



Гумусовая составляющая педоседиментов конца сартанского криохрона в бассейне реки Надым (Западная Сибирь)

© 2024 М. И. Дергачева ¹, Н. Л. Бажина ¹, С. Н. Седов ^{2,3}, В. С. Шейнкман ²

¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: mid555@issa-siberia.ru

²ФГБУН Институт криосферы Земли, ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Россия. E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru

³Институт геологии Национального автономного университета Мексики, Университетский городок, Дель Койоакан, г. Мехико, С.Р.04510, Мексика. E-mail: serg_sedov@yahoo.com

Цель исследования. Оценить индикационные возможности гумусовых веществ педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам для выявления палеоэкологических условий их формирования в период функционирования в составе почв на дневной поверхности на примере объекта Раздув конца сартанского криохрона (аналога MIS-2) в бассейне реки Надым (Западная Сибирь).

Важное замечание. В настоящей работе термины «гумус», «гумусовая составляющая почв» и «система гумусовых веществ» используются как синонимы.

Место и время проведения. Надымский район ЯНАО, урочище Раздув, 15 км к северо-востоку от г. Надым; позднелетний период, 2018 г.

Методы. Использован новый подход к диагностике биоклиматических условий конца сартанского криохрона одной из северных территорий Западной Сибири, основанный на содержащихся в педоседиментах гумусовых веществах, которые выполняют роль индикаторов палеоприродной среды.

Основные результаты. Установлено, что примененные индикаторные признаки условий формирования исследованных педоседиментов, основанные на показателях состава и спектральных свойств их гумусовой составляющей, хорошо коррелируют между собой и в своей совокупности отражают холодные гумидные условия формирования, аналогичные таковым для современных почв разных подзон тундры Западной Сибири.

Заключение. Исследование, посвященное обсуждению специфичности состава, строения и свойств гумусовых веществ педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам конца сартанского криохрона на примере ключевого участка Раздув и выявлению признаков, несущих информацию об условиях их формирования, показало, что получаемые независимыми методами и подобранные для этой цели показатели индикаторных свойств системы гумусовых веществ и одного из ее компонентов – гуминовых кислот, при решении вопросов, связанных с диагностикой биоклиматической или палеоэкологической обстановки их образования, имеют высокую значимость. В качестве современной сравнительной (рецентной) базы для диагностики и реконструкции биоклиматических условий формирования палеопочв, находящихся на дневной поверхности в период, соответствующий MIS-2, использованы характеристики современных и палеопочв северных территорий Сибири: от зауральских северных территорий до приморских низменностей Севера Якутии. Выявлено, что отобранные для исследования образцы, отнесенные по морфологическим признакам к продуктам переотложенных палеопочв – педоседиментам, действительно прошли стадию педогенного преобразования, о чем свидетельствует наличие в них гумусовых веществ, в том числе и гуминовых кислот, типичный для последних абрис ИК-Фурье спектра с характерным набором полос поглощения, индивидуальным соотношением основных структурообразующих элементов и близкими пределами количественных параметров флуоресценции испускания. Наиболее близкую сходимость состава и соотношения основных компонентов системы гумусовых веществ имеют образцы из педоседиментов конца сартанского криохрона и современных почв, сформировавшихся в условиях лесотундры Западно-Сибирского региона, для которых выявлена близость параметров соотношения основных компонентов системы гумусовых веществ, соотношения основных структурообразующих элементов, пределы величин всех флуоресцентных характеристик гуминовых кислот, особенно для образцов с повышенным содержанием гумусовых веществ и тех, которые испытывают влияние многолетнемерзлых пород. Это свидетельствует том, что в конце сартанского периода почвообразование было аналогичным таковому, имеющему место в более северных районах, чем район местонахождения урочища Раздув.

Ключевые слова: система гумусовых веществ; гуминовые кислоты; педоседименты из псевдоморфоз; диагностика; биоклиматические условия; конец сартанского криохрона; Западная Сибирь.

Цитирование: Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Седов С.Н., Шейнкман В.С. Гумусовая составляющая педоседиментов конца сартанского криохрона в бассейне реки Надым (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. e263. DOI: [10.31251/pos.v7i1.263](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.263)

ВВЕДЕНИЕ

Система гумусовых веществ (СГВ) занимает одно из ведущих положений в диагностике состояния современной природной среды и палеоэкологических обстановок прошлого. С одной стороны, она является сенсорной составляющей почв, реагирует на изменения внешней среды, отражая ее в особенностях состава, строения и свойств компонентов системы, с другой – обладает рефлекторностью, т.е. способностью записывать (и кодировать), а также сохранять в своих свойствах информацию о природных условиях своего формирования (Дергачева, 1989; 2018; 2021).

Среди компонентов системы гумусовых веществ почв наиболее специфичными, а также наиболее рефлекторными по отношению к природной среде оказались **гуминовые кислоты (ГК)**, которые в своем составе, структуре и свойствах несут информацию не только о состоянии самой гумусовой системы, но также почв и условий их формирования. К настоящему времени выявлены количественные параметры состава, структуры и свойств гуминовых кислот современных почв, формирующихся в них как ответ на долговременные воздействия природных факторов, с целью использования их для диагностики условий формирования палеопочв разного геологического возраста и реконструкции палеобиоклиматических характеристик окружающей их среды (Дергачева, 2018).

Использование набора признаков состава, строения и свойств гумусовых веществ уже вошло в практику диагностики почв и палеопочв, а также реконструкции условий их формирования. Наиболее часто они применяются при характеристиках палеоприродной среды теплых периодов (аналогов отложений нечетных стадий MIS) палеогеографической истории разномасштабных территорий (Трофимов и др., 2004; Якименко и др., 2007; Золотарева и др., 2009а, 2009б; Седов и др., 2010; Зыкина, Зыкин, 2012; Makeev, 2012; Золотарева, Демкин, 2013; Курбанова, 2021; Коркина и др., 2022; Watanabe et al., 1996; 1998; Makeev, 2009; Aseyeva et al., 2019; Rusakov et al., 2019; Makeev et al., 2021; и др.), причем, в основном, на качественном или полуколичественном уровнях.

Что касается холодных периодов палеогеографической истории (аналогов четных стадий MIS), то они диагностируются на основе тех же подходов с использованием гуминовых кислот и их соотношения с другими компонентами системы гумусовых веществ крайне редко, специальные работы этого направления малочисленны (Дергачева, 2018; Dergacheva et al., 2018; Учаев и др., 2018; Lefort et al., 2018; и др.). Изучение с этих позиций гумусовых веществ педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам и оценки их индикационных возможностей ранее не проводилось.

Причина этого кроется не только в низком содержании гуминовых кислот в отложениях, формирующихся в холодных условиях, но и в отсутствии до настоящего времени достаточного количества аналитических материалов о гуминовых кислотах и других компонентах системы гумусовых веществ современных почв криолитозоны, необходимых для создания базы данных по эколого-гумусовым связям, то есть по обусловленности их состава и свойств экологическими условиями формирования. Имеющиеся в литературе материалы, характеризующие гумусовую составляющую почв, испытывающих влияние многолетнемерзлых пород, трудно поддаются обобщению, поскольку получаются с использованием разных приемов и сроков отбора образцов, выделения гумусовых веществ, а также применяемых методов и методик изучения. Без наличия сопоставимых материалов, полученных на основе единых принципов и подходов при полевых, аналитических и инструментальных исследованиях системы гумусовых веществ почв криолитозоны, невозможно иметь надежную рецентную основу для диагностики условий гумусо- и почвообразования, а также реконструкции палеоприродной среды в периоды глубоких похолоданий климата.

В то же время, разработанные ранее подходы, опыт оценки состояния природной среды по гуминовым кислотам для отложений – аналогов не только нечетных, но и четных стадий MIS, изученных при соблюдении идентичности условий всех процедур (Дергачева, 1997, 2018; Дергачева и др., 2000, 2006; Лбова и др., 2003; Dergacheva, 2003; Fedeneva, Dergacheva, 2003, 2006; Dergacheva et al., 2016а, 2016б, 2018; и др.), а также имеющаяся у коллектива авторов рабочая база данных, содержащая сведения об основных характеристиках более 10 тысяч гуминовых кислот современных почв и палеопочв разного возраста и условий формирования (как в пределах криолитозоны, так и вне ее) в совокупности с основными показателями климатической и ландшафтной обстановок, позволили

оценить индикационную значимость основных, наиболее часто употребляемых показателей состава, особенностей строения и свойств гумусовых веществ (Дергачева, 2018). Это, в свою очередь, позволило нам в рамках разработанного ранее педогумусового метода диагностики и реконструкции палеоприродной среды (Дергачева, 1997) предложить ряд дополнительных приемов, способствующих диагностике и реконструкции экологических условий формирования системы гумусовых веществ в холодные периоды палеогеографической истории (Дергачева, 2018, 2021; Учаев и др., 2018; Бажина, Дергачева, 2021; Lefort et al., 2018; Dergacheva et al., 2018) и обратиться к оценке индикационных возможностей гумусовых веществ педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам для выявления палеоэкологических условий их формирования в период функционирования в составе почв на дневной поверхности на примере объекта Раздуй конца сартанского криохрона в бассейне реки Надым (Западная Сибирь).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гумусовая составляющая педоседиментов конца сартанского криохрона (MIS 2) изучалась для 11 образцов, которые отобраны в 2018 году из двух разрезов: Раздуй-1 и Раздуй-2 (рис. 1 А, Б, В). Разрезы вскрыты в песчаном карьере, расположенном на левобережье р. Надым к северу от субширотного участка среднего течения р. Оби в 15 км к юго-востоку от г. Надым (65°20'48" с. ш., 72°57'25" в. д.).

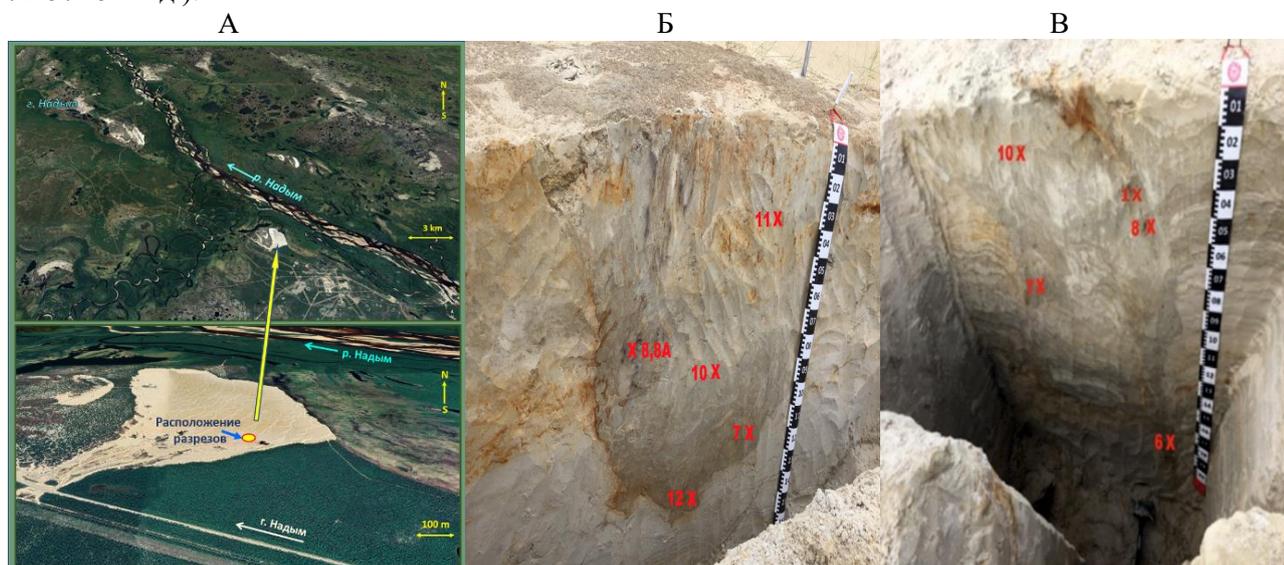


Рисунок 1. Расположение разрезов Раздуй (А) и схема отбора образцов: Б – разрез 1/18; В – разрез 2/18 (фото из архива В.С. Шейнкмана).

Расположение точек отбора образцов в разрезе, показанное на рисунке 1, позволяет представить возможные пути переотложений горизонтов палеопочв, находящихся на поверхности в конце сартанского криохрона (MIS 2), судя по имеющимся датам (Шейнкман и др., 2022). Разрезы вскрывают широкий набор палеокриогенных, педогенных и посткриогенных образований, в том числе, привлекшие наше внимание псевдоморфозы по **полигонально-жильным льдам (ПЖЛ)**, заполненные педоседиментами, позволяющими провести изучение этих образований с позиций палеопочвоведения. Как установлено ранее авторами данной статьи (Шейнкман и др., 2023; Sedov et al., 2022), подобные образования (псевдоморфозы по ПЖЛ) широко представлены в плейстоценовых палеопочвах не севере Западной Сибири, причем псевдоморфозы, заполненные педоседиментами сартанского времени – МИС-2, встречаются наиболее часто. Именно поэтому эти псевдоморфозы и были выбраны в качестве объекта данного исследования, направленного на аналитическое обсуждение возможности использования системы гумусовых веществ в диагностике педоседиментов.

Педоседименты в псевдоморфозах по полигонально-жильным льдам представляют собой переотложенный материал сильно оглеенных горизонтов с включениями гумусированных и оторфованных фрагментов. Визуально образцы различаются степенью проявления оглеенности и гумусированности (табл. 1).

