

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ.А.И.ГЕРЦЕНА

На правах рукописи

Кулькова Марианна Алексеевна

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЛАНДШАФТНО-
КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И АНТРОПОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ
В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ НА СТОЯНКАХ ДРЕВНЕГО
ЧЕЛОВЕКА ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ**

Научная специальность

1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных
ископаемых

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург

2022

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Реконструкция ландшафтно-климатических условий плейстоцена-голоцена методом геохимической индикации является важным направлением прикладной ландшафтной геохимии. Связь природных условий голоцена с социо-культурными трансформациями и изменениями природной среды в результате деятельности человека на территории Восточной Европы, является актуальной задачей для оценки палеоклимата и формирования геохимии ландшафтов. Геохимический метод позволяет выявить совокупность факторов и отдельных параметров, что дает возможность проследить глобальные и кратковременные климатические изменения, установить цикличность, влияющие на геохимию седиментогенеза, которые отражают различные палеогеографические факторы, такие как температуру, влажность, изменения уровня водоема и антропогенную активность. Использование метода для широкого спектра отложений различного генезиса дает возможность синхронизировать изменения глобальных палеоклиматических событий в различных географических зонах. В отличие от других методов реконструкции палеоклиматических условий, таких как спорово-пыльцевой, диатомовый анализы, геохимический метод позволяет установить кратковременные климатические вариации с высоким разрешением. Использование геохимических индикаторов для анализа циклических климатических изменений, их роль в глобальных процессах похолодания/потепления важны для долгосрочных прогнозов будущих ландшафтно-климатических изменений, оценки деятельности человека и экологии окружающей природной среды.

Степень разработанности темы исследования

В отношении степени разработанности темы, посвященной геохимической индикации ландшафтно-климатических событий и антропогенной активности в позднем плейстоцене-голоцене на стоянках древнего человека Восточной Европы, нужно отметить, что на данный момент корреляции с культурно-историческими событиями имеют только наиболее масштабные резкие изменения климата в голоцене, которые датируются 8,2 тыс. кал. лет BP и 5,5 тыс. кал. лет BP. Событие в 8,2 тыс. лет BP было частью периода климатического похолодания 8600–8000 кал. BP (Rohling and Pälike 2005; Thomas et al. 2007; Walker et al. 2012). Событие «собственно» длилось около 160 лет (Daley et al. 2011; Kobashi et al. 2007). Кратковременные природно-климатические эпизоды трудно сопоставить напрямую с социо-культурными трансформациями, произошедшими в тот или иной период времени и зафиксировать их продолжительность, поэтому такие реконструкции были проведены ранее только для исторического периода, связанного с так называемым, «малым ледниковым периодом» 16-18 вв. Разработка методологии геохимической индикации ландшафтно-климатических условий (Кулькова, 2012) представляет собой наиболее универсальный подход, который может быть использован для определения относительных характеристик климата на основе изменения минералого-геохимического состава отложений различного генезиса и оценку антропогенной активности, что позволяет синхронизировать изменение антропогенной активности с климатическими событиями, происходящими в тот или иной период позднего плейстоцена - голоцена. Например, исследования по реконструкции климата с помощью геохимических и изотопных маркеров в донных отложениях озер в Прибайкалье проводились на отдельных геологических разрезах и скважинах и не носили систематизированного характера.

Исследованию функциональных зон на древних поселениях с помощью геохимических маркеров, а также определению границ расположения археологических памятников, посвящены работы в основном зарубежных авторов. Наряду с уже разработанной методикой,

включающей определение фосфатных соединений, которые являются маркером деятельности древних людей, применяется также широкий спектр других геохимических элементов (калий, рубидий, свинец, цинк, медь, кальций, марганец и др.) и их соединений в отложениях на археологических стоянках (Bintliff et al., 1990; Schlezinger, Howes, 2000; Eckel et al., 2002; Linderholm, 2007; Middleton & Price, 1996, Wells, 2004, Cook et al., 2005, Wilson et al., 2005, 2009, Jones et al., 2010, Salisbury, 2012; Jenkins, 1989; Holliday, Gartner 2007; Parnell et al. 2001; Oonk et al. 2009 и др.).

Цели и задачи исследования

Цель исследования – на основе геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий и антропогенной активности на археологических памятниках разработать модель реконструкции палеоклиматических событий для позднего плейстоцена – голоцена и связанных с ними социо-культурных трансформаций на территории Восточной Европы.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Определение минералого-геохимического состава отложений различного генезиса позднего плейстоцена-раннего голоцена.
2. Установление геохимических индикаторов, характеризующих относительную температуру, относительную влажность, гидрологический режим водоема и его продуктивность, процессы эрозии и изменение антропогенной активности во времени в отложениях на выбранных эталонных многослойных археологических памятниках Восточной Европы.
3. Установление геохимических индикаторов антропогенной активности в отложениях на эталонных археологических памятниках Восточной Европы для определения функциональных зон на поселениях и пространственно-временная оценка антропогенного влияния на окружающую среду.
4. Обобщение данных, полученных методом геохимической индикации, радиоуглеродного датирования и археологической периодизации на опорных археологических памятниках различных ландшафтно-климатических зон Восточной Европы (степной и полу-пустынной зоны, лесостепной, лесной и тундровой зон) и обоснование основных этапов развития доисторических социумов, адаптации к изменениям окружающей среды в позднем плейстоцене-голоцене.
5. Создание региональных климато-хронологических схем и глобальной модели, позволяющей рассмотреть формирование, развитие и этапы трансформации природной системы в голоценовую эпоху и связанные с ней культурно-исторические процессы на территории Восточной Европы на основе оценки геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий и антропогенной нагрузки.

Научная новизна

Впервые проведено крупное обобщение минералого-геохимических данных по геологическим разрезам и скважинам на опорных археологических памятниках различных географических зон Восточной Европы и разработан комплекс геохимических индикаторов ландшафтно-климатических условий, характеризующих относительную температуру, относительную влажность, гидрологический режим водоема и его продуктивность, процессы эрозии и антропогенную активность для позднего плейстоцена-голоцена этой территории. На основе геохимической индикации были разделены антропогенная и литологическая составляющие отложений культурных слоев.

Впервые на основе применения математической статистики (методов корреляционного анализа и метода главных компонент факторного анализа) установлены ассоциации геохимических элементов, являющиеся индикаторами различных функциональных зон на археологических памятниках Восточной Европы.

Разработана модель реконструкции палеоклиматических событий в позднем плейстоцене – голоцене и социо-культурных трансформаций для региона Восточной Европы на основе геохимической индикации ландшафтно-климатических условий, археологической и радиоуглеродной периодизации и установлена корреляция с глобальными флуктуациями солнечной активности и резкими климатическими изменениями (RCC) в голоцене.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость заключается в формировании и разработке методологии геохимической индикации ландшафтно-климатических условий прошлого, основанной на определении минералого-геохимического состава отложений позднего плейстоцена-голоцена, обработке массива данных методами многомерной математической статистики и выявления геохимических индикаторов ландшафтно-палеоклиматических изменений. Разработанный подход использования геохимических индикаторов седиментогенеза может применяться в других географических зонах Земли для реконструкции палеоклиматических условий и антропогенной активности на стоянках различного археологического возраста. Выявленные кратковременные климатические циклы (RCC) для голоцена Восточной Европы фиксируются геохимическими методами в отложениях на других археологических стоянках и геологических разрезах. Геохимические маркеры могут быть использованы для корреляции глобальных климатических событий голоцена.

Полученная информация является важной для прогнозирования процессов трансформации природной среды в зависимости от внешних условий, цикличности природных процессов и влияния антропогенных факторов.

Практическая значимость заключается в применении разработанных методов в настоящее время для реконструкции ландшафтно-климатических условий на археологических памятниках других географических регионов, например, Южной Сибири. Метод геохимической индикации функциональных зон на древних поселениях может быть использован для установления границ памятников культурно-исторического значения и проведения археологической экспертизы.

Теоретические и практические разработки были опубликованы в учебно-методических пособиях «Методы прикладных палеоландшафтных исследований» и «Адаптация древних сообществ к изменениям окружающей среды в голоцене в регионах Ближнего Востока, Западной Европы, Балкан и Северного Причерноморья», часть 1, для курсов кафедры геологии и геоэкологии РГПУ им.А.И.Герцена: модуль "Методы геоэкологических исследований".

Полученные результаты используются в курсе лекций и практических занятий «Палеогеографические реконструкции условий обитания древнего человека в голоцене» 44.04.01 Педагогическое образование - Эколого-геологическое образование (магистратура)» и 05.04.06 Экология и природопользование - Геоэкология природной, антропогенной и социокультурной среды (магистратура).

Методология и методы исследования

В настоящее время увеличивается интерес к реконструкции палеоклиматических изменений методами геохимии. Методология исследования основана на применении геохимических методов для реконструкции палеоклиматических событий. Геохимические методы с 1980-х годов получили широкое распространение при литофациальном анализе осадочных пород и осадков. Наиболее ранние работы, посвященные анализам геохимических признаков и применению геохимических методов для определения условий образования различных литотипов, были проведены Страховым Н.М. (1947,1965,1966). Исследования поведения химических элементов в различных ландшафтных условиях освещены в работе А.И.Перельмана (1972). Важные разработки в изучении геохимических индикаторов для реконструкции палеоклимата проводились К.И.Лукашевым и В.К.Лукашевым, (1971, 1978).

Некоторые общие методы геохимического анализа древних и современных осадков освещены в работах Македонова А.В.(1985), А.Б.Ронова, Я.Э.Юдовича (1981), К.Б.Краускопфа (1963), В.А.Гроссгейма и др. (1984), П.П. Тимофеева(1999), Гольберга Е.Л. (2000), Я.Э. Юдовича , М.П. Кетрис (2011). Разработкой и применением минералого-геохимических маркеров для анализа процессов седиментогенеза занимались также зарубежные исследователи Bronger et al. (1998), Arbogast et al. (2000), Bor-ming Jahn at al. (2001), Ewing and Nater (2003), Kurtz, Derry (2001), и др. Были разработаны геохимические индикаторы и модули различных факторов седиментогенеза для разных генетических типов осадочных пород для разных геологических эпох. В тоже самое время, не проводилось обобщающих исследований и палеоклиматических реконструкций регионального характера для отдельных геологических провинций и сопоставление с региональными хронологическими шкалами. С развитием методов масс-спектрометрии, для реконструкции климата широко используются изотопные маркеры в природных архивах, таких как морские и озерные донные отложения, снежники, ледники и сталагмиты (Mayewski et al., 2004 ; Alley and Ágústsdóttir 2005; Seppä et al. 2007; Thomas et al. 2007; Walker et al. 2012). Эти исследования внесли большой вклад в изучение палеоклимата и сделали возможным создание детальных региональных палеоклиматических шкал, но изотопные методы исследования применимы не для любых типов отложений и имеют свои ограничения использования.

При выполнении работы была проведена оценка литературы, посвященной геохимическим индикаторам ландшафтно-палеоклиматических условий и выбрана стратегия научного исследования.

На территории Восточной Европы было выбрано 12 эталонных археологических памятников, расположенных в различных ландшафтно-климатических зонах. Археологический и геологический материал для исследований был отобран лично автором в ходе экспедиционных работ на памятниках. Проведены анализы более 1500 образцов отложений. Получено более 200 радиоуглеродных датировок по различным органическим материалам. Использование минералого-геохимических методов включало исследования отложений под бинокулярным микроскопом, метод ИК спектроскопии, рентгено-спектральный флуоресцентный анализ (XRF-WD). Для органогенных и для рыхлых отложений также определялись потери при прокаливании (LOI), которые отражают содержание органики (500°C), карбонатов и сульфатов (900°C). Для гранулометрического анализа использовался ситовой метод. Радиоуглеродный метод (жидкостной сцинтилляции и УМС) применялся для определения возраста. При непосредственном участии и под руководством автора были получены радиоуглеродные даты методом жидкостной сцинтилляции для археологических материалов и четвертичных органогенных отложений. с археологических стоянок в лаборатории изотопных исследований ЦКП «Геоэкология» РГПУ им.А.И.Герцена, и методом УМС в Университете Хельсинки, в Университете Дании. Минералого-геохимические анализы проводились на базе ЦКП «Геоэкология» РГПУ им.А.И.Герцена, ЦКП РДМИ СПбГУ. Полученные данные обрабатывались методами многомерной статистики в программе Statistica 11.0. Построение геохимических карт проводилось в программе Surfer 9.0. Для обработки массива радиоуглеродных дат применялась программа OxCal 4.4. Для построения литологических и стратиграфических колонок использовалась программа Starter 11.0.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в обосновании идеи работы, постановке цели и задач исследования, формировании методологии решения проблемы, разработке и реализации исследований, анализе и обобщении полученных данных.

Диссертационная работа является результатом многолетних исследований (2000-2020 гг.), выполненных лично автором или в рамках совместной деятельности с археологами из Государственного Эрмитажа, ИИМК РАН, МАЭ им. Петра Великого, Кунсткамера, Самарским государственным социально-педагогическим университетом и др.

Разработка методологии геохимической индикации ландшафтно-климатических условий для голоцена и анализ антропогенной активности впервые были проведены на археологических памятниках различных климатических зон, а именно Ловатско-Двинского междуречья (северо-запад России) и региона Южной Сибири (Кулькова, 2005, 2012). Полномасштабных исследований оценки влияния глобальных климатических изменений на развитие древних сообществ на территории Восточной Европы с построением кратковременных региональных шкал до сих пор не проводилось. Такой подход на основе метода геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий был впервые разработан и представлен в работах автора. Все анализы образцов, в том числе определение возраста методом радиоуглеродного датирования, проводилось при непосредственном участии автора. На археологических памятниках Восточной Европы различного возраста автором был разработан метод геохимической индикации определения функциональных зон, который позволил достоверно реконструировать области различной хозяйственной деятельности на поселениях и участки, связанные с погребальными обрядами. Разработана модель реконструкции палеоклиматических событий для позднего плейстоцена – голоцена и социо-культурных трансформаций на основе геохимической индикации ландшафтно-климатических условий и антропогенной активности. Полученные данные сопоставлены с результатами спорово-пыльцевого, диатомового анализов для изученных отложений, а также с анализом по археологической периодизации. Представленная на основе геохимической индикации и данных радиоуглеродного датирования, климато-хронологическая модель для позднего плейстоцена-голоцена, достоверно показывает периоды резких климатических изменений (RCC) в голоцене и их связь с социо-культурными преобразованиями.

Положения, выносимые на защиту:

1. На основе геохимической индикации ландшафтно-климатических условий на археологических памятниках разных географических зон Восточной Европы для позднего плейстоцена-голоцена были установлены следующие факторы, влияющие на седиментогенез на археологических стоянках: относительная температура ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), относительная влажность (CIA ; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), гидрологический режим водоема и его продуктивность ($\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), процессы эрозии ($\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) и антропогенная активность ($\text{P}_2\text{O}_5^{\text{anthr}}$ $\text{CaO}^{\text{anthr}}$).
2. На основании обобщения данных минералого-геохимических исследований отложений, полученных на опорных многослойных археологических памятниках различных ландшафтно-климатических зон Восточной Европы (степной и полупустынной зоны, лесостепной, лесной и тундровой зон), радиоуглеродной и археологической периодизации, установлены глобальные климатические события, связанные с резкими быстрыми кратковременными изменениями климата (RCC) в голоцене: 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450-4200 calBP/3500–2200 BC (4200 calBP/2200 BC) и 3200-2800 calBP/1200-900 BC, а также менее значимые климатические события (7700-7600 calBP/5700-5500 BC и 7300-7200 calBP/5300-5200 BC) и их связь с культурно-историческими трансформациями.
3. С помощью обработки геохимических данных методами многомерной математической статистики установлены основные ассоциации геохимических элементов, характеризующие литологическую (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Zr) и антропогенную (P_2O_5 , CaO, Sr) составляющие в отложениях на археологических памятниках. Антропогенное влияние на трансформацию отложений культурных слоев во времени, а также пространственное выявление жилых, хозяйственных и производственных зон в местах древних поселений определяется на основе ассоциаций геохимических элементов, таких как (P_2O_5 , CaO, Sr), (K_2O , Rb), (MnO, Ba), (Zn, Cu, Pb).
4. На основе комплексного подхода с использованием геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий и антропогенной нагрузки разработаны региональные климато-хронологические схемы и глобальная палеоклиматическая

шкала для позднего плейстоцена-голоцена. Полученная модель позволяет реконструировать особенности формирования, развития и этапы трансформации природной системы в голоценовую эпоху и связанные с ней культурно-исторические процессы на территории Восточной Европы.

Степень достоверности и апробация результатов.

Результаты исследования были представлены на более чем 40 международных и российских конференциях и симпозиумов: «Научные методы в археологии» Устронь, Польша (2001). Семинар НАТО по перспективным исследованиям «Влияние окружающей среды на миграцию людей в Евразии», Санкт-Петербург (2003); «Методы абсолютной хронологии», Устронь, Польша (2004); «Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях». Конференция, посвященная 50-летию лаборатории 14С в ИИМКе РАН. Санкт-Петербург, Россия (2007); «Радиоуглерод и Археология» 5-й Международный симпозиум, Цюрих, Швейцария (2008); 10-я Международная геологическая конференция «Геология Балтийского моря-10». Санкт-Петербург (2010); 8-я Международная конференция по мезолиту в Европе (MESO2010), Сантандер, Испания (2010); 6-й Международный симпозиум "Радиоуглерод и археология", Пафос, Кипр (2011); 34-й Международный геологический конгресс, Брисбен, Австралия (2012); Российско-немецкий коллоквиум «Принципы датирования памятников бронзового века, железного века и средневековья», Санкт-Петербургский государственный университет (2013); X Совещание по стратиграфии SMIA XI. Финляндия, Хельсинки (2016); «Культурные процессы в Циркумбалтийском пространстве в раннем и среднем голоcene». Международная научная конференция, посвященная 70-летию В.И. Тимофеева. Санкт-Петербург, Россия, МАЭ Кунсткамера (2017); 24-й неолитический семинар «Процессы неолитизации Евразии: ретроспектива и перспектива». Любляна, Словения (2018); Международная конференция «Стратегии жизнеобеспечения в каменном веке. Прямые и косвенные свидетельства рыболовства и собирательства» СПб, ИВМЦ РАН (2018); «Радиоуглерод в археологии и палеоэкологии: прошлое, настоящее, будущее», Международная конференция, посвященная юбилею Г.И.Зайцевой, Санкт-Петербург, Россия, ИИМК РАН (2020); «Неолитические культуры Восточной Европы: хронология, палеоэкология, традиции». Санкт-Петербург (2020); Международная конференция «Meso'2020 - Tenth International Conference on the Mesolithic in Europe», Тулуза, CNRS, Франция (2020); Международная конференция. 26th EAA 2020 Virtual Annual Meeting. Прага, Европейская Ассоциация Археологов, Чехия, (2020); VII Всероссийская научная конференция с международным участием имени В.В. Зайкова «Геоархеология и археологическая минералогия – 2020». Миасс, Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, (2020)

Исследования выполнялись и выполняются в рамках проектов 2018-2020 «Междисциплинарные исследования неолитических памятников Нижнего Дона и Нижней Волги: комплексный сравнительный анализ хозяйственного уклада, технологических традиций расщепления кремня и изготовления керамики» РФФИ 18-09-00568; 2018-2020 «Инновационный потенциал железа в III - начале I тысячелетия до нашей эры. от Урала до Карпат: сырье, технологии, взаимовлияния», РФФИ 18-09-40063; 2018-2020 «Междисциплинарное изучение мезолит-неолитических торфяников Верхнего Днепра и Верхней Волги», РФФИ 18-59-00007; 2019-2021 «Феномен асбестовой посуды в гончарных традициях Восточной Европы: технология изготовления и использования, структура межрегиональных контактов», РФФИ, 19-18-00375; 2021-2023 «Ракушечный Яр – эталонный памятник раннего неолита Восточной Европы и его окружение: от истоков до угасания раннеолитических традиций» РФФИ, 21-59-22008.

Публикации. По теме диссертации опубликовано в более чем 230 полнотекстовых статей, в том числе 39 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Результаты исследования также представлены в 5 совместных монографиях и 3 учебных пособиях.

Благодарности. Работа выполнена на кафедре «Геологии и геоэкологии» РГПУ им.А.И.Герцена, на базе оборудования ЦКП «Геоэкология». Автор выражает благодарность декану географического факультета Субетто Д.А., заведующему кафедры геологии и геоэкологии Е.М.Нестерову, коллегам и сотрудникам кафедры за помощь в работе, особенно М.А.Марковой, М.А.Стрельцову, Л.А.Нестеровой за помощь в радиоуглеродных исследованиях. Особую благодарность за помощь в подготовке научного доклада автор выражает профессору кафедры геохимии СПбГУ Е.Г.Пановой. Кроме того, большую помощь в работе и проведенных исследованиях оказали коллеги-археологи: профессор Самарского Государственного социально-педагогического университета А.А.Выборнов, сотрудники Государственного Эрмитажа А.Н.Мазуркевич, Е.В.Долбунова (Санкт-Петербург), Т.М.Гусенцова (Санкт-Петербург), Н.Косорукова (Череповецкий университет), М.Иванищева, М.Т.Кашуба (ИИМК РАН, Санкт-Петербург), М.М.Шахнович (Петрозаводский музей), Смольянинов Р.В., географы Т.В.Сапелко, А.Лудикова (Институт Озероведения РАН). Особую благодарность хочется выразить А.М.Кулькову и Т.А.Кульковой за помощь и поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. *На основе геохимической индикации ландшафтно-климатических условий впервые на археологических памятниках Восточной Европы для позднего плейстоцена-голоцена были установлены следующие факторы, влияющие на процесс седиментогенеза: относительная температура ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), относительная влажность (CIA ; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), гидрологический режим водоема и его продуктивность ($\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), процессы эрозии ($\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) и антропогенная активность ($\text{P}_2\text{O}_5^{\text{anthr}}$ $\text{CaO}^{\text{anthr}}$).*

Седиментогенез в эпоху голоцена на континентальной части Восточной Европы характеризуется накоплением озерных, эоловых и палеопочвенных отложений, формирующихся на субстрате плейстоценовых четвертичных отложений Восточно-Европейской равнины ледникового, водно-ледникового и эрозионно-денудационного генезиса. В свою очередь, плейстоценовые отложения наследуют минералого-геохимический петрофонд пород докембрийского кристаллического фундамента, перекрытого палео-мезо-кайнозойскими отложениями осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. Таким образом, при формировании отложений континентального генезиса в голоценовую эпоху, главными контролирующими факторами изменения литологического и минералого-геохимического составов отложений являются ландшафтно-климатические факторы, которые с одной стороны, связаны с географическими зонами Восточной Европы, а с другой, изменялись в различные периоды голоценовой истории.

Для каждой географической зоны Восточной Европы были выбраны эталонные археологические памятники (рис.1) эпох позднего плейстоцена, голоцена, на которых проводились исследования минералого-геохимического, гранулометрического составов отложений, определение возраста органических остатков методом радиоуглеродного датирования, реконструкция палеоклимата, определение его влияния на формирование культурного слоя. При выборе эталонных памятников, учитывались следующие критерии: четкая литология и стратиграфия культурных слоев, включающая комплексы разных культурно-хронологических этапов; наличие органических материалов из культурных слоев для определения возраста методом радиоуглеродного датирования.

Важным критерием является оценка антропогенной активности геохимическим методом в слоях стратиграфической последовательности памятника, которая позволяет синхронизировать изменение антропогенной активности в литологических слоях с климатическими событиями, происходящими в тот или иной период времени. Метод геохимической индикации ландшафтно-климатических условий (Кулькова, 2012, Kulkova et

al. 2012; 2014; 2016; 2019) – наиболее универсальный метод, основанный на минералого-геохимических характеристиках отложений различного генезиса, который может быть использован для определения факторов, влияющих на изменения ландшафта и климата и может применяться для отложений различного генезиса.

Рыхлые осадочные отложения отбирались на стоянках древнего человека, по разрезам с четкой литологической последовательностью, через 2-5 см. Если породы в интервале переслаиваются, отбирался образец, который характеризует обе разновидности пород, а также их контакты. Литология отложений коррелировалась с археологической стратиграфией. Общим требованием к пробам, отбираемым для минералогического, геохимического и гранулометрического исследований, является выбор представительной части породы по содержанию и свойствам минералов, величине и форме кристаллов и зерен, литологической однородности (Daszkiewicz et al. 2020). Общий вес пробы составлял около 100 грамм с учетом возможных дублей. Для геохимического анализа после каждого цикла дробления производилось контрольное просеивание, остаток додрабливается до нужного размера зёрен. Затем весь измельченный материал объединяется. Ручное сокращение производят методом многократного (не более 3-х при одном дроблении) квартования и объединения материала двух противоположных квадрантов для продолжения обработки по принятой схеме. Вследствие неоднородности распределения компонентов в крупных и мелких фракциях, перед сокращением проб производится их перемешивание, а затем квартование. Проба истирается до крупности 200 меш, 0,074мм (до состояния пудры). Далее, для порошковых проб определялись потери при прокаливании (LOI). Для рентгено-спектрального флуоресцентного анализа с использованием спектрометра «Спектроскан Макс», 300 мг пробы запрессовывались в таблетку с использованием подложки из борной кислоты.

После проведения геохимических анализов, полученные геохимические результаты обрабатывались методом многомерного статистического анализа (корреляционным и факторным анализом), для того чтобы определить главные факторы, влияющие на седиментогенез. В зависимости от минералого-геохимического состава отложений, выделяются группы химических элементов и их соединений, которые связаны друг с другом высокими корреляционными связями, что характеризует их генезис и определенные условия седиментогенеза. Таким образом, для разных генетических типов отложений можно выявить главные факторы седиментогенеза, которые характеризуются определенными геохимическими индикаторами: относительную температуру, относительную влажность, изменение гидрологического режима, антропогенное влияние. Полученные данные были сопоставлены с реконструкциями палеоклимата методами спорово-пыльцевого и диатомового анализов, если отложения были пригодными для этих методов (Рудая, 2010).

