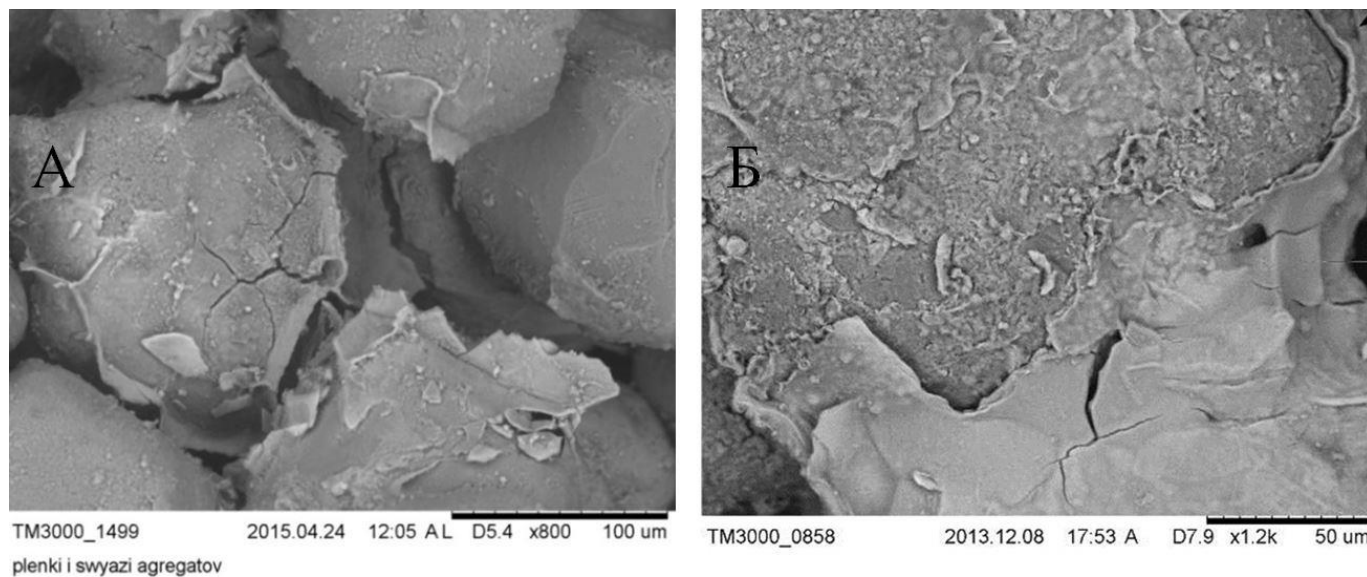
**Рис. 5.** Элементарные почвенные частицы нижних горизонтов подзола: А – образец из горизонта C. Б – образцы из горизонта BC

Выветривание и формирование «каверн травления» на поверхности минеральных зерен является первой ступенью подзолистого процесса. Кислотные растворы из вышележащего горизонта подстилки разрушают в первую очередь поверхность минеральных зерен по их «слабым зонам». При достижении определенной степени корродированности происходит разрушение поверхности минерала и обнажение свежей, невыветрелой. При слабой степени воздействия физического выветривания (промерзание, оттаивание) разрушения не происходит и растворение происходит в тех же пустотах с образованием сети глубоких, разветвленных пор.

Ведущим элементарным почвенным процессом, протекающим в подзолах, является Al-Fe-гумусовый, состоящий из комплекса элювиальных процессов, связанных с выносом из верхней части профиля и иллювиальных, связанных с аккумуляцией вещества в средней части профиля. Наибольшей интенсивности достигают процессы: элювиально-железистый, элювиально-железисто-гумусовый и иллювиально-железистый, при нарастании гидроморфизма, степень проявления вышеперечисленных процессов увеличивается (Smolentsev, 2002).

Иллювиально-железистый процесс сопровождающееся образованием обильных пленок на поверхности минеральных зерен, диагностика этого процесса производилась по горизонтам BF и BFort. Минеральные частицы в горизонтах вымывания покрыты иллювиальными пленками, основную массу которых составляют соединения железа.

Интенсивность и продолжительность иллювирования отражается в типах строения пленок (гидр-)оксидов железа. Нами было выделено три типа пленок, по морфологии поверхности: гладкий, гладко-чешуйчатый и сгустковатый. Толщина пленок достигает 5 мкм и более (Рис. 6). По-видимому, различия в морфологии, наличие отслаивающихся пленок свидетельствует как о различной скорости осаждения соединений железа из растворов, так и об их растворении в результате локального развития восстановительных процессов.



**Рис. 6.** Пленки и агрегаты горизонтов BF.

В процессе высыхания гладких пленок на поверхности минералов они разбиваются серией трещин дегидратации на первичные полигональные отдельности, внутри которых также обильны трещины, но более тонкие. Колломорфный и сгустковатый характер материала, а также обильные трещины дегидратации указывают на преобладание в составе пленок гидратированных соединений: гидроксидов железа и алюминия (Gerasimova et al., 1992).

Наиболее обильные и мощные пленки обнаружены в ортзандах и рудяковых горизонтах, что связано с совокупным действием иллювиальной и гидрогенной аккумуляции соединений железа.

За счет высокой активности элювиального процесса происходит обогащение почвенных растворов двухвалентным железом, и как следствие, его последующая миграция в грунтовые воды и далее в гидрографическую сеть, что приводит к увеличению концентрации железа в реках северных широт. Так же описывается, что концентрация железистых коллоидов возрастает с увеличением площади водосбора (Pokrovsky et al., 2016), это может быть связано со степенью заболоченности (залесенности) водосборных площадей и характера почвенного покрова.