Таблица 1

Объекты исследования

№ образца	Глубина, м	Визуальное описание
Разрез Раздув-1		
11	0,4	Пятнистый глей (сизый с ржавыми пятнами по порам)
8	0,7	Темно-серое гумусированное пятно
8А	0,7	Визуально образец менее гумусированный, чем предыдущий
10	0,8	Сизый, пылеватый песок, основное заполнение псевдоморфозы по клину
7	1,0	Светло-серый, плитчатый, слабогумусированный
12	1,3	Сизо-бурый, слабогумусированный
Разрез Раздув-2		
10	0,3	Пятнистый глей
1	0,3–0,5	Гумусовый клин
8	0,5	Темно-серое гумусированное пятно
7	0,8	Пятнистый глей
6	1,6	Песчаный сизый глей

Методические особенности исследования. Образцы педоседиментов исследовали с позиций разработанного одним из авторов настоящей статьи педогумусового метода диагностики природной среды и реконструкции палеобиоклиматических обстановок (Дергачева, 1997, 2018), в основе которого лежит признание гумуса почв как специфически почвенного (педогенного) образования (Дергачева, 1984, 2018, 2021), представляющего собой природную открытую самоорганизующуюся и саморегулируемую систему (Дергачева, 1989, 2018), отражающую в составе, соотношении компонентов, их структурных особенностях и свойствах природные условия своего формирования (Дергачева, 1998а, 1998б; Дергачева и др., 2000, 2006, 2012; Дергачева Рябова, 2005; Dergacheva, 2003; Fedeneva, Dergacheva, 2003, 2006; Dergacheva et al., 2016а, 2016б; и др.), и сохраняющую в пределах типовых особенностей ряд параметров состава, структуры и свойств во времени (Дергачева, 1984, 2008, 2018). На настоящий момент в наиболее полном виде метод описан в монографии: «Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды» (Дергачева, 2018).

На основе многолетних поисков, сравнений и оценок индикационной и реперной значимости широкого круга характеристик гумусовой составляющей более десяти тысяч образцов почв и палеопочв разного возраста и условий формирования, были выделены комплексы показателей состава, структурных особенностей и свойств как гумусовых веществ в целом, так и гуминовых кислот, разные совокупности которых оказались эффективными при решении разнообразных задач теоретического почвоведения, географии и экологии почв, археологии и палеопочвоведения, а также природопользования.

С использованием обоснованных с точки зрения индикационной значимости выделенных комплексов признаков ГК уже решались вопросы диагностики условий формирования почв и палеопочв (например, см. Дергачева, 1989, 1997, 2008, 2018; Демкин и др., 1998; Дергачева и др., 1995, 2000, 2002, 2006; Лбова и др., 2000; Тихова и др., 2001; Захарова и др., 2023; Dergacheva et al., 2016а, 2016б; Lefort et al., 2018; и др.). Чаще всего они были основаны на изучении палеопочв и вмещающих их отложений разной сохранности, образцы из которых отбирались по глубине сплошной колонкой детально, каждые 2–10 см (в зависимости от решаемых задач), с учетом визуальных границ горизонтов или слоев и с более детальным анализом гумусовых и прилегающих к ним горизонтов или слоев отложений. Однако применение этого подхода для выявления особенностей палеоприродных условий по палеопедоседиментам, находящимся на разной глубине в псевдоморфозах по полигонально-жильным льдам, часто не имеющих четких морфологических признаков генетической принадлежности, проводится впервые.

Для решения задач, поставленных в настоящем исследовании, использованный комплекс характеристик гумусовой составляющей педоседиментов включал, прежде всего, содержание общего органического углерода ($C_{орг}$), определяемого по окисляемости (согласно наиболее широко применяемой методике Тюрина, 1937), а также состав и соотношение основных групп гумусовых веществ по методике Пономаревой-Плотниковой в модификации 1968 года (прописи обеих методик см. Методические указания..., 1975), на основе которых оценивалось долевое содержание основных групп гумусовых веществ (гуминовых кислот – **ГК**, фульвокислот – **ФК** и негидролизующих их форм или гуминов – **ГМ**), проводился анализ особенностей состава гуминовых кислот и рассчитывалась

величина соотношения основных групп экстрагируемых гумусовых веществ ($C_{ГК}:C_{ФК}$). Последний показатель представляет специфическую для почв разных условий формирования величину, имеющую высокую тесную связь с климатическими особенностями территории их расположения (Тюрин, 1949; Кононова, 1963; Дергачева, 1984, 2018; Орлов, 1990; Орлов и др., 1996; Дергачева, Рябова, 2005, 2006; Дергачева и др., 2005, 2015; и др.).

Кроме того, в процессе выполнения анализа состава гумуса из щелочной вытяжки после предварительного декальцирования массы образца выделялись гуминовые кислоты, которые подвергались дальнейшим аналитическим и инструментальным исследованиям. Выделение препаратов гуминовых кислот *в ходе выполнения методики изучения состава гумуса* педоседиментов обусловило повышенную стандартизацию всех используемых при получении массы препаратов приемов, не изменяющих при этом суть всех широко применяемых условий выделения гуминовых кислот, согласно Д.С. Орлову и Л.А. Гришиной (1981).

Исключением в нашем случае является отсутствие обеззоливания препаратов жесткими методами путем обработки $\text{HF}+\text{HCl}$ или 6 н. HCl , что ранее рекомендовалось Д.С. Орловым (1974), поскольку позднее было установлено, что подобная обработка выделяемых препаратов гуминовых кислот существенно изменяет основные признаки их состава и свойств (Тихова и др., 2008). Среди методических особенностей исследования, кроме отсутствия жесткой очистки ГК от минеральных компонентов с использованием 6 н. HCl и/или $\text{HF}+\text{HCl}$, необходимо подчеркнуть строгое соблюдение идентичности всех приемов выделения гуминовых кислот и их последующего анализа.

Таким образом, исследование построено на основании данных, полученных в строго стандартных условиях выделения и анализа как совокупности гумусовых веществ, так и гуминовых кислот. Определение состава гумуса по методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой и выделение гуминовых кислот проводилось в двух повторностях, остальные аналитические и инструментальные измерения – в 2–4 повторностях (в зависимости от используемых приемов изучения). Иллюстративные материалы в настоящей статье представлены по средним данным.

Для оценки различий в степени гумификации органического вещества в педоседиментах применялось, согласно Д.С. Орлову с соавторами (1996), долевое содержание гуминовых кислот в гумусовой составляющей почв. С этой целью, кроме того, нами *были использованы показатели флуоресценции испускания щелочного экстракта гумусовых веществ (ГВ)*, выделяемых 0,1 н. NaOH после декальцирования изучаемого образца почвы или педоседимента. Сопоставление разных количественных характеристик спектров флуоресценции гумусовых веществ, находящихся в почвах или педоседиментах, позволяет оценить не только степень их гумификации, но и получить представление об уровнях алифатизации, полидисперсности и относительной сложности строения.

Из этого же *щелочного раствора* выделялись *гуминовые кислоты*, для которых были изучены элементный состав, спектральные свойства в видимой и ИК-области спектра, а также флуоресценция испускания, на основе чего давалась относительная характеристика параметров состава, структурных особенностей и свойств этого компонента системы гумусовых веществ, а также проводилось их сравнение.

Элементный состав ГК анализировался классическим методом Дюма-Прегля и дублировался на автоматических анализаторах Karla Erbe и Euro 3000 в аналитической лаборатории Института органической химии СО РАН. Электронные спектры поглощения снимались на спектрофотометре Cary-60 UV VIS. Подготовка растворов для снятия электронных спектров проводилась по методике, предложенной Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной (1981). Расчет коэффициентов цветности (Welte, 1955) осуществлялся по оптическим плотностям при длинах волн 465 нм и 650 нм ($E_{465}:E_{650}$), коэффициентов экстинкции – согласно рекомендациям Д.С. Орлова (1990) при $\lambda = 465$ нм, толщине слоя $l = 1$ см и концентрации беззольной ГК = 0,001%.

Спектры флуоресценции гуминовых кислот снимались на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer («Agilent» США) в диапазоне длин волн 300–650 нм при длине волны возбуждения $\lambda = 330$ нм для растворов с одинаковой концентрацией вещества (0,01% ГК) и $\text{pH}=13$ с использованием кварцевой кюветы 1 см² через сутки после приготовления раствора. Кювета заполнялась раствором таким образом, чтобы мениск отсутствовал. Графическое оформление результатов и расчет количественных параметров спектров проводились с использованием программы Origin Graph 9.

В качестве количественных параметров для характеристики спектров флуоресценции ГК использовали положение максимума флуоресценции на шкале длин волн (λ_{max}) и величину первого

момента M_1 («центр тяжести спектра» или средневзвешенное значение частоты контура флуоресценции), которая рассчитывалась по формуле (Паркер, 1972, с.77):

$$M_1 = \sum I_i \lambda_i / \sum I_i$$

где I_i – интенсивность в контуре флуоресценции на длине волны λ_i .

Также рассчитывался коэффициент α – соотношение интегральных интенсивностей при длинах волн в областях расположения максимумов проявления флуоресценции испускания ГК в длинноволновой и коротковолновой частях спектра (Лаврик, 2003).

Введенный нами коэффициент дисперсности гуминовых кислот (Kd), рассчитываемый по разности средневзвешенной величины длин волн спектра (M_1) и длины волны максимальной флуоресценции испускания гумусовых веществ и/или гуминовых кислот (λ_{\max}), применялся для выявления количественных различий в полидисперсности образцов.

Использованный нами метод флуоресценции испускания, как всей совокупности гумусовых веществ, так и гуминовых кислот, позволяет получать *экспрессную информацию* и проводить сравнения по относительной сложности их строения (в том числе, степени сопряжения их структуры), отнесение к алифатическому или ароматическому типу структур, а также степени полидисперсности, которые соответственно отражаются в положении полосы максимума флуоресценции (λ_{\max}), величине средневзвешенной частоты контура ее спектра (M_1), а также в коэффициентах α и Kd.

ИК-спектры гуминовых кислот записывались на Фурье-спектрометре Инфралюм ФТ-801 в таблетках при соотношении ГК:KBr – 1:5 в интервале значений частот от 4000 до 500 см^{-1} . Расшифровка спектров проводилась с использованием программы Zair 3,5. При расшифровке и интерпретации спектров использовались работы (Беллами, 1963, 1971; Эллиот, 1972; Орлов, 1990; Швец, 1994; Преч и др., 2006; Васильев и др., 2007; Тарасевич, 2012; и др.). Коэффициент β , введенный нами в характеристики гуминовых кислот для оценки относительной сложности их компоновки, рассчитывался, используя прием, предложенный Н.В. Юдиной и В.Д. Тиховой (2003). Он представляет собой соотношение суммарных величин оптических плотностей наиболее типичных для гуминовых кислот характеристических полос поглощения, соответствующих алифатической (2920 см^{-1} , 2860 см^{-1}) и ароматической (1730 см^{-1} , 1610 и 1500 см^{-1}) их частям.

Графическое оформление результатов исследования проводили с помощью компьютерной программы Origin Graph 9.

При интерпретации материалов исследования гумусовой составляющей почв использовались положения педогумусового метода диагностики и реконструкции палеоприродной среды (Дергачева, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание общего органического углерода в педоседиментах и долевое его распределение по разным группам и фракциям гумусовых веществ (состав гумуса). Как показывают данные (рис. 2, А, Б, а), наиболее высокие величины содержания общего органического углерода ($C_{\text{орг}}$) выявлены в образцах, визуальнo отличающихся повышенной гумусированностью (образец 8 из разреза 1/18 на глубине 0,7 м и образец 1 из «гумусового клина» разреза 2/18 на глубине 0,3–0,5 м). В остальных случаях они лежат в пределах 0,07–0,08%, кроме образца с минимальным содержанием органического углерода с глубины 1,6 м (разрез 2/18).

Доля углерода гуминовых кислот (ГК) всех фракций ($\Sigma C_{\text{гк}}$) составляет от 13 до 17%, за исключением образца 1 из «гумусового клина» (22–26%) и 8 – из обоих разрезов (19–20%). Средние величины содержания этого компонента в образцах педоседиментов из разрезов в 1/18 и 2/18 составляют, соответственно, 16 ± 2 и 18 ± 3 . С изменением глубины расположения педоседиментов доля ГК снижается примерно на 3%, что наиболее четко проявляется в ряду образцов зачистки 1/18. Образцы под номером 8 обоих разрезов содержат количество углерода ГК, превышающее общий фон на 3–4% (рис.2, А, Б, б).

Доля углерода фульвокислот (ФК) всех фракций ($\Sigma C_{\text{фк}}$) при этом (рис. 2, А, Б, б) с глубиной возрастает более существенно (на 6–20%), что соответственно сказывается на величине отношения $C_{\text{гк}}:C_{\text{фк}}$ в педоседиментах, расположенных на разных глубинах (рис. 2, А, Б, в). Величина этого показателя лежит в среднем в пределах 0,60–0,27 в разрезе 1/18 и 0,66–0,31 – в разрезе 2/18.

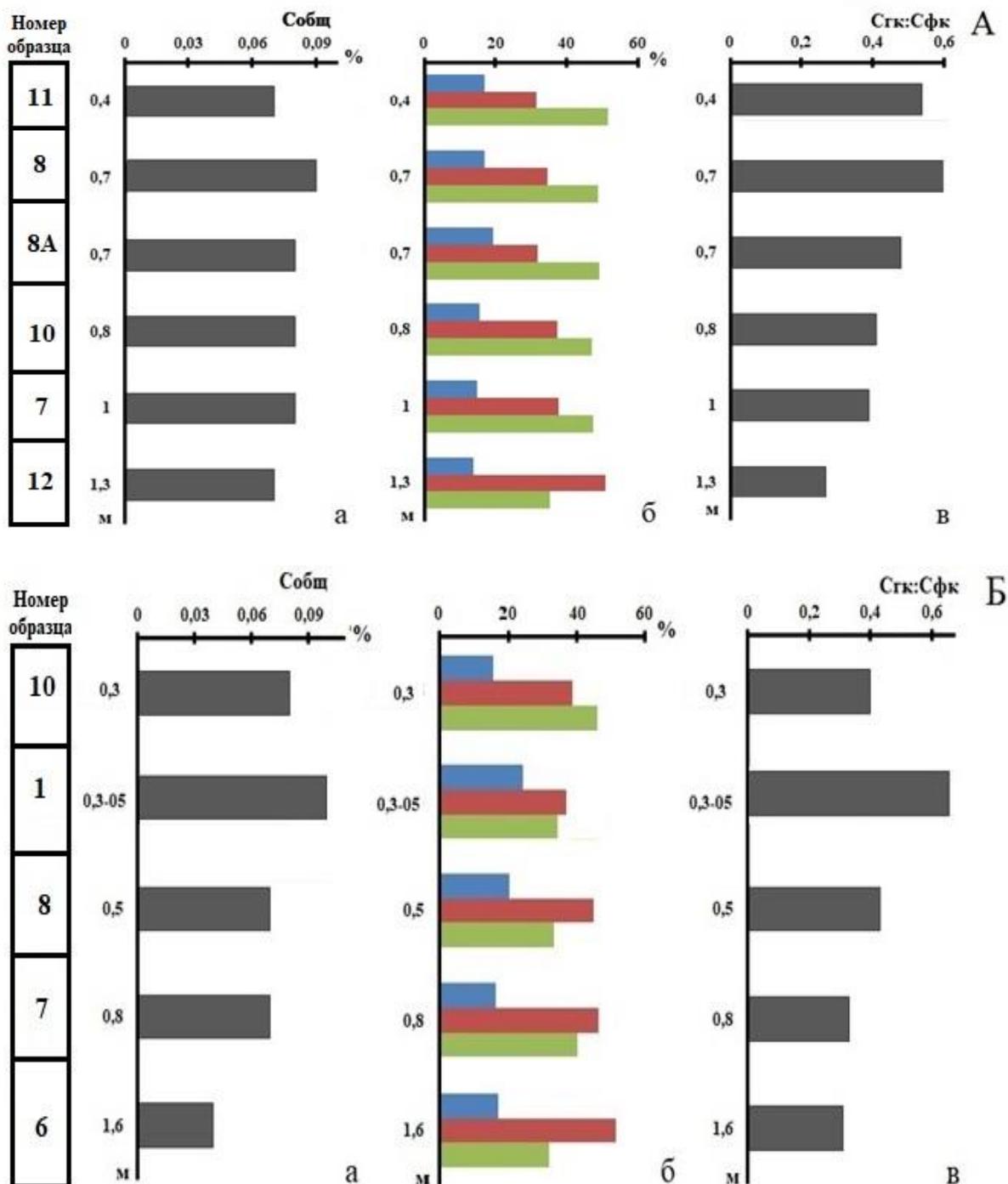


Рисунок 2. Характеристика гумусовой составляющей педоседиментов разрезов Раздув. Обозначения: А – Разрез 1/18, Б – Разрез 2/18; а – $S_{орг}$ (%), б – групповой состав гумуса (■ – гуминовые кислоты (ГК), ■ – фульвокислоты (ФК), ■ – гумины), в – $S_{гк}:S_{фк}$.