Данные, полученные при обработке геохимического состава отложений методами математической статистики (корреляционным анализом и методом главных компонент факторного анализа), подтверждались отдельными геохимическими модулями, которые также используются для реконструкций особенностей формирования осадочных отложений. Изменение относительной температуры для терригенных отложений может быть охарактеризовано по распределению титанового модуля (TiO_2/Al_2O_3) и изменению содержания в отложениях циркония (Zr) (Юдович, Кетрис, 2011). Титановый модуль, в данном случае, показывает накопление акцессорных, устойчивых к выветриванию минералов группы титана в псаммитовой фракции, а глинозема в пеллитовой фракции, которая формируется в результате более интенсивного химического выветривания в условиях теплого и влажного климата. Изменение температурного баланса также определялось на основе модулей Na_2O/K_2O , Sr/Rb , которые отражают преобразование плагиоклазовых/полевошпатовых, слюдистых, глинистых минералов в зависимости от процессов выветривания, главным образом, температурного воздействия. Разрушение калиевого полевого шпата, по данным авторов (Chen et al., 1999; 1998), происходит медленнее, чем плагиоклазов и приводит к накоплению соединений калия (K_2O) в форме слюдистых и глинистых минералов, устойчивых к последующему выветриванию.



Рис.1 Географическая карта Восточной Европы с границами географических зон (по Калущкову, 2020) с расположением эталонных археологических памятников.

Индекс Несбитта и Янга (CIA) показывает степень преобразования алюмосиликатных минералов и изменения минерального состава в результате химического выветривания, в зависимости от относительной влажности климата ($CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \times 100$ %) (Nesbitt and Young, 1982). Соотношение CaO/MgO (Ca/Mg) показывает увеличение кальция по отношению к магнию в карбонатной составляющей при преобладании аридных условий, и также использовалось для анализа изменения влажностного и температурного балансов в аридных условиях.

Соотношения $SiO_{2biog} = SiO_2 / (Al_2O_3 + SiO_2)$ и SiO_2 / Al_2O_3 использовались как показатель продуктивности водоема для донных отложений (Келлер, 1963; Кулькова 2005; Kulkova et al. 2015). Продуктивность в озере напрямую зависит от развития диатомовых водорослей, общий показатель которых может быть выражен индексом SiO_{2biog} .

Для оценки антропогенного влияния применялся индикатор $P_2O_{5antr} = P_2O_5 / (P_2O_5 + Na_2O)$ (Кулькова, 2012; Kulkova et al. 2015). Повышенные значения этого показателя хорошо коррелируют с горизонтами культурных отложений, в которых были найдены остатки материальной культуры и жизнедеятельности древних людей. Индикатор CaO_{antr} отражает накопление костных остатков и тканей и рассчитывается, как отношение CaO_{tot} к сумме CaO_{tot} и Na_2O : $CaO_{antr} = CaO_{tot} / (CaO_{tot} + Na_2O)$ (Kulkova et al. 2020). В данном случае, соотношения позволяют установить и отделить кальций и фосфор антропогенного генезиса от кальция и фосфора литогенного генезиса, которые связаны с литологической составляющей отложений. Геохимические индикаторы были использованы для озерных, пойменных, эловых/лессовых, палеопочвенных отложений, развитых в различных географических зонах на опорных археологических памятниках Восточной Европы для реконструкции ландшафтно-климатических условий.

Поздний плейстоцен

В настоящее время стоянка **Елисеевичи 1** является одним из наиболее хорошо изученных поселений поздней поры верхнего палеолита на территории Подесенья (Khlorachev et al. 2017). Она находится на северной окраине с. Елисеевичи в Жирятинском районе Брянской области Российской Федерации. Древнее поселение располагалось на участке второй надпойменной террасы р. Судости — на мысу, образованном правым берегом реки и крупной, впадающей в нее балкой и приурочено к лессовым отложениям ледникового генезиса. Палеогеографические и геолого-стратиграфические данные, а также представительная серия радиоуглеродных датировок указывают на время существования стоянки Елисеевичи 1 после максимума валдайского оледенения, то есть после 20 тыс. л. н..

Культурные слои, содержащие находки хозяйственных конструкций из костей мамонтов, залегают в толще лессовых отложений. По индикаторам антропогенной активности ($P_2O_{5antr} = P_2O_5 / (P_2O_5 + Na_2O)$ и $CaO_{antr} = CaO / (CaO + Na_2O)$) автором были установлены уровни их максимального проявления в лессовых отложениях. Фосфор, кальций и стронций являются основными компонентами, входящими в состав минеральной части костной ткани, зубов, роговых образований. При этом в процессе захоронения костных остатков образующий их структуру карбонат-апатит практически не растворим, и не выносится водными растворами. Поэтому в местах поселений, и особенно в местах захоронений людей и животных, содержание фосфора, кальция и стронция имеют сильные аномальные значения и были использованы как индикаторы антропогенной активности (Doronicheva et al. 2020a,b).

Автором проведена корреляция изменений CIA (индекс химического выветривания, чувствительный к климатическим факторам) в лессовых отложениях разреза Елисеевичи 1 и изменения глобальных температур, полученных по соотношению изотопов кислорода ($^{18}O/^{16}O$) (рис.2) в гренландских льдах и привязанных на основе данных радиоуглеродного датирования к микростратиграфической шкале (Liu, Broecker, 2013) накопления железо-марганцевых пленок в пустынных отложениях (WLM) для позднего плейстоцена, дает возможность детального анализа хронологии осадконакопления на памятнике. Опираясь на радиоуглеродную хронологию, климатическую шкалу, автором была построена климато-

стратиграфическая шкала для основных этапов заселения памятника древним человеком, приведенная в совместной публикации (Khlopachev et al. 2017).

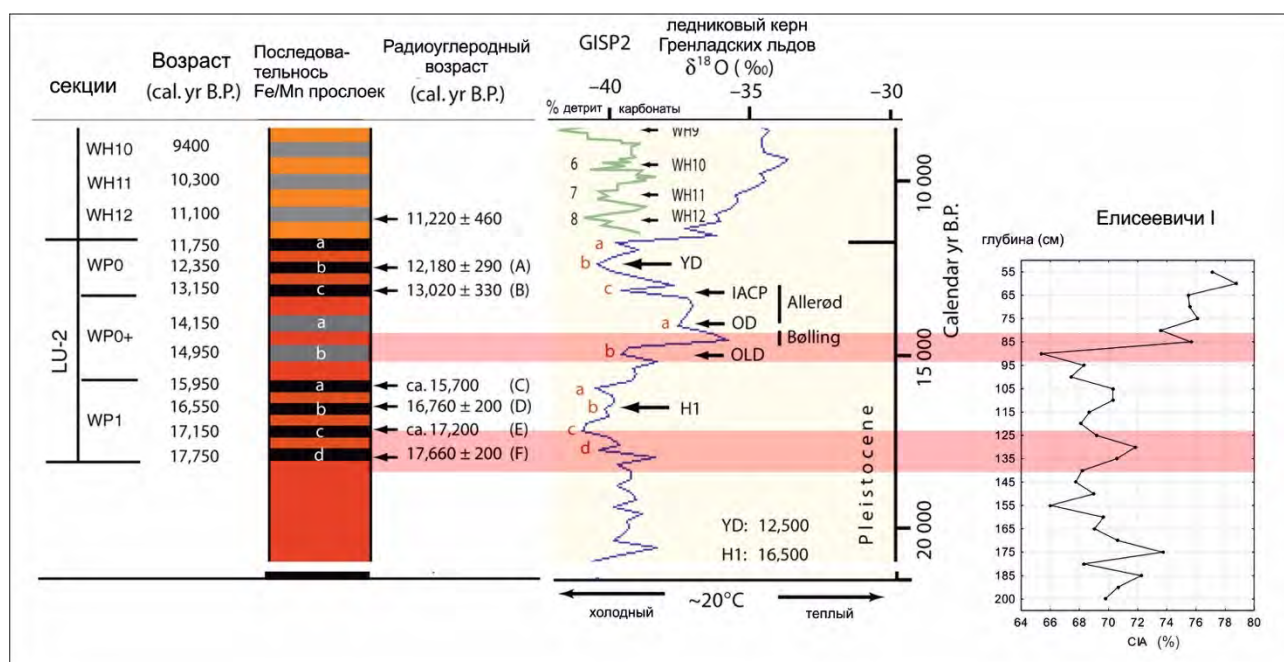


Рис.2. Корреляции кривой изменений индекса химического выветривания (CIA) в лессовых отложениях разреза «Елисеевичи I» с изменениями глобальных температур в верхнем плейстоцене по данным ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) в гренландских льдах (GISP2) и микростратиграфии Mn/Fe-пленок (WLM) (no Liu, Broecker 2013, Khlopachev et al. 2017).

Результаты в значительной степени сформировали современное представление о Елисеевическом поселении как о стоянке с длительной историей существования, включавшей три временных интервала. По результатам проведенных исследований, на стоянке определено три культурных горизонта, характеризующиеся повышенной антропогенной активностью, по данным Кульковой М.А. в (Khlopachev et al. 2017). Два из них соответствуют уровням залегания верхнего культурного горизонта и основного (нижнего) культурного слоя, а еще один, третий, соответствует уровню единичных находок кремня, залегающих в лессовых отложениях на 0,3—0,4 м ниже основного культурного слоя. Начало формирования нижнего — основного культурного горизонта, связанного с гумусированной лессовидной супесью (на глубине 140—125 см) на этом участке, происходило в прохладных климатических условиях, которые можно соотнести с похолоданием около $17\,660 \pm 200$ calBP. Дальнейшее формирование основного культурного слоя происходит в условиях потепления климата.

На глубине 125—115 см происходит изменение условий осадконакопления, начинает формироваться светло-коричневая (белесая) лессовидная супесь. Ее формирование происходит в холодных и сухих климатических условиях. По данным глобальных климатических изменений такой эпизод соответствует похолоданию около $16\,760 \pm 200$ calBP, известному также как эпизод Хайнриха I. На этом участке антропогенная активность по геохимическим индикаторам не регистрируется.

На глубине 115—105 см формирование лессовидной супеси связано с эпизодом небольшого потепления. Формирование верхнего культурного горизонта начинается на глубине 105—95 см и фиксируется отложением гумусированной лессовидной супеси, с включениями углей. Высокая антропогенная активность в отложениях, относящихся ко второму культурному слою, по данным геохимических индикаторов, фиксируется на этом участке на глубине 95—85 см. По данным корреляции с кривой климатических изменений, формирование отложений можно отнести к рубежу древнего дриаса и бellinga, около 15 000—14 500 calBP. Формирование темно-коричневого суглинка на глубине 85—50 см

происходило в условиях теплого и влажного климата. Это также подтверждается данными спорово-пыльцевого анализа.

Голоцен

Степная и полупустынная зоны Восточной Европы.

Реконструкция климатических условий для раннего-среднего голоцена была проведена на эталонных стратифицированных археологических памятниках неолита-энеолита **Алгай-Орошаемое** (Kulkova et al. 2019; Vybornov et al, 2012), расположенных в степной зоне. На этих поселениях были обнаружены наиболее ранние свидетельства неолита и энеолита на территории Восточной Европы. Поселения расположены к северу от с. Александров Гай Саратовской области на одном из мысов правого берега р. Большой Узень (Камыш-Самарский бессточный бассейн в Волго-Уральском междуречье). Отложения представлены лессовидными суглинками с культурными отложениями, разделенные стерильными, не содержащими артефактов, прослоями. Кроме того, отчетливо выделяются прослой суглинков, обогащенные гумусовой составляющей и содержащие включения растительных остатков. Минеральный состав отложений: глинистые минералы, полевой шпат, слюда/хлорит, кварц, циркон, титаномагнетит, , карбонаты, окислы и гидроокислы железа. Анализ минералогеохимического состава отложений и обработка корреляционным анализом и методом главных компонент факторного анализа позволили выявить группы химических компонентов, характеризующих основные факторы осадконакопления (Kulkova et al. 2019, Ovchinikov et al., 2020).

В 1-ю группу входят геохимические компоненты, которые составляют алюмосиликатные породообразующие минералы - Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , а также Fe_2O_3 , TiO_2 , Zr, которые входят в состав акцессорных минералов железа, титана и циркония. Высокая корреляционная связь этих компонентов регистрируется также с такими компонентами, как MnO и микроэлементами V, Cu, Cr. Эта группа отражает терригенный компонент в отложениях. По данным минералогического анализа 1-я группа геохимических компонентов отражает присутствие в отложениях минералов: полевые шпаты, слюда, кварц, глинистые минералы, гетит-гидрогетит, титаномагнетит, циркон.

2-ю группу составляют геохимические компоненты, входящие в состав карбонатов: CaO, Sr, имеют высокие корреляционные связи между собой и отрицательную корреляцию с другими химическими соединениями.

В 3-ю группу входят компоненты - P_2O_5 , MgO и Zn, которые в данном случае связаны с растительными остатками и гумусовыми органо-минеральными соединениями в лессовых отложениях. Повышенные концентрации этих компонентов наблюдаются слоях с гумусированными прослоями.

Факторный анализ ($n=30$, $R^2=0,65$) позволил выделить два главных фактора, влияющих на седиментогенез лессовидных суглинков: F1 ($\text{CaO}, \text{Sr}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{MnO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$) показывает антагонизм между компонентами группы карбонатов и группой алюмосиликатов (глинистых минералов, полевых шпатов, кварца), минералов окислов и гидроокислов железа и марганца. Положительные значения соответствуют накоплению карбонатов, которое происходит в период более сухих, аридных условий, тогда, как глинистые минералы и окислы железа формируются во влажные климатические периоды. Учитывая, что соединения марганца связаны с гумусовыми прослоями, это так же свидетельствует о влажных климатических условиях. Поэтому первый фактор может быть охарактеризован, как изменение относительной влажности. Положительные значения 1-го фактора характеризуют сухие климатические условия, а отрицательные – влажные (рис. 3). Этот фактор также подтверждается другими геохимическими модулями, показывающими изменение минерального состава в результате изменения относительной влажности климата ($\text{CIA}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ – индекс Несбитта-Янга, степень преобразования алюмосиликатных минералов в результате химического выветривания), а также соотношение

CaO/MgO, которое показывает увеличение кальция по отношению к магнию в карбонатной составляющей при преобладании аридных условий.

F2 ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Zn}/\text{TiO}_2, \text{Zr}, \text{Cr}, \text{La}$) показывает антагонизм компонентов, входящих в состав алюмосиликатов и биогенных компонентов к компонентам, входящих в состав устойчивых акцессорных минералов. Накопление глинистых алюмосиликатных минералов в совокупности с органо-минеральными и железистыми соединениями ($\text{P}_2\text{O}_5, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Zn}$) отражает более теплые условия, в то время как такие акцессорные минералы такие, как циркон, титаномагнетит могут накапливаться в более прохладные периоды. Вторым фактором в данном случае характеризует изменения относительной температуры. Эти данные коррелируют с распределением титанового модуля ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) в отложениях по разрезу. По данным Юдовича и Кетрис (2000), титановый модуль показывает накопление акцессорных минералов группы титана в псаммитовой фракции, а глинозема в пеллитовой фракции, которая формируется в процессе более интенсивного химического выветривания в условиях теплого и влажного климата. Это также подтверждается и распределением циркониевого модуля ($\text{ZrO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) в отложениях по разрезу.

Для оценки антропогенного влияния использовался индикатор $\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}} = \text{P}_2\text{O}_5 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{O})$. Повышенные значения этого индикатора хорошо коррелируют с горизонтами культурных отложений, в которых были найдены костные остатки и керамика. Модель климатических флуктуаций на основе изменения значений главных факторов (F1, F2) и антропогенного индикатора ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}}$) показана на рис.3.

Лесостепная зона

Многослойная стоянка **Доброе 9** расположена на останце первой надпойменной террасы р.Воронеж, в среднем течении бассейна р.Дон. На памятнике были обнаружены материалы эпох неолита, энеолита, раннего железного века и древнерусского времени (Смолянинов и др., 2021).

Изменения палеоклиматических показателей, влияющих на условия седиментогенеза (относительная температура, относительная влажность, степень химического выветривания), были оценены автором с помощью соответствующих геохимических модулей: $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, CIA и обсуждаются в совместной публикации (Смолянинов и др., 2021). Геохимический индекс $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ применялся для определения антропогенной активности. В нижней части отложений разреза залегает стерильный слой пойменного аллювия светло-желтого цвета. По геохимическим данным характеризуется низким показателем антропогенной активности и формируется в более сухих условиях, чем вышележащий культурный слой. Нижний культурный слой представлен серым алевритом, в котором были обнаружены артефакты раннего неолита (среднедонской культуры).

В отложениях слоя отмечается изменение значений $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, от увеличения этих показателей до уменьшения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Процесс седиментогенеза этих отложений происходил в прохладных климатических условиях, которые затем сменились потеплением и увеличением влажности. Возрастание значений CIA также маркирует переход от прохладных и сухих условий к теплым и влажным. По увлечению значений индикатора $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ можно регистрировать высокую антропогенную активность в среднем горизонте слоя. Для этого слоя характерна наибольшая доля археологических находок, представленных в том числе остатками костей млекопитающих, рыб, птиц вместе с другими артефактами, такими как кремневые изделия и керамика среднедонской культуры. Это может быть косвенным свидетельством благоприятной экологической обстановки, характеризующейся теплыми и влажными условиями в этот период. ^{14}C дата по гумусу из этого горизонта соответствует 7317-6839 calBP/5317-4839 calBC (SPb_2840)

Верхний слой, относящийся к эпохе среднего и позднего неолита-энеолита представлен темно-коричневым алевритом пойменного генезиса. Увеличение показателей $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, CIA и уменьшение - $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ свидетельствуют о влажных и теплых климатических

условиях в начале формирования этого горизонта. В отложениях были обнаружены артефакты льяловской и среднестоговской культур. По данным геохимического маркера антропогенности ($P_2O_{5\text{anthr}}$), отложения характеризуются высокой антропогенной активностью. Эти данные свидетельствуют о благоприятных климатических условиях, которые существовали в начале развития культур среднего неолита на этой территории.

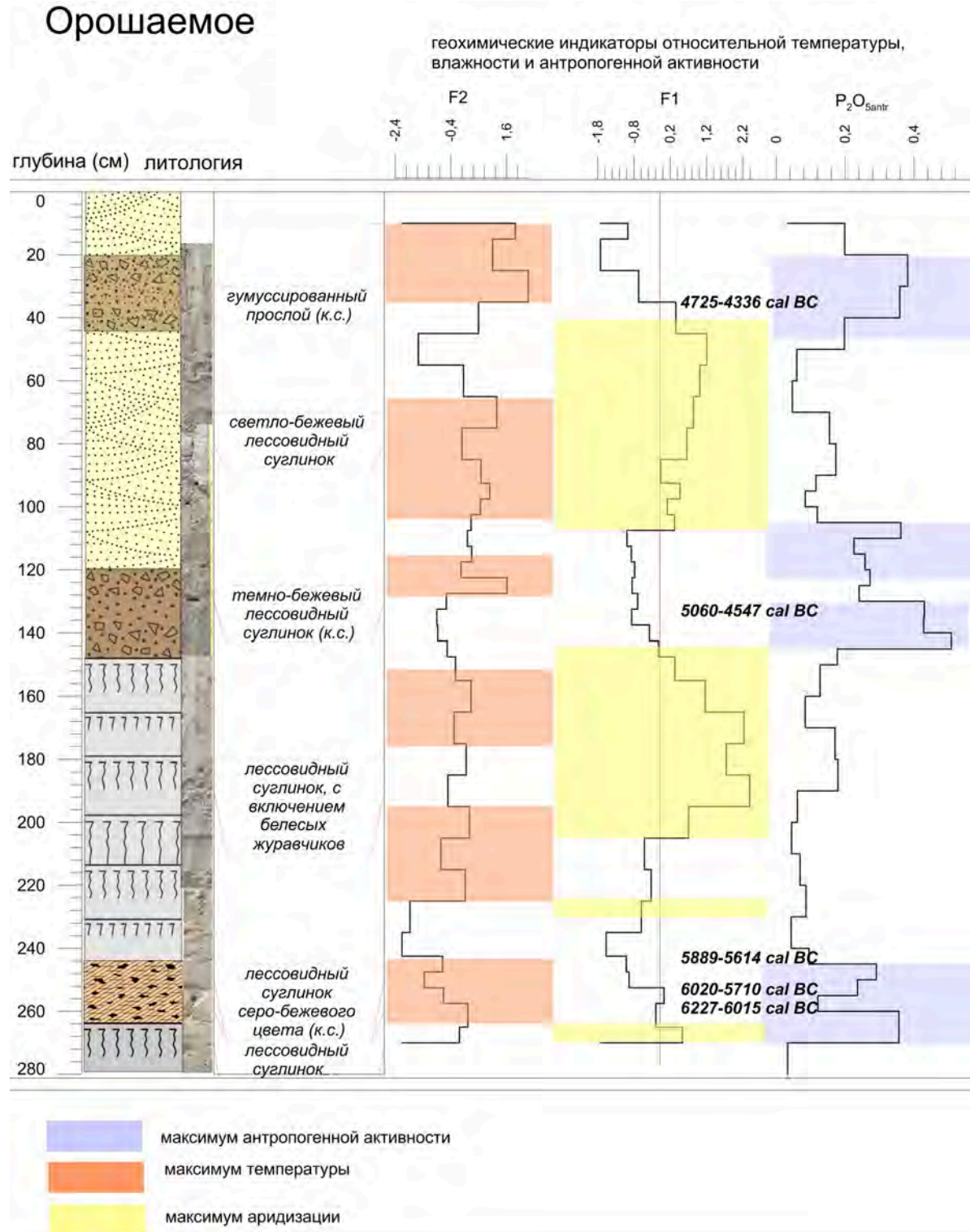


Рис. 3. Модель климатических флуктуаций и антропогенной активности на стоянке Орошаемое по данным геохимических индикаторов.

Лесная зона.

Стоянка Замостье 2 расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины, на Верхневолжской возвышенности, в верхнем течении р.Волги. Стоянка приурочена к озерной котловине, в долине р. Дубны (Lozovskaya et al. 2020), на левом берегу реки. Стоянка относится к типу торфяно-озерных поселений охотников-рыболовов. Древние поселения датирующиеся эпохой позднего мезолита - раннего неолита, включали экономическую зону древнего водоема, с комплексом структур, связанных с рыболовной деятельностью. Условия седиментогенеза сапропель-торфяных отложений (относительная влажность, относительная температура, изменение уровня воды в водоеме, антропогенное влияние) были оценены с помощью метода геохимической индикации. Для исследований были отобраны органогенные отложения, представленные сапропелем и торфом из разреза (АА-18), расположенного в пойменной части р.Дубны. В настоящее время река наследует озерные водоемы, которые были развиты здесь в начале голоцена. Минералогический состав прибрежных отложений, представленных суглинками и супесями, был установлен под бинокуляром. Обработка геохимического состава отложений методами корреляционного и факторного анализов дали возможность выделить группы геохимических компонентов, входящие в состав минеральных или органо-минеральных соединений, формирующихся в разных условиях в процессе седиментации донных отложений. Каждая группа включает компоненты, имеющие наиболее высокие корреляционные связи друг с другом:

1 группа: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , K_2O – порообразующие окислы, входящие в состав терригенных осадков, представленных глинистыми минералами, слюдой, кварцем, полевыми шпатами, с включением микроэлементов (Rb, V, Y, Nb, Zr).

2 группа: MnO , Na_2O , CaO (Ba, Sr) – компоненты, входящие в состав органо-минеральных соединений, связанных с органической составляющей сапропеля.

3 группа: Co, Ni, Cu, Zn, элементы, накапливающиеся в отложениях при увеличении восстановительных условий.

5 группа: P_2O_5 (La), $\text{CaO}_{\text{anthr}}$ - компоненты, входящие в состав антропогенных органогенных остатков, преимущественно костных остатков, накапливающихся в отложениях в результате деятельности древнего человека.

Факторный анализ ($n=23$, $R^2=0,75$) позволил выделить три главных фактора, влияющих на процесс формирования отложений:

FI (Fe_2O_3 , MnO , CaO , $\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$, Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Zr.). Положительные значения первого фактора показывают группу компонентов, входящих в состав органо-минеральной составляющей, тогда как отрицательные значения первого фактора связаны с увеличением терригенной (минеральной) доли осадка в отложениях. Первый фактор может характеризовать изменение уровня воды в водоеме. Увеличение концентраций органогенно-минеральных компонентов характеризует более глубоководные условия седиментогенеза.

FII (Co, Ni, Cu, Pb/ MnO , Fe_2O_3) показывает антагонизм группы элементов (Co, Ni, Cu, Pb), являющихся индикаторами восстановительных, бескислородных условий (положительные значения), по отношению к компонентам - индикаторам окислительных условиях (MnO , Fe_2O_3). Второй фактор устанавливает изменение гидрологического режима водоема, от открытого, аэрируемого бассейна, к бассейну, в котором происходят процессы заболачивания и разложения органики.

FIII (Al_2O_3 , SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$, CaO , Zn, La) можно связать с антропогенной активностью (отрицательные значения).

Изменения значений факторов по разрезу отложений хорошо коррелируют с другими показателями, связанными с климатическими условиями седиментогенеза, такими геохимическими модулями, как $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Rb/Sr и CIA, характеризующими относительную температуру и влажность и показателем продуктивности озера $\text{SiO}_2^{\text{biog}}$.