Распределение содержания аморфного железа в профиле альфегумусовых почв имеет элювиально-иллювиальный тип, процентное содержание его в иллювиально-железистых горизонтах варьирует от 1,30 до 1,60 %. В элювиальных горизонтах содержание аморфного железа не превышает 0,16. Обнаружены высокие концентрации аморфного железа в ожелезненных морфонах, по-видимому, это связано с растворимостью слабоокристаллизованных минералов и развитием условий, способствующих образованию оксалатно-растворимых минералов (Vodyanitskiy, 2010). Так же обнаружено, что в прослойках эолового происхождения, которые были отобраны из вмещающих горизонтов BF содержание аморфного железа довольно низкое, этому явлению способствует низкая удельная поверхность этих прослоек, не способствующая осаждению мигрирующего железа.

## Выводы

Формирование исследованных почв происходит под влиянием комплекса элементарных почвообразовательных процессов: Al-Fe-гумусового, элювиально-глеевого, дезинтеграции, аэрального привноса и выноса минеральных частиц. В результате микро- и мезоморфологического анализа установлено, что в элювиальных горизонтах, где активно протекает кислотный гидролиз минералов с образованием специфических каверн на поверхности зерен, при достижении определенной степени растворения происходит дезинтеграция минералов.

В иллювиальных горизонтах процесс растворения выражен слабо и маскируется пленками аморфных соединений (гидр-)оксидов на поверхности почвенных частиц. Структура иллювиальных пленок зависит от интенсивности, продолжительности иллювирования, а также химического состава мигрантов. В горизонтах BC и C растворение минералов не происходит, что подтверждает активное участие в процессе корродирования минералов подзолообразовательного процесса.

## Благодарности

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, 6.7515.2017/9.10



## References

- Berner, R. A., & Holdren, G. R. (1977). Mechanism of feldspar weathering: Some observational evidence. *Geology*, 5(6), 369-372. DOI: [10.1130/0091-7613\(1977\)5<369:MOFWSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1977)5<369:MOFWSO>2.0.CO;2)
- Dyukarev, A. G. (2005) Landshaftno-dinamicheskiye aspekty tayezhnogo pochvoobrazovaniya v Zapadnoy Sibiri. Tomsk: Izdatelstvo NTL. (in Russian)
- Gerasimova, M. I., Gubin, S. V., & Shoba, S. A. (1992). Mikromorfologiya pochv prirodnikh zon SSSR. Pushchino: ONTI. (p. 219). Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23171549> Accessed on 22.12.2017 (in Russian)
- Istigechev, G.I., Loyko, S.V., Bobrovskiy, M.V., Kuz'mina, D.M., Lim, A.G., Kritskov, I.V. (2016) Morfologicheskaya diagnostika vetroval'nykh narusheniy v podzolakh severnoy taygi Zapadnoy Sibiri (in Russian).
- Morfologiya pochv ot makro- do submikrourovnya: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, 236–238 Available from: <https://istina.msu.ru/collections/32221177/> Accessed on 22.12.2017 (in Russian)
- Pokrovsky, O. S., Manasypov, R. M., Loiko, S. V., & Shirokova, L. S. (2016). Organic and organo-mineral colloids in discontinuous permafrost zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 188, 1-20. DOI: [10.1016/j.gca.2016.05.035](https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.05.035)
- Sedov, S. N., Inozemtsev, S. A., Kuznetsova, A. M., & Shoba, S. A. (2008). Morfologiya peschano-pylevatykh fraktsiy pochv: pamyat' o litogeneze i pochvoobrazovanii. In *Pamyat' pochv: pochva kak pamyat' biosferno-geosferno-antropogennykh vzaimodeystviy*. (in Russian)
- Sizov, O.S. (2015). Geoekologicheskiye aspekty sovremennykh eolovykh protsessov severotayezhnoy podzony Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk: Akademicheskoye izdatelstvo. Available from: <https://www.ikz.ru/cryosophy/library/> Accessed on 22.12.2017 (in Russian)
- Smolentsev, B. A., & Gadzhiyev, I. M. (2002). Struktura pochvennogo pokrova Sibirskikh Uvalov: severotayezhnaya podzona Zapadnoy Sibiri. Izdatelstvo Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. (in Russian)
- Tonkonogov, V. D. (2010). Avtomorfnoye pochvoobrazovaniye v tundrovoy i tayezhnoy zonakh Vostochno-Yevropeyskoy i Zapadno-Sibirskoy ravnin. Moscow: Pochvennyy institut im. VV Dokuchayeva.
- Velichko, A.A., Timireva, S.N., Kremenetski, K.V., MacDonald, G.M., Smith, L.C. (2011) West Siberian Plain as a late glacial desert. *Quaternary International*, 237(1–2), 45-53. DOI: [10.1016/j.quaint.2011.01.013](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.01.013)
- Vodyanitskiy, YU. N. (2010). Soyedineniya zheleza i ikh rol' v okhrane pochv. Moscow: Gosudarstvennoye nauchnoye uchrezhdeniye Pochvennyy institut im. VV Dokuchayeva Rossel'khozakademii. Available from: [http://www.agriculture.uz/filesarchive/soedineniya\\_zheleza\\_i\\_ikh\\_rol\\_v\\_okhrane\\_pochv.pdf](http://www.agriculture.uz/filesarchive/soedineniya_zheleza_i_ikh_rol_v_okhrane_pochv.pdf) Accessed on 22.12.2017 (in Russian)

---

### Citation:

Kritskov, I.V., Loiko, S.V., Geras'ko, L.I., Istigechev, G.I., Kuzmina, D.M. (2018). Micromorphological properties of al-fe- humus soils of the north taiga of Western Siberia. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 72–78.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License

---