Только в образцах под номером 8 из разреза 1/18 и 1 из разреза 2/18 величина этого отношения, превышает 0,5 и тип гумуса может быть отнесен к гуматно-фульватному, в остальных – к фульватному. Такой тип гумуса характерен для почв холодных гумидных условий формирования.

Следует обратить внимание, что среди гуминовых кислот преобладают их бурые формы (ГК фр. 1), которые составляют от 35 до 56% от общего их содержания в педоседimente, превышая долевое участие ГК фр.2 в 1,5–3,0 раза (табл. 2). Такое соотношение характерно для почв, формирующихся в холодных гумидных условиях, в которых преобладающими (типовыми) являются бурые гуминовые кислоты, выделяемые непосредственной экстракцией щелочными растворами с $pH = 12-13$ без предварительного декальцирования почв и осадков.

Повышенная доля ГК фр. 3 (связанных более прочно с минеральной частью, чем остальные фракции), составляющая в среднем 37 ± 4 в образцах разреза 2/18 против 26 ± 8 – другого разреза, может свидетельствовать в пользу разного по интенсивности (или длительности) влияния мерзлоты на педоседименты (табл. 2). На повышенное содержание и преобладание в ГК их третьей фракции в почвах и горизонтах, испытывающих влияние мерзлоты, указывали ранее разные авторы (Дергачева, 1997, 2018; Владыченский, 1998; Владыченский, Гончарова, 2001; Феденева, 2004; Бажина и др., 2019; и др.).

Таблица 2

Содержание и распределение по фракциям гуминовых кислот (ГК) педоседиментов из разрезов Раздув (по средним данным)

Образец	Глубина, м	Гуминовые кислоты и их фракции			
		$\Sigma C_{ГК}$, %	ГК фр. 1	ГК фр. 2	ГК фр. 3
		от $C_{орг}$	% от $\Sigma C_{ГК}$		
Разрез 1/18					
11	0,4	17,0	50	35	15
8А	0,7	16,1	49	27	24
8	0,7	19,7	42	16	42
10	0,8	15,1	45	26	29
7	1,0	14,7	52	23	25
12	1,3	13,3	56	24	20
Разрез 2/18					
10	0,3	15,4	35	21	46
1	0,3–0,5	24,3	39	27	34
8	0,5	20,0	41	21	38
7	0,8	16,1	49	15	36
6	1,6	16,8	45	22	33

Таким образом, наличие в составе всех изученных педоседиментов определенного количества продуктов гумификации – гуминовых кислот и фульвокислот – свидетельствует, что *мы имеем дело с осадками, переработанными процессом педогенеза*. В то же время, существенное преобладание среди гумусовых веществ фульвокислот, среди гуминовых кислот бурых их форм (обозначаемых как ГК фр.1) и повышенная доля ГК фр.3 указывает, что почвы, которые обусловили характер педоседиментов, формировались в холодных гумидных условиях. Снижение величины $C_{ГК}:C_{Фк}$ с глубиной при очень близких долях в содержании гуминовых кислот, представляющих собой аккумулятивный тип гумусовых веществ, могло произойти за счет существенного возрастания в этом направлении доли фульвокислот – компонента, способного к миграции, увеличению содержания которого могло способствовать оттаивание криогенных структур. В итоге, состав гумуса во всех образцах, кроме тех, которые выделяются повышенной гумусированностью даже морфологически и где величина отношения $C_{ГК}:C_{Фк}$ превышает 0,5 (0,58–0,66), относится к фульватному типу. Полученные данные по составу гумуса не противоречат имеющимся в литературе сведениям, характеризующим современные почвы и палеопочвы относительно легкого гранулометрического состава, сформировавшиеся в холодных гумидных условиях северных районов Сибири (Дергачева, Дедков, 1977; Дергачева, 1984; Золоторева и др., 2009а, 2009б; Коркина и др., 2022; Sheinkman et al., 2016; Dergacheva et al., 2018).

О степени гумификации органического вещества педоседиментов. Судя по доле гуминовых кислот среди гумусовых веществ, степень гумификации органического вещества в образцах разных разрезов различается несущественно: в разрезе 1/18 она лежит в пределах 13–20%, разрезе 2/18 – 15–24%. Различие, согласно оценке по Стьюденту, недостоверно.

Долевое участие гуминовых кислот в образцах педоседиментов свидетельствует о слабой степени гумификации органического вещества в большинстве из них, а также о более высокой («средней» по Орлову) градации этого показателя в изученных образцах морфонов с морфологически выраженной повышенной гумусированностью (см. табл. 2).

Нами дополнительно к предложенному Д.С. Орловым с соавторами (1996) применен прием оценки степени гумификации с использованием спектральных характеристик совокупности гумусовых веществ, которые включают коэффициент цветности по Вельте ($E_4:E_6$), а также

количественные параметры спектров флуоресценции испускания: длину волны максимальной интенсивности флуоресценции – λ_{\max} , величину первого момента – M_1 , и коэффициент α . Чем выше величина последнего коэффициента, тем выше степень гумификации, поскольку она фиксирует сдвиг максимума флуоресценции в сторону длинноволновой части спектра, что связано с увеличением интенсивности флуоресценции за счет возрастания доли гуминовых кислот. Аналогичную информацию несет и коэффициент $E_4:E_6$, который показывает соотношение в рассматриваемой совокупности гумусовых веществ компонентов с разной сложностью структурной организации или, косвенно, степень гумификации органического вещества почв. Спектральные характеристики щелочных растворов гумусовых веществ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Спектральные свойства растворов гумусовых веществ из педоседиментов разрезов Раздув

№ образца	Глубина, м	E_4/E_6	λ_{\max} , нм	M_1	Kd	α
Разрез 1/18						
11	0,4	6,9	402	430	28	0,56
8	0,7	5,6	442	451	9	0,76
8 А	0,7	6,9	415	435	20	0,62
10	0,8	6,8	403	430	27	0,56
7	1,0	6,9	400	430	30	0,54
12	1,3	6,7	403	431	28	0,54
Разрез 2/18						
10	0,3	6,8	408	434	26	0,62
1	0,3–0,5	5,6	442	456	14	0,71
8	0,5	6,7	416	436	20	0,69
7	0,8	6,6	410	434	24	0,67
6	1,6	7,0	400	427	27	0,52

Данные показывают, что коэффициент цветности ($E_4:E_6$) раствора гумусовых веществ в основной массе образцов лежит в пределах 6,6–7,0, что характерно для системы гумусовых веществ с преобладанием фульвокислот, а в случае наличия гуминовых кислот – их форм с небольшой ароматической и существенно превалирующей алифатической частью в их структуре. Такие величины коэффициентов цветности наблюдаются в почвах и осадках холодных гумидных условий. В большинстве случаев максимум флуоресценции приходится на диапазон длин волн 400–403 нм в разрезе 1/18 (с отклонением в образцах 8 и 8А) и 400–410 нм – в разрезе 2/18 (с отклонением в образцах 1 и 8). Преобладание флуоресценции испускания гумусовых веществ в низковолновой области спектра проявляется и в коэффициенте α , величина которого во всех случаях лежит в диапазоне 0,5–0,7. Это не противоречит характеристикам гумусовых веществ современных тундровых почв северных районов Сибири (Дергачева, 2018; Бажина, Дергачева, 2021; Dergacheva et al., 2018). Также выявлено, что для изученных гумусовых веществ из педоседиментов характерна высокая (обычно присущая этим компонентам современных почв холодных гумидных условий) полидисперсность выделенной совокупности гумусовых веществ, отражающаяся в коэффициенте Kd – отклонении средневзвешенной величины длин волн спектра от длины волны максимума испускания на 27–30 единиц. Как и в случае других показателей, образцы под номером 8 из обоих разрезов и 1 – из «гумусового клина» разреза 2/18, имеют существенно отличающиеся величины Kd, которые лежат в пределах 9–20 относительных единиц.

Таким образом, все спектральные параметры изученной совокупности гумусовых веществ лежат в пределах, характерных для почв и седиментов, формирование которых происходило в холодных гумидных условиях.

Дальнейшее исследование специфики гумусовой составляющей педоседиментов из разрезов Раздув было направлено на изучение гуминовых кислот, выделенных из охарактеризованных выше растворов гумусовых веществ с использованием традиционного приема осаждения их в кислой среде.

Состав и свойства гуминовых кислот (ГК) изученных педоседиментов

ИК-спектры гуминовых кислот. Выделенные из совокупности гумусовых веществ гуминовые кислоты, которые, как было указано ранее, отражают в своем составе, структурных особенностях и свойствах природные (экологические) условия своего формирования и могут служить маркером или индикатором состояния последних (Дергачева, 2018), были, прежде всего, сравнены по

характеру абриса спектров в ИК области, а также наличию (или отсутствию) в них отдельных полос поглощения.

Выделенный Д.С. Орловым (1974, 1990) основной набор полос поглощения в ИК области спектров, в абсолютном большинстве случаев присутствующий в спектрах ГК почв разных условий формирования, дал ему возможность отнести характер и набор полос поглощения в ИК спектре к одному из надежных *диагностических признаков, свидетельствующих о принадлежности выделенных из почв и отложений веществ к гуминовым кислотам*. Как правило, в этот набор входят полосы поглощения, фиксирующие сопряженные связи C=C, C=O, содержание $\text{CH}_2\text{-CH}_3$, а также карбоксильных, метоксильных, фенолгидроксильных групп, присутствие спиртов и полисахаридов.

Использование ИК-Фурье спектрофотометров позволяет оценить не только наличие характерных для гуминовых кислот полос поглощения, получать информацию о наборе отдельных атомных групп, типах связей, конкретном их расположении, но и рассчитывать количественные параметры отдельных структурных частей ГК, более точно определять их особенности, связанные с изменчивостью ГК в пространстве и во времени (Дергачева, 2018).

Результаты исследований показали, что все выделенные традиционными приемами *препараты гуминовых кислот, имеют типичный для этого класса природных веществ абрис спектра и набор основных полос поглощения*. В качестве примера приводим изображение ИК-спектров гуминовых кислот из педоседиментов разреза Раздуб 2/18 (рис. 3).

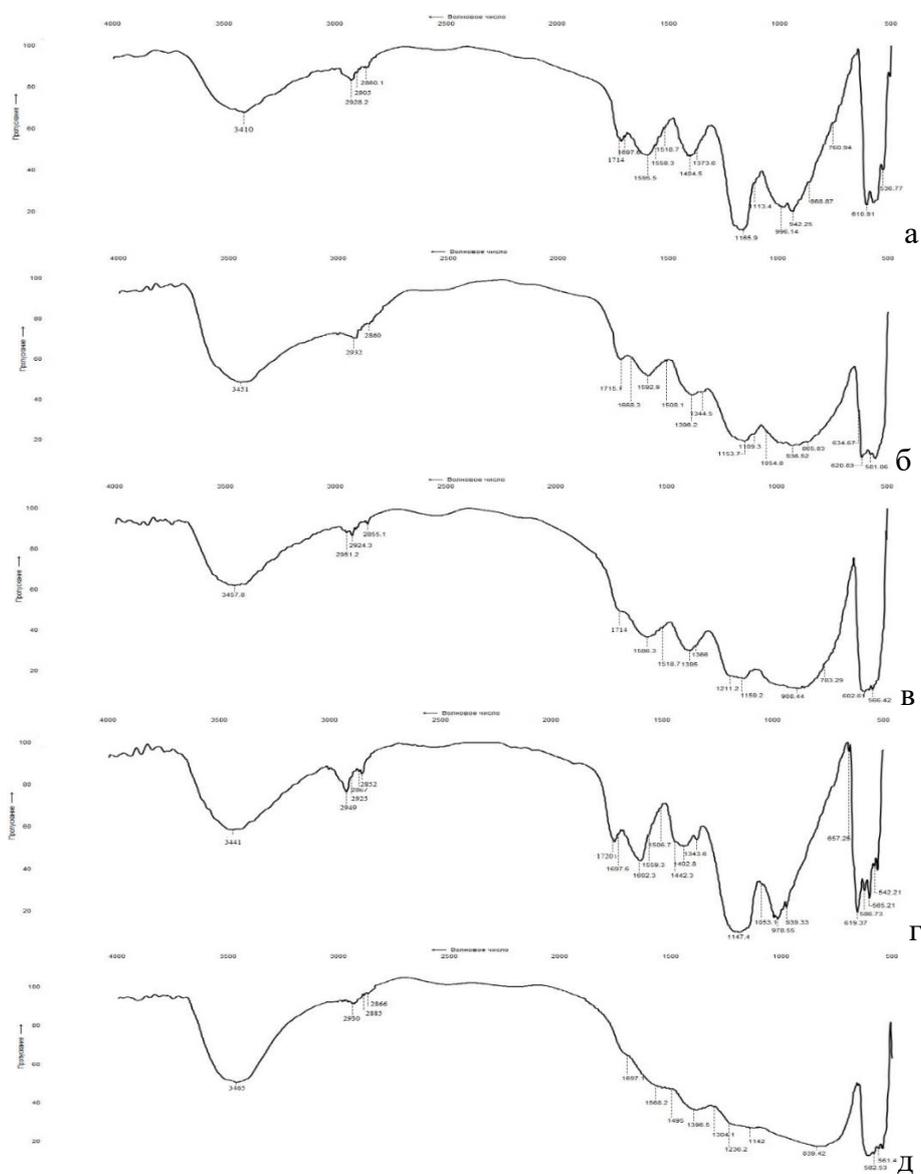


Рисунок 3. ИК-Фурье спектры гуминовых кислот педоседиментов разреза Раздуб 2/18. Образцы: а – 10 (0,3 м); б – 1 (0,3–0,5 м); в – 8 (0,5 м); г – 7 (0,8 м); д – 6 (1,3 м).