На стоянке были установлены эпизоды уменьшения/увеличения уровня воды в озере, периоды похолодания/потепления и связанные с ними этапы изменения в заселении стоянки

представителями различных культурных традиций, а также изменения в жизнедеятельности древнего человека. Смена археологических культур и эпох на территории стоянки Замостье 2 соответствует начальным стадиям трансгрессивных этапов развития палеоводоемов. Наиболее существенным изменением в материальной культуре местного населения, является появление керамического производства и переход к эпохе неолита, что совпадает с резкими изменениями палеоклиматических условий.

Памятник Охта 1 расположен на границе Русской платформы и Балтийско-Скандинавского кристаллического щита, на песчаном мысу, сформировавшемся после Литориновой трансгрессии (Kulkova et al. 2012; Ryabchuk et al. 2016; Kulkova et al. 2016; Gusentsova, Kulkova 2020). На Охтинском мысу, при слиянии рек Охта и Нева, была обнаружен уникальный многослойный памятник, содержащий культурные слои эпох неолита и раннего металла, раннего железного века и римского времени. Исследования песчано-алевритовых отложений разреза включали археологический, литологический, гранулометрический, минералого-геохимический, радиоуглеродный анализы.

Для реконструкции ландшафтно-климатических условий использовались геохимические индикаторы. Минеральный состав отложений включает такие минералы, как глинистые минералы, полевые шпаты, слюду/хлорит, роговую обманку, , гранат, циркон, титаномагнетит, окислы и гидроокислы железа и марганца, карбонаты. Данные гранулометрического анализа показали, что мелкозернистые пески были сформированы в морских условиях мелководного залива с активным волновым воздействием. Повышенные значения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в отложениях связаны с увеличением кварцевой составляющей, по сравнению с глинистыми и полевошпатовыми минералами, и характеризуют формирование хорошо сортированных кварцевых тонкозернистых песков в мелководном водоеме, в условиях пляжа. Повышенные значения $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ отражают преобладание окислительных условий в процессе седиментогенеза, которые возникают в хорошо аэрируемых водоемах. Индикаторы CIA, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ использовались для характеристики изменения относительной влажности. В слоях отложений, которые характеризуются повышенными значениями этих индикаторных соотношений также была обнаружена повышенная гумусированность и остатки растительности. Индикаторы $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, Sr/Rb показывают изменение относительной температуры. Изменение $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ в отложениях отражает антропогенную активность.

Изменение уровня водоема на побережье залива коррелирует с изменениями антропогенной активности, и соответственно появлением на побережье носителей различных культурных традиций.

К памятникам, расположенным на южном побережье Ладожского озера в 4 км от побережья, относятся стоянки **Подолье 1-3** (Сапелко и др. 2019; Gusentsova, Kulkova, 2020). На стоянке Подолье-1, как и на Охте 1, были выявлены разновременные деревянные рыболовные конструкции, где *in situ* сохранился культурный слой. В разрезе раскопа было обнаружено два культурных слоя. Нижний культурный слой, представленный светло-желтым алевритом, переслаивается со слоем торфа. Верхний культурный горизонт состоит из песчано-алевритовых отложений с прослоями черных органических отложений. Слои перекрываются плотным серым суглинком. Для реконструкции палеоландшафтно-климатических условий на памятнике были использованы методы минералого-геохимических анализов, а также спорово-пыльцевого анализа, диатомового анализа, гранулометрический анализы (Gusentsova, Kulkova, 2020, Сапелко и др, 2019). Возраст отложений и артефактов был определен с помощью радиоуглеродного анализа. Основные геохимические индикаторы, которые были использованы, $\text{SiO}_{2\text{biog}}$ для определения продуктивности водоема и уровня воды в водоеме, $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ изменение антропогенной активности, CIA – изменение относительной влажности. Изменение антропогенной активности имеет хорошую корреляцию с этапами появления носителей различных культурных традиций на стоянке. Трансгрессивная фаза Ладожского озера приводит к затоплению стоянки и покиданию ее людьми (рис.4).

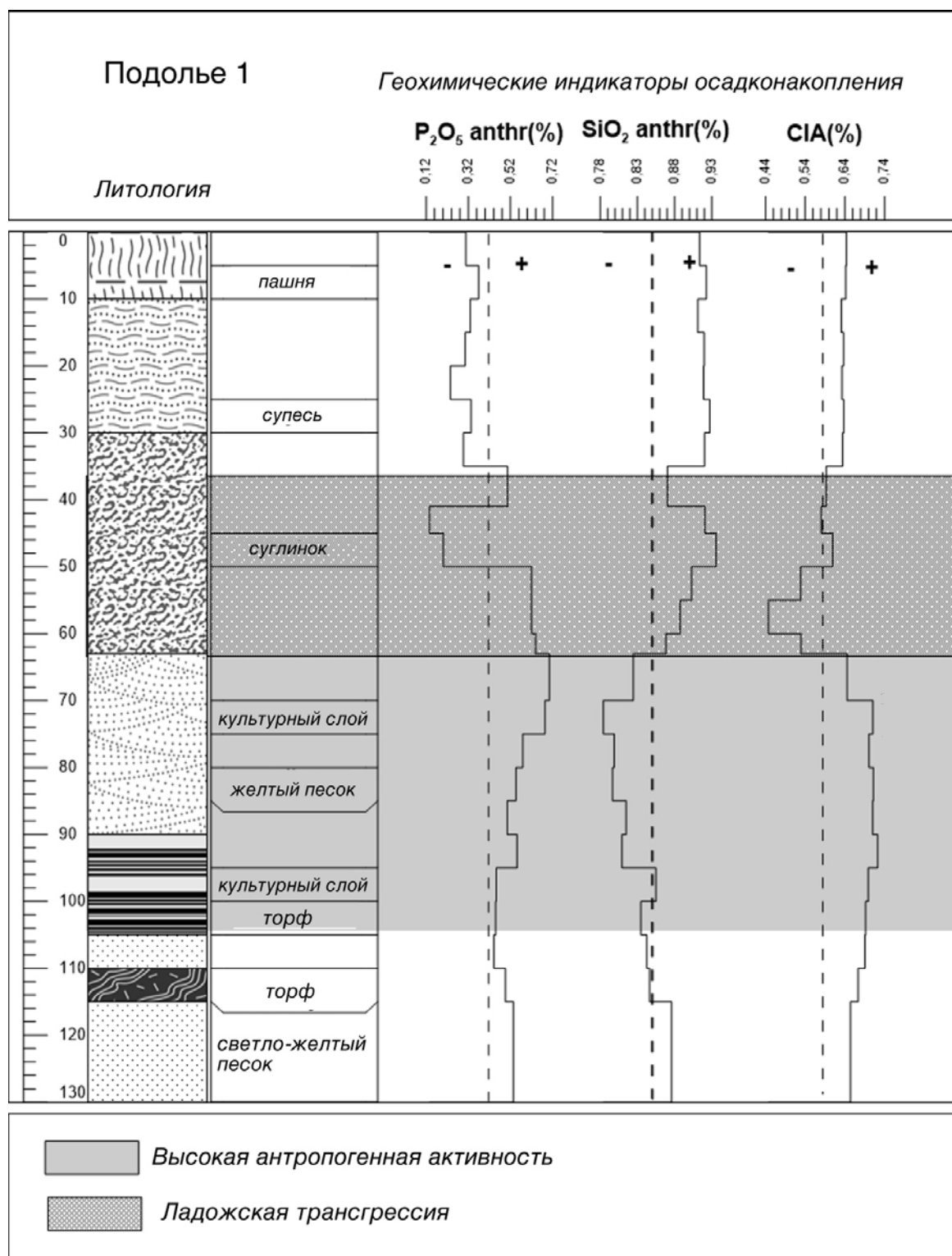


Рис.4. Реконструкция процесса седиментогенеза на стоянке Подолье 1 по данным геохимического анализа

Сертейский археологический микрорегион.

Сертейский археологический микрорегион расположен в бассейне Двинско-Ловатского междуречья, в южной части Псковской и северо-западной части Смоленской области.

Древние озера в районе Сертейского археологического микрорегиона сформировались после отступления ледника и располагались цепочкой, разделяясь узкими перешейками, которые размывались в периоды повышения уровня воды. По их берегам, а также и в центральных частях озерных котловин расположены уникальные археологические памятники, которые датируются от 8-го тыс. до н.э. до 10 в. н.э. В настоящее время озерные котловины заболочены и унаследованы узким руслом реки Сертейки, которая впадает в р. Западную Двину. Для реконструкции методом геохимической индикации ландшафтно-климатических условий были изучены торфо-сапропелевые озерные отложения скв. 63 в Большой Сертейской озерной котловине (лимнической зоне) (Kulkova et al. 2015, Kulkova et al. 2016). Данные по другим разрезам и скважинам также были опубликованы (Кулькова, 2005; Kulkova, 2012; Mazurkevich et al. 2012). Минеральный состав отложений включает глинистые минералы, полевошпатовые минералы, слюды, кварц, роговую обманку, окислы железа и марганца, кальцит-ангидрит, гранат, циркон, сульфаты.

На основании корреляционного анализа геохимического состава отложений скв. 63 и 72, были установлены следующие группы геохимических компонентов с высокими корреляционными связями:

1 группа: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 – порообразующие окислы, входящие в состав терригенных осадков, представленных глинистыми минералами, слюдой, кварцем, полевыми шпатами, титаномагнетитом, апатитом.

2 группа: CaO , MnO , S , LOI – компоненты, входящие в состав органо-минеральных соединений, связанных с органической составляющей сапропеля. CaO является порообразующим элементом карбонатов, сульфатов (ангидрит). LOI (потери при прокаливании) определяют количество органической (при 500°C), карбонатной и сульфатной составляющих (при 900°C). Железо имеет высокий коэффициент корреляции с алюминием (0,81), что дает возможность предположить, что одна из форм нахождения железа в озерных отложениях – ожезненные глинистые частицы. Результаты факторного анализа позволяют выделить следующие факторы ($n=32$, $R=0,65$):

FI ($\text{TiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}/\text{CaO}, \text{C}_{\text{org}}, \text{MnO}$) показывает антагонизм терригенных компонентов, накапливающихся в мелководных условиях по отношению органо-минеральным комплексам, осаждающихся в более глубоководных условиях, характеризует изменение уровня воды в водоеме, и является в данном случае индикатором трансгрессивных/регрессивных стадий.

FII (P_2O_5 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{All elements}$). Высокая корреляция соединений железа и фосфатов отражает антропогенное влияние на водоем. Один из типов поступления концентраций железа в водоем – это процессы почвенной эрозии в результате антропогенной деятельности.

FIИ ($\text{Na}_2\text{O}/\text{All elements}$). Основная форма нахождения в данных отложениях (Na_2O) – минералы группы плагиоклаза. В условиях теплого климата альбит (натриевый плагиоклаз) подвергается изменениям в виде серицитизации и после разрушения переходит в глинистые минералы. Это позволяет сделать вывод, что увеличение соотношения Na_2O и положительные значения 3-го фактора могут быть показателем прохладного климата, в котором плагиоклаз является устойчивым. В условиях теплого климата происходит разрушение плагиоклаза и преобразование его в серицит и глинистые минералы. Разрушение калиевого полевого шпата происходит медленнее, чем плагиоклаза и приводит к накоплению K_2O в глинистых минералах и гидрослюдах. Парный коэффициент корреляции соотношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и значениями 3-го фактора составляет ($R^2=0,78$). Соотношение $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ использовалось, как показатель относительной влажности климата. Индикатор $\text{SiO}_{2\text{diat}} = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ отражает долю планктонных диатомей в отложениях, и соответственно, продуктивность водоема. Соотношение $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (парная корреляция показателя с CaO $R^2=0,76$) характеризует степень щелочности водоема при высоком окислительном потенциале. Изменение уровня воды в озерах и климатические факторы влияли на культурно-исторические этапы заселения

в регионе. Основные этапы этих трансформаций были реконструированы методом геохимической индикации.

Озеро Камышовое (Калининградская область).

Геохимические исследования, проведенные автором на озере Камышовое опубликованы в совместных работах (Kublitskiy et al., 2020; Druzhinina et al. 2020), позволяют реконструировать условия седиментогенеза и влияние на них ландшафтно-палеоклиматических и антропогенных факторов. Отложения представлены различными типами сапропелей. Были рассчитаны следующие геохимические индикаторы: индекс биогенного кремнезема, отражающий изменение продуктивности водоема (SiO_2biog). Методом главных компонент были установлены факторы седиментогенеза ($n=72$, $R^2=0,53$) (рис. 5).

FI CaO , Na_2O / SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Zr – показывает антагонизм группы компонентов, входящих в состав органо-детритовой составляющей, к группе компонентов, входящих в состав алюмосиликатных минералов, терригенной составляющей осадка. Органо-детритовые остатки наблюдаются в отложениях сапропеля в виде мелких включений раковин и створок фитопланктона. Фактор характеризует гидрологические условия седиментогенеза, трансгрессии/регрессии.

FI. Zn , Co , Pb / CaO , MnO , Al_2O_3 , характеризует окислительно-восстановительные условия водоема: положительным значениям фактора соответствуют восстановительным условиям, отрицательные – окислительным.

Сопоставление полученных данных с этапами заселения района древним населением показывает корреляцию с флуктуациями водоема и климата.

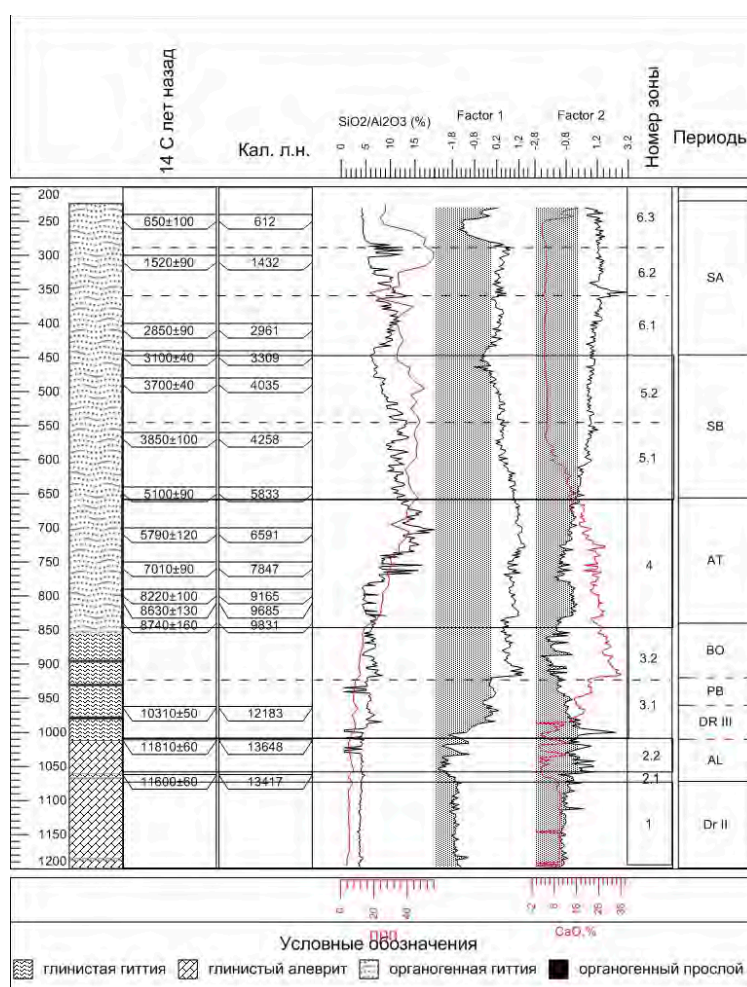


Рис.5. Изменение значений геохимических индикаторов в донных отложениях оз. Камышовое (Kublitskiy et al. 2020)

Северо-Восточный регион (Южное Прионежье, бассейн оз. Воже).

Стоянка Каравайха 4, расположенная в бассейне озера Воже, на севере Вологодской области, которое представляет собой крупный водоем в центральной части Русского Севера. Озер соединяется через речку Свидь с озером Лаче, расположенным в Архангельской области. Водосборный бассейн озер Воже и Лача представляет собой равнинную территорию с развитой речной сетью. В регионе в основном развиты мезолитические и неолитические стоянки. В неолитической традиции преобладает культура с ямочно-гребенчатой керамикой. Также представлены более поздние стоянки эпохи раннего металла. В бассейне озера Воже, наиболее ранние памятники относятся к эпохе мезолита и включают несколько торфяниковых стоянок, расположенных около бывшей деревни Погостище на реке Модлоне. Для реконструкции палеогеографических условий в период жизнедеятельности древних людей на стоянке Каравайха 4 были проведены минералого-геохимические и палинологические исследования отложений на участке памятника в торфянике (Кулькова и др. 2015; Piezonka et al. 2017). Отложения в нижней части разреза представлены тонкозернистыми песками аллювиально-озерного генезиса, в верхней части разреза залегают органогенные отложения старичного генезиса. Для характеристик изменения уровня воды в водоеме использовались показатели MnO/Fe_2O_3 – индикатор окислительных условий, SiO_{2biog} – индикатор продуктивности водоема. Для характеристики изменения антропогенной активности использовалось значение изменения фосфатов в отложениях по разрезу. Данные по геохимическому составу отложений были обработаны методом множественной корреляции:

1 группа включает компоненты, P_2O_5 (Sr), которые характеризуют антропогенную активность. В отложениях с повышенными содержаниями этих компонентов были обнаружены костные остатки и артефакты.

2 группа (Al_2O_3 , K_2O , SiO_2 , TiO_2), компоненты, входящие в состав алюмосиликатов (глинистых минералов, кварца, полевого шпата, слюды) и титаномагнетита. Эти данные подтверждаются минералогическими анализами. Изменение этих компонентов в отложениях по разрезу имеет корреляцию с цирконием (Zr), входящим, главным образом, в состав циркона, и характеризует поступление обломочного терригенного материала в водоем, окислительно-восстановительные условия были оценены по индикаторному соотношению MnO/Fe_2O_3 и вариациям (Zn). Водосборный бассейн озера Воже сформировался после исчезновения приледниковых озер, на их месте оставались различные по площади мелководные и глубоководные котловины, в которых и образовались крупные озера. Изменение уровня воды в водоемах, процессы эвтрофикации и зарастание акватории мелководных старичных озёр, уменьшение продуктивности были главным фактором, регулирующим распространение и заселение этой территории древними рыболовами-охотниками эпохи неолита.

Многослойное поселение **Тудозеро V** расположено на краю песчаной косы, которая простирается между озерами Онежским и Тудозеро. Территория занимает Прионежскую низину и юго-восточную часть Мегорско-Андомской возвышенности. Памятник Тудозеро V приурочен к отложениям эоловых песков, образующих прибрежные дюнные гряды, которые в свою очередь сформировались на песчаных прибрежных морских косах (Кулькова и др. 2014). Верхний уровень напластований поселения вмещает культурные слои от эпохи средневековья до развитого неолита с ямочно-гребенчатой керамикой. Он отделен мощной стерильной прослойкой до 1,5 м от нижнего уровня напластований, вмещающего культурные слои раннего неолита и позднего мезолита. Для характеристики относительных температурных изменений были использованы модули K_2O/Na_2O и Rb/Sr, которые отражают изменение химического состава полевошпатовой составляющей в процессе изменения температурного режима. Индекс химического выветривания (CIA) применялся для установления относительного изменения влажности. Для эоловых отложений в процессе перевевания и переноса обломочного материала происходит сортировка и перераспределение по массе и удельному весу частиц. Тонкие и легкие частицы выносятся ветром, а твердые и тяжелые накапливаются. В отложениях нижнего горизонта преобладает группа

геохимических компонентов (SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 и Zr), которые входят в состав кварца, и аксессуарных минералов (ильменит, циркон, рутил), что было установлено при исследовании минералогического состава отложений. При выдувании ветром происходит вынос легких частиц и накопление тяжелых и более прочных частиц. Как правило, такие процессы более интенсивно происходят в сухих и прохладных климатических условиях. Для характеристики изменения антропогенной активности использовался показатель изменения содержания фосфатов (P_2O_5) в отложениях по разрезу. Отложения с высокими показателями антропогенной активности, соответствующие культурным слоям чередуются с отложениями с низкой антропогенной активностью, что позволяет выявить неблагоприятные условия для заселения стоянки.

На основании полученных минералого-геохимических результатов различных генетических типов отложений, сформировавшихся в период позднего плейстоцена-голоцена на каждой из исследованных археологических стоянок, расположенных в различных географических зонах на территории Восточной Европы, были установлены индикаторные соотношения компонентов или групп компонентов, отражающих влияние палеоклиматических условий и древней антропогенной активности на процесс седиментогенеза. На основании этих индикаторов могут быть установлены следующие палеоклиматические характеристики: относительная температура ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), относительная влажность (CIA; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), гидрологический режим водоема и его продуктивность ($\text{SiO}_{2\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), процессы эрозии ($\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), связанные с выпадением осадков, и антропогенная активность ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ $\text{CaO}_{\text{anthr}}$).

2. На основании обобщения данных минералого-геохимических исследований отложений, полученных на опорных многослойных археологических памятниках различных ландшафтно-климатических зон Восточной Европы (степной и полу-пустынной зоны, лесостепной, лесной и тундровой зон), радиоуглеродной и археологической периодизации, установлены глобальные климатические события, связанные с резкими быстрыми кратковременными изменениями климата (RCC) в голоцене: 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450-4200 calBP/3500–2200 BC (4200 calBP/2200 BC) и 3200-2800 calBP/1200-900 BC, а также менее значимые климатические события (7700-7600 calBP/5700-5500 BC и 7300-7200 calBP/5300-5200 BC) и их связь с культурно-историческими трансформациями.

Степная зона. Памятники эпохи неолита-энеолита Алгай и Орошаемое 1.

Реконструкция климатических условий формирования отложений на памятниках Алгай и Орошаемое (Нижнее Поволжье) была выполнена с помощью метода геохимической индикации процессов осадконакопления и сопоставлена с данными радиоуглеродного анализа и почвенных исследований (Kulkova et al. 2019, Ovchinnikov et al., 2020). Радиоуглеродные даты, полученные для органических остатков из культурных слоев стоянок Алгай и Орошаемое (Vybornov et al., 2020; Kulkova et al., 2019; Ovchinnikov et al. 2020), показывают хронологию заселения памятников. В начальный период заселения стоянок регистрируются прохладные и сухие условия, около 8200 calBP/6200 calBC районе расположения памятников Алгай и Орошаемое. После этого климатического периода, в отложениях регистрируются первые следы антропогенной активности на стоянках В последний этап или сразу же после окончания этапа сильной аридизации климата, на памятнике Орошаемое появляются первые свидетельства носителей орловской неолитической культуры.. Около 8000calBP/6000 calBC по данным геохимических исследований могут быть охарактеризованы, как теплые и умеренно влажные. В отложениях этого времени на памятнике Алгай антропогенная активность низкая. Распространение носителей орловской культуры на стоянке Орошаемое относится к периоду 7900-7615 calBP/5900-5615 calBC. На стоянке Алгай начало появления носителей этой культуры датируется 7800-7650 calBP/5800-5650 calBC. Благоприятные

условия, которые характеризуются некоторым повышением влажности (но были еще достаточно сухими, по сравнению с современным периодом) продолжались в этом районе примерно до 7500 calBP/5500 calBC. Начиная с этого времени, происходит следующий этап аридизации климата. Носители раннего и среднего этапов орловской культуры появляются на памятнике Алгай в благоприятные кратковременные периоды, чередующиеся сухими и прохладными условиями, максимум которых фиксируется около 7050 calBP/5050 calBC. На стоянке Алгай, по данным геохимической индикации, начало аридизации регистрируется около 7656-7566 calBP/5656-5566 calBC. Периодом 7600-7470 calBP/5600-5470 calBC датируется первый этап орловской культуры. Небольшое увеличение влажности на стоянке Алгай фиксируется около 7350-7120 calBP/5350-5120 calBC. В слоях этого времени фиксируется высокая антропогенная активность. Носители среднего этапа орловской культуры относятся к этому периоду. Максимальная аридизация климата и теплые климатические условия регистрируются в отложениях на памятниках Алгай и Орошаемое около 7050 calBP/5050 calBC. В отложениях этого времени фиксируется низкая антропогенная активность. Увеличение аридизации климата приводит к полному покиданию стоянок носителями орловской культуры. Выделяется этап сильной аридизации климата около 7100-7000 calBP/5100-5000 calBC. В районе расположения памятников Алгай и Орошаемое переход к влажным и теплым климатическим условиям (к климатическому оптимуму) происходит после 7050 calBP/5050 calBC. Именно в период 7000-6900 calBP/5000-4900 calBC появляются носители прикаспийской культуры. На стоянке Алгай, этап появления носителей прикаспийской культуры произошел также во время влажных и теплых условий, около 6900-6366 calBP/4900-4366 cal BC. Это достаточно благоприятный климатический период, который способствовал продвижению лесов по долинам рек на юг и распространению широколиственных лесов по данным спорово-пыльцевого анализа. Следующий этап аридизации климата начинается около 6700-6500 calBP/4700-4500 cal BC. Период аридизации в степной зоне также датируется по литературным источникам ко времени 6500-6400 calBP/4500-4400 calBC (Болиховская, 2011). На памятнике Орошаемое появление носителей хвалынской культуры относится к периоду 6700-6300 calBP/4700-4300 calBC, это происходит в конце эпизода сильной аридизации. В отложениях этого возраста фиксируются высокие значения антропогенных индикаторов и были найдены остатки артефактов. Начало развития хвалынской энеолитической культуры связано с периодом улучшения климатических условий в зоне степи. Одним из важных климатических показателей в степной зоне является влажность и такой показатель, как коэффициент увлажнения, отражает соотношение тепла и влаги и определяет направление и интенсивность большинства природных процессов и развития ландшафтов.

Лесо-степная зона. Многослойная стоянка Доброе 9 (Среднее Подонье)

Отложения серого мелкозернистого алевроита, который относится к нижнему культурному слою, с артефактами эпохи неолита (среднедонской культуры) сформировались в переходный период, около 7317-6839 calBP/5317-4839 calBC (Смольянинов и др. 2020). Можно предположить, что нижний культурный слой был сформирован в переходный этап от прохладного климата к теплому и влажному и относится к стадии Атлантического максимума. Обилие археозооматериала свидетельствует о развитом промысле. Видовой состав находок говорит, о развитии лесной растительности. В период развития Атлантического климатического оптимума голоцена около 5000 лет до н.э. (Спиридонова, 1991) на территории Верхнего Дона формируется лесо-степь. Третий этап развития среднедонской культуры по археологическим данным отмечен как время установления контакта неолитических культур с энеолитическим населением юга. На территории Верхнего Дона происходит переход к нестабильным условиям, что также может служить физико-географической причиной повышения интереса южного населения к северным территориям более богатым природными ресурсами. Темно-коричневый алевроит относится к верхнему культурному горизонту, в нижней части отложений которого, были обнаружены

артефакты льяловской и среднестоговской культуры. По данным геохимической индикации отложения характеризуется высокой антропогенной активностью, были сформированы в условиях влажного и теплого климата. Отложения с находками бронзы в пределах верхнего культурного слоя датируется по гумусу 3900-3500 calBP/1886-1498 calBC и коррелируют по климатическим характеристикам с началом позднего Суббореала, что характеризует, в целом, климатические условия, как относительно влажные и теплые. Для этого времени характерно уже развитие лесостепного ландшафта (Болиховская, 2010) на данной территории.

Лесная зона. Стоянка Замостье 2 (эпоха мезолита-неолита)

На озерно-торфяниковой стоянке Замостье 2 начало формирования озерных отложений относится к бореальному периоду (Lozovskaya et al. 2020). В это время по данным геохимических индикаторов климатические условия можно охарактеризовать, как прохладные (невысокие значения соотношений K_2O/Na_2O и Rb/Sr) и сухие (низкие значения индекса химического выветривания CIA), фиксируются следы антропогенной активности. Отложения были сформированы в условиях трансгрессии в мелководном, хорошо аэрируемом водоеме, регистрируется обогащение отложений детритовой органической составляющей (включения остатков раковин) и увеличение геохимических индикаторов, характеризующих окислительные условия в водоеме. В это время озеро представляет собой открытый, хорошо аэрируемый водоем. Климат можно охарактеризовать, как переход к более теплым и влажным условиям. Эпизод, который ярко фиксируется в отложениях, это похолодание климата около 8200 calBP/6200 calBC. В этот период происходит уменьшение уровня воды в водоеме по данным геохимических индикаторов. Антропогенная активность высокая, что соответствует развитию финально мезолитических культур на этом участке. Дальнейшее потепление и увеличение влажности климата отмечено в период 7661–7167 cal BP/ 5711–5217 calBC. Происходит постепенное зарастание берегов озера. В этот период отмечено заселение стоянки носителями неолитических культур (верхне-волжской неолитической культурой). Постепенное зарастание озерного водоема, которое было ненадолго прервано трансгрессией в конце атлантического периода (по данным спорово-пыльцевого анализа) ведет к окончательному обмелению озера, которое регистрируется в суббореальный период из-за чего заселение этого участка было окончательно прервано. Периодические колебания уровня воды и береговой линии изменяли расположение поселений в береговой зоне древнего водоема. Для местоположения стоянок финального мезолита, например, выделяются участки жилых или хозяйственных площадок, расположенных на мысовой части берега, что могло происходить в эпизод похолодания при увеличении сухости и уменьшении уровня воды около 8200-8000 calBP/6200–6000 calBC. Этот участок продолжал интенсивно заселяться уже в эпоху раннего неолита первого этапа верхне-волжской культуры (7661–7167 calBP/ 5711–5217 calBC). Дальнейшее уменьшение уровня воды в водоеме около 3900-3500 calBP/1893-1506 calBC приводит к перерыву в осадконакоплении и изменению гидрологического режима.

Лесная и таежная зона. Охта 1 и Подолье 1 (эпоха неолита-раннего металла)

На памятнике Охта 1 (Kulkova et al. 2012; Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016; Ryabchuk et al. 2016; Сапелко и др. 2019; Gusentsova and Kulkova, 2020), проведенные исследования позволяют реконструировать условия заселения древним населением территории Охтинского мыса, на побережье древнего Литоринового моря (одна из стадий современной Балтики) начиная с эпохи неолита. После отступления воды, после максимума Литориновой трансгрессии, которая отмечается на участке около 8400-7610 calBP/6459-5666 calBC, происходит формирование прибрежной косы в зоне лагуны, которая была отделена от моря, так называемой Лиговской косой (Ryabchuk et al., 2014). В начале регрессивной стадии, после 7600 calBP/5660 calBC лагуна, которая располагалась в восточной части Лиговской косы, периодически соединялась с Литориновым морем через пролив в пределах современной

долины р.Невы. После регрессии Литоринового моря около 6200 calBP/4200 calBC, прибрежная зона мелководного залива частично была отделена от моря песчаной косой, которая в дальнейшем была преобразована в Охтинский мыс. Центральная часть Охтинского мыса около 5500 calBP/3550 calBC представляла собой верхнюю точку мыса, возвышающегося над водой.

Наиболее ранние радиоуглеродные даты, относящиеся к началу появления древнего человека на участке Охтинского мыса, относятся к периоду от 6164-5633 calBP/4164-3633 calBC. В этот период появляются носители ямочно-гребенчатой культуры. Отдельные фрагменты ранненеолитической керамики культуры сперрингс также были встречены на памятнике. Вероятно, в это время здесь появляется первое поселение, которое формируется на освобожденной после Литориновой трансгрессии от воды территории. Культурный слой относится к периоду среднего неолита, что подтверждается данными радиоуглеродного датирования 6066-5495 calBP/4066-3495 calBC и археологическим материалом. Остатки материальной культуры свидетельствуют, что прибрежная лагунная мелководная зона использовалась для рыболовства и охоты. Периодические изменения уровня воды в бассейне, связанные с изостатическим поднятием суши в этот период, оказывали влияние на формирование микрорельефа песчаной косы. Около 5500 calBP/3500 calBC уровень воды в заливе понижается и формируется система мелководных речек и протоков (Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016, Ryabchuk et al. 2016). Это время ухудшения климатических условий.

Следующий подъем воды в Балтийском море отмечается около 5450-5050 calBP/3450-3050 calBC. Это отмечают и другие исследователи (Berglund et al. 2005; Harff et al. 2011). Климатические условия изменяются в сторону более влажного и теплого климата. На побережье мелководного залива Охтинского мыса появляются остатки жилых конструкций и погребений, относящихся к эпохе позднего неолита-энеолита. Различные типы деревянных конструкций были сооружены в прибрежной, периодически затопляемой зоне. Остатки жилых зон, среди которых отмечаются места обработки камня – нуклеусы и скопления отходов каменного сырья, включая мелкие отщепы; шлифовальные плитки, абразивы. На возвышенной части мыса было обнаружено два погребения с костными остатками и янтарными украшениями, датированных 5300-4700 calBP/3300-2700 calBC (Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2012).

Около 4700-4200 calBP/2700-2200 calBC происходит изменение климатических и гидрологических условий. Были найдены остатки эпохи бронзы (конец 2-го – начала 1-го тыс. до н.э.), которые представлены отдельными фрагментами шнуровой керамики. Существенные изменения в палеогеографии на рассматриваемой территории были зарегистрированы около 3500 calBP/1500 calBC. В это время происходит формирование дельты речной системы, впадающей в мелководный морской залив. Отложения были интенсивно перемыты. Антропогенная активность низкая, что подтверждается отсутствием находок материальной культуры. Формирование отложений, связанных с прорывом и образованием р.Невы относится к периоду 3639-3128 calBP/1639-1128 calBC (Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016). После формирования дельтовых наносов около 2800 calBP/800 calBC происходит следующий этап заселения мыса уже в эпоху раннего железного века. Эти этапы иллюстрируются схемой радиоуглеродных дат (рис.6), полученных по нагару для различных типов керамики на памятнике Охта 1, обработанных методом Байесовой статистики с помощью калибровочной программы OxCal 4.4.

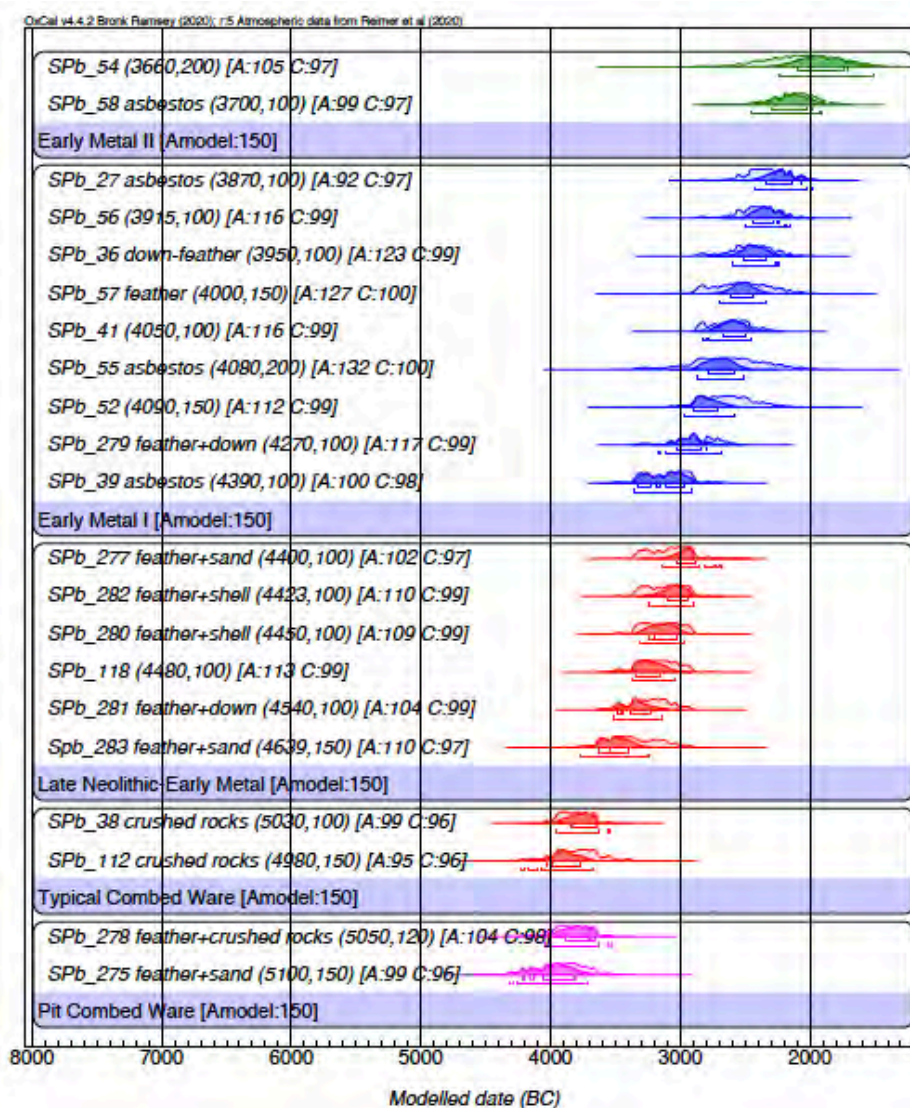


Рис.6. Распределение радиоуглеродных дат, полученных по нагару для различных типов керамики на памятнике Охта 1 методом Байесовой статистики (OxCal 4.4.).

Многослойная стоянка Подолье. Геохимические данные указывают на появление антропогенного сигнала в торфяных отложениях на участке Подолье 1 (Gusentsova, Kulkova 2020). На побережье древнего канала-протоки, впадающей в Ладожское озеро, были построены деревянные рыболовные сооружения. Радиоуглеродные даты для деревянных свай – 5350-5135 calBP/3350–3135 calBC (Gusentsova, Kulkova 2020). Стиль рыболовных конструкций одинаковый со стоянкой Охта1, расположенной в прибрежной зоне лагуны древнего Балтийского моря в это тот же период (Гусенцова, Сорокин, 2012). Рыболовные ловушки были сделаны из колышков и тонких палочек. Радиоуглеродные датировки деревянных конструкций лежат в интервале 5350-4750 calBP/ 3350-2750 calBC (Gusentsova, Kulkova 2020). Глиняные сосуды имеют аналогии с керамикой конца IV - первой половины III тысячелетия стоянки Охта 1, стоянки Оровнаволок XVI в Карелии (Жульников, 1999), с керамикой волосовского типа из Верхнего Поволжья. Сосуд с включениями раковины датирован 5695-5385 calBP/3695-3385 calBC и имеет аналогии с керамикой из городища Модлона-1 в Восточном Прионежье (Gusentsova, Kulkova 2020). Радиоуглеродная дата керамики асбестового типа на этом памятнике соответствует времени 5715-5483 calBP/3715-3483 calBC. Поздняя ямная керамика и асбестовая керамика с памятника Кирикки в Финляндии имеют тот же возраст (Carperlan, 1979; Pesonen, 1999). В нижней части алевритовых отложений обнаружены находки культур позднего неолита - раннего металла (Gesentsova, Kulkova, 2020). На песчаном берегу располагались сооружения, остатки которых

показывают, что основная хозяйственная стратегия в это время, как и в период раннего неолита, являлась рыболовство и охота. Следующий этап отложения серых суглинков, по геохимическим данным, происходил в условиях повышения уровня воды и перехода к холодным условиям. Повышение уровня воды стало причиной повторного размыва верхнего культурного слоя. Окислительные условия в водоеме, который сформировался в период трансгрессии, по геохимическим данным, были также подтверждены диатомовым анализом. В этих слоях появляются типичные для этого периода диатомеи из Ладожского озера (Сапелко и др. 2019). Начало Ладожской трансгрессии произошло после 4000 calBP/2000 calBC, что привело к затоплению памятника и население покинуло этот участок.

Лесная зона. Сертейский археологический микрорегион.

По данным геохимических индикаторов были проведены детальные реконструкции ландшафтно-климатических изменений на памятниках, расположенных на побережье древних озер Сертейского бассейна (Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2016; Kulkova et al. 2018). В период 12000-9200 calBP/ 9850-7430 calBC, в целом, климат может быть охарактеризован как прохладный и сухой. Озера в этот период были глубоководными, продуктивность водоемов высокая. Около 10000 calBC в озерных отложениях появляются элементы антропогенного характера. В этот же период, по-видимому, на бортах котловин появляются первые стоянки, относящиеся к мезолиту. Остатки артефактов мезолитического облика были обнаружены на берегах древних озер.

Период 9200-5000 calBP /7430-3100 calBC. Максимум регрессии в озерах фиксируется около 8300 calBP/ 6397-6229 calBC. Климат в этот период становится более влажным и теплым. Продуктивность в озере уменьшается. Антропогенное воздействие на экосистему уменьшается. По археологическим данным какие-либо памятники этого периода не были найдены. Вероятно, плотность популяции населения уменьшается или оно отсутствует. Появление глиняной посуды среди племен северо-запада относится к периоду около 7748-8413 calBP/6500-5750 BC. Эти памятники были объединены в Сертейскую культурную группу. Около 8000-7700 calBP/6000-5700 calBC регистрируется увеличение уровня воды в водоемах. Климат становится сухим и прохладным. Продуктивность в водоемах увеличивается. Антропогенная нагрузка на водоемы увеличивается. Это, вероятно, может быть связано с увеличением плотности популяции населения в микрорегионе. Поселения средней и поздней фазы сертейской культуры располагались на высоких береговых склонах озерных котловин. Уменьшение уровня воды в озерах микрорегиона фиксируется около 7500-6500 calBP/5500-4500 calBC. Климат в это время становится теплым и влажным. Озерная продуктивность уменьшается. Антропогенное влияние на водоем увеличивается. В это время в прибрежных частях озер появляются поселения руднянской культуры, которые сочетают в себе культурные местные традиции и традиции нарвской культуры. Около 6500-5500 calBP/4500-3500 calBC в водоемах фиксируется трансгрессия. Климат прохладный и влажный. Озерная продуктивность увеличивается. Антропогенная нагрузка на водоем уменьшается. В данном регионе наблюдается резкое сокращение количества поселений, возможно, даже, что в период максимального подъема уровня воды в озерах рассматриваемый археологический микрорегион был необитаем.

Период около 5100-2600 calBP/3100-410 calBC. Регрессия в водоемах наступает около 5100-4700 calBP/3100-2700 calBC. На фоне теплого климата регистрируется уменьшение влажности. Литоральная часть озер зарастает, озера превращаются в болота. Продуктивность озер резко уменьшается. Изменения окружающей среды, по-видимому, приводят к появлению новых форм построек. В прибрежной части заболоченных озер появляются свайные постройки усвястской культуры. Следующая трансгрессивная фаза в водоемах фиксируется около 4000-3700 calBP/2283-1685 calBC. Климат в этот период становится немного холоднее, около 3700-3600 calBP/1700-1600 calBC фиксируется увеличение сухости. В этот период в микрорегионе развиты свайные поселения жижицкой и северо-белорусской культур. Антропогенная нагрузка немного уменьшается по сравнению с предыдущим периодом.

Свайные поселения затопляются водой, и население переносит поселения на острова и более высокие участки берегов озер, где были обнаружены поселения Узменской культуры. В период около 3400-3100 calBP/1400-1100 calBC уровень в озерах уменьшается. Климат в этот период теплый, влажность немного увеличивается. Антропогенное воздействие на водоемы увеличивается (финал узменской культуры).

Период, начавшийся около 2600 кал. лет назад Около 2600 calBP/600 calBC наблюдается похолодание и увеличение влажности в изучаемом регионе, в водоемах отмечается трансгрессия. Антропогенное влияние на экосистему уменьшается, остатков поселений ранней Днепро-Двинской культуры в этом регионе не было найдено.

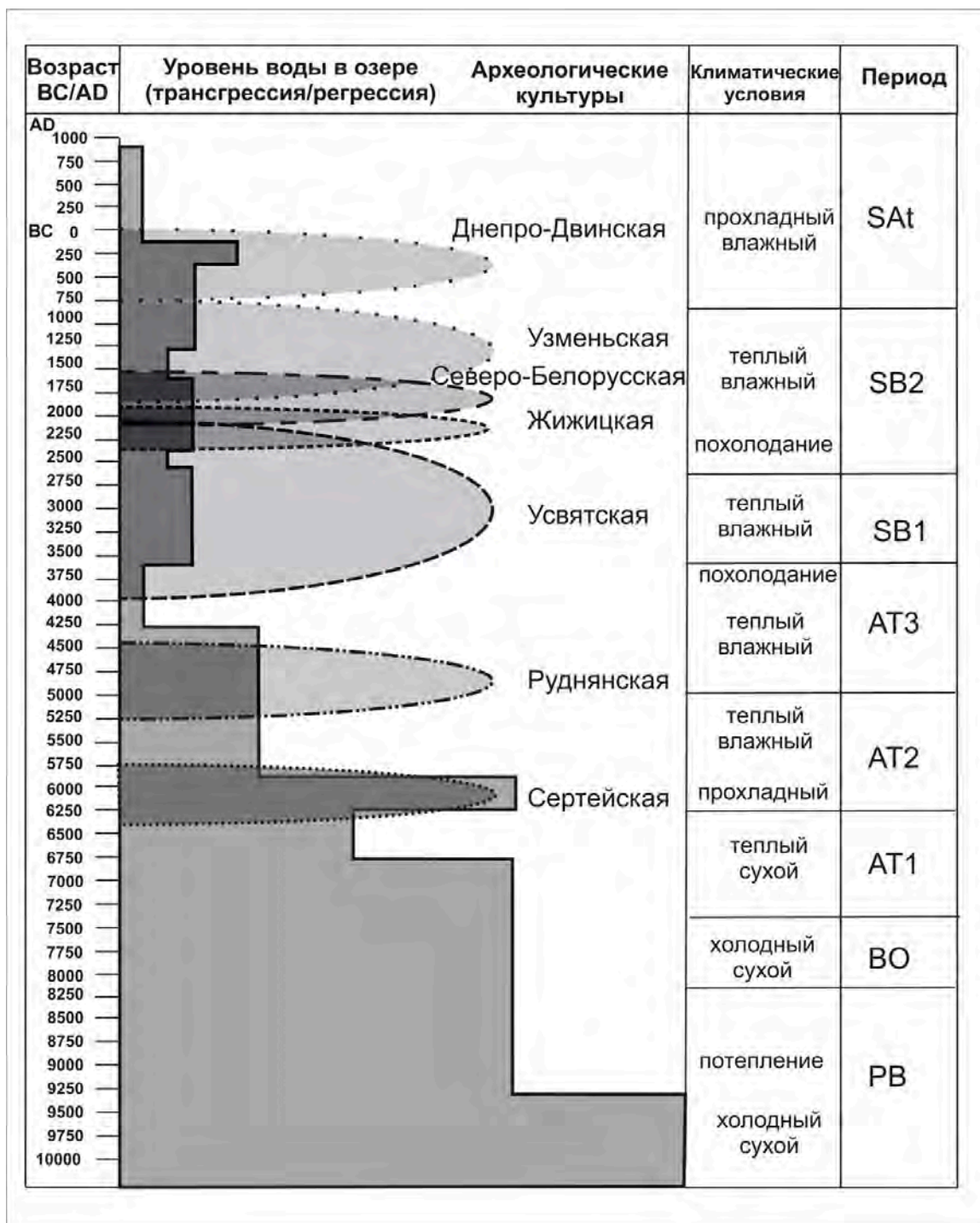


Рис. 7. Хронология ландшафтно-климатических событий и археологических культур в голоцене в районе Сертейской долины (Кулькова, 2012).

Озеро Камышовое и поселение Цедмар Д

В регионе Калининградской области, в озерных отложениях Камышовое, нижняя пачка отложений представлена глинистой гиттией (12183 calBP/10183 calBC). По данным геохимического анализа наряду с высоким содержанием терригенной составляющей в отложениях можно отметить увеличение карбонатной составляющей для этих отложений. Климатические условия можно охарактеризовать, как прохладные и сухие, что соответствует пребореальному периоду. Водоем становится проточным, устанавливается окислительная среда. Фиксируются небольшое повышение продуктивности водоема по данным геохимических индикаторов, что совпадает с развитием диатомовых водорослей.

Накопление карбонатных гиттий (9830-5833 calBP/7830-3847 calBC) характеризуется увеличением содержания органики (LOI_{500°C}), биогенного кремнезема и карбонатной составляющей (LOI_{950°C}), что свидетельствует о переходе к влажному и теплему климату и соответствует Атлантическому периоду. Изменение осадконакопления регистрируется около 8200 calBP/6200 calBC. Геохимические индикаторы регистрируют прохладные и сухие климатические условия. После этого эпизода, формирование отложений органогенной гиттии происходят в результате интенсивных процессов береговой эрозии с высокой скоростью выветривания и седиментации. Условия водоема характеризуются окислительными условиями, продуктивность водоема уменьшается. Максимальные значения продуктивности водоема отмечаются около 6590-5833 calBP/4590-3847 calBC, что соответствует эпизоду атлантического термального максимума. В период 4258-3309 calBP/2258-1309 calBC происходит преобладание восстановительных условий, уменьшение карбонатной составляющей и увеличение терригенной составляющей в отложениях, что свидетельствует об уменьшении степени химического выветривания. Наряду с этим процессом происходит увеличение органо-минеральных комплексов, связанных с увеличением растительной и детритовой составляющих, что является индикатором эвтрофикации водоема. Этот этап соответствует суббореальному периоду. Около 5833-4258 calBP/3833-2258 calBC продуктивность водоема немного уменьшается.

В период 3309-612 calBP/1300 calBC-1350 calAD происходит увеличение органогенной, хемотренной составляющих, что свидетельствует о влажных климатических условиях с высокой скоростью выветривания и седиментации, а также эвтрофикации водоема. Этап соответствует субатлантическому периоду.

Таким образом, на рубеже 5833-4250 calBP/3833-2258 calBC происходит переход к более сухим климатическим условиям и небольшому похолоданию, что соответствует границе атлантического и суббореального периодов. В этот период происходит сложение культуры Цедмар, на формирование которой в этом регионе повлияли несколько культурных традиций, такие как нарвская культура, ямочно-гребенчатая культура, неманская культура и культура воронковидных кубков.

Сводная схема изменения климата и трансгрессивных/регрессивных стадий в голоцене и развитие основных археологических культур на территории северо-западного региона Восточной Европы показана на (рис. 8).