Спектры различаются интенсивностью полос поглощения и в некоторых случаях незначительными сдвигами положений их максимумов, которые, впрочем, не выходят за границы длин волн, характерных для определенных группировок.

Результаты показали, что важнейшие полосы, присущие гуминовым кислотам почв, присутствуют практически в спектрах ГК всех педоседиментов (табл. 4). Так, выделяется сильная полоса поглощения в диапазоне 3500–3300 см⁻¹, которая может быть отнесена к переменным валентным колебаниям гидроксильных групп алифатического и ароматического ряда, связанным межмолекулярными водородными связями, а также серия полос средней переменной интенсивности в области 2930–2830 см⁻¹, обусловленных валентными колебаниями метильных и метиленовых групп, участвующих в формировании алифатической периферии. В ИК-спектрах гуминовых кислот обнаруживаются полосы поглощения валентных колебаний карбонильных групп в области 1725–1700 см⁻¹, которые могут быть представлены кетонами, альдегидами, карбоновыми кислотами и их функциональными производными. Присутствующие в области 1700–1650 см⁻¹ полосы с близким расположением могут относиться к наличию в ГК групп C=O, в том числе, связанных с ароматическим ядром, а также валентных C=N (в диапазоне 1690–1630 см⁻¹). Полосы поглощения, расположенные в области 1490–1389 см⁻¹ могут быть обусловлены плоскостными деформационными колебаниями связей C–H в CH₂ и CH₃. В областях 1180–1100 и 1080–1020 см⁻¹ в спектрах ГК изученных педоседиментов полосы фиксируют присутствие первичных и третичных спиртов, а также возможные валентные колебания гликозидных связей углеводов циклических и простых эфиров. Кроме того, в области 1080–1020 см⁻¹ отражается возможное присутствие полисахаридов, а в областях 900–860 см⁻¹ и 860–730 см⁻¹ – деформационные колебания СН ароматических фрагментов, первые из которых, согласно Д.С. Орлову (1990), оставляют слабую полосу при одном незамещенном атоме водорода, а в последнем – при двух и более. Остальные полосы в этой области спектра и при последующих уменьшающихся длинах волн принадлежат, скорее всего, присутствующим минеральным компонентам.

Таблица 4

Полосы поглощения в ИК-спектрах гуминовых кислот педоседиментов разрезов Раздуб

Разрез, № образца	Разрез 1/18						Разрез 2/18				
	11	8	8А	10	7	12	10	1	8	7	6
Полосы поглощения, см ⁻¹											
3600–3200 (ОН)	3384	3466	3437	3474	3465	3482	3410	3451	3457	3441	3465
2930–2830 (CH ₃ , CH ₂)	2931 2897 2830	2928 2893 2857	2928 2895 2858	2977 2928 2899	2928 2859 2849	2928 2913 2857	2928 2888 2852	2932 2905 2860	2951 2924 2855	2949 2925 2852	2930 2885 2866
1720–1650 (C=O)	1716	1719 1670	1699	1706	1713	1724 1706	1714 1697	1715 1668	1714 1681	1720 1697	1714 1698
1595–1500 (C=C)	1595	1595	1594	1594	1594	1560	1595	1594	1584	1558	1539
1490–1440 (CH в CH ₃)	1445	1442	1445	1441	1487	1458	1454	1440	1442	1443	1469
1425–1345 (C–CH ₃)	1425 1383	1400 1385	1425 1383	1402 1396	1399 1337	1421 1375	1404 1373	1396 1355	1394 1365	1416 1343	1385 1346
1180–1100 (спирты)	1138	1144	1140	1145	1142	1140	1165	1153	1149	1147	1123
1080–1020 (полисахариды)	1049	1041	1039	1035	1045	1038	1042	1054	1031	1053	1028
900–860 (СН ароматические)	880	870	881				869	866		882	
990–860 (минеральные компоненты)	978 939	976 939	979 939	940 841	983 884	980 822	986 942	935 906	908 819	978 939	913 839
860–730 (СН ароматические)	775 749	781 762	775 750	796 774	794	756	798 760	800 750	782	783 752	778
650–500 (минеральные компоненты)	616 584 553	615 575 557	615 578 553	579 550 513	620 582 550	619 559 541	610 560 536	616 581 528	609 566 523	619 585 542	605 582 542

Таким образом, материалы изучения ИК-спектров гуминовых кислот педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам показали, что выделенные щелочной экстракцией вещества имеют типичный для специфических природных почвенных соединений – гумусовых веществ – абрис спектров, наличие среди полос поглощения, выделенных ранее для этого класса природных веществ Д.С. Орловым (1990) основного их набора, фиксирующего присутствие разнообразных атомных групп, а также близкие расположения максимумов их проявления.

Наибольшей близостью по набору полос поглощения обладают образцы 8 и 8А из разреза 1/18, а также 1 и 8 из разреза 2/18, имеющие в морфологическом облике повышенную гумусированность. Однако между ними есть некоторые различия, которые, впрочем, не оказывают существенного влияния на идентификацию полос поглощения и расчет коэффициента β .

Элементный состав гуминовых кислот. Материалы изучения элементного состава гуминовых кислот дают ценную информацию для выявления особенностей биоклиматической обстановки формирования почв. Особую важность имеет показатель соотношения структурообразующих элементов – водорода и углерода. Его величина, как показывают опубликованные материалы, климатогенно обусловлена и является надежным индикатором климатических условий формирования почв и палеопочв (Дергачева и др., 2012; Дергачева, 2018; и др.), поэтому для диагностики биоклиматических условий формирования палеопочв конца сартанского криохрона – источников педоседиментов из разрезов Раздуд, прежде всего, был определен показатель соотношения двух элементов – водорода и углерода. Различия в величине отношения О:С в элементном составе гуминовых кислот связаны с неоднозначными текстурными свойствами и, соответственно, степенью увлаженности (и, как следствие, аэрации) осадка. Пока глубокий анализ этой связи отсутствует, имеются только данные по почвам разного гранулометрического состава, которые показывают наличие определенных градаций в величине О/С, соответствующих легкому, среднему и тяжелому составу (Дергачева, 2018). Сравнение показателей соотношения основных структурообразующих элементов в координатах Н/С и О/С способствует выявлению особенностей структуры гуминовых кислот, а также сходства и различий в условиях их формирования.

Полученные материалы изучения элементного состава гуминовых кислот педоседиментов свидетельствуют, что величина соотношения элементов водорода и углерода (Н:С) в них лежит в относительно узком диапазоне колебаний этого показателя – 1,24–1,29, что наглядно демонстрирует рисунок 4. Величина Н:С в обоих разрезах составляет в среднем $1,27 \pm 0,02$, что характерно для горизонтов современных холодных и влажных условий формирования, например, глееземов или подзолов некоторых районов Сибири, особенно в почвах легкого гранулометрического состава.

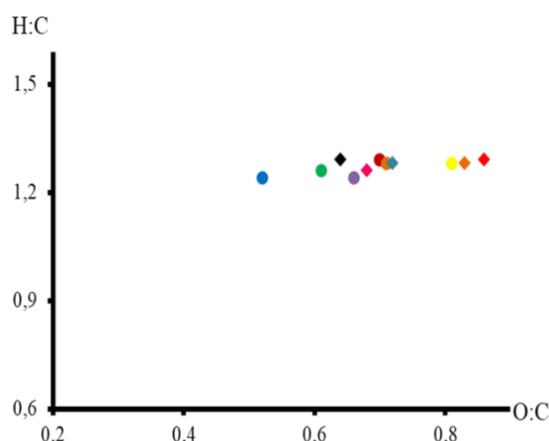


Рисунок 4. Распределение показателей элементного состава в координатах Н:С – О:С гуминовых кислот педоседиментов из разрезов Раздуд (по средним данным из 3–6 определений).

Обозначения для разреза 1/18: ● – 11 (0,4 м), ● – 8А (0,7 м), ● – 8 (0,7 м), ● – 10 (0,8 м), ● – 7 (1,0 м), ● – 12 (1,3 м); для разреза 2/18: ◆ – 1 (0,3–0,5 м), ◆ – 8 (0,5 м), ◆ – 10 (0,3 м), ◆ – 7 (0,8 м), ◆ – 6 (1,6 м).

Спектральные свойства гуминовых кислот. Спектральные свойства гуминовых кислот педоседиментов изучались в видимой и инфракрасной областях спектра, а также определялись особенности спектров флуоресценции испускания в диапазоне длин волн 300–650 нм при длине волны возбуждения $\lambda = 330$ нм.

Коэффициент экстинкции ($E_{\text{гк}}$) и коэффициент цветности ($E_4:E_6$), характеризующие параметры гуминовых кислот по спектрам в видимой области, начали применять в начале второй половины прошлого столетия (Кононова, Бельчикова, 1950). Возможность использования этих показателей при сравнительных исследованиях особенностей гумусо- и почвообразования, хорошо обоснована,

описаны методические тонкости их определения и интерпретации материалов изучения (Орлов, 1974, 1990).

Полученные нами данные показали, что абсолютные величины коэффициентов цветности ($E_4:E_6$) и экстинкции ($E^{ГК}$) лежат в пределах, характерных для почв холодных гумидных условий (табл. 5). Горизонты повышенной гумусированности (8 из разреза 1/18 и 1 из разреза 2/18) имеют самые низкие абсолютные значения первого коэффициента, величина которого составляет округленно 5,3 и самые высокие из всех образцов – коэффициента экстинкции (0,039). Сопряженные с ними и/или имеющие морфологическое подобие (образцы 8А и 8 из соответствующих разрезов) существенно превышают первые и различаются между собой почти на 0,4 единицы. Что касается минеральных горизонтов, то в первом из разрезов величины коэффициентов цветности лежат в диапазоне 6,18–6,45, во втором – 6,50–6,91, коэффициентов экстинкции – в диапазоне 0,028–0,032 в разрезе 1/18 и 0,030–0,037 – в 2/18, что может свидетельствовать в пользу неоднозначных локальных условий функционирования позднесартанских палеопочв двух вскрытых разрезов Раздуд в период их распространения на поверхности территории.

Таблица 5

Основные параметры состава и спектральных свойств гуминовых кислот педоседиментов из разрезов Раздуд (по средним данным)

№ образца	Глубина, м	Н:С	$E_4:E_6$	β^*	$E^{ГК}$	λ_{max} , нм	M_1	Kd*	Кр	Исин	α^*
Разрез 1/18											
11	0,4	1,29	6,38	0,73	0,032	423	453	30	1,90	3,71	0,51
8	0,7	1,28	5,27	0,88	0,039	461	477	16	2,99	3,70	0,81
8А	0,7	1,29	6,15	0,71	0,034	436	458	22	1,83	2,76	0,66
10	0,8	1,26	6,34	0,64	0,032	422	450	28	1,82	3,36	0,54
7	1,0	1,24	6,18	0,62	0,028	416	440	24	1,78	3,25	0,55
12	1,3	1,24	6,45	Не опр.	0,030	418	443	25	2,03	3,61	0,56
Разрез 2/18											
10	0,3	1,29	6,50	0,68	0,030	423	449	26	2,08	3,72	0,56
1	0,3–0,5	1,29	5,33	0,90	0,039	459	475	16	3,51	4,33	0,81
8	0,5	1,28	6,16	0,69	0,033	433	455	22	2,57	4,11	0,62
7	0,8	1,28	6,50	0,71	0,037	427	447	20	2,24	3,45	0,63
6	1,6	1,26	6,91	0,63	0,033	420	444	24	2,24	3,74	0,60

Примечание.

* α – коэффициент соотношения максимальных интенсивностей флуоресценции испускания гуминовых кислот в длинноволновой и коротковолновой частях спектра; β – коэффициент соотношения интенсивности полос ИК-спектров, характерных для ароматической ($\Sigma C=C$ связей) и алифатической (ΣCH_3-CH_2 связей) частей гуминовых кислот (подробности см. в разделе о методах исследования). $E^{ГК}$ – коэффициент экстинкции по Д.С. Орлову (1990). Kd – коэффициент дисперсности (см. в разделе о методах).