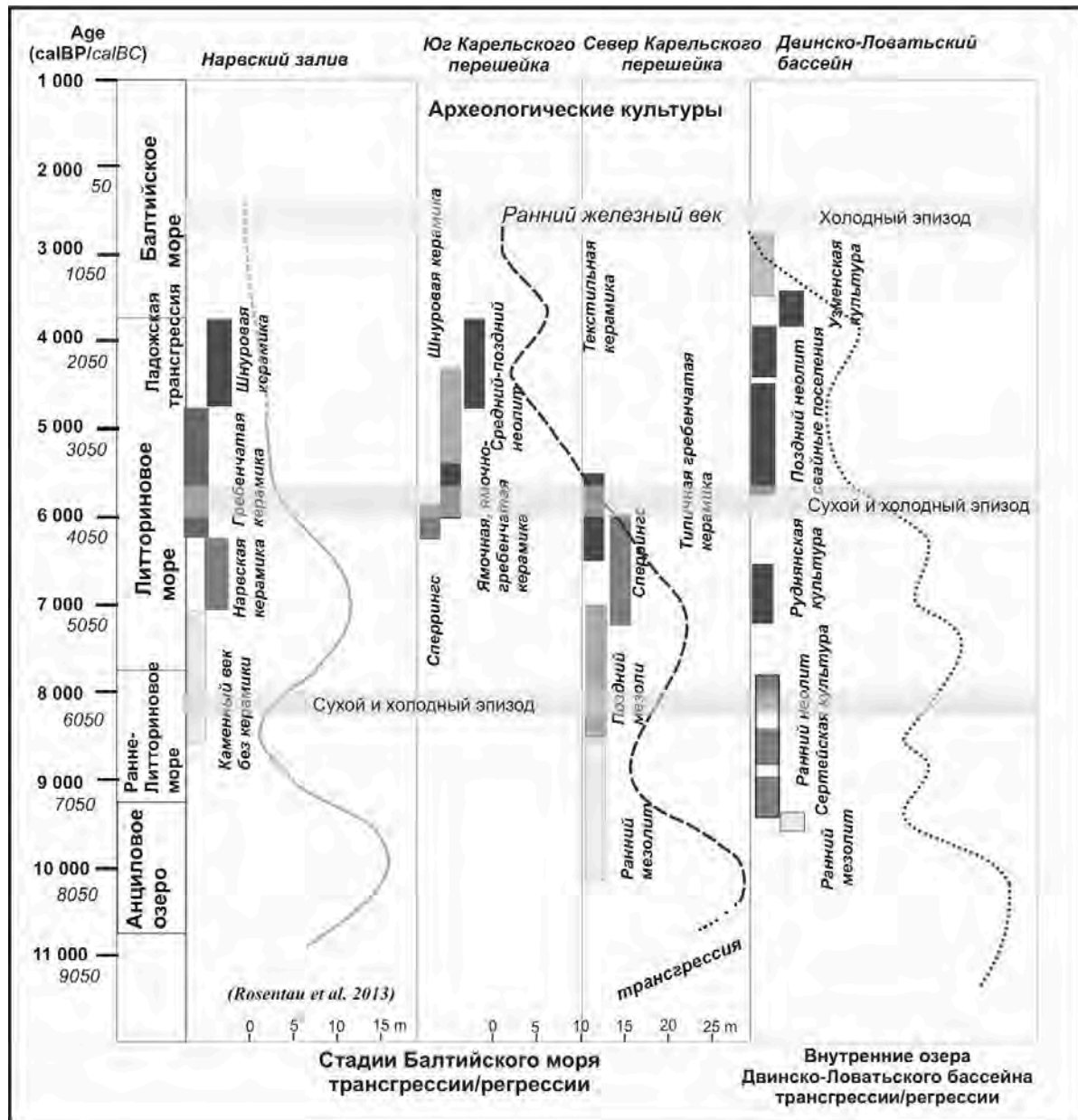


Рис.8. Сводная схема изменения климата и трансгрессивных/регрессивных стадий в голоцене и развитие основных археологических культур на территории Северо-Западной части Восточной Европы.

3. Ассоциации геохимических компонентов, характеризующие литологическую (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Zr) и антропогенную (P_2O_5 , CaO , Sr) составляющие в отложениях на археологических памятниках, были установлены с помощью обработки геохимических данных методами многомерной математической статистики. В свою очередь, антропогенное влияние на трансформацию отложений культурных слоев, а также выявление жилых, хозяйственных и производственных зон в местах древних поселений определяется на основе ассоциаций и групп геохимических компонентов, таких как (P_2O_5 , CaO , Sr), (K_2O , Rb), (MnO , Ba), (Zn , Cu , Pb).

Оценка влияния антропогенной активности на трансформацию отложений и формирование культурных слоев на древних поселениях выполнялась с помощью метода геохимической индикации функциональных зон на поселениях. Для реконструкции различных факторов формирования культурных отложений, разработан подход с применением многомерного факторного и множественного корреляционного анализов,

которые позволяют выделить отдельные группы геохимически связанных друг с другом элементов и их соединений и охарактеризовать влияние на них антропогенных или природных факторов (Кулькова, 2012; Oonk et al., 2009; Nielsen, Kristiansen, 2014). Другим важным критерием для детальной интерпретации геохимических данных служит археологическая информация по памятнику. Применение комплексных методов исследования, таких как геохимический, геофизический и археологический при оценке археологического памятника дают возможность детальной реконструкции всех особенностей жизнедеятельности, в том числе и хозяйственной деятельности человека и в данном месте, таких как производство глиняных изделий, древней металлургии (Kulkova et al. 2021, Kulkova et al. 2020, Моргунова и др. 2021). Пространственное распределение аномальных концентраций некоторых химических элементов в местах древних поселений дает возможность установить: границы расположения археологических памятников и их распространение; получить информацию о способах использования ландшафта (Entwistle et al. 1998, Wilson et al. 2006); установить функциональные зоны и особенности различных структур внутри поселений. Оценка распределения аномальных проявлений тех или иных элементов или групп элементов на археологических памятниках показала, что интерпретация полученных данных не всегда может быть однозначной и зависит от многих факторов. Важным вопросом при интерпретации геохимических данных также является геохимическое обоснование, что накопление того или иного химического элемента имеет антропогенный характер и не связано с минеральным составом отложений на данном памятнике.

В составе почвенных и донных отложений накапливаются определенные химические элементы, связанные с антропогенной активностью, которые изменяют химический состав отложений. Наиболее часто используемыми элементами для определения антропогенной активности на древних поселениях являются P, Ca, K, Na и Mg, так же, как и микроэлементы Cd, Cr, Cu, Pb и Zn (Aston et al. 1998; Cabala et al. 2012; Lutz 1951; Schlezinger and Howes 2000; Terry et al. 2004; Tian et al. 2012; Wells et al. 2000). Aston и др. (1998) определили основные функции человеческой деятельности, при которых происходит накопление химических антропогенных элементов: развитие древних поселений, разведение животных в закрытых помещениях, использование огня (очаги и лесные пожары), древняя металлургия, ремесленная деятельность (производство кожи, обработка сельскохозяйственных культур). По данным Schlezinger и Howes (2000), увеличение содержания фосфора в почвах происходит в результате накопления мочевины и фекалий человека и животных в зонах обитания, накопления остатков разложения организмов животных и растений в окрестностях поселения, использования животного навоза для удобрений. Увеличение фосфора может быть также связано с приготовлением пищи, с потреблением и утилизацией отходов (Terry et al. 2004). Стабильные формы фосфора являются нерастворимыми, они устойчивы к процессам окисления, восстановления и выщелачивания (Wells 2004; Holliday and Gartner, 2007). Фосфор является фундаментальной составляющей живых тканей (в виде нуклеиновых кислот, фосфолипидов, нуклеотидов и т. д.) (Sanchez et al. 2007), он присутствует в продуктах, которые используют в хозяйстве (дерево, растения, кости, мясо и т. д.), и его концентрация в почве увеличивается в зависимости от поступления различных органических материалов, таких как растительные и животные продукты, которые потребляются и определенным образом используются. Концентрация фосфора в культурных слоях служит индикатором интенсивности заселения территории древним человеком, так как фосфор содержится в органическом веществе, которое отлагается при деятельности человека пропорционально времени обитания и росту популяции населения (Marwick, 2005). Могут также использовать и другие элементы для индикации различных функциональных зон на поселениях. Высокие концентрации кальция, который является главной составляющей костных тканей, также, как фосфор, связаны с зонами обитания человека и животных, а также с погребениями и захоронениями. Высокие концентрации натрия, калия и рубидия могут быть связаны с присутствием золы в местах расположения очагов (Middleton and Price, 1996). Увеличение концентраций железа и ртути может фиксировать применение различных красящих веществ, таких охра, киноварь в

ритуальных действиях (Wells 2004). Совокупность элементов, таких как Fe, Mn, Zn, Cu, связана с участками захоронения мусора, с погребениями, с выгребными ямами, с остатками в процессе пиршеств. Таким образом, химический состав отложений на археологических памятниках может дать ценную информацию для определения особенностей функциональных зон на поселениях. Наиболее эффективным методом для установления функциональных зон является применение «многоэлементного» анализа (Wilson, 2008).

Автором (Кулькова 2012, Кулькова и др. 2015) был разработан метод многокомпонентного анализа, основанный на выделении групп геохимических компонентов антропогенного генезиса методом многомерной математической статистики, которые характеризуют различные функциональные зоны на древних поселениях. Для отдельных элементов, например, калия, кальция, стронция, фосфора, которые могут образовывать соединения, связанные, как с жизнедеятельностью древних людей, так и входить в минеральный состав отложений, автором были разработаны индикаторные соотношения или геохимические модули. Это дает возможность отделить компоненты, связанные с литологической составляющей отложений от антропогенных (Кулькова, 2012; Kulkova et al. 2012; Kulkova et al. 2016; Kublitskiy et al. 2020). Сравнение с образцами, отобранными за пределами памятника из того же литологического слоя. Другие факторы, которые влияют на поведение отдельных химических элементов – это pH (щелочно-кислотный), Eh (окислительно-восстановительный) потенциалы почвенной среды, содержание органического вещества в почвах и др., которые также нужно учитывать при оценке формирования культурного слоя на поселении. Для оценки общего антропогенного влияния на поселения автором были предложены следующие соотношения компонентов для расчета: $P_{2O_{5antr}} = P_{2O_5} / (P_{2O_5} + Na_2O)$ (%), $CaO_{antr} = CaO_{tot} / (CaO_{tot} + Na_2O)$ (%), $K_{2O_{antr}} = K_2O / (K_2O + Na_2O)$ (%) и $Rb_{antr} = Rb / (Rb + Na_2O)$ (%). Повышенные значения показателей ($P_{2O_{5antr}}$, CaO_{antr}) хорошо коррелируют с участками отложений, в которых были найдены костные остатки. В данном случае, такие соотношения позволяют установить и отделить антропогенные кальций и фосфор от литогенных, которые связаны с литологией отложений. Индикаторы ($K_{2O_{antr}}$, Rb_{antr}) были использованы для установления очажных скоплений (Кулькова, 2012; Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2015).

Стоянка верхнего палеолита Юдиново.

Юдиновская стоянка является одним из наиболее полно исследованных памятников поздней поры (15–12 тыс. л. н.) верхнего палеолита бассейна р. Десны. Она находится на южной окраине с. Юдиново, в Погарском районе Брянской области России. На памятнике открыты различные хозяйственно-жилые объекты: остатки пяти жилищ аносовско-мезинского типа, шесть крупных хозяйственных ям, десять крупных «зольников» — обширных и мощных скоплений костного угля и золы, два небольших очага, две очажные ямки, несколько «кладиковых» ям, многочисленные производственные участки, связанные с первичной обработкой кремневого и бивневого сырья и разделкой тушек песцов (Хлопачев и др. 2022)

Важными индикаторными показателями, которые позволяют понять особенности древнего микрорельефа на раскопе памятника Юдиново, являются изменения содержания главных породообразующих компонентов (Al_2O_3) — глинозема и (SiO_2) — кремнезема. Карты распределения Al_2O_3 и SiO_2 показывают особенности древнего микрорельефа на исследуемом участке раскопа (рис.9). Повышенные концентрации глинозема (Al_2O_3) связаны с понижениями в рельефе, где накапливаются отложения суглинков. Низкие концентрации SiO_2 также маркируют участки понижений в рельефе. Кремнезем, который связан с песчаной составляющей, приурочен к возвышенным участкам и связан с участками серой супеси на площади раскопа. Возвышенные участки сложены серой супесью, обогащенной кремнеземом и обедненной глиноземом, они маркируют слой в квадратах т-28 и т-29, а также отмечается в средней части квадрата т-30, на границе с ямой-западиной. Возможно, фиксируемый в отложениях песок, мог быть специально принесен человеком на стоянку.

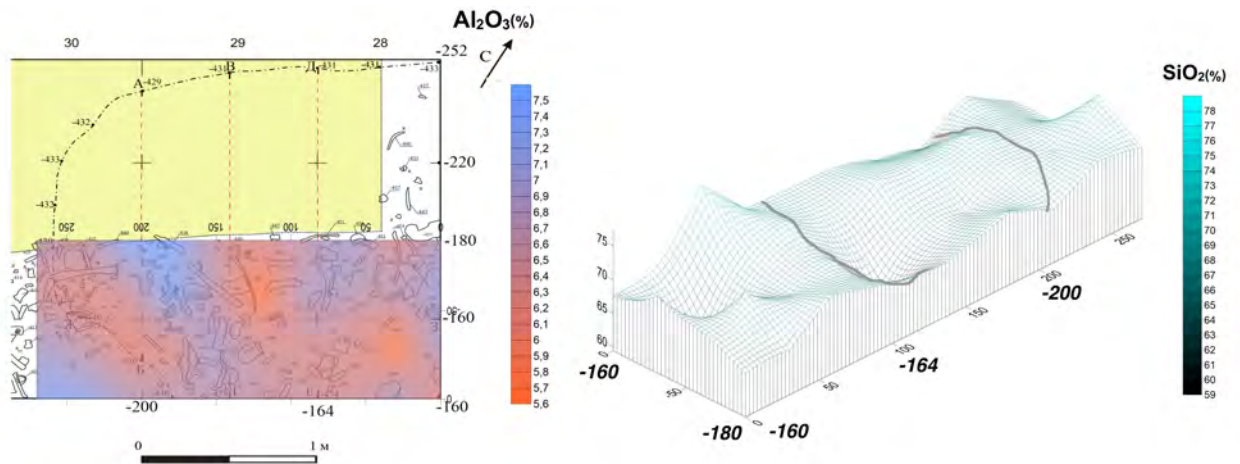


Рис.9. Геохимические карты распределения Al_2O_3 , и SiO_2 (3D) по площади раскопа в квадратах 28-30, показывающие особенности микрорельефа.

Геохимические карты распределения комплекса антропогенных компонентов, таких, как фосфора (P_2O_{5anthr}), кальция (CaO_{anthr}) калия (K_2O_{anthr}), рубидия (Rb) (рис.10) маркируют участки, связанные с обожженными костными остатками. Наибольшие скопления связаны с понижениями в рельефе. Такие зоны наблюдаются на поверхности ямы-западины в квадратах т-28 и т-29 и образуют кольцевые структуры. Зона с высокими содержаниями комплекса этих антропогенных элементов регистрируется и в квадрате т-30 на границе «зольника» и ямы-западины.

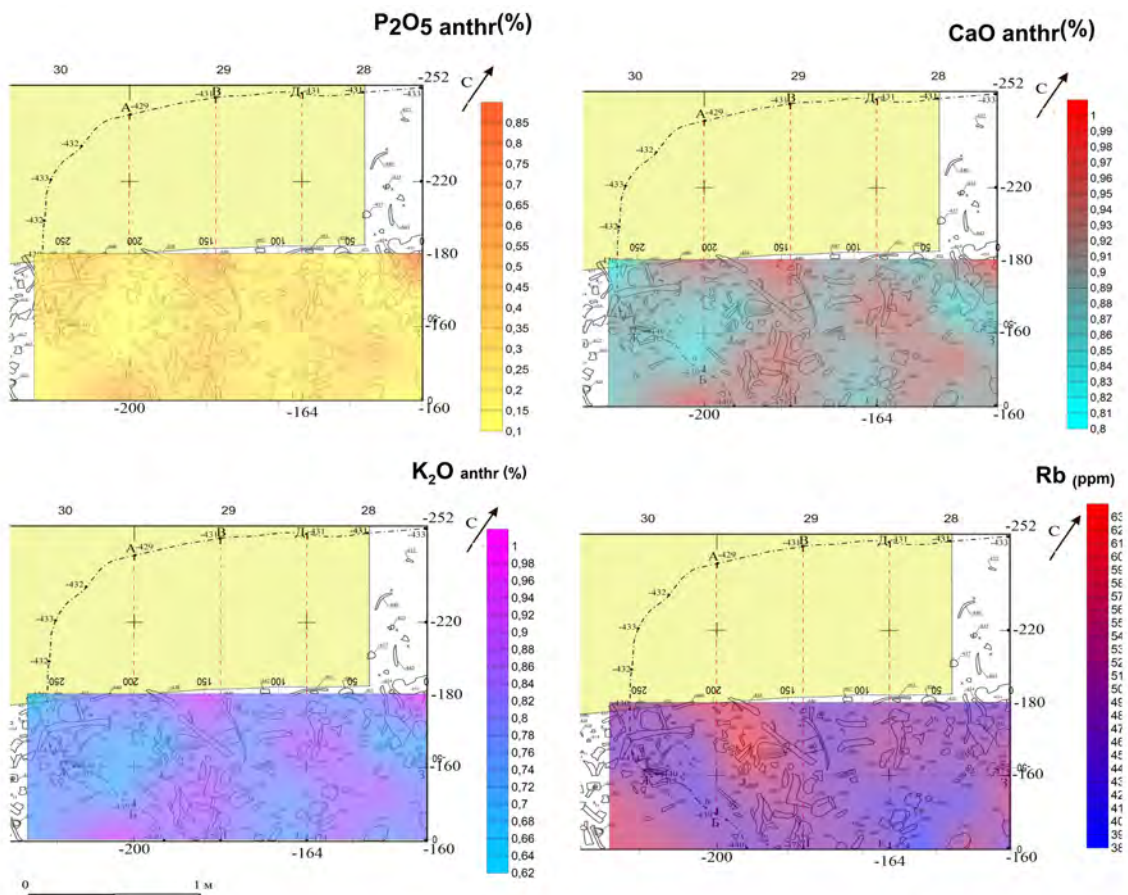


Рис.10. Группа 2 – антропогенные индикаторы зон костных и углистых остатков. Геохимические карты распределения индикаторов (P_2O_{5anthr} , CaO_{anthr} , K_2O_{anthr} , Rb anthr) по площади раскопа в квадратах 28-30.

Вторая группа химических компонентов (Fe_2O_3 , MnO , Ba) может являться индикатором участков расположения органических остатков (шкур, древесины и пр.), которые были подвержены разложению и гниению. Высокие концентрации этих элементов отмечаются в отложениях зольника. Зона высоких концентраций этих элементов приурочена к границе квадратов т-29 и т-30, которые планиграфически связаны с краем «зольника». Слой с высокими концентрациями этих элементов «затекает» далее в зону «яму-западину». На участке квадрата т-30, в его средней части фиксируются аномальные содержания мышьяка (As). Повешенные содержания мышьяка (As), свинца (Pb), цинка (Zn) отмечаются и в отложениях «зольника».

Данные об антропогенных химических элементах позволяют реконструировать следующие структуры на поверхности исследуемого участка Юдиновской стоянки: во-первых, верхний культурный горизонт над ямой-западиной характеризуется повышенными содержаниями комплекса компонентов, которые связаны с обожженными костями: фосфора ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$), кальция ($\text{CaO}_{\text{anthr}}$) калия ($\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$), рубидия (Rb), что позволяет рассматривать его в качестве отдельного культурного слоя с остатками костей; во-вторых, в слое зольника, относящегося к основному, нижнему культурному слою, отмечается высокие содержания (Fe_2O_3 , MnO , Ba), элементов, связанных с разложившимися органическими остатками, такими, как шкуры, древесина и др. Совокупность этих химических элементов отмечается также в отложениях, связанных с отложениями в заполнении ямы-западины, особенно, повышенные концентрации элементов в отложениях на бортах ямы-западины, в которую попадает слой зольника. Вместе с этим комплексом элементов, повышенные содержания мышьяка (As), свинца (Pb), цинка (Zn) фиксируются в отложениях зольника у края ямы-западины. Известно, что концентрации этих элементов увеличиваются в условиях восстановительной среды, при разложении органики. Кроме того, комплекс таких элементов, как мышьяк (As), цинк (Zn), свинец (Pb) могут быть связаны с различными компонентами, входящими в состав веществ, источники которых находились в удалении от Юдиновской стоянки. Например, реальгар — минерал сульфида мышьяка красного цвета, который по данным геологических карт не встречается в регионе расположения данного археологического памятника.

Приладожье (стоянки Охта 1 и Подолье 1).

Для изучения функциональных зон на этих поселениях были проведены геохимические исследования культурных слоев, сформировавшиеся около 5300 calBP/3300 calBC (Kulkova et al. 2015; Gusentsova and Kulkova 2020; Kulkova et al. 2020). На памятниках Охта 1 и Подолье 1 были рассмотрены различные типы функциональных зон в культурных слоях, которые сформировались около 5300 calBP/3300 calBC. На стоянке Охта 1 данные геохимического картирования и распределение артефактов показывают место погребения. Для отложений погребения характерны аномальные значения комплекса химических антропогенных компонентов, таких как $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$, $\text{CaO}_{\text{anthr}}$ и Fe_2O_3 , Sr_{anthr} . Геохимический состав отложений на стоянке Подолье 1 показывает другой характер распределения химических элементов. На береговой террасе канала располагались сезонные рыболовные стоянки с кострищами и местами для разделки и приготовления животных и рыбы. В культурном слое отложений этого участка выделяется комбинация таких антропогенных элементов, как $\text{K}_2\text{O}_{\text{anhtr}}$, Rb_{anhtr} , $\text{CaO}_{\text{anhtr}}$ и Sr_{anhtr} . Можно выделить в прибрежной зоне протоки участки расположения кострищ ($\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$ и Rb_{anthr} — элементы, входящие в состав древесного угля и золы) и зоны разделки и приготовления животных и рыбы ($\text{CaO}_{\text{anhtr}}$ и Sr_{anhtr} — элементы костной ткани). В яме, расположенной на террасе протоки был охарактеризован еще один комплекс геохимических показателей, имеющих аномальные значения: $\text{K}_2\text{O}_{\text{anhtr}}$, Rb_{anthr} , $\text{CaO}_{\text{anthr}}$, Sr_{anthr} , Mn_{anthr} , Ba_{anthr} , Fe и $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$, что может свидетельствовать о накоплении отходов с побережья.: $\text{K}_2\text{O}_{\text{anhtr}}$ и Rb_{anhtr} — компоненты, входящие в состав золы и древесного угля, $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$, $\text{CaO}_{\text{anhtr}}$, Sr_{anhtr} — компоненты костных тканей, Mn_{anhtr} , Ba_{anhtr} и Fe — компоненты, входящие в состав разложившейся органики. Геохимия распределения основных осадкообразующих элементов, таких как глинозема (Al_2O_3) и кремнезема (SiO_2), является важным фактором для определения

древнего микрорельефа на этом участке. Ассоциации геохимических индикаторов из одинакового литологического контекста на стоянках Охта 1 и Подолье 1 имеют разную антропогенную нагрузку. Отложения из погребения характеризуются аномальными значениями таких биоиндикаторов, как $P_2O_{5\text{anhtr}}$ и CaO_{anhtr} , которые являются основными компонентами костей и тканей. Железо в виде гематита (Fe_2O_3), входит в состав охры, которая была использована в ритуальном обряде.

Сертейский археологический микрорегион.

Реконструкция функциональных зон проводилась на памятнике эпохи неолита, остатки материальной культуры которого залегают в песчано-алевритовых отложениях. Минеральный состав отложений: кварц, слюда, глинистые минералы, полевые шпаты, акцессорные минералы: циркон, гранат, титаномагнетит, гидрогетит, ильменит. По результатам геохимического состава отложений, на памятнике методом многокомпонентного корреляционного анализа можно выделить несколько геохимических групп компонентов, связанных с различными минералами, в том числе с органо-минеральными комплексами антропогенной составляющей отложений:

I группа: SiO_2 - кварц,

II группа: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , Na_2O – полевые шпаты, слюда, глинистые минералы; гидрогетит; ильменит;

III группа: K_2O , Ba – основные компоненты древесной золы;

IV группа: P_2O_5 , CaO , MnO , $Stot$ – компоненты карбонат-апатита костных тканей и зубов, с органическими остатками.

Анализ стратиграфии, палеорельефа памятника, позволил сделать вывод, что место для поселения было выбрано с учетом особенностей древнего рельефа и приуроченности к песчаным дюнным отложениям. По данным факторного анализа можно выделить факторы, связанные с антропогенными преобразованиями отложений на стоянке. Для нижнего (1-го) культурного горизонта первый фактор (FI) характеризует особенности рельефа и отражает антагонизм компонентов, входящих в состав песка (SiO_2 , Zr) и компонентов глинисто-слюдистой составляющей (Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O). Накопление глинистой составляющей, обогащенной окислами и гидроокислами железа, характерно для понижений и ям, в том числе оставшихся от корней растений. Второй, третий и четвертый факторы могут быть интерпретированы, как связанные с различной антропогенной деятельностью на памятнике, что привело к изменению состава отложений и появлению компонентов, входящих в состав:

FII (CaO , Na_2O , SiO_2/K_2O , Ba, TiO_2);

FIII (K_2O , Al_2O_3 , Ba, CaO/Fe_2O_3 , MnO , LOI);

FIV (MgO , MnO , Fe_2O_3 , TiO_2/P_2O_5 , LOI).

Второй фактор (FII) показывает антагонизм компонентов, связанных с остатками очажных скоплений (K_2O , Ba, TiO_2) к литогенным компонентам (CaO , Na_2O , SiO_2). В местах повышенных концентраций элементов, связанных с древесной золой, были обнаружены остатки угля и зольные пятна от очагов.

Третий фактор (FIII) показывает антагонизм между комплексом литогенных компонентов (K_2O , Al_2O_3 , Ba, CaO) и компонентами (Fe_2O_3 , MnO , LOI), которые связаны с накоплением гумуса и совпадают со следами обитания и внутренними участками жилой структуры.

Четвертый фактор FIV (MgO , MnO , Fe_2O_3 , TiO_2/P_2O_5 , LOI), связан с участками накопления органики и костных остатков (P_2O_5 , LOI), которые могли скапливаться в местах разделки животных и приготовления пищи. В этих зонах также были найдены развалы керамических сосудов.

На рис.10 показаны геохимические карты, полученные по разным показателям – данным факторных нагрузок, дающие представление о взаимном расположении различных

участков, связанных с антропогенной деятельностью и отражающих пространственное расположение различных функциональных зон на площади поселения.

В отложениях 2-го верхнего культурного горизонта на памятнике Сертея 3-3 фиксируются остатки временных стоянок. По геохимическим данным отложений из 2-го культурного горизонта также были установлены факторы, влияющие на формирование этих отложений. FI ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Fe_2O_3 , MgO , CaO) отражает особенности микрорельефа. В понижениях в данном случае, накапливаются песчаные отложения, что может свидетельствовать о небольших древних протоках. Это хорошо совпадает с 3D реконструкцией древней поверхности. Участки очагов были установлены по индикаторному соотношению $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}} = \text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)$. Сравнение аномальных значений $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$ с зонами остатков очажных скоплений показывают хорошую корреляцию. Можно также проследить изменение местоположения очагов в пространстве. Участки концентрации костных остатков были установлены по соотношению CaO/SiO_2 . Аномальные значения совпадают с местами, в которых были найдены кальцинированные кости. Карта распределения положительных значений второго фактора показывает зоны гумусированности (Ba , MnO , TiO_2). Отрицательные значения третьего фактора FIII (MgO , $\text{K}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$, LOI) показывают участки обитания (P_2O_5 , LOI). Комплексное применение геохимического метода и геомагнитного метода (Mazurkevich et al. 2012), а также использование более точных методов измерения магнитной восприимчивости каппаметром позволяет обнаружить следы нечитаемых построек в процессе раскопок и получить данные для расшифровки зон, связанных с активностью человека. Такие участки были зарегистрированы в культурном слое на многослойном памятнике неолитического периода Сертея XIV (Кулькова, 2012, Kulkova et al. 2018). Кроме основных индикаторов антропогенной активности, сопоставление геохимических данных и геофизических аномалий, дали возможность также получение дополнительной информации по другим элементам-индикаторам, которые могут быть связаны с процессами биогенного характера и деятельностью человека. Повышенные концентрации оксидов железа Fe_2O_3 и FeO появляются вокруг корней растений и могут характеризовать остатки сгнивших пней (Mazurkevich et al. 2012). Высокие аномальные концентрации оксидов железа (Fe_2O_3 и FeO) также соответствуют локализации долговременных пожаров. Накопление свинца (Pb) может быть связано с кострищами, либо с залежами гумуса в восстановительных условиях. В данном археологическом контексте, распределение Pb коррелирует с накоплением $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$ в древесной золе. Накопление меди (Cu) также может быть связано с восстановительными условиями и накапливается в зонах кострищ. По данным геохимических индикаторов, были установлены высокие значения таких показателей, как $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$, Cu и Pb, что может быть объяснено скоплением золы или локализацией небольшого очага, визуально не обнаруженного при раскопках.

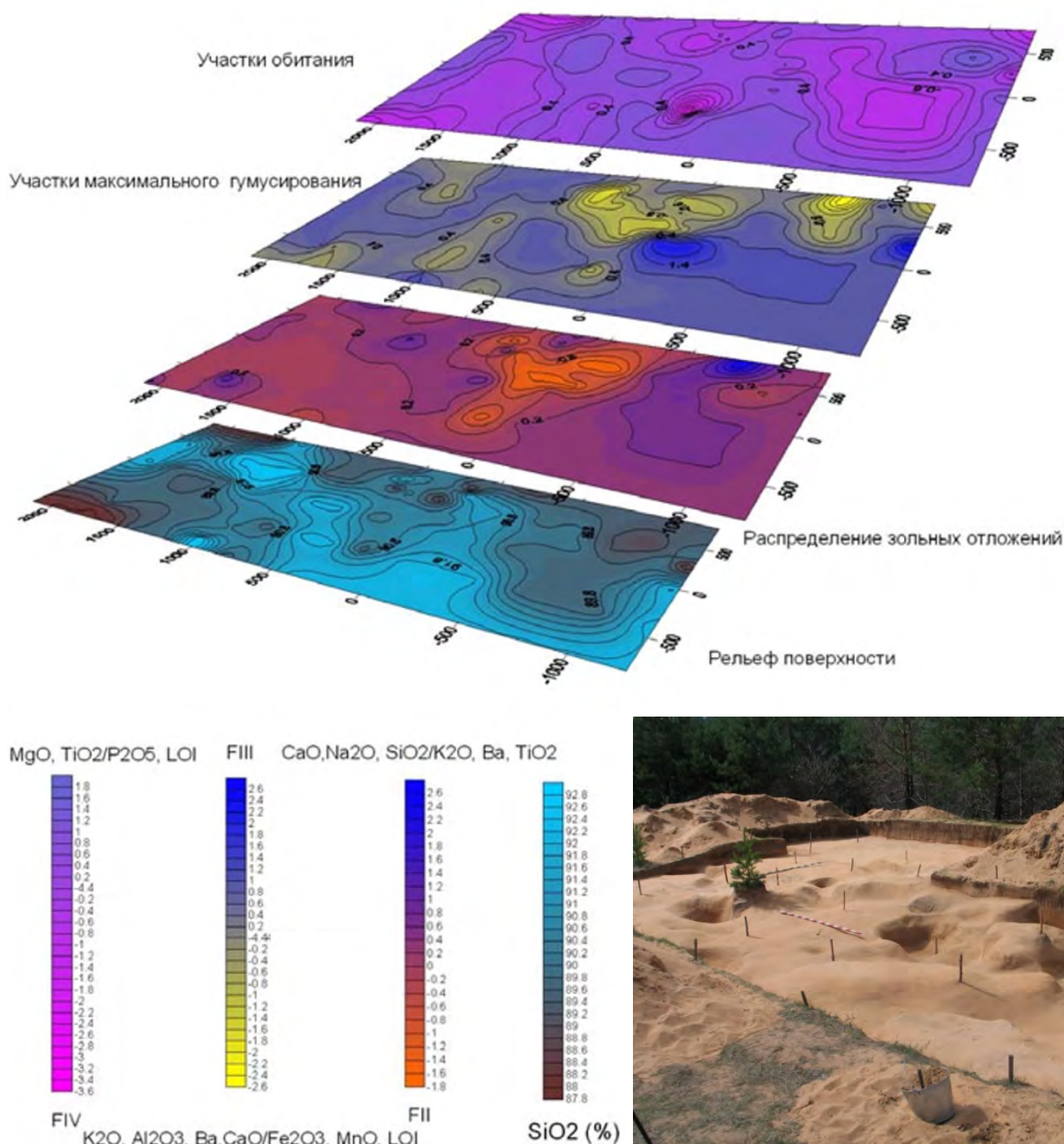


Рис. 11. Пространственное расположение различных функциональных зон на поверхности 1-го культурного горизонта памятника Серетея 3-3 по данным геохимического картирования (Mazurkevich et al. 2012; Mazurkevich et al., 2013).

Реконструкция функциональных зон методом геохимической индикации также была проведена на территориях Карелии и Кольского полуострова. В тундровой зоне, выделяются участки, сложенные скоплениями из каменных валунов, которые были оставлены людьми. При раскопках таких каменных груд или каменных сложений не было найдено никаких археологических находок. Как правило, такие конструкции рассматривались в связи с описанием так называемых «саамских культовых комплексов» Шахновичем М.М. (Шахнович, 2005; Шахнович и др. 2019). Около Ниэмелянхови, по данным финских археологов XIX в., известно два корельских линнавуори XII–XIII вв.: Рауталахтилиннавуори около залива Сювялахти и Отсойнен-Линнамяки на северном берегу залива Ниэмелянлахти, на полуострове Хююрниеми (Шахнович, 2005). На берегу залива выделяется два скальных выхода, южные склоны которых обрывистые и имеют следы от сейсмических процессов. Отложения на площадках пологих склонов представлены песчаными отложениями, которые подстилает серая супесь послеледниковых донных отложений Ладожского озера. На

скальной площадке Ниэмелянхови I расположено несколько каменных сложений. По геохимическим данным аномальные зоны на памятнике, в основном, хорошо фиксируются по повышенному содержанию совокупности таких антропогенных компонентов, как P_2O_5 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , повышенные значения которых сопряжены с валунными сложениями в центральной и боковых зонах комплекса, за пределами структур концентрации этих элементов находятся на уровне фоновых значений для этих отложений. Возможно, это отмечает деятельность, связанную с разделкой животных, сжиганием древесины и использованием охры в ритуалах, проходивших в центральной части памятника около большой каменной кладки и вокруг остальных каменных куч. Пахотный слой перекрывает кладку и само сложение может быть датировано периодом ранее XVI в. н.э. Несмотря на отсутствие каких-либо предметов и остатков материальной культуры, такая конструкция, а также совокупность геохимических показателей, свидетельствует, что в центральной части каменной кучи проводились действия ритуального характера, возможно, каменная кладка посыпалась костным пеплом.

Полуостров Средний, культовое место «Братья».

Скальные останцы «Братья» – памятник послеледниковой геологической истории Фенноскандии, расположенный непосредственно на морском берегу, в северо-западной части п-ова Средний. Два живописных каменных столба причудливой формы выделяются в окружающем ландшафте, которые похожи на природные «статуи» с мифологической смысловой нагрузкой (Шахнович, Кулькова, 2020). Столбы располагаются на ровной, первой морской террасе – древнем галечном пляже, на высоте около 15 м над уровнем моря. Исследование отложений методом геохимической индикации позволяет установить несколько основных факторов, влияющих на процесс формирования отложений и выделить антропогенные компоненты, если они присутствовали в отложениях. Формула первого фактора (F1) (63,5%): $CaO, P_2O_5 (Sr) / Al_2O_3, SiO_2, TiO_2 (Zr)$ показывает антагонизм между группами компонентов, связанных с антропогенной деятельностью, достаточно четко выделяется ассоциация компонентов ($CaO, P_2O_5 (Sr)$), которые характеризуются высокими корреляционными связями и породообразующими и акцессорными компонентами ($Al_2O_3, SiO_2, TiO_2, (Zr)$), связанными с минералами, входящими в состав песчаных отложений.

Содержания антропогенных компонентов $CaO, P_2O_5, (Sr, Rb)$ были также определены для отложений на 2-х участках. По сравнению с содержанием этих компонентов в фоновых образцах, отобранных за пределами памятника, выделяются аномальные концентрации в отложениях на памятнике. На исследованных обоих участках памятника выделяются две аномальные зоны по комплексу антропогенных компонентов. Эти зоны могут быть рассматриваемы, как места ритуальных действий. В таких зонах зафиксированы аномальные содержания антропогенных калия и рубидия. Повышенные концентрации K_2O_{antr} связаны с древесной золой в отложениях культурного слоя, являются маркером зоны костров. Это же показывают значения по Rb_{antr} , которые хорошо коррелирует с K_2O_{antr} . В зонах костров, которая обогащена золой, также характерны повышенные концентрации цинка (Zn) и меди (Cu). Таким образом, полученные данные позволяют реконструировать зоны костров, а также участки выбросов из них золы, расположенные рядом. Можно предположить, что зоны с повышенными содержаниями комплекса элементов, таких как P, Ca, K, Sr, Rb, Zn, Cu, маркируют участки древней ритуальной практики, где могли оставляться сакральные приношения, разделываться мясо животных, разводиться огонь. Таким образом, по данным геохимических исследований можно заключить, что на пространстве между двумя останцами «Братья» совершались обрядовые, ритуальные действия, которые можно рассматривать как языческие жертвоприношения, связанные с охотничьей и бытовой магией. Эти скальные останцы могли восприниматься как выразительный природный объект, наделялись сакральными свойствами, а зоны возле них использовались для ритуальных практик.

Полуостров Тарханкут (Крым), загоны для скота бронзового века.

На памятнике Тарханкут-18 (шурф 1), расположенного на полуострове Тарханкут в Крыму, образцы отложений культурного слоя, который сформировался на поверхности эоловых отложений, были отобраны по сетке, через каждые 60 см. Кроме того, были отобраны образцы с поверхности эоловых отложений (фоновый шурф), чтобы установить фоновые содержания геохимических компонентов. Фоновый шурф был заложен за пределами археологического памятника, для того, чтобы определить состав геологически сходных отложений, не подверженных антропогенному влиянию.

Карты распределения компонентов (SiO_2 , Al_2O_3), связанных с литологическим составом отложений, показывают особенности микрорельефа в зоне раскопок (рис.12).

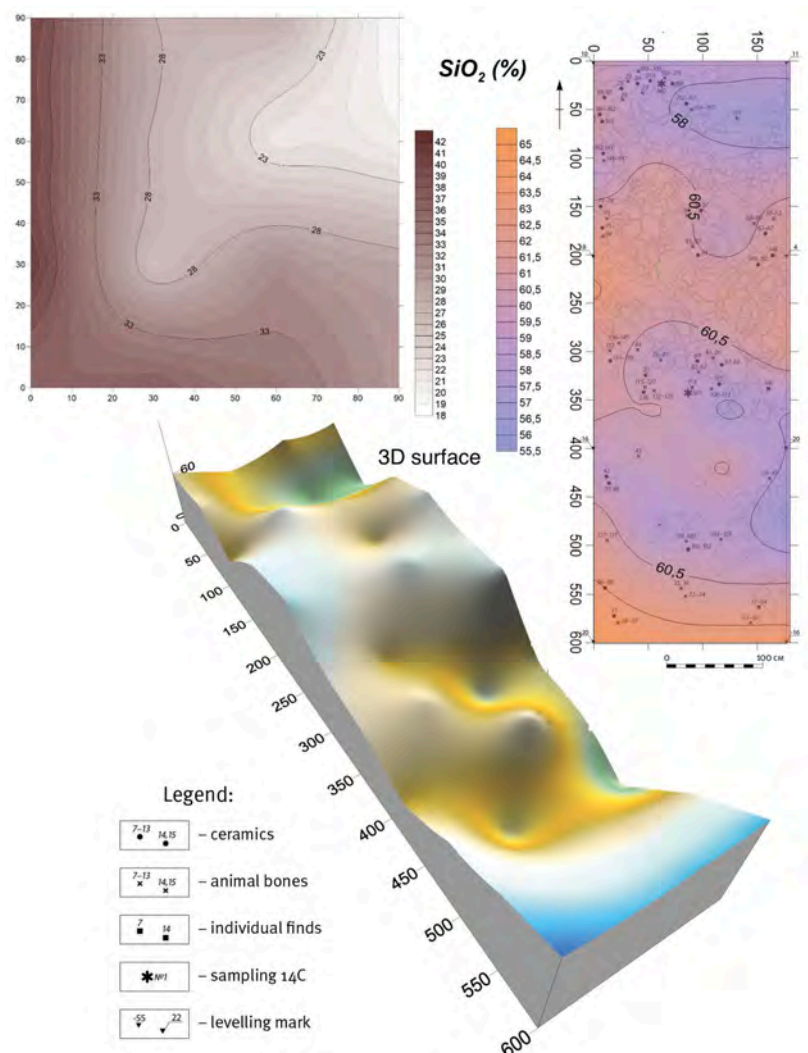


Рис.12. Памятник Тарханкут 18. Распределение SiO_2 (%) в отложениях: 1 — фоновая геохимическая карта, 2 — геохимическая карта в области загона; 3 — 3D реконструкция поверхности рельефа культурного слоя. Карты построены автором и опубликованы (Kashuba et al. 2021).

Хорошо выделяются повышенные участки, на которых были сооружены каменные стены загона, и пониженные участки, зоны, в которых содержался скот внутри каменных структур. Отложения на этих участках сильно «вытоптаны» и переработаны. Повышенные значения антропогенных компонентов ($\text{CaO}_{\text{anthr}}$, $\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$, $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$) в отложениях на участках понижения внутри загон (рис.13) свидетельствуют об интенсивной антропогенной активности, связанной с содержанием скота. Эти участки также характеризуются высокими значениями основных антропогенных компонентов, по сравнению с фоновым участком, за

пределами загонов. Агрессивная химическая среда, которая изменила химический состав отложений и привела к почти полному растворению карбонатов, была, сформирована в условиях стойла для скота, что подтверждается также и археологическими данными. Содержание CaO на участках загонов на порядок ниже по сравнению с фоновыми отложениями. Аномалии антропогенного $\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$ и Ba , которые связаны с процессами образования перегноя, навоза и т.д. также отмечаются в зонах загонов. Таким образом, по данным геохимических элементов, можно определить основную функцию этого участка, как загон-стойло для содержания животных.

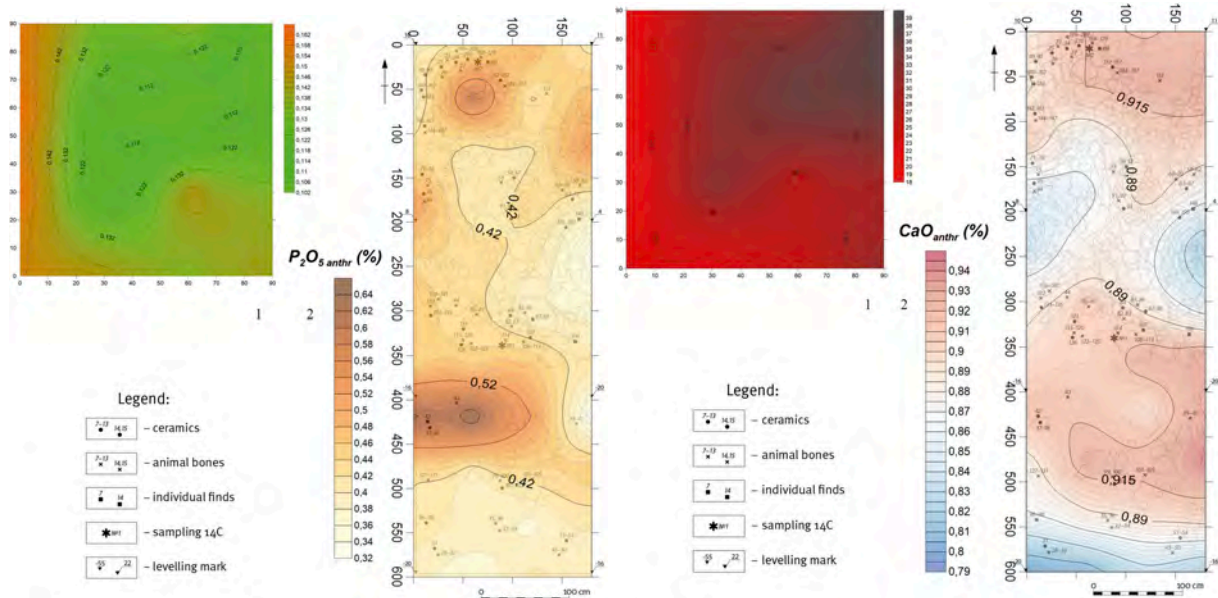
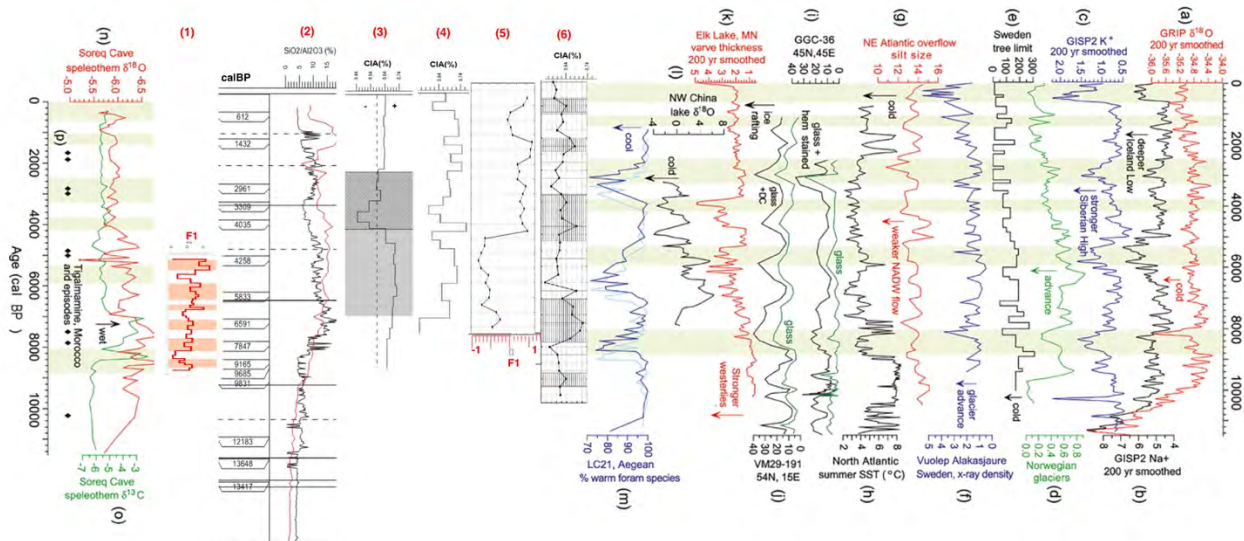


Рис.13. Памятник Тарханкут 18. Геохимические карты распределения а) $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ (%), б) $\text{CaO}_{\text{anthr}}$ в отложениях: 1 — фоновая геохимическая карта, 2 — геохимическая карта в области загона. Карты построены автором и опубликованы (Kashuba et al. 2021).

Исследования культурных отложений с помощью картирования геохимических индикаторов по площади культурного слоя на археологических памятниках, дает возможность более детально оценить функциональные зоны древних стоянок и поселений и установить их там, где это нельзя определить с помощью традиционных археологических методов. Эти данные позволяют охарактеризовать различные типы функциональных зон и реконструировать жизнь человека на поселениях, а также с помощью определения химического состава артефактов реконструировать технологии производственной деятельности (Kulkova et al. 2018; Kulkova et al. 2020; Zanolci et al. 2020; Kulkova et al. 2021, Могрунова и др. 2021; Андреев и др. 2021). Разработка многоэлементного метода реконструкции функциональных зон на памятниках эпохи неолита - раннего железного века важна для понимания деятельности древних людей на территории Восточной Европы, а также и других регионов. Такой подход, с использованием комплекса геохимических компонентов, позволяет выделять различные функциональные зоны на памятниках, формирующихся в различных географических зонах и литологических типах отложений.

4. На основе методологического подхода с использованием геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий и антропогенной нагрузки разработаны региональные климато-хронологических схемы и глобальная палеоклиматическая шкала для позднего плейстоцена-голоцена. Полученная модель позволяет реконструировать особенности формирования, развития и этапы трансформации природной системы в голоценовую эпоху и связанные с ней культурно-исторические процессы на территории Восточной Европы.

Существует несколько причин климатических изменений. В настоящее время наиболее важным фактором является влияние солнечной активности на климат Земли, что доказано эмпирическими исследованиями, в первую очередь, на основе изотопных данных. Выделяются одиннадцатилетние, двухсотлетние, тысячелетние и др. циклы изменения солнечной активности. (Muscheler, 2007; Dean, 2000; Bond, 1997). Исследования, проведенные Дергачевым В.А. (Dergachev & van Geel, 2004), позволили установить периодичность природных процессов, которая совпадает с 2400 летним и 1500 летним циклами солнечной активности. Вариации космогенных изотопов ^{10}Be и ^{14}C , которые образуются в атмосфере под воздействием потоков космических лучей и затем сохраняются в архивах природной среды, таких как кольца деревьев, слои льда, ленточные глины, кораллы и т.д., имеют цикличность, главным образом в 2400 лет и менее отчетливую цикличность 1500 лет. По данным многих исследователей, после холодного эпизода в период «Молодого Дриаса» (12700-11500 calBP), в голоцене основные глобальные эпизоды похолодания отмечаются около 8200 calBP/6200 calBC (Magny, 2003; Jiang et al., 2005; Fa-Hu Chen et al. 2006 и др.), 5800 и 5300 cal BP /3800-3300 calBC (Magny, 2004), около 4100 calBP/2100 calBC (Cheng-Bang An et al., 2006, Fa-Hu Chen et al., 2006); около 2800 calBP/800 calBC (van Geel et al., 1996) и малый ледниковый период около 500 calBP (в 17-19 вв н.э.). Исследования показывают, что эти эпизоды сильного похолодания часто сопровождались вулканическими извержениями. На калибровочной радиоуглеродной кривой эти эпизоды образуют «радиоуглеродные плато» (Кулькова, 2007). В настоящее время существует большое количество публикаций, которые связывают изменения, которые происходят в культурных сообществах с изменениями окружающей среды (e.g., Weiss et al., 1993; deMenocal, 2001; Weninger et al., 2006; Büntgen et al., 2011; Drake, 2012; Kaniewski et al., 2013; Wiener, 2014). Некоторая региональная асинхронность во времени этих эпизодов может быть объяснена природой RCC похолоданий, которые включают комбинацию орбитальных, ледниковых факторов, а также океаническую циркуляцию, тропические вулканические извержения и солнечную активность (Finné et al., 2011; Wanner et al., 2011), а также это можно объяснить сложностью среднеголоценового климатического перехода (Triantaphyllou et al., 2009; Magny et al., 2013). На рис.14 показана корреляция быстрых климатических колебаний (RCC), установленных с помощью геохимических индикаторов на археологических памятниках Восточной Европы и по данным различных природных маркеров по Mayewski et al. (2004).



На рис. 15 приведена хронология археологических культур, построенная по данным радиоуглеродного датирования различных органических материалов из культурных слоев на опорных археологических памятниках Восточной Европы.