Определенные различия выявляются между разрезами и в других характеристиках. Так, различные количественные показатели, рассчитанные по флуоресцентным спектрам испускания гуминовых кислот, позволили выявить, что образцы, представляющие морфологически выделяющиеся повышенной гумусированностью педоседименты, отличаются от остальных всеми составляющими примененного комплекса. Они в обоих разрезах имеют относительный сдвиг положения максимума флуоресценции в сторону более длинных волн, причем абсолютные величины в них очень близки (λ_{max} – 461 нм и 436 нм в разрезе 1/18, 459 нм и 433 нм – в разрезе 2/18). У остальных ГК из педоседиментов максимум флуоресценции сдвинут в коротковолновую сторону так, что они находятся в диапазоне длин волн 416–423 нм в первом случае и 420–427 нм – во втором. Положение максимальной флуоресценции испускания ГК показывает относительную сложность структурной организации этого компонента педоседиментов и может свидетельствовать о более высокой степени их ароматичности в гумусированных горизонтах по сравнению с остальными. Это подтверждается и другими рассчитанными на основе снятых спектров флуоресценции показателями, характеризующими ГК, такими, как первый момент (M_1) и коэффициент α . Последний из них, представляя собой отношение интенсивностей флуоресценции в местах максимального ее проявления в коротковолновой и длинноволновой областях спектра на уровне количественных показателей, подтверждает разную степень алифатизации ГК, которая в гумусированных горизонтах обоих разрезов не выходит за рамки 0,81–0,62, а в других образцах составляет 0,51–0,56 в первом

разрезах и 0,56–0,65 – во втором. Преобладание алифатических группировок подтверждается и сравнением ГК из педоседиментов по коэффициенту β , полученному на основе другого независимого метода – ИК-спектрии. Коэффициент, рассчитанный по соотношению сумм интенсивности полос поглощения в области наиболее характерных для ароматической части ГК почв группировок с C=C связями и для алифатической части с $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ связями, показал, что все гуминовые кислоты относятся к алифатическому типу, поскольку величина этого коэффициента ниже 1,0. Различия в степени алифатизации гуминовых кислот, показанных при анализе коэффициента α , подтвердились: в горизонтах с наиболее явным присутствием гумусовых веществ и имеющих характеристики, свидетельствующие об их повышенной относительно других образцов ароматизации, коэффициент β не выходит за пределы 0,69–0,90, причем и для ГК из остальных образцов диапазон предела из изменчивости практически одинаков (0,62–0,73 в разрезе 1/18 и 0,63–0,71 – в разрезе 2/18). Различия в относительной сложности строения гуминовых кислот и в их полидисперсности подтверждают и другие показатели – первый момент и коэффициент дисперсности K_d (см. табл. 5). Они показывают, что среди всех гуминовых кислот по относительной сложности строения можно выделить две группы: ГК из образцов 8, 8А разреза 1/18 и 1, 8 из разреза 2/18 с относительно пониженной степенью алифатизации и полидисперсности, и ГК из образцов 11, 10, 7, 12 из первого разреза и 10, 7 и 6 – из второго, где выявлена относительно повышенная доля алифатических фрагментов, а вся совокупность макромолекул гуминовых кислот имеет более высокую полидисперсность.

Несмотря на то, что абсолютные величины и пределы изменчивости показателей, характеризующих состав, строение и свойства гуминовых кислот, выделенных из педоседиментов, в рассматриваемых разрезах различаются, достоверность этих различий, оцененная по Стьюденту, лежит в зоне неопределенности. Это позволяет рассматривать и оценивать биоклиматические условия формирования образцов из псевдоморфоз обоих разрезов в целом.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Настоящее исследование было предпринято не только для оценки возможности использования гумусовых веществ педоседиментов в качестве индикаторов состояния природной среды разных условий формирования, но и как дополнительные доказательства отсутствия покровного оледенения на севере территории Западной Сибири в сартанский период палеогеографической истории. Присутствие процесса почвообразования в конце сартанского криохрона (аналога MIS-2), которое удостоверяется приведенными выше данными, подтверждает вывод, сделанный В.С. Шейнкманом и С.Н. Седовым (Шейнкман и др., 2022; Sedov et al., 2022) о внеледниковом развитии региона в периоды криохронов. Разрезы, заложенные в урочище Раздув, где в результате добычи песка вскрылось на поверхности присутствие полигонально-жильных структур, связь которых с криогидроморфными палеопочвами, имеющими площадное распространение и зональный характер, впервые была установлена этими авторами (Sheinkman et al., 2016; Sedov et al., 2022), оказались хорошим объектом для оценки доказательных возможностей присутствия надежных признаков, фиксирующих наличие педогенного преобразования почвенной массы, находящейся на дневной поверхности в период, предшествующий концу криохрона, а также особенностей природной обстановки, в которой они формировались.

Что касается использования параметров системы гумусовых веществ и одного из наиболее специфичного ее компонента – гуминовых кислот, выделенных из педоседиментов, для выявления биоклиматических условий формирования почвы конца сартанского криохрона, нами проведено их сравнение с имеющимися результатами изучения гуминовых кислот из современных почв северных территорий Сибири: от зауральских северных территорий до приморских низменностей Севера Якутии. Было выбрано три ключевых участка с характерным набором для условий тундры и лесотундры почв, расположенных в северо-западной части Западной Сибири (участок I), на полуострове Быковского в районе Тикси (участок II) и в западной части Колымской низменности (участок III). Сравнение имеющихся в литературе данных по составу гумуса и оптическим свойствам в видимой части спектра почв северных районов Сибири (ссылки на них указаны в вводной части настоящей статьи) показало отсутствие противоречий, однако корректные и надежные сравнения можно проводить только по материалам, полученным с использованием стандартных условий, приемов, методов и методик изучения всех сравниваемых объектов. Поскольку наиболее активное влияние процесс гумусообразования оказывает на органогенные или гумусовые горизонты и сравнению подлежат гумусовые вещества педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам, в качестве сравнительного материала использовались данные, характеризующие ГВ

или ГК верхних горизонтов современных почв и образцы из этих профилей, расположенные на или внутри многолетнемерзлых пород.

Прежде всего, было проведено сравнение соотношения углерода главных групп гумусовых веществ – гуминовых кислот и фульвокислот, используя поля распределения в координатном пространстве, образуемом этими составляющими системы гумусовых веществ: $C_{ГК}$ и $C_{ФК}$.

Сначала сравнивались органогенные горизонты современных почв всех ключевых участков с результатами, полученными для педоседиментов с морфологически выраженной гумусированностью (рис. 5 А), затем были выявлены варианты с наибольшей близостью определяемых параметров (рис. 5 Б). Оказалось, что наибольшую близость педоседименты имеют к органогенным горизонтам тундровых почв, распространенных на территории тундры и лесотундры северо-западных районов Западно-Сибирской низменности.

Сравнение аналогичного показателя остальных педоседиментов с характеристиками образцов из горизонтов современных почв, находящихся под длительным влиянием многолетнемерзлых пород (рис. 6 А), показало, что они имеют сходство не только с таковыми из почв ключевого участка 1, но и с некоторыми образцами из разрезов других сравниваемых участков. Это позволяет оценивать влияние многолетнемерзлых пород на соотношение основных компонентов гумусовых веществ по образцам разной локализации.

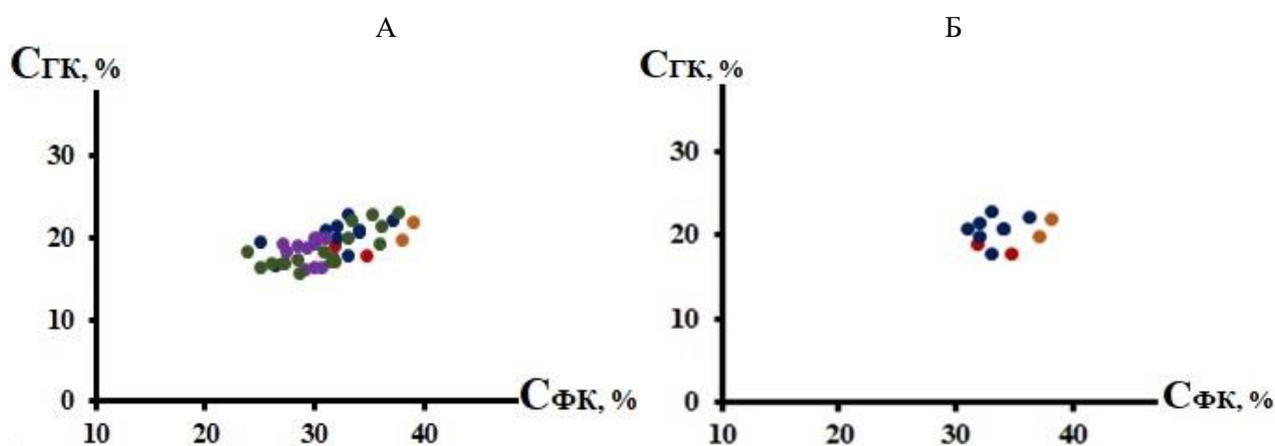


Рисунок 5. Сравнение соотношений основных компонентов системы гумусовых веществ органогенных горизонтов современных почв (ключевые участки: ● – I; ● – II; ● – III) и педоседиментов с морфологически выраженной гумусированностью разрезов Раздув: ● – разрез 1/18; ● – разрез 2/18. А – для всего массива образцов; Б – для наиболее совпадающих вариантов.

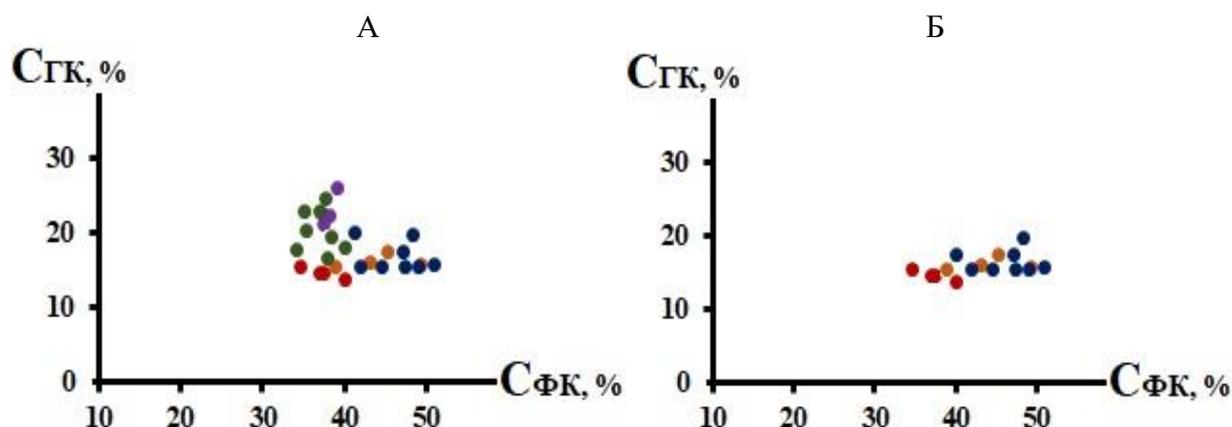


Рисунок 6. Сравнение соотношений основных компонентов системы гумусовых веществ горизонтов, расположенных на многолетнемерзлой поверхности современных почв (ключевые участки: ● – I; ● – II; ● – III) и педоседиментов разрезов Раздув: ● – разрез 1/18; ● – разрез 2/18. А – для всего массива образцов; Б – для наиболее совпадающих вариантов.

Аналогичное сравнение проведено по соотношению элементов водорода и углерода в гуминовых кислотах (рис. 7 и 8), которое показывает, что его величина в верхних горизонтах четко связана с изменением континентальности климата в направлении от почв западной части Колымской низменности к почвам северо-западной части Западной Сибири. Наибольшие совпадения просматриваются для почв последней территории и педоседиментов из псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам урочища Раздув (рис. 7 Б).

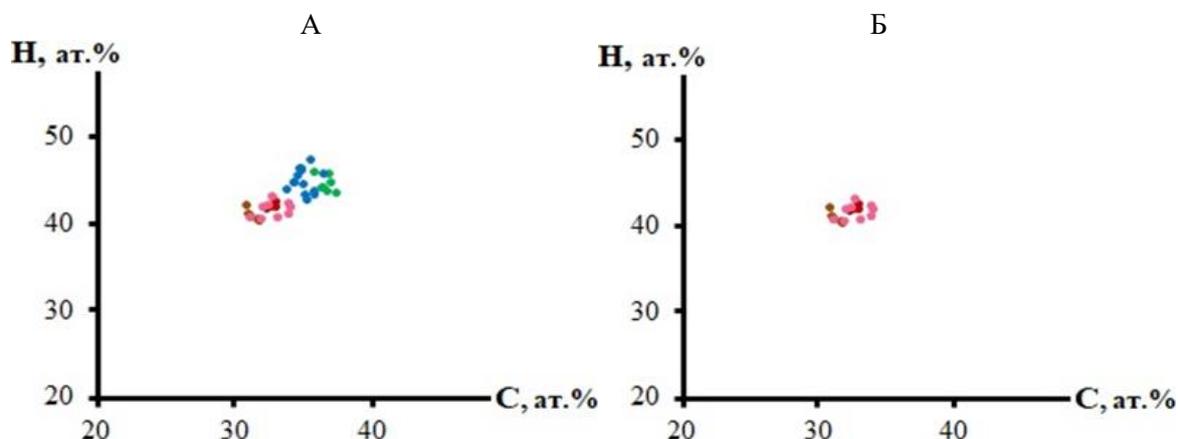


Рисунок 7. Сравнение соотношений основных элементов гуминовых кислот органических горизонтов современных почв (ключевые участки: ● – I; ● – II; ● – III) и педоседиментов с морфологически выраженной гумусированностью разрезов Раздув: ● – разрез 1/18; ● – разрез 2/18. А – для всего массива образцов; Б – для наиболее совпадающих вариантов.

Кроме того, оказалось, что аналогичная направленность изменения с востока на запад соотношения Н–С в ГК присутствует и в горизонтах с влиянием многолетнемерзлых пород современных почв (рис. 8 А), хотя большую роль при этом играют также ландшафтные условия: по этому параметру гуминовые кислоты почв арктической тундры (участок II) отличаются от таковой лесотундры и южной тундры (участки I и III). Наибольшие совпадения, как и в случае с соотношением разных групп гумусовых веществ, выявлено между показателями соотношения элементов водорода и углерода в рассматриваемых педоседиментах и современных тундровых почв северо-западной части Западной Сибири (участок I), что четко фиксируется на рис. 8Б.

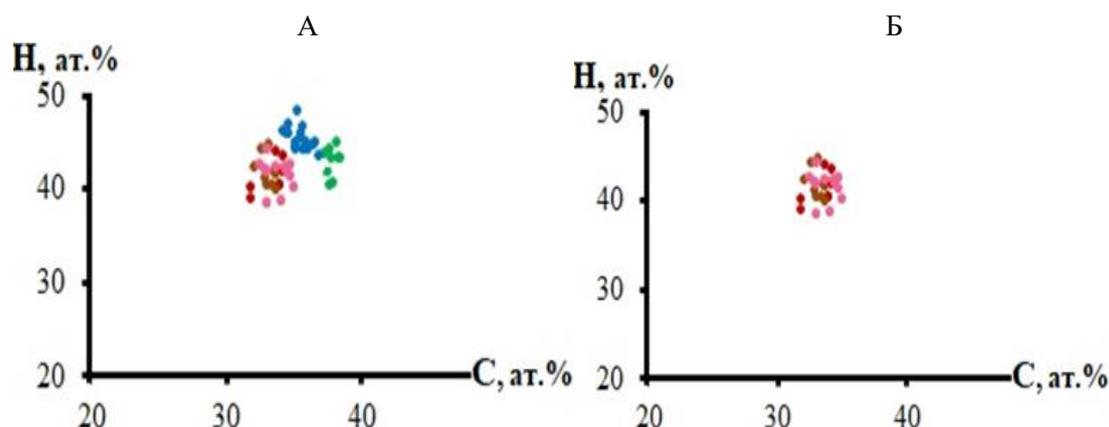


Рисунок 8. Сравнение соотношений основных элементов гуминовых кислот горизонтов, расположенных на многолетнемерзлых поверхностях современных почв (ключевые участки: ● – I; ● – II; ● – III) и педоседиментов с морфологически выраженной гумусированностью разрезов Раздув: ● – разрез 1/18; ● – разрез 2/18. А – для всего массива образцов; Б – для наиболее совпадающих вариантов.

Опираясь на имеющуюся оценку связей между разными показателями состава, структурного сложения и свойств гуминовых кислот для широкого круга регионов России в опубликованных работах (Дергачева и др., 2015; Дергачева, 2018, 2021; Бажина, Дергачева, 2021; и др.) и

показывающую тесную связь большинства используемых при диагностике и реконструкциях палеоприродной среды параметров гуминовых кислот между собой, нами рассчитаны коэффициенты корреляции климатогенно обусловленного показателя Н:С с другими характеристиками состава и свойств гуминовых кислот из педоседиментов разрезов Раздув (табл. 6).

Вычисленные коэффициенты корреляции по материалам изучения этого объекта лежат в диапазоне 0,7–0,9 за исключением одного из показателей флуоресцентных свойств ГК (α), где $r < 0,7$.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между Н:С и другими показателями состава и свойств гуминовых кислот педоседиментов из разрезов Раздув

Показатель	Коэффициент корреляции
M_1	0,88
λ_{\max} , нм	0,73
$E_4:E_6$	0,73
α	0,69
β	0,74

Поскольку приведенные в таблице 6 коэффициенты свидетельствуют об относительно тесной корреляции разных примененных нами в настоящей работе показателей состава и свойств ГК, при оценке сходства и различий изученных параметров гуминовых кислот педоседиментов и современных почв северных территорий Сибири, мы ограничимся приведенными иллюстрациями (см. рис. 5–8), которые подтверждают наибольшую близость образцов педоседиментов из разрезов Раздув и современных тундровых почв северо-западных районов Западной Сибири.

Имеющиеся данные, показывающие тесные связи величины Н:С и других характеристик ГК почв Западной Сибири разных условий формирования с длительностью периода биологической активности, определяемой по Д.С. Орлову как число дней с температурами выше $+10\text{ }^\circ\text{C}$ и запасах продуктивной влаги в почве не менее 1% (рис. 9 А), позволили в самом первом приближении оценить число дней этого периода по одному из параметров ГК (а именно, M_1), при котором формировались педоседименты, когда находились в виде почвенных горизонтов на дневной поверхности в конце сартанского криохрона (рис. 9 Б).

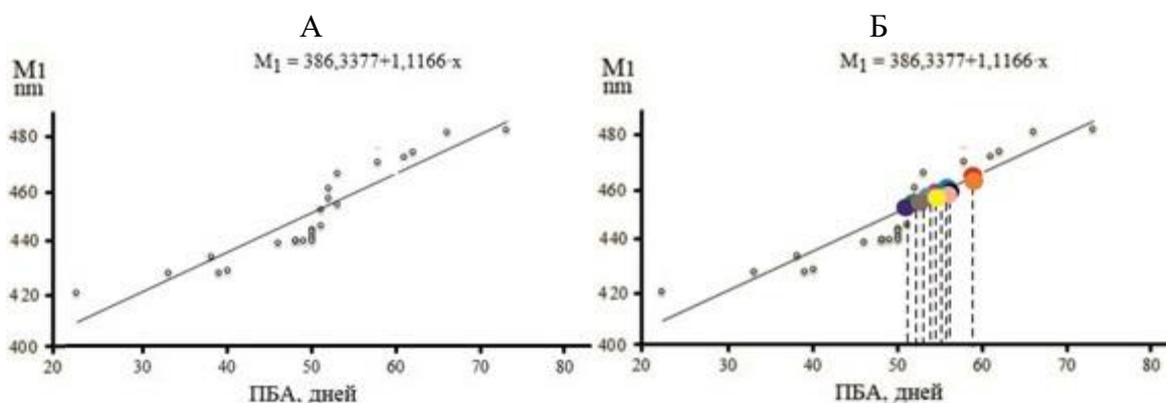


Рисунок 9. Связь первого момента M_1 (А, Б) в гуминовых кислотах почв с периодом биологической активности для современных почв лесотундры и южной тундры Западной Сибири (А); для педоседиментов из разрезов Раздува (Б).

Обозначения образцов из разреза 1/18: ● – 11 (0,4 м), ● – 8 (0,7 м), ● – 8А (0,7 м), ● – 10 (0,8 м), ● – 7 (1 м), ● – 12 (1,3 м); из разреза 2/18: ● – 10 (0,3 м), ● – 1 (0,3–0,5 м), ● – 8 (0,5 м), ● – 7 (0,8 м), ● – 6 (1,6 м).

Как показывает анализ данных (см. рис. 9), ПБА в период формирования почв, соответствующих педоседиментам с повышенной гумусностью, мог составлять около 60 дней, остальные – меньше. Результаты должны оцениваться как предварительные. Для их уточнения необходимы дополнительные материалы, характеризующие более широкий набор почв разных экологических (локальных) условий формирования, а также накопление новых данных и

экспериментальное определение длительного влияния многолетней мерзлоты на поведение гумусовых веществ почвенных образцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ всех полученных материалов показал, что характеристики гумусовой составляющей педоседиментов представляют собой две категории величин, одни из которых присущи педоседиментам из гумусированных (возможно органогенных в прошлом?) горизонтов, другие – из минеральных. В первых состав гумуса отличается гуматно-фульватным типом, пограничным положением степени гумификации между низкой и средней, более низкой степенью полидисперсности как всей совокупности гумусовых веществ, так и отделенных от них гуминовых кислот, положением максимума флуоресценции испускания последних в области длин волн, лежащих после 430 нм, более высокими относительно остальных образцов абсолютными величинами коэффициентов α , β и значениями первого момента M_1 , показывающими повышенное содержание в ГК сопряженных связей или более высокую их ароматичность. В остальных образцах выявлен фульватный состав гумуса, низкая степень гумификации органического вещества, повышенная степень дисперсности гумусовых веществ как в целом, так и гуминовых кислот, положение максимума флуоресценции испускания ГК в низковолновой синей части спектра с длинами волн ниже 427 нм, пониженными относительно предыдущих абсолютными величинами основных коэффициентов α , β , а также M_1 , показывающими более высокую степень их алифатизации.

В целом, основные параметры состава, структурных особенностей и свойств гумусовой составляющей изученных педоседиментов лежат в пределах, характерных для современных тундровых почв, распространенных в условиях лесотундры и тундры Западно-Сибирского региона. Период биологической активности в этих почвах в первом приближении составляет около 50 дней. Для уточнения длительности ПБА требуется получение и привлечение дополнительных материалов, характеризующих расширенный круг почв данного региона и установление связей между параметрами состава и свойств ГК и соответствующими климатическими показателями.

Некоторые незначительные различия в количественных величинах, характеризующих гуминовые кислоты педоседиментов из разных разрезов, могут быть обусловлены неоднозначностью локальных условий формирования палеопочв, находящихся в период их положения на дневной поверхности или некоторыми различиями в условиях и длительности их сохранности в мерзлоте.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию ИПА СО РАН (проект № 121031700309-1) и ИКЗ ТюмНЦ СО РАН (тема № FWRZ-2021-0005).

ЛИТЕРАТУРА

- Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот почв разных условий формирования // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 4. e167. DOI. <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>.
- Бажина Н.Л., Учаев А.П., Некрасова О.А., Валдайских В.В. Состав гумуса почв подошвы Восточного склона Полярного Урала (Лабытнанги) // Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого. Материалы X Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению (Новосибирск, 1–6 августа 2019 г.). Новосибирск: Новосибирский издательский дом, 2019. С. 9–14.
- Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1963. 590 с.
- Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. Москва: Мир, 1971. 319 с.
- Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулina Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
- Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. Москва: Наука, 1998. 191 с.
- Гончарова О.Ю., Владыченский А.С. Особенности гумусного состояния криоаридных почв Юго-Восточного Алтая // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2001. Том 17. № 4. С. 13–18.
- Демкин В.А., Дергачева М.И., Борисов А.В., Рысков С.А., Олейник С.А. Эволюция почв и изменение климата восточно-европейской полупустыни в позднем голоцене // Почвоведение. 1998. № 2. С. 148–157.
- Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 153 с.

- Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: пространственные и временные аспекты. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1989. 108 с.
- Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Изд-во СО РАН науч.-изд. центр ОИГТМ, 1997. 227 с.
- Дергачева М.И. Педогумусовый метод реконструкции палеоклиматов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. 1998а. С. 132–142.
- Дергачева М.И. Реконструкция условий почвообразования педогумусовым методом // Экология и почвы: избранные лекции 1–7 Всероссийской школы (1991–1997 гг.). Пушкино: Отдел научно-технической информации Пушкинского научного центра РАН, 1998б. Том 1. С. 263–283.
- Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. Москва: Изд-во URSS, 2008. С. 530–560.
- Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2018. 291 с.
- Дергачева М.И. Традиции и новаторство в Учении о гумусе почв // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 4. e172. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.172>.
- Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Ондар Е.Э., Очур К.О., Рябова Н.Н. Экологическая обусловленность состава и свойств гуминовых кислот почв западной части Тувы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 166–169.
- Дергачева М.И., Вашукевич Н.В., Гранина Н.И. Гумус и голоцен-плиоценовое почвообразование в Предбайкалье. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 206 с.
- Дергачева М.И., Гончарова Н.В., Феденева И.Н. Гумус современных почв Горного Алтая как основа диагностики природной среды и климатов прошлого. Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. Вып. 1. С. 122–133.
- Дергачева М.И., Дедков В.С. Влияние промерзания-оттаивания на органическое вещество почв Приобской лесотундры // Экология. 1977. № 2. С. 23–32.
- Дергачева М.И., Деревянко А.П., Феденева И.Н. Эволюция природной среды Горного Алтая в позднем плейстоцене и голоцене: (реконструкция по признакам педогенеза). Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии, 2006. 143 с.
- Дергачева М.И., Лаухин С.А., Феденева И.Н. Палеогеографические реконструкции Чулымо-Енисейской впадины по ископаемым почвам на примере Куртаковского археологического района. В книге: Методы естественных наук в археологических реконструкциях. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 1995. Ч. 1. С. 106–115.
- Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сибирский экологический журнал. 2012. Том 19. № 5. С. 667–676.
- Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 68–71.
- Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Эколого-гумусовые связи горных стран и возможности использования их при реконструкции палеоприродной среды // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы II Международной конференции. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2006. С. 37–42.
- Дергачева М.И., Рябова Н.Н., Ондар Е.Э. Эколого-гумусовые связи в условиях Тувы как основа реконструкции палеоприродной среды // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: материалы VII Международной конференции (Кызыл, 19–23 сентября 2005 г.). Кызыл: Изд-во Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 2005. Том 1. С. 134–137.
- Захарова Е.Г., Дергачева М.И., Каллас Е.В., Бажина Н.Л. Специфика гумусовых профилей чернозёмов левобережья реки Оби в пределах Приобского плато // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e214. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214>.
- Золотарева Б.Н., Демкин В.А. Гумус палеопочв археологических памятников сухих степей Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2013. № 3. С. 291–302.

- Золотарева Б.Н., Фоминых Л.А., Холодов А.Л., Ширшова Л.Т. Состав гумуса разновозрастных погребенных почв тундровой зоны // Почвоведение. 2009а. № 5. С. 540–550.
- Золотарева Б.Н., Фоминых Л.А., Ширшова Л.Т., Холодов А.Л. Состав гумуса мерзлотных почв Большеземельской и Колымской тундр // Почвоведение. 2009б. № 1. С. 42–55.
- Зыкина В.С., Зыкин В.С. Лёссово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.
- Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Опыт характеристики природы почвенных гуминовых кислот с помощью спектроскопии // Доклады Академии наук СССР. 1950. Том 72. № 1. С. 125.
- Коркина Е.А., Русаков А.В., Головлева Ю.А. Динамика биогеохимического цикла углерода в плейстоцен-голоценовый период // Изменения климата и углеродная нейтральность: вызовы и возможности. Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции (Ханты-Мансийск, 10 июня 2022 г.). Ханты-Мансийск: Общество с ограниченной ответственностью "Печатный мир г. Ханты-Мансийск", 2022. С. 23–28.
- Курбанова Ф.Г. Почвы археологических памятников как индикаторы динамики природной среды центра Русской равнины во второй половине голоцена. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 2021. 26 с.
- Лаврик Н.Л. Изучение полидисперсных свойств молекул гуминовых кислот с помощью люминесцентной спектроскопии // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Том 11. № 5. С. 751–755.
- Лбова Л.В., Резанов И.Н., Калмыков Н.П., Коломиец В.Л., Дергачева М.И., Феденева И.Н., Вашукевич Н.В., Волков П.В., Савинова В.В., Базаров Б.А., Намсараев Д.В. Природная среда и человек в неоплейстоцене (Западное Забайкалье и Юго-Восточное Прибайкалье). Улан-Уде: Изд-во БНЦ СО РАН, 2003. 208 с.
- Лбова Л.В., Резанов И.Н., Коломиец В.Л., Савинова В.В., Дергачева М.И., Вашукевич Н.В., Перевалов А.В., Резанова В.П., Калмыков Н.П. Изменения природной среды и климата в позднем плейстоцене и голоцене в Центральной зоне Западного Забайкалья: по данным изучения георхеологических объектов онинского комплекса. В книге: Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. Вып. 2. С. 288–301.
- Макеев А.О. Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. Москва: ЗАО «Молнет», 2012. 300 с.
- Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах / сост. В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. Ленинград, 1975. 105 с.
- Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
- Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 334 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. Москва: Наука, 1996. 258 с.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 273 с.
- Паркер С. Фотолюминесценция растворов. Москва: Мир, 1972. 510 с.
- Преч Э., Бюльманн Ф., Афвольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. Москва: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 438 с.
- Седов С.Н., Хохлова О.С., Сеницын А.А., Коркка М.А., Русаков А.В., Ортега Б., Соллейро Э., Розанова М.С., Кузнецова А.М., Каздым А.А. Позднеплейстоценовые палеопочвенные серии как инструмент локальной палеогеографической реконструкции (на примере разреза Костенки 14) // Почвоведение. 2010. № 8. С. 938–955.
- Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. Москва: МГУ, 2012. 55 с.
- Тихова В.Д., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Шакиров М.М. Использование кислотного гидролиза для анализа состава гуминовых кислот разного генезиса // Журнал прикладной химии. 2008. Том 81. № 11. С. 1841–1846.
- Тихова В.Д., Шакиров М.М., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Каллас Е.В., Орлова Л.А. Исследование гуминовых кислот ископаемых почв разного возраста аналитическими методами // Журнал прикладной химии. 2001. Том 74. № 8. С. 1343–1347.
- Трофимов С.Я., Якименко О.С., Седов С.Н., Зазовская Э.П., Дорофеева Е.И., Олейник С.А., Горшкова Е.И., Демин В.В. Особенности состава и свойств органического вещества почв древних поселений // Почвоведение. 2004. № 9. С. 1057–1066.