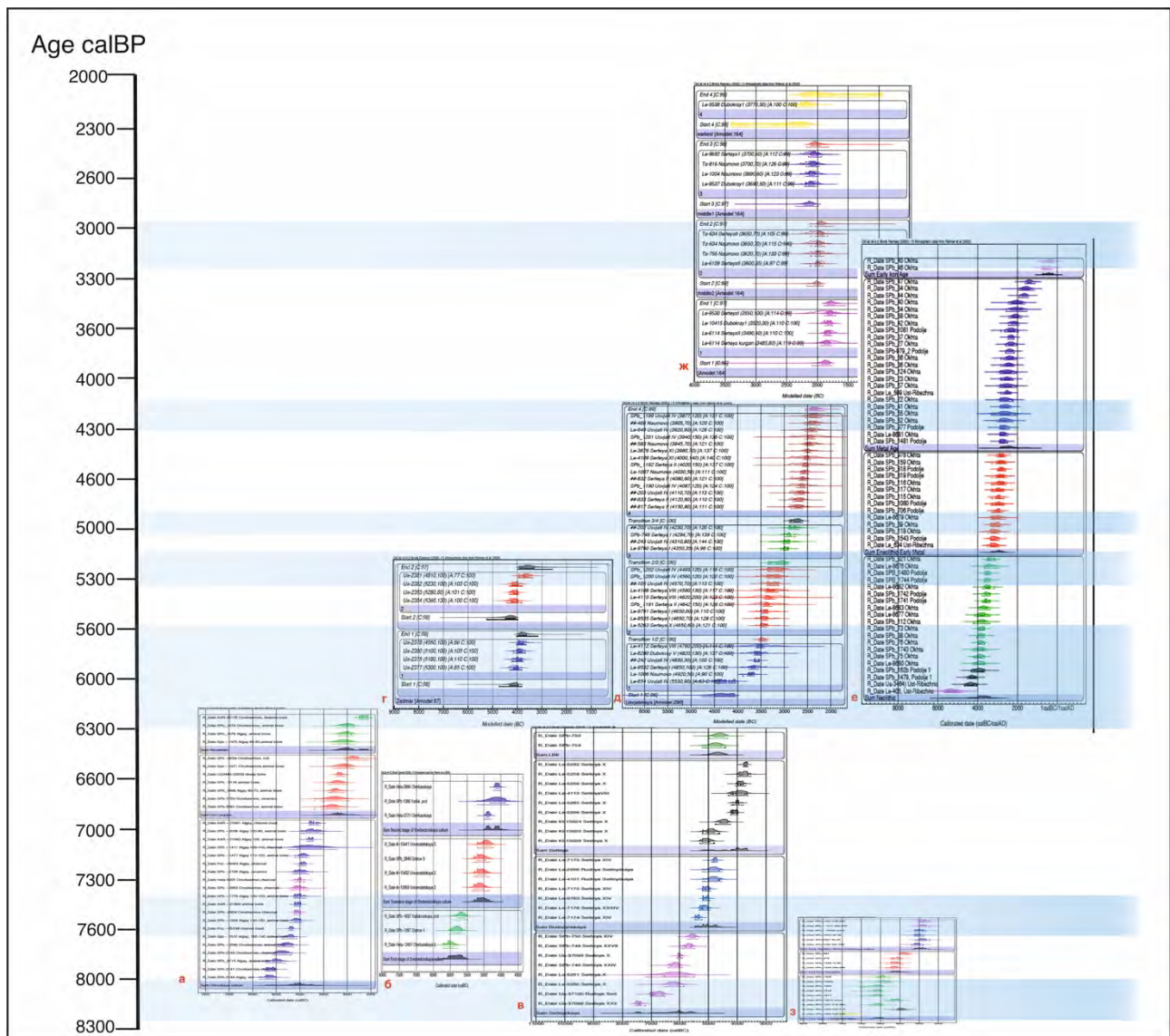


Рис.15. Хронология археологических культур на изученных стоянках: а) Орошаемое Алгай, полу-пустыня-степь; б) стоянки в бассейне среднего течения Дона, лесостепь; в) лесная зона стоянки Двинско-Ловатского междуречья (д, ж); г) лесная зона – стоянка Цедмар; е) лесотундра – стоянки Охта 1-Подолье 1; з) лесная зона – стоянка Замостье 2.

На основе проведенных исследований с использованием геохимических индикаторов в отложениях на археологических памятниках территории Восточной Европы, были установлены следующие резкие кратковременные циклические изменения климата (8400-8000 calBP/6400–6000 BC (**8200 calBP/6200 cal BC**), 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450- 4200 calBP/3500–2200 BC (**4200 calBP/2200 calBC**) и 3200-2800 calBP/1200-900 BC и менее значимые климатические события (7700-7600 calBP/5700-5500 calBC и 7300-7200 calBP/5300-5200 calBC)). Эти эпизоды оказывали влияние на ландшафтно-климатические условия в голоцене на территории Восточной Европы и являлись триггером социокультурных трансформаций (Табл.1) (Vybornov et al. 2012, 2013; Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2016; Kulkova et al. 2021, Vybornov et al. 2018; Korolev et al. 2018; Моргунова и др. 2019;

Выборнов и др. 2019; Vybornov et al. 2020, Vybornov et al. 2021; Выборнов и Кулькова 2020; Выборнов и Кулькова, 2021). Детальная корреляция кратковременных палеоклиматических событий и появления носителей различных культур в голоцене была проведена методом геохимической индикации, который позволяет сопоставить такие события, как климатические изменения и антропогенную активность, запечатленные в архивных осадочных отложениях на археологических памятниках. Эти данные сопоставлены для разных ландшафтно-климатических зон Восточной Европы (Табл.1)

Табл.1. Периоды резких быстрых климатических изменений (RCC) в голоцене и культурные трансформации в Восточной Европе по данным геохимической индикации и радиоуглеродного датирования.

8200 calBP/6200 cal BC Переход от мезолита к неолиту		
<i>Полу-пустыня и степь</i>	<i>Лесо-степь</i>	<i>Лесная зона и тайга</i>
Каиршакская культура (Северный Прикаспий). Существование «замкнутых» анклавов первых неолитических поселений, их эволюционное развитие. Начало появления Орловской культуры в бассейне Нижней Волги.	Елшанская культура (Среднее Поволжье). Эволюционное развитие замкнутых анклавов.	Стоянка Замостье 2 (Верхняя Волга). Переход к периоду позднего мезолита
Джангарская культура (Северо-Западный Прикаспий). Происходят изменения в технологии изготовления керамической посуды. Автохтонность развития, связанная с влиянием носителей Каиршакской культуры	Появление памятников среднедонской и карамышевской культур (Средний и Верхний Дон)	Первые свидетельства появления Сертейской неолитической культуры (Двинско-Ловатское междуречье)
Появление Ракушечной культуры в бассейне Нижнего Дона. Влияние анатолийско-ближневосточных традиций		Южное Приладожье, Южное Прионежье, бассейн оз.Воже – мезолитические сообщества
Появление первых центров изготовления керамики на территории Восточной Европы и распространение отдельных импульсов этих традиций среди мезолитических сообществ.		
7700-7600 calBP/5700-5600 calBC и 7300-7200 calBP/5300-5200 calBC Неолитизация и переходные к энеолиту культуры		
Сложение Орловской культуры (Нижняя Волга),	Появление южных сообществ из степной	Стоянка Замостье 2 (Верхняя Волга) появление сообществ

стоянки Алгай и Орошаемое.	зоны. Формирование изменений в керамике елшанской культуры и появление сурской культурной традиции (Среднее Поволжье) (7700 calBP/5700 calBC)	раннего неолита верхне-волжской культуры (7700 calBP/5700 calBC).
Формирование переходной от неолита к энеолиту Прикаспийской культуры начинается около 7500 calBP/5500 calBC в Северном Прикаспии (Джангар, Жекалган I). Появление синкретичной керамики. Появление овцы на стоянке Курпеже-Молла (7100 calBP/5100 calBC)	Формирование средневолжской культуры, как результат культурного синкретизма позднеелшанской, тентексорской и позднеорловской культур (Среднее Поволжье) (7700 calBP/5700 calBC).	Развитие мезолитических сообществ (Карельский перешеек, Южное Приладожье). Появление культуры сперрингс (7000 calBP/5000 calBC)
Появление съезжинского культурного типа (7400 calBP/5400 calBC)	Развитие карамышевской и среднедонской культурных традиций (Средний и Верхний Дон) (7700 calBP/5700 calBC). Переход к энеолиту на Среднем Дону. Формирование черкасского культурного типа на основе нижнедонской культуры и местного населения (7350 calBP/ 5350 calBC).	Двинско-Ловатское междуречье. Развитие средней и поздней фазы Сертейской культуры (7700 calBP/5700 calBC).. Формирование руднянской культуры (7300-7250 calBP/5300-5250 calBC), сочетающей в себе местные культурные традиции и традиции нарвской культуры.
Нижнедонская культура в северном Приазовье, Азово-днепровская — в западном Приазовье и юге степного Поднепровья, (Котова 2015).	Днепро-донецкая культурно-историческая общность в бассейнах Северского Донца и Поднепровья. Доминирует керамика с гребенчатым орнаментом. Формирование 2-го этапа буго-днестровской культуры (Котова 2015)	Появление раннего неолита в Южном Прионежье (Караваиха 4). В Юго-Восточном Прионежье (Тудозеро V) в период 7636-7500 calBP/5636-5500 calBC происходит распространение. Появление культуры сперрингс (7300 calBP/5300 calBC)
6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5300 calBP/3300 cal BC, 5000 calBP/ 3000 calBC, 4200 cal BP/2200 calBC переход к производящему хозяйству, энеолиту, позднему медному-раннему бронзовому веку		

Распространение носителей хвалынской культуры на стоянке Орошаемое (6700-6300 calBP/4700-4300 calBC) (Нижняя Волга). Упадок хвалынской культуры, связанный с прекращением балкано-дунайской металлургии (5800-5700 calBP/3800-3700 calBC)	Развитие среднестоговской культуры энеолита (Средний Дон) (6700-6300calBP/4700-4300 calBC). Контакты с льяловской культурой.	На стоянке Замостье 2 (Верхняя Волга) развитие Льяловской культуры 6300 calBP/4350 calBC. Появление носителей культур эпохи бронзы (5000 calBP/3000 calBC).
Формирование ямной культуры эпохи бронзы, бережновских культурных традиций, которые сложились на основе хвалынской-среднестоговского населения (Поволжье) (5600-4300 calBP/3600-2300 calBC)	Появление сообществ с гибридной керамикой среднедонской и карамышевского типа (Средний Дон) 5700 calBP/3700 calBC. Сложение неолитического сообщества ксизовского типа, как процесс взаимодействия рязанско-долговской и среднестоговской культур (5700 calBP/3700 calBC)	Южное Приладжье. Носители ямной, ямочно-гребенчатой и гребенчатой культур начали развиваться на территории в период 6070-5633 calBP/4071-3633 calBC (Охта 1, Подолье 1). Появляются носители типичной гребенчатой культуры, традиций изготовления керамики с пером, асбестом, раковиной, были обнаружены погребения с янтарем (5300-4820 calBP/3364-2871calBC). Начало эпохи бронзы, появление носителей шнуровой керамики, после 4200 calBP/2200 calBC
		Двинско-Ловатское междуречье. В прибрежной части заболоченных озер появляются свайные постройки Усвятской культуры. Наиболее древние свайные поселения датируются 4570-4330 calBP/2570-2330 calBC. Развитие Жижицкой культуры (4000-3700 calBP/2283-1685 calBC). Появление носителей других культурных традиций в регионе (культуры воронковидных кубков, шаровых амфор, культур шнуровой керамики, последней стадии Днепро-Донецкой культуры)
		Вышинецкая возвышенность. Сложение культуры Цедмар, вследствие взаимодействия

		нарвской, ямочно-гребенчатой, неманской культур и культуры воронковидных кубков (5833-4250 calBP/3833-2258 calBC).
3200 calBP-2900 calBP/1200 calBC- 900 calBC кризис позднего бронзового века и переход к раннему железному веку		
Распространение культур раннегалльштаттского круга в Карпато-Дунайском бассейне активизируется в 10-9 cc. calBC (Кашуба, 2012).	В лесостепной зоне между реками Днестр и Дон в результате миграций были сформированы новые культуры со сложным типом хозяйства - Чернолесская культура (Бочкарев, Кашуба, 2018).	Появления первых железных изделий в Волго-Камье в маклашеевской культуре финала бронзового века, около 12/11 – первой половине 9 в. до н.э.
Критические изменения происходят во второй половине-конце 10 в. до н.э.: исчезновение культуры Кишинэу-Корлэтэнь; существенные изменения в культуре Гава-Голиграды; преобразование поздней Белогородской культуры (раннего Чернолесья) в культуру развитого (позднего) Чернолесья (Кашуба 2000).	Конец 13–10 в. до н.э. распад срубной и андроновской культурно-исторической общности. На смену им на значительном пространстве степи и лесостепи от Дуная до Алтая приходит общность культур валиковой керамики (КВК).	Производство железных изделий в Волго-Камье в раннеананьинское время — во второй половине IX–VII вв. до н. э. (Чижевский, 2012)
Третья раннегалльштаттская культура региона – Козия-Сахарна, конец 11–начало 8 в. до н.э. является самым северо-восточным культурным образованием восточнобалканского круга культур Инсула Банулуй–Пшеничево II–Бабадаг II (Кашуба 2000)		В Южном Приладожье появление биметаллических предметов ананьинского типа в волховской культуре 9-6 вв. до н.э. (Юшкова, 2011)
Период финальной бронзы в степях Северного Причерноморья связан с населением белозерской культуры, переход от земледелия к оседлому скотоводству в 12-11 вв.		

Засушливые условия 1000–950 гг. до н.э. экспансия «киммерийцев» в понтийские степи от Северного Кавказа до Дуная (Kotova, Makhortykh, 2010).		
--	--	--

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором проведено крупное обобщение данных геохимических исследований отложений, полученное на базе опорных археологических памятников, расположенных в различных географических зонах Восточной Европы. Для каждой ландшафтно-климатической зоны Восточной Европы (степной и полу-пустынной зоны, лесостепной, лесной и тундровой зон) были выбраны эталонные многослойные археологические памятники, на которых проводились исследования по реконструкции палеоклимата, формированию культурного слоя и развитию археологических культур. Оценка характера осадконакопления на археологических памятниках различных географических зон Восточной Европы с использованием геохимических индикаторов ландшафтно-климатических условий, позволяет выявить такие факторы, как относительная температура ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), относительная влажность (CIA ; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), гидрологический режим водоема и его продуктивность ($\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), процессы эрозии ($\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) и антропогенная активность ($\text{P}_2\text{O}_5^{\text{anthr}}$). Математическая обработка геохимических данных, полученных для литологических отложений на стоянках древнего человека дает возможность выявить группы химических элементов литологической (Al_2O_3 , SiO_2 , Zr , Fe_2O_3 , TiO_2) и антропогенной составляющей (P_2O_5 , CaO , Sr). Корреляция этих показателей в отложениях позволяет сопоставить ландшафтно-климатические условия осадконакопления и уровень антропогенной активности для определенных хронологических этапов позднего плейстоцена - голоцена на территории Восточной Европы. В отличие от других методов реконструкции ландшафтно-климатических условий, геохимический метод позволяет установить вариации в изменении состава отложений и соответственно, реконструировать климатические изменения для кратковременных периодов, длительностью до 100 лет. Это дает возможность построить более детальную климато-стратиграфическую хронологию.

На основе геохимических индикаторов ландшафтно-климатических условий были установлены хронологические этапы заселения стоянок древнего человека на территории Восточной Европы. Корреляция этих данных с уровнем антропогенной активности и результатами радиоуглеродного датирования дает возможность построить детальные климатические хронологические шкалы для стоянок различных периодов, расположенных в разных географических зонах Восточной Европы (стоянка позднего палеолита Елисеевичи II; стоянки неолита-энеолита Алгай и Орошаемое; стоянка неолита-эпохи бронзы Доброе 9; стоянка мезолита-неолита Замостье 2; стоянки неолита-раннего металла Охта 1, Подолье 1; стоянки неолита-раннего железного века в Серетйском археологическом микрорегионе; стоянка неолита Караваиха 4; стоянка мезолита-раннего железного века Тудозеро V).

Впервые для региона Восточной Европы на основе применения метода многомерного статистического анализа были определены комплексы геохимических индикаторов и ассоциации индикаторов, характеризующие различные функциональные области на поселениях, что важно для оценки влияния антропогенной активности в голоцене на экологию окружающей среды в разных географических зонах.

Для оценки антропогенного влияния на трансформацию отложений и особенностей формирования культурных слоев применялся метод геохимической индикации функциональных зон на поселениях. Такие ассоциации химических элементов, как (P_2O_5 , CaO , Sr), (K_2O , Rb), (MnO , Ba), (Zn , Cu , Pb) могут быть использованы для выявления жилых,

хозяйственных и производственных зон в местах древних поселений. На стоянке Охта 1 эпохи неолита-раннего металла для отложений погребения характерны аномальные значения комплекса химических антропогенных компонентов, таких как $P_2O_{5\text{антр}}$, $CaO_{\text{антр}}$ и Fe_2O_3 , $Sr_{\text{антр}}$. Геохимический состав отложений на стоянке Подолье 1 показывает другой характер распределения химических элементов. В прибрежной зоне протоки могут быть определены участки расположения кострищ ($K_2O_{\text{антр}}$ и $Rb_{\text{антр}}$) и зоны разделки и приготовления животных и рыбы ($CaO_{\text{антр}}$ и $Sr_{\text{антр}}$).

На памятниках эпохи неолита Сертейского археологического микрорегиона были выявлены остатки очажных скоплений (K_2O , Ba , TiO_2), места накопления гумуса, следы обитания и внутренние участки жилой структуры (Fe_2O_3 , MnO , (LOI_{500}) , участки накопления органики и костных остатков (P_2O_5 , LOI), которые могли скапливаться в местах разделки животных и приготовления пищи.

На территориях Карелии и Кольского полуострова, на участках, сложенных каменными валунами, повышенные значения таких компонентов, как P_2O_5 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O отмечает деятельность, связанную с разделкой животных, сжиганием древесины и использованием охры в ритуалах.

В регионе полуострова Тарханкут (Крым) внутренние участки загона для скота характеризовались повышенным содержанием антропогенных компонентов (P_2O_5 , K_2O , Rb) и низкими концентрациями CaO , по сравнению с фоновыми значениями.

Геохимическое картирование функциональных зон является важным инструментом для определения границ археологических памятников и фиксации культурных слоев археологического наследия, которые не могут быть установлены достоверно археологическими методами.

Можно также отметить, что присутствие человека оказывает сильное воздействие на окружающую среду, преобразуя природные объекты. И даже, в случае отсутствия каких-либо археологических свидетельств о появлении человека в том или ином месте и остатков материальной культуры, следы пребывания могут быть обнаружены с помощью появления антропогенных маркеров в виде комплекса геохимических элементов антропогенного характера, что позволяет оконтурить и обозначить границы культурного слоя. Это важно для охраны объектов культурного наследия.

По данным геохимических индикаторов в отложениях голоцена на стоянках древнего человека регистрируются глобальные климатические события, связанные с резкими быстрыми кратковременными изменениями климата (RCC) в период голоцена около 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450-4200 calBP/3500–2200 BC (4200 calBP/2200 BC) и 3200-2800 calBP/1200-900 BC. Были также зарегистрированы и менее значимые климатические события, которые нельзя было уловить традиционными методами реконструкции климата (например, спорово-пыльцевым) (7700-7600 calBP/5700-5500 BC и 7300-7200 calBP/5300-5200 BC). Метод геохимической индикации позволяет скоррелировать климатические события с уровнем антропогенной активности на археологических памятниках. Эти результаты позволяют оценить влияние глобальных климатических факторов на трансформации культурно-исторических сообществ на территории Восточной Европы.

Около 8200 calBP/6200 calBC, в раннем голоцене на территории Восточной Европы отмечается переход к неолитическому периоду. Он характеризуется быстрым продвижением мобильных охотников из полу-пустынной, степной и лесостепной зон в зону лесов, что связано с резкими климатическими изменениями. Происходит развитие керамического производства, что характеризует процесс неолитизации Восточной Европы. В отличие от Западной и Центральной Европы этот процесс связан в раннем неолите с распространением гончарного производства и специфической техникой изготовления каменных орудий. В периоды ухудшения климата, особенно связанные с быстрыми кратковременными климатическими изменениями (RCC), культурные сообщества распространяются в регионы,

которые характеризуются обилием водных ресурсов, как правило, из регионов, в которых происходит сокращение или высыхание водоемов.

Следующий хронологический период можно охарактеризовать, как переходный период между неолитом и энеолитом (7200-7100 calBP/5200-5100 calBC). В степной зоне появление культур энеолита происходит около 6700 calBP/4700 cal BC.

Более сложный процесс, который связан с социальной стратификацией общества и развитием производства - это эпоха бронзы. Бронзолитейная традиция на территории Восточной Европы берет свое начало в степной зоне и связана со срубной культурой, появляется около 4800 calBP/2800 calBC. Ее распространение в северные лесные зоны происходит не так интенсивно, т.к. стратегии адаптации населения в лесной зоне остаются стабильными и консервативными на уровне неолита-энеолита, когда главной деятельностью жизнеобеспечения остается охота и собирательство.

Критические изменения относятся к периоду 3100-2900 calBP/1100-900 calBC и затрагивают всю ойкумену Восточной Европы. В этот период происходит стремительное развитие технологии производства изделий из железа. Между эпохой бронзы и периодом железного века существует двухтысячелетний переходный период «биметалликум», когда в разных регионах использовались, как бронза, так железо. Процесс внедрения железопроизводства проходил очень неравномерно. В лесной зоне эпоха железа начинается только около 2500 calBP/500 calBC. Большую роль в развитии и распространении этой технологии сыграли племена кочевников, которые изготавливали из железа военный инвентарь и вели завоевательные войны. Третья стадия трансформации геосистемы Восточной Европы, относящаяся к позднему голоцену, может быть охарактеризована, как интегральная геосистема эпохи развития металлопроизводства.

Результаты исследования могут быть использованы для практического применения в геологии, географии, археологии, в экологии и охране культурного и исторического наследия. Полученные данные могут быть использованы в курсах лекций и проведения практических занятий по геологии, археологии, географии в высших учебных заведениях.