Тюрин И.В. Географические закономерности гумусообразования. В книге: Труды юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. Москва: Изд-во АН СССР, 1949. С. 85–101.

Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. Москва–Ленинград: Сельхозгиз, 1937. 287 с.

Учаев А.П., Некрасова О.А., Дергачева М.И. Диагностика палеоприродной среды лесостепной зоны Южного Урала на границе Брюнес-Матуяма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Том 42. № 2. С. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-142-151>.

Феденева И.Н. Гумус и позднеплейстоценовое почвообразование в континентальных районах Евразии. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Томск, 2004. 35 с.

Шейнкман В.С., Седов С.Н., Безрукова Е.В. Палеоэкология севера Западной Сибири в последнюю холодную эпоху плейстоцена: новые свидетельства и сценарии // Экосистемы: экология и динамика. 2022. Том 6. № 4. С. 71–88. DOI: <https://doi.org/10.24412/2542-2006-2022-4-71-88>.

Шейнкман В.С., Седов С.Н., Андроханов, В.А. Криогидроморфные палеопочвы севера Западной Сибири как индикаторы тёплых стадий позднего плейстоцена и их связь с ходом криогенеза // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 3. e236. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.236>.

Швец А.А. Методические указания к лабораторным работам по применению инфракрасной спектроскопии в химии. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 1994. 25 с.

Эллиот А. Инфракрасные спектры и структура полимеров. Москва: Мир, 1972. 160 с.

Юдина Н.В., Тихова В.Д. Структурные особенности гуминовых кислот торфов, выделенных разными способами // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 93–96.

Якименко О.С., Седов С.Н., Соллейро Д. Гумусное состояние современных и погребенных вулканических почв Мексики и его значение для палеогеографической интерпретации тейропочвенных серий // Почвоведение. 2007. № 3. С. 302–309.

Aseyeva E., Makeev A., Kurbanova F., Kust P., Rusakov A., Khokhlova O., Mihailov E., Puzanova T., Golyeva A. Paleolandscape reconstruction based on the study of a buried soil of the Bronze age in the Broadleaf forest area of the Russian Plain // Geosciences. 2019. Vol. 9. No. 3. P. 111. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9030111>.

Dergacheva M. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia // Quaternary International. 2003. Vol. 106–107. P. 73–78. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3).

Dergacheva M., Fedeneva I., Bazhina N., Nekrasova O., Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): Pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20–25 ka // Quaternary International. 2016 a. Vol. 420. P. 199–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.087>.

Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia) // Quaternary International. 2016 б. Vol. 420. P. 90–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.075>.

Dergacheva M., Uchaev A., Nekrasova O., Bazhina N. Permafrost soil humic acids and their use in diagnosis of environment of Pleistocene cold periods. Book of Abstracts: 5th European Conference on Permafrost (23 June – 01 July, 2018). Chamonix, 2018. P. 633–634.

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Paleosoils as the basis of environmental reconstruction in Altai mountainous areas // Quaternary International. 2003. Vol. 106–107. P. 89–101. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00164-7).

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Soilscape evolution of West Tien Shan during the Late Pleistocene based on humus properties of the Obi-Rakhmat archaeological site // Quaternary International. 2006. Vol. 156–157. P. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.004>.

Lefort J.P., Dergacheva M.I., Danukalova G., Monnier J.L., Osipova E., Bazhina N. Evidence for five short "warming" episodes during MIS 6 at the westernmost tip of continental Europe: Contribution of pedogenesis. In book: Quaternary Stratigraphy in Karst and Cave Sediments: Program, Abstracts & Guide Book of INQUA-SEQS Conference (Postojna, Slovenia, 11–17 September, 2018) / Nadja Zupan Hajna, Andrej Mihevc, Magda Aljančič (editors). Ljubljana: ZRC Publishing, 2018. P. 43–44.

Makeev A.O. Pedogenic alteration of aeolian sediments in the upper loess mantles of the Russian Plain // Quaternary International. 2009. Vol. 209. No. 1–2. P. 79–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.03.007>.

Makeev A., Lebedeva M., Kaganova A., Rusakov A., Kust P., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R. Pedosedimentary environments in the Caspian Lowland during MIS 5 (Srednaya Akhtuba reference section, Russia) // Quaternary International. 2021. Vol. 590. P. 164–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.015>.

Rusakov A., Makeev A., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Chernov T., Golyeva A., Popov A., Kurbanova F., Puzanova T. Paleoenvironmental reconstruction based on soil buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain // *Quaternary International*. 2019. Vol. 502. P. 197–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.016>.

Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E., Zazovskaya E., Yurtaev A. Sartanian (MIS 2) Ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an Indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation // *Quaternary International*. 2022. Vol. 632. P. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.002>.

Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh S., Korkina E., Korkin S., Zinovyev E., Golyeva A. First results from the late pleistocene paleosols in northern Western Siberia: Implications for pedogenesis and landscape evolution at the end of MIS 3. *Quaternary International*. 2016. Vol. 418. P. 132–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.095>.

Watanabe M., Aoki K., Sakagami K. Humus accumulation in Holocene paleosols formed in Japanese tephra // *Catena*. 1998. Vol. 34. No. 1–2. P. 35–46. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00080-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00080-0).

Watanabe M., Tanaka H., Sakagami K., Aoki K., Sugiyama S. Evaluation of Pg absorption strength of humic acids as a paleoenvironment indicator in buried paleosols on volcanic ash beds, Japan // *Quaternary International*. 1996. Vol. 34–36. P. 197–203. DOI: [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(95\)00085-2](https://doi.org/10.1016/1040-6182(95)00085-2).

Welte E. Neuere Ergebnisse der Humusforschung // *Angewandte Chemie*. 1955. Vol. 67. No. 5. P. 153–155. DOI: <https://doi.org/10.1002/ange.19550670504>.

Поступила в редакцию 08.04.2024

Принята 18.04.2024

Опубликована 23.04.2024

Сведения об авторах:

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); mid555@yandex.com; dergacheva@issa-siberia.ru

Бажина Наталья Леонидовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); bazhina@issa-siberia.ru

Шейнкман Владимир Семенович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института криосферы Земли ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН (г. Тюмень, Россия); vlad.sheinkman@mail.ru

Седов Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института криосферы Земли ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН (г. Тюмень, Россия); ведущий исследователь Института геологии Национального автономного университета Мексики (г. Мехико, Мексика); serg_sedov@yahoo.com



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Humus component of pedosediments at the end of the sartan cryochrome in the Nadym river basin (West Siberia)

© 2024 M. I. Dergacheva ¹, N. L. Bazhina ¹, S. N. Sedov ^{2,3}, V. S. Sheinkman ²

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: mid555@issa-siberia.ru

²Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Malygina 86, Tyumen, Russia. E-mail: vlad.sheinkman@mail.ru

³Institute of Geology, National Autonomous University of Mexico, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, CDMX, Mexico, Mexico. E-mail: serg_sedov@yahoo.com

The aim of the study. To assess the potential of humus substances from the pedosediments in the polygonal ice wedges pseudomorphs as indicators of the paleoecological conditions of their formation during the period of their functioning within the surface soil, using the case of the Razdov object of the end of the Sartan cryochrome (corresponding to MIS-2) in the basin of Nadym River (West Siberia).

Important comment: In this paper the terms “humus”, “humus component of soils” and the “system of humus substances” are used as synonyms.

Location and time of the study. The research was conducted in the Nadym district of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YaNAO), at the Razduv site 15 km to the north-east of the Nadym city, during the late summer 2018.

Methods: The study is based on a new methodological approach to the diagnostics of the bioclimatic conditions at the end of Sartanian cryochron in one of the northern territories of West Siberia, based on the humus substances of pedosediments which serve as indicators of paleoenvironment.

Main results. It was established that the applied indicator features of the formation conditions of the studied pedosediments, based on indicators of the composition and spectral properties of their humus component, correlated well with each other, in their totality reflecting the cold humid conditions of soil formation, similar to those for modern soils of different tundra subzones of the West Siberia.

Conclusions. The study of the specific features of composition, structure and properties of humus substances from the pedosediments in the pseudomorphs after polygonal ice wedges, dated back to the end of the Sartanian cryochron at the key section of Razduv and revealing the indicators of their formation conditions, demonstrated that the characteristics of the humus substances system and in particular one of its components, i.e. humic acids, obtained by independent methods, have high diagnostic significance for reconstructing paleoclimatic and paleoecological conditions of their formation. Characteristics of modern soils and paleosols from various parts of North Siberia, from northern Trans-Urals to the coastal lowlands in the north of Yakutia, were used as a recent reference dataset for diagnostics and reconstruction of the bioclimatic conditions of paleosol development on the land surface during MIS 2. It was confirmed that the studied samples, attributed to redeposited soil materials, i.e. pedosediments, due to their morphology in fact had undergone the phase of pedogenesis that is evidenced by the presence of humus substances, including humic acids with their typical outline of FTIR-spectra with a characteristic set of the absorption bands, individual ratio of the main structural elements and similar variation of the quantitative parameters of the fluorescence emission. The closest similarity of the composition and proportion of the main components of the humus substances system was found between the samples of the Sartanian pedosediments and the modern soils formed in the tundra conditions of West Siberia. The similarity of the main humus substances ratio, as well as the main structure-forming elements and values of all fluorescence characteristics of humic acids, especially for the samples with higher humus content and those affected by permafrost, was revealed. These results confirm that at the end of the Sartanian cryochron the pedogenesis in the vicinities of Razduv section was similar to that is now going on in the region located to the north of the study site.

Keywords: system of humus substances; humic acids; pedosediments from pseudomorphoses; diagnostics; bioclimatic conditions; end of the Sartanian cryochron; West Siberia.

How to cite: Dergacheva M.I., Bazhina N.L., Sedov S.N., Sheinkman V.S. Humus component of pedosediments at the end of the Sartanian cryochron in the Nadym River basin (West Siberia). *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(1). e263. DOI: [10.31251/pos.v7i1.263](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.263)

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700309-1 and project No. FWRZ-2021-0005).

REFERENCES

- Bazhina N.L., Dergacheva M.I. Fluorescent properties of humic acids in soils under different formation conditions. *The Journal of Soils and Environment*. 2021. Vol. 4. No. 4. e167. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>. (in Russian).
- Bazhina N.L., Uchaev A.P., Nekrasova O.A., Valdaiskikh V.V. Composition of humus in soils at the bottom of the Eastern slope of the Polar Urals (Labytnangi). In book: *Palaeosols – keepers of information about the natural environment of the past. Materials of the X International Scientific Youth School on Paleosol Science* (Novosibirsk, August 1–6, 2019). Novosibirsk: Novosibirsk Publishing House, 2019. P. 9–14. (in Russian).
- Bellamy L. *Infrared specters of complex molecules*. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1963. 590 p. (in Russian).
- Bellamy L. *New data on the IR spectra of complex molecules*. Moscow: Mir Publ., 1971. 319 p. (in Russian).
- Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Shchukin A.O., Fedulina T.G. *Infrared spectroscopy of organic and natural compounds: Textbook*. St. Petersburg: St. Petersburg State forestry academy, 2007. 54 p. (in Russian).
- Vladychensky A.S. *Features of mountain soil formation*. Moscow: Nauka Publ., 1998. 191 p. (in Russian).
- Goncharova O.Yu., Vladychensky A.S. Features of the humus state of cryoarid soils of South-Eastern Altai. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2001. Vol. 17. No. 4. P. 13–18. (in Russian).

- Demkin V.A., Borisov A.V., Ryskov Y.G., Dergacheva M.I., Oleinik S.A. Soil evolution and climate change in the semidesert zone of Eastern Europe during the late Holocene. *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. No. 2. P. 133–143.
- Dergacheva M.I. Soil organic matter: statics and dynamics. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. 153 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. The system of humic substances in soils: spatial and temporal aspects. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1989. 108 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Archaeological soil science. Novosibirsk: Publishing house SB RAS Scientific Publishing House Center OIGGM, 1997. 227 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Pedogumus method for reconstruction of paleoclimates. Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia. 1998a. P. 132–142. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Reconstruction of soil formation conditions using the pedogumus method. In book: Ecology and soils: selected lectures 1–7 of the All-Russian School (1991–1997). Pushchino: Department of Scientific and Technical Information of the Pushchino Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 1998b. Vol. 1. P. 263–283. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Humus memory of soils. In book: Memory of soils: soil as a memory of biosphere-geosphere-anthroposphere interactions. Moscow: URSS Publishing House, 2008. P. 530–560. (in Russian).
- Dergacheva M.I. The system of humic substances as a basis for the diagnosis of paleosols and reconstruction of the paleonatural environment. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2018. 291 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Traditions and innovations in the study of soil humus. *The Journal of Soils and Environment*. 2021. Vol. 4. No. 4. e172. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.172>. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O., Ryabova N.N. Environmentally induced composition and properties of humic acids in soils of Western Tuva. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2015. No. 10 (185). P. 166–169. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Vashukevich N.V., Granina N.I. Humus and Holocene-Pliocene soil formation in the Cis-Baikal region. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, "Geo", 2000. 206 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Goncharova N.V., Fedeneva I.N. Humus of modern soils of the Altai Mountains as a basis for diagnosing the natural environment and climates of the past. The main patterns of global and regional changes in climate and natural environment in the Late Cenozoic of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 2002. Vol. 1. P. 122–133. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Dedkov V.S. The influence of freezing-thawing on the organic matter of soils in the Ob forest-tundra. *Russian Journal of Ecology*. 1977. No. 2. P. 23–32. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Derevyanko A.P., Fedeneva I.N. Evolution of the natural environment of the Altai Mountains in the Late Pleistocene and Holocene: (reconstruction based on the characteristics of pedogenesis). Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography, 2006. 143 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Laukhin S.A., Fedeneva I.N. Palaeogeographic reconstructions of the Chulym-Yenisei depression based on fossil soils using the example of the Kurtak archaeological region. In book: Methods of natural sciences in archaeological reconstructions. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 1995. Part 1. P. 106–115. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Okoneshnikova M.V., Vasilyeva D.I., Gavrilov D.A., Ochur K.O., Ondar E.E. The ratio of elements in humic acids as a source of information about the natural environment of soil formation. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2012. Vol. 19. No. 5. P. 667–676. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ryabova N.N. Correlative connections between the composition of humus and climatic indicators in the conditions of mountainous areas of southern Siberia. *Tomsk State University Journal*. 2005. No. 15. P. 68–71. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ryabova N.N. Ecological-humus connections of mountainous countries and the possibility of using them in the reconstruction of the paleonatural environment. In book: Soil as a connecting link in the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems. Materials of the II International Conference. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 2006. P. 37–42. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ryabova N.N., Ondar E.E. Ecological-humus connections in the conditions of Tuva as the basis for the reconstruction of the paleonatural environment. In book: Natural conditions, history and culture of Western Mongolia and adjacent regions. Materials of the VII International Conference (Kyzyl, 19–23 September, 2005). Kyzyl: Publishing house Tuva Institute for Integrated Development of Natural Resources SB RAS, 2005. Vol. 1. P. 134–137. (in Russian).

- Zakharova E.G., Dergacheva M.I., Kallas E.V., Bazhina N.L. Specificity of humus profiles of chernozems on the left bank of the Ob River within the Priob Plateau. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e214. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214>. (in Russian).
- Zolotareva B.N., Demkin V.A. Humus in paleosols of archaeological monuments in the dry steppes of the Volga-Don interfluve. *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 3. P. 262–272. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229313030149>.
- Zolotareva B.N., Fominykh L.A., Kholodov A.L., Shirshova L.T. Composition of humus in chronosequences of buried soils in the tundra zone. *Eurasian Soil Science*. 2009a. Vol. 42. No. 5. P. 496–506 <https://doi.org/10.1134/S1064229309050044>.
- Zolotareva B.N., Fominykh L.A., Shirshova L.T., Kholodov A.L. The composition of humus in permafrost-affected soils of the Bol'shezemel'skaya and Kolyma tundra areas. *Eurasian Soil Science*. 2009b. Vol. 42. No. 1. P. 36–48. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229309010050>.
- Zykina V.S., Zysin V.S. Loess-soil sequence and evolution of the natural environment and climate of Western Siberia in the Pleistocene. *Novosibirsk: Geo Publ*, 2012. 477 p. (in Russian).
- Kononova M.M. Soil organic matter. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 315 p. (in Russian).
- Kononova M.M., Belchikova N.P. Experience in characterizing the nature of soil humic acids using spectroscopy. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1950. Vol.72. No. 1. P. 125. (in Russian).
- Korkina E.A., Rusakov A.V., Golovleva Yu.A. Dynamics of the biogeochemical carbon cycle in the Pleistocene-Holocene period. In book: *Climate change and carbon neutrality: challenges and opportunities*. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference (Khanty-Mansiysk, June 10, 2022). Khanty-Mansiysk: Limited Liability Company "Pechatny Mir Khanty-Mansiysk", 2022. P. 23–28. (in Russian).
- Kurbanova F.G. Soils of archaeological sites as indicators of the dynamics of the natural environment of the center of the Russian Plain in the second half of the Holocene. *Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow*, 2021. 26 p. (in Russian).
- Lavrik N.L. Study of polydisperse properties of humic acid molecules using luminescent spectroscopy. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2003. Vol. 11. No. 5. P. 751–755. (in Russian).
- Lbova L.V., Rezanov I.N., Kalmykov N.P., Kolomiets V.L., Dergacheva M.I., Fedeneva I.N., Vashukevich N.V., Volkov P.V., Savinova V.V., Bazarov B.A., Namsaraev D.V. Natural environment and man in the Neopleistocene (Western Transbaikalia and South-Eastern Baikal region). Ulan-Ude: Publishing house BSC SB RAS, 2003. 208 p. (in Russian).
- Lbova L.V., Rezanov I.N., Kolomiets V.L., Savinova V.V., Dergacheva M.I., Vashukevich N.V., Perevalov A.V., Rezanova V.P., Kalmykov N.P. Changes in the natural environment and climate in the Late Pleistocene and Holocene in the Central zone of Western Transbaikalia: according to the study of geoarchaeological objects of the Onin complex. In book: *Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia*. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 2000. Vol. 2. P. 288–301. (in Russian).
- Makeev A.O. Surface paleosols of loess watersheds of the Russian Plain. Moscow: Molnet Publ., 2012. 300 p. (in Russian).
- Guidelines for determining the humus content in soils / compiled by V.V. Ponomareva, T.A. Plotnikova. Leningrad, 1975. 105 p. (in Russian).
- Orlov D.S. Humic acids of soils and the general theory of humification. Moscow: Publishing house Mosk. Univ., 1990. 325 p. (in Russian).
- Orlov D.S. Humic acids of soils. Moscow: Publishing house Mosk. Univ., 1974. 334 p. (in Russian).
- Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. Organic matter of soils of the Russian Federation. Moscow: Nauka Publ., 1996. 258 p. (in Russian).
- Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. Moscow: Publishing house Mosk. Univ., 1981. 273 p. (in Russian).
- Parker S. Photoluminescence of solutions. Moscow: Mir Publ., 1972. 510 p. (in Russian).
- Prech E., Buhlmann F., Affolter K. Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables. Moscow: Mir Publ.; BINOMIAL. Knowledge Laboratory, 2006. 438 p. (in Russian).
- Sedov S.N., Solleiro E., Khokhlova O.S., Sinitsyn A.A., Korkka M.A., Rusakov A.V., Ortega B., Rozanova M.S., Kuznetsova A.M., Kazdym A.A. Late pleistocene paleosol sequences as an instrument for the local paleographic

reconstruction of the Kostenki 14 key section (Voronezh oblast) as an example. *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. No. 8. P. 876–892. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229310080053>.

Tarasevich B.N. IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials. Moscow: MSU, 2012. 55 p. (in Russian).

Tikhova V.D., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I., Shakirov M.M. Analysis of humic acids from various soils using acid hydrolysis. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2008. Vol. 81. No. 11. P. 1957–1962. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070427208110177>.

Tikhova V.D., Shakirov M.M., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I., Kallas E.V., Orlova L.A. Elemental content and functional group analysis of humic acids in fossilized soils of different ages. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2001. Vol. 74. No. 8. C. 1380–1384. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013783002596>.

Trofimov S.Ya., Yakimenko O.S., Sedov S.N., Dorofeeva E.I., Gorshkova E.I., Zazovskaya E.P., Oleinik S.A., Demin V.V. Composition and properties of organic matter in the soils of ancient slavic settlements in the forest zone. *Eurasian Soil Science*. 2004. Vol. 37. No. 9. P. 927–936.

Tyurin I.V. Geographical patterns of humus formation. In book: Proceedings of the anniversary session dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.V. Dokuchaeva. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1949. P. 85–101. (in Russian).

Tyurin I.V. Soil organic matter and its role in soil formation and fertility. The doctrine of soil humus. Moscow–Leningrad: Selkhozgiz Publ., 1937. 287 p. (in Russian).

Uchaev A.P., Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. Diagnostics of the paleonatural environment of the forest-steppe zone of the Southern Urals on the border of Brunus Matuyama. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*. 2018 a. Vol. 42. No. 2. P. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-142-151>. (in Russian).

Fedeneva I.N. Humus and Late Pleistocene soil formation in continental regions of Eurasia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Tomsk, 2004. 35 p. (in Russian).

Sheinkman V.S., Sedov S.N., Bezrukova E.V. Paleoecology of the North of West Siberia in the last epoch of the Pleistocene: new evidences and scenarios. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2022. Vol. 6. No. 4. P. 71–88. DOI: <https://doi.org/10.24412/2542-2006-2022-4-71-88>. (in Russian).

Sheinkman V.S., Sedov S.N., Androkhyanov, V.A. Cryohydromorphic paleosols in the north of West Siberia as indicators of the warm stages of the Late Pleistocene and their link to the cryogenesis development. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 3. e236. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.236>. (in Russian).

Shvets A.A. Guidelines for laboratory work on the use of infrared spectroscopy in chemistry. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 1994. 25 p. (in Russian).

Elliott A. Infrared specks and the structure of polymers. Moscow: Mir Publ., 1972. 160 p. (in Russian).

Yudina N.V., Tikhova V.D. Structural features of peat humic acids isolated by different methods. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 2003. No. 1. P. 93–96. (in Russian).

Yakimenko O.S., Sedov S.N., Solleiro E. The humus status of modern and buried volcanic soils in Mexico and its role in the paleogeographic interpretation of tephra-paleosol sequences. *Eurasian Soil Science*. 2007. Vol. 40. No. 3. P. 274–280. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229307030052>.

Aseyeva E., Makeev A., Kurbanova F., Kust P., Rusakov A., Khokhlova O., Mihailov E., Puzanova T., Golyeva A. Paleolandscape reconstruction based on the study of a buried soil of the Bronze age in the Broadleaf forest area of the Russian Plain. *Geosciences*. 2019. Vol. 9. No. 3. P. 111. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9030111>.

Dergacheva M. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia. *Quaternary International*. 2003. Vol. 106–107. P. 73–78. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3).

Dergacheva M., Fedeneva I., Bazhina N., Nekrasova O., Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): Pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20–25 ka. *Quaternary International*. 2016 a. Vol. 420. P. 199–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.087>.

Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia). *Quaternary International*. 2016 б. Vol. 420. P. 90–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.075>.

Dergacheva M., Uchaev A., Nekrasova O., Bazhina N. Permafrost soil humic acids and their use in diagnosis of environment of Pleistocene cold periods. Book of Abstracts: 5th European Conference on Permafrost (23 June – 01 July, 2018). ChamoniX, 2018. P. 633–634.

- Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Paleosols as the basis of environmental reconstruction in Altai mountainous areas. *Quaternary International*. 2003. Vol. 106–107. P. 89–101. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00164-7).
- Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Soilscape evolution of West Tien Shan during the Late Pleistocene based on humus properties of the Obi-Rakhmat archaeological site. *Quaternary International*. 2006. Vol. 156–157. P. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.004>.
- Lefort J.P., Dergacheva M.I., Danukalova G., Monnier J.L., Osipova E., Bazhina N. Evidence for five short "warming" episodes during MIS 6 at the westernmost tip of continental Europe: Contribution of pedogenesis. In book: *Quaternary Stratigraphy in Karst and Cave Sediments: Program, Abstracts & Guide Book of INQUA-SEQS Conference (Postojna, Slovenia, 11–17 September, 2018)* / Nadja Zupan Hajna, Andrej Mihevc, Magda Aljančič (editors). Ljubljana: ZRC Publishing, 2018. P. 43–44.
- Makeev A.O. Pedogenic alteration of aeolian sediments in the upper loess mantles of the Russian Plain. *Quaternary International*. 2009. Vol. 209. No. 1–2. P. 79–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.03.007>.
- Makeev A., Lebedeva M., Kaganova A., Rusakov A., Kust P., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R. Pedosedimentary environments in the Caspian Lowland during MIS 5 (Srednaya Akhtuba reference section, Russia). *Quaternary International*. 2021. Vol. 590. P. 164–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.015>.
- Rusakov A., Makeev A., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Chernov T., Golyeva A., Popov A., Kurbanova F., Puzanova T. Paleoenvironmental reconstruction based on soil buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain. *Quaternary International*. 2019. Vol. 502. P. 197–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.016>.
- Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E., Zazovskaya E., Yurtaev A. Sartanian (MIS 2) Ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an Indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation. *Quaternary International*. 2022. Vol. 632. P. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.002>.
- Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh S., Korkina E., Korkin S., Zinovyev E., Golyeva A. First results from the late pleistocene paleosols in northern Western Siberia: Implications for pedogenesis and landscape evolution at the end of MIS 3. *Quaternary International*. 2016. Vol. 418. P. 132–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.095>.
- Watanabe M., Aoki K., Sakagami K. Humus accumulation in Holocene paleosols formed in Japanese tephra. *Catena*. 1998. Vol. 34. No. 1–2. P. 35–46. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00080-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00080-0).
- Watanabe M., Tanaka H., Sakagami K., Aoki K., Sugiyama S. Evaluation of Pg absorption strength of humic acids as a paleoenvironment indicator in buried paleosols on volcanic ash beds, Japan. *Quaternary International*. 1996. Vol. 34–36. P. 197–203. DOI: [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(95\)00085-2](https://doi.org/10.1016/1040-6182(95)00085-2).
- Welte E. Neuere Ergebnisse der Humusforschung. *Angewandte Chemie*. 1955. Vol. 67. No. 5. P. 153–155. DOI: <https://doi.org/10.1002/ange.19550670504>.

Received 08 April 2024
Accepted 18 April 2024
Published 23 April 2024

About the authors:

Maria I. Dergacheva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher in the Laboratory of Biogeocenology of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); mid555@yandex.ru; dergacheva@issa-siberia.ru

Natalia L. Bazhina – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); bazhina@issa-siberia.ru

Vladimir S. Sheinkman – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher in the Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tyumen, Russia); vlad.sheinkman@mail.ru

Sergey N. Sedov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tyumen, Russia); Leading Researcher in the Institute of Geology, National Autonomous University of Mexico, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, CDMX (Mexico, Mexico); serg_sedov@yahoo.com

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)