Список публикаций, содержащий основные результаты, выносящиеся на защиту

1. **Kulkova M.**, Kashuba M., Gavrylyuk N., Kulkov A., Kaiser E., Vetrova M., Zanoci A., Platonova N., Hellstrom K., Winger K. Composition of white paste inlay on the pottery from sites of the 10th-8th centuries BCE in the northern Pontic region // *Archaeometry*. - 2020. - Volume 62, Issue 5. - P. 917-934. - DOI: 10.1111/arc.12567. **Q1**
2. **Kulkova M. A.**, Vybornov A.A., Yudin A., Doga N., Popov A. New interdisciplinary research on Neolithic-Eneolithic sites in the Low Volga River region // *Documenta Praehistorica*. - 2019. - Volume 46. - P. 376-387. - DOI: 10.4312/dp.46.23. **Q1**
3. **Kulkova M.**, Gusentzova T., Nesterov E., Sorokin P., Sapelko T. Chronology of Neolithic-Early Metal age sites at the Okhta river mouth (Saint Petersburg, Russia). *Radiocarbon*. – 2012- Volume 54 (3-4). – P.1049-1063. - DOI: 10.1017/S0033822200047664 **Q1**
4. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Dolbunova E. Paste recipes and raw material sources for pottery-making in hunter-gatherer communities in the forest zone of Eastern Europe (Dnepr-Dvina region, 7–6th millennia BC) // *Journal of Archaeological Science : Reports*. - 2018. - Volume 21. - P. 962-972. - DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.04.006. **Q1**
5. **Kulkova M. A.**, Nesterov E. M., Markova M. A., Gusentsova T. M., Sorokin P. E., Sapelko T. V., Ludikova A. V., Ryabchuk D. V. Geoarcheological investigations on the development of the Neva river delta (gulf of Finland) during the Holocene// *Journal of marine systems*

- [Text]. - 2014. - Volume 129. - P. 19-34. - DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.05.009
DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.42.4> **Q1**
6. **Kulkova MA**, Mazurkevich AN, Dolbunova EV, Lozovsky VM. The 8200 calBP climate event and the spread of the Neolithic in Eastern Europe // *Documenta Praehistorica*. -2015. Volume 42. - 77–92. - DOI: 10.2458/AZU_RC.57.18427, **Q1**
 7. Сапелко Т. В., Гусенцова Т. М., **Кулькова М. А.**, Лудикова А. В., Денисенков В. П., Корнеев Н. Ю. Ладожская трансгрессия и ландшафты второй половины голоцена в Южном Приладожье (по данным изучения археологического памятника Подолье-1) = Ladoga transgression and landscapes of the Holocene second half in the Southern Ladoga area (according to the study of the archaeological site podolje-1) // *Известия Российской Академии наук. Серия географическая*. - 2019. - N 5. - С. 78-95. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41224802>. - DOI: 10.31857/S2587-55662019578-95. **Q2**
 8. Gusentsova T. M., **Kulkova M. A.** The subsistence strategy and paleoenvironment on the Stone Age site Podolye 1 in the southern Ladoga Lake region (Eastern Baltic) // *Quaternary International*. - Kidlington, 2020. - Volume 541. - P. 41-51. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104061821930062X>. - DOI: 10.1016/j.quaint.2019.05.039. **Q1**
 9. **Kulkova M. A.**, Kashuba M. T., Kulkov A. M., Vetrova M. N. Pottery of Early Iron Age from the Glinjeni II-Lasants (North-Western Pontic Sea Region) : Composition, Technology and Raw Material Sources // *Heritage*. - 2021. - Volume 4, Issue 4. - P. 2853-2875. - URL: <https://www.mdpi.com/2571-9408/4/4/160>. - DOI: 10.3390/heritage4040160. **Q2**
 10. Vybornov A., **Kulkova M.**, Nesterova L., Kosintsev P., Platonov V., Platonova S., Philippsen B. Diet and Chronology of Neolithic-Eneolithic Cultures (from 6500 to 4700 cal BC) in the Lower Volga Basin // *Radiocarbon*. - 2018. - Volume 60, Issue 5. - P. 1597-1610. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38635590>. - DOI: 10.1017/RDC.2018.95. **Q1**
 11. Korolev A., **Kulkova M.**, Platonov V., Roslyakova N., Shalapinin A., Yanish Y. E. Archaeological materials of eneolithic settlements in forest-steppe zone of the volga region : A source for diet and chronology // *Radiocarbon*. - 2018. - Volume 60, Issue 5. - P. 1587-1596. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38615432>. - DOI: 10.1017/RDC.2018.114. **Q1**
 12. Vybornov A., Zaitseva G., Kovalyukh N., **Kulkova M.**, Possnert G., Skripkin V. Chronological Problems with Neolithization of the Northern Caspian Sea Area and the Forest-Steppe Povolzhye Region // *Radiocarbon*. – 2012. - Volume 54 , Issue 3-4 – P. 795 – 799. - DOI: 10.1017/S0033822200047445. **Q1**
 13. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Gerasimov D. Stone Age archaeological sites and environmental changes during the Holocene in the NW region of Russia // *Geological Society, London. Special Publications*. – 2016. - Volume 411 (1). - P. 27-49. - DOI: 10.1144/SP411.8 **Q1**
 14. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Dolbunova E., Regert M., Mazuy A., Nesterov E., Sinai M. Late Neolithic Subsistence Strategy and Reservoir Effects in ¹⁴C Dating of Artifacts at the Pile-Dwelling Site Serteya II (NW Russia) // *Radiocarbon*. - 2015. - Volume 57.- P. 611–623. - DOI: 10.2458/azu_rc.57.18427 **Q1**

15. Ryabchuk D., Zhamoida V., Amantov A., Sergeev A., Gusentsova T., Sorokin P., **Kulkova M.**, Gerasimov D. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic–Bronze and Iron Age settlements//Geological Society, London. Special Publications. - 2016. Volume 411 (1). P. 51-76. - DOI: org/10.1144/SP411.5 **Q1**
16. Vybornov A., Andreev K., Kudashov A., **Kulkova M.** The development of early pottery in the forest zone of the Middle Volga region (Eastern Europe) // Documenta Praehistorica. – 2021. - Volume 49. – P. 70-81. - DOI: 10.4312/dp.48.19 **Q1**
17. Выборнов А. А., **Кулькова М. А.**, Дога Н. С. Природно-климатические кризисы как фактор культурной и хозяйственной изменчивости в неолите-энеолите Нижнего Поволжья = Natural and Climatic Crises as a Factor of Cultural and Economic Changes in the Neolithic–Eneolithic of the Lower Volga Region // Уральский исторический вестник. - 2021. - N 3 (72). - С. 15-25. - URL: http://uralhist.uran.ru/en/archive/478/481/_aview_b700. - DOI: 10.30759/1728-9718-2021-3(72)-15-25. **Q1**
18. Kublitskiy Y., **Kulkova M.**, Druzhinina O., Subetto D., Stancikaite M., Gedminiene L., Arslanov K. Geochemical approach to the reconstruction of sedimentation processes in Kamyshevoye lake (Se Baltic, Russia) during the late glacial and holocene // Minerals. - 2020. - Volume 10, Issue 9. - Article 764. - P. 1-17. - DOI: 10.3390/min10090764. **Q2**
19. Daszkiewicz M., Gavrylyuk N., Hellstrom K., Kaiser E., Kashuba M., **Kulkova M.**, Nykonenko D., Schneider G., Winger K. Possibilities and limitations of pXRF as a tool for analysing ancient pottery: A case study of late bronze and early iron age pottery (1100-600 BC) from the northern black sea region // Prahistorische Zeitschrift. - 2020. – Volume 95(1). – P. 238–266. - DOI: 10.1515/pz-2020-0009. **Q1**
20. Druzhinina O., Kublitskiy Y., Stancikaite M., Nazarova L., Syrykh L., Gedminien L., Uogintas D., Skipityte R., Arslanov K., Vaikutien G., **Kulkova M.**, Subetto D. The Late Pleistocene - Early Holocene palaeoenvironmental evolution in the SE Baltic region : a new approach based on chironomid, geochemical and isotopic data from Kamyshevoye Lake, Russia // Boreas. - 2020. - Volume 49, Issue 3. - P. 544-561. - URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/bor.12438>. - DOI: 10.1111/bor.12438. **Q1**
21. Lozovskaya O., Clemente C. I., Ershova E., **Kulkova M.** Subsistence strategies on the late Mesolithic and early Neolithic lake settlement Zamostje 2 in Volga-Oka region : Evidence of fishing // Quaternary International . - 2020. - Volume 541. - P. 74-88. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42990540>. - DOI: 10.1016/j.quaint.2019.11.021. **Q1**
22. Piezonka H, Nedomolkina N, Ivanishcheva M, Kosorukova N, **Kulkova M.** The Early and Middle Neolithic in NW Russia: radiocarbon chronologies from the Sukhona and Onega regions // Documenta Praehistorica. – 2017. - Volume 44. - P. 122-151. - DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.44.8> **Q1**
23. Khlopachev G. A., Gribchenko Yu. N., **Kulkova M. A.**, Sapelko T.V. New data on the age and longevity of the late palaeolithic site of Eliseevitchi 1 = Позднепалеолитическая стоянка Елисеевичи 1: новые данные о возрасте и длительности существования // Stratum Plus. - 2017. - Issue 1. - P. 41-57. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28432790>. **Q1**
24. Моргунова Н. Л., Рослякова Н. В. **Кулькова М. А.** Новые данные о хронологии и развитии скотоводства в энеолите и раннем бронзовом веке Южного Приуралья = New Data on the Chronology and Development of Cattle Breeding During the Eneolithic and Early

- Bronze Age in the Southern Ural Region // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4 : История. Регионоведение. Международные отношения. - Волгоград, 2019. - Т. 24, N 3. - С. 17-36. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39193389>. - DOI: 10.15688/jvolsu4.2019.3.2. **Q1**
- 25.** Выборнов А. А., Косинцев П. А., **Кулькова М. А.**, Дога Н. С., Платонов В. И. Время появления производящего хозяйства в Нижнем Поволжье = When Food Producing Economy Appeared in the Lower Volga Region / Кулькова М. А., Выборнов А. А., Косинцев П. А., Дога Н. С., Платонов В. И. ; // Stratum Plus. - Кишинев, 2019. - N 2. - С. 359-368. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38246552>. **Q1**
- 26.** Выборнов А. А., Дога Н. С., **Кулькова М. А.** Вариант перехода к энеолиту в Нижнем Поволжье = The variant of the transition to the eneolithic in the lower Volga region // Краткие сообщения Института археологии. - 2020. - Выпуск 258. - С. 65-74. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42812752>. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.258.65-74. **Q2**
- 27.** Doronicheva E., Golovanova L.V., Doronichev V. B., **Kulkova M. A.**, Odinkova E. V., Shackley S. M. New data about exploitation of lithic raw materials and mobility in the Middle Paleolithic in the Northern Caucasus = Nouvelles donnees sur l'utilisation des matieres premieres lithiques et la mobilite pendant le Paleolithique moyen du Caucase du Nord // Anthropologie (France). – 2020a. - Article 102757. - DOI: 10.1016/j.anthro.2020.102757. **Q2**
- 28.** Zancu A., **Kulkova M. A.**, Bat M., Kulkov A. M. Early Iron Age Pottery from Saharna Mare–Dealul Manastirii : Interdisciplinary Approach // Peuce. - 2020. - Volume 2020, N 18. - P. 67-109. **Q2**
- 29.** Vybornov A. A., Koltsov P. M., **Kulkova M. A.** Mesolithic and neolithic Northern Cis-Caspian and Molga steppe : Geometric microliths = [Геометрические микролиты в мезолите и неолите Северного Прикаспия и степного Поволжья] // Oriental Studies. - 2020. - Vol. 13, N 1. - P. 106-121. - DOI: 10.22162/2619-0990-2020-47-1-106-121. **Q2**
- 30.** Андреев К. М., **Кулькова М. А.**, Сомов А. В. Технология изготовления неолитической керамики Среднего Поволжья по данным петрографического анализа = The Production Technology of The Neolithic Ceramics from The Middle Volga Region Based on The Petrographic Analysis // Краткие сообщения Института археологии. - 2021. - Выпуск 263. - С. 378-393. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.378-393. **Q2**
- 31.** Моргунова Н. Л., **Кулькова М. А.**, Кульков А. М. Метеоритное железо в производственной и ритуальной практике ямной культуры Приуралья = Meteoric iron in production and religious practice of the Yamnaya culture in the Urals region / // Краткие сообщения Института археологии. - 2021. - Выпуск 262. - С. 190-206. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.262. **Q2**
- 32.** Vybornov A. A., Stavitsky V. V., **Kulkova M. A.** On the origin of the Caspian culture = О происхождении прикаспийской культуры // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4. Istoriya. Regionovedenie. Mezhdunarodnye otnosheniya. - 2021. - Volume 26, N 2. - P. 31-37. - URL: <https://hfir.jvolsu.com/index.php/en/component/attachments/download/2485>. - DOI: 10.15688/jvolsu4.2021.2.2. **Q1**

33. Vybornov A., Andreev K., Somov A., **Kulkova M.** The Neolithic evolution and cultural transformations in the Povolzhye region (Eastern Europe)// Documenta Praehistorica. - 2020. - Volume 47. - P. 222-230. - DOI: 10.4312/DP.47.12. **Q1**
34. Doronicheva E. , Golovanova L. V., Doronichev V. B., Nedomolkin A. G., Spasovskiy Y. N., **Kulkova M. A.**, Odinokova E. V., Nesmeyanov S. A., Voeykova O. A., Muriy A. A., Tregub T. F., Volkov M. A., Shirobokov I. G., Tseltsovitch V. A., Korzinova A. S. ; E. Doronicheva, L. V. Golovanova, V. B. Doronichev, A. G. Nedomolkin, Y. N. Spasovskiy, M. A. Kulkova, E. V. Odinokova, S. A. Nesmeyanov, O. A. Voeykova, A. A. Muriy, T. F. Tregub, M. A. Volkov, I. G. Shirobokov, V. A. Tseltsovitch, A. S. Korzinova. A new Middle Paleolithic site in the North-Central Caucasus (preliminary results of a comprehensive research) = Nouveau site du Paleolithique Moyen dans le Caucase Central (resultats preliminaires des etudes complexes) / // Anthropologie (France). – 2020b. - Volume 124, Issue 2. - Article 102758. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003552120300340?via%3Dihub>. - DOI: 10.1016/j.anthro.2020.102758. **Q2**
35. Смольянинов Р. В., Юркина Е. С., Куличков А. А., **Кулькова М. А.**, Желудков А. С., Яниш Е. Ю., Шатровая Д. О. Стоянка Доброе 9 на Верхнем Дону. Материалы среднедонской неолитической культуры = Materials of the Early Neolithic culture of Site Dobroe 9 at the Upper Don // Поволжская Археология. - 2021. - N 3 (37). – С. 99-116. - DOI: 10.24852/pa2021.3.37.99.116. **Q2**
36. Выборнов А. А., **Кулькова М. А.** Проблемы хронологии культур неолита Волго-Камья = Chronology Issues of the Neolithic Cultures in the Volga-Kama Basin // Поволжская Археология. - 2021. - N 3 (37). – С. 42-54. – DOI: 10.24852/pa2021.3.37.42.54. **Q2**
37. Vybornov A., **Kulkova M.**, Goslar T, Possnert G. The problem of the Neolithisation process chronology in Povolzhye // Documenta Praehistorica. – 2013. – Volume 40. - P.13-20. - DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.40.2> **Q1**
38. Kashuba M. T., Smekalova T. N., **Kulkova M. A.**, Gurov E. Yu. New Results of Interdisciplinary Study of Bronze Age Settlements in Northwestern Crimea // Vestnik of Saint Petersburg University. History. – 2021. - Volume 66. - Issue 4. - P. 1270–1295. - DOI: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu02.2021.414> **Q2**
39. Хлопачев Г.А., **Кулькова М.А.**, Грибченко Ю.Н. Особенности формирования поселенческой структуры верхнепалеолитической стоянки Юдиново по материалам археологических и геохимических исследований 2015-2018 гг.// Stratum plus. Археология и культурная антропология. - 2022. -№ 1. - С. 239-258. - DOI: 10.55086/sp221239258 **Q1**

Монографии по теме диссертации

1. Радиоуглеродная неолитическая хронология Восточной Европы в VII-III тысячелетиях до нашей эры / под ред. Мазуркевича А.Н., Кулькова М.А., Долбунова Е.В., - Смоленск, Свиток, 2016. - 456 с. (англ)
2. Крымская Скифия в системе культурных связей Востока и Запада (III век до н.э. - VII век н.э.): коллективная монография / под ред. А. И. Иванчика и Мордвинцева В.И. - М., Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2017, - 440 с.
3. Хельсинкский урожай: материалы 11-й конференции Северных стран по применению научных методов в археологии. MAS7. Археологическое общество Финляндии, Хельсинки. 2019 (англ).

4. Стоянка Замостье 2 и развитие природной среды Волго-Окского междуречья в голоцене: Коллективная монография / Сост. О.В. Лозовская, В.М. Лозовский. — СПб: ИИМК РАН, 2018. — 214

Учебные пособия

1. **Кулькова М.А.** Радиоуглерод (^{14}C) в окружающей среде и метод радиоуглеродного датирования/ учебно-методическое пособие, РГПУ им. А.И. Герцена. СПб, 2011- 40 с.
2. **Кулькова М.А.** Методы прикладных палеоландшафтных геохимических исследований / Учебное пособие. СПб, Издательство Государственного университета им. А.И.Герцена, 2012. - 120 с.
3. Мазуркевич А.Н., **Кулькова М.А.**, Савельева Л.А. Геоархеологические проблемы Верхнего Приднепровья и Западной Двины (Западная Россия): путеводитель. Часть II. Москва-Смоленск. «Universum». 2012. 105 с. (англ)
4. **Кулькова М.А.** Адаптация древних сообществ к изменениям окружающей среды в голоцене в регионах Ближнего Востока, Западной Европы, Балкан и Северного Причерноморья: учебное пособие, часть 1 / М. А. Кулькова. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. — 160 с.

HERZEN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

As Manuscript

Kulkova Marianna Alexeevna

**GEOCHEMICAL INDICATION OF LANDSCAPE-CLIMATIC EVENTS AND ANTHROPOGENIC ACTIVITY
DURING THE LATE PLEISTOCENE-HOLOCENE ON THE SITES OF PREHISTORICAL PEOPLE OF
EASTERN EUROPE**

Scientific specialization

1.6.4. Mineralogy, crystallography. Geochemistry, geochemical searches of minerals

Thesis for a Doctor degree in geological and mineralogical sciences
Translation from Russian

St.Petersburg

2022

GENERAL CHARACTERISTIC OF THE SCIENTIFIC REPORT

The research theme actuality

The reconstruction of landscape-climatic conditions during the Pleistocene-Holocene by means of the geochemical indication method is one of the main directions of applied landscape geochemistry. The connection of paleogeographical conditions in the Holocene with social and cultural transformations and environmental changes as results of human activity on the territory of Eastern Europe is an actual task for paleoclimatic assessment and geochemical forming of landscapes. The geochemical method is used for the determination of the combination of factors and separate parameters such as relative temperature, humidity, the transgression/regression in the water basin, and the anthropogenic activity indicating the global and short-time climatic cyclicity influencing the geochemistry of sedimentogenesis. Application of this method for sediments of different genesis gives the possibility to synchronize the changes of the global paleoclimatic events in the different geographical zones. Unlike such methods of paleoclimatic reconstruction as pollen and diatom analysis, the geochemical method allows establishing the short-time climatic variations with high resolution. The geochemical indication of cycling climatic fluctuations and their role in the global process of cooling/warming is important for long-time predictions of future landscape-climatic changes, assessment of anthropogenic activity of people, and ecology.

The research theme development

What about the research theme development devoted to the geochemical indication of the landscape-climatic events and anthropogenic activity during the Late Pleistocene and Holocene on the sites of prehistorical people of Eastern Europe, in present time the correlation between paleoclimatic conditions and the cultural and historical processes was registered reliably just with global climatic events dated to 8,2 ka calBP and 5,5 ka calBP. The event of 8,2 ka calBP was the part of cooling period dated to 8600-8000 calBP (Rohling and Pälike 2005; Thomas et al. 2007; Walker et al. 2012). The duration of his event was about 160 years (Daley et al. 2011; Kobashi et al. 2007). The short-time climatic events as a rule are difficult to correlate directly with social and cultural transformation for that or other time periods and determine their duration. Therefore such kind reconstructions were done earlier just for the historical period named "Little Ice period" of 16-18 cc. AD. The development of methodology of the geochemical indication of the landscape paleoclimatic conditions (Kulkova, 2012) is the multipurpose approach that can be used for the determination of relative paleoclimatic characteristics on the base of changes in mineralogical and geochemical composition of different genesis deposits and assessment of anthropogenic activity. This allows to synchronize the change of anthropogenic activity with climatic events during different periods of the Late Pleistocene-Holocene. For example, the investigations of climatic reconstructions by means of geochemical and isotope markers in the bottom deposits of lakes in the Baikal region were done on the separate geological cross-sections and cores and had not a systematic character.

The investigations of functional zones on the ancient settlements by means of the geochemical markers as well as the border determination of the archaeological site locations have been studied by mainly foreign scholars. Besides the developed method including the analysis of phosphate component which is a marker of anthropogenic activity numerous other chemical elements are used for this aim, for example, potassium, rubidium, lead, zinc, copper, calcium, manganese, etc., and their compounds in the deposits on the archaeological sites (Bintliff et al., 1990; Schlezinger, Howes, 2000; Eckel et al., 2002; Linderholm, 2007; Middleton & Price, 1996, Wells, 2004, Cook et al., 2005, Wilson et al., 2005, 2009, Jones et al., 2010, Salisbury, 2012; Jenkins, 1989; Holliday, Gartner 2007; Parnell et al. 2001; Oonk et al. 2009 et al.).

Research goal and tasks

The research goal is to develop the model of reconstruction of the paleoenvironmental events for the Later Pleistocene-Holocene and social and cultural transformations connected with them on the base of the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions and anthropogenic activity on the archaeological sites of Eastern Europe.

The following tasks were solved to achieve the research goal:

6. Determination of mineralogical and geochemical composition of deposits of different genesis of the Later Pleistocene-Holocene.
7. Development of geochemical indicators which characterize relative temperature, humidity, hydrological conditions of basin and its productivity, the erosion and the anthropogenic activity during the time on the reference archaeological sites of Eastern Europe.
8. Development of geochemical indicators of the anthropogenic activity in the cultural deposits on the reference archaeological sites of Eastern Europe for functional zone determination and the space-time assessment of the ancient anthropogenic activity on environment.
9. Generalization of data obtained by the geochemical indication method, radiocarbon dating and archaeological periodization on the reference archaeological sites located in the different geographical zones of Eastern Europe (semi-arid, steppe, forest-steppe, forest and tundra) and analysis of main stages of social and cultural group development, their adaptivity to environmental changes during the Later Pleistocene-Holocene.
10. Development of local climate-chronological schemas and the global model allowing to consider the forming, development and stages of environmental transformation during the Holocene and connection with the cultural and historical processes on the territory of Eastern Europe on the base of assessment of geochemical indication of the landscape paleoclimatic conditions and anthropogenic loading.

Scientific novelty

For the first time, the major generalization of mineralogical and geochemical data for geological cross-sections and holes on the reference archaeological sites for different geographical zones of Eastern Europe has been done and the complex geochemical indicators of the landscape-climatic conditions such as relative temperature, humidity, hydrological conditions of basins and its productivity, erosion and the anthropogenic activity had been developed for the Later Pleistocene-Holocene of Eastern Europe.

For the first time on the base of the statistical analysis (correlation analysis and PCA), the associations of geochemical elements which are indicators of different functional zones on the archaeological sites of Eastern Europe were determined.

The model of reconstruction of paleoclimatic events during the Later Pleistocene-Holocene and social and cultural transformations for Eastern Europe on the base of geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions, archaeological and radiocarbon periodizations was developed. The correlation between the global solar fluctuations and the rapid climatic cycles (RCC) during the Holocene was set up.

Theoretical and practical significance

Theoretical significance is concluding to form and develop the methodology of geochemical indication of the landscape paleoclimatic conditions on the base of mineralogical and geochemical composition of the Later Pleistocene-Holocene deposits, data set processing employing statistical analysis and determination of geochemical indicators of the landscape-paleoclimatic changes. This approach of the application of geochemical markers of sedimentogenesis can be used in other geographical regions of the Earth for the reconstruction of paleoclimatic conditions and anthropogenic activity on the archaeological sites of different ages.

RCC scales which were determined for the Holocene of Eastern Europe can be defined and registered in the deposits on other archaeological sites and geological cross-sections by the geochemical methods. These geochemical markers can be used for correlation with global climatic changes.

The information obtained is important for forecasting transformation processes of environment dependence on external conditions, cyclicity of natural processes, and anthropogenic factors.

Practical significance concludes in the application of methods developed for the reconstructions of landscape-paleoclimatic conditions on the archaeological sites in other geographical regions, for example, Southern Siberia. The geochemical indication method of the functional zones on the archaeological sites can be used for the allocation of borders for monuments of cultural and historical meaning.

The theoretical and practical developments had been published in the educational and methodical books “The methods of applied paleolandscape investigations” and “Adaptation of prehistorical societies to environmental changes in the Holocene in the regions of Near East, Western Europe, Balkans, and the Northern Black Sea”, part 1, which are reading in the course of lectures of the Geological and Geocological Department of Herzen State University: module “The methods of geocological investigations”. All results obtained are used in the courses of lectures and practical lessons “Paleogeographical reconstructions of prehistorical people habitation in the Holocene” 44.04.01 – Pedagogical education – Ecological and geological education (Master Degree) and 05.04.06 – Ecology and Nature management - Geoecology of the natural, anthropogenic and social and cultural environment (Master Degree).

Methodology and methods of investigations

At present time the interest in the reconstruction of paleoclimatic conditions through the geochemical method is increasing. The methodology of investigations is based on the application of geochemical methods for the reconstruction of paleoclimatic events. The geochemical methods beginning with the 1980th obtained vast distribution for lithological and facial analysis of sediments. The earliest investigations devoted to an analysis of the geochemical features and the application of geochemical methods for the definition of conditions of different lithological types were developed by Strakhov N.M. (1947,1965,1966). Investigations of the behavior of chemical elements in the different landscape conditions were considered by Perelman A.I. (1972). The important developments in geochemical indication for paleoclimatic reconstructions have been done by Lukashov K.I. and Lukashov V.K. (1971, 1978). Some general methods of geochemical analysis of ancient and modern sediments were considered by Makedonov A.V. (1985), Ronov A.B. Yudovich Ya.E. (1981), Krauskopf K.B. (1963), Grossgeim et al. (1984), Timofeev P.P. (1999), Gol’berg E.L. (2000), Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2011). The application of mineralogical and geochemical markers for analysis of sedimentogenesis was studied by foreign researchers Bronger et al. (1998), Arbogast et al. (2000), Bor-ming Jahn et al. (2001), Ewing and Nater (2003), Kurtz, Derry (2001), et al. The geochemical indicators and modules of different factors of sedimentogenesis for various genetic types of sediments and different geological epochs were developed. At the same time, there have been no generalized investigations and paleoclimatic reconstructions of regional character for separated geological provinces and matching with regional chronological scales. The appearance of the Mass-Spectrometry allowed using the isotopic markers in the natural archives such as sea and lake bottom deposits, glaciers, stalagmites for paleoclimatic reconstructions (Mayewski et al., 2004; Alley and Ágústssdóttir 2005; Seppä et al. 2007; Thomas et al. 2007; Walker et al. 2012). These investigations made a big contribution to paleoclimatic studies and gave the possibility to modification of detailed regional paleoclimatic scales. Unfortunately, the isotopic methods could not be used for some types of deposits and have restrictions for application.

The assessment of publications devoted to the geochemical indicators of the landscape paleoclimatic conditions was done and the strategy of scientific investigation was set up.

On the territory of Eastern Europe, there are selected about 12 referenced archaeological sites located in the different geographical zones. Archaeological and geological material was sampled by

personality by the author on expeditions to the archaeological sites. More than 1500 samples of deposits were analyzed. More than 200 radiocarbon dates on different organic materials were obtained. The mineralogical and geochemical methods included the investigations of deposits with help of binocular microscopy, IR spectroscopy, WRF-WD. Losses on ignition (LOI) were determined for the organic and loess sediments at the temperatures 500°C (organic content) and 900°C (sulphates). The sieve method was used for the grain-size analysis. The radiocarbon analysis (method of scintillation and AMS) was applied for age determination. The radiocarbon dates utilizing liquid scintillation analysis were obtained for archaeological materials and quaternary organic deposits under the leadership and direct participation of the author in the Lab of Isotopic Investigations “Geoecology” of the Herzen State University as well AMS method at the Helsinki University (Finland), the Aarhus University (Denmark). The mineralogical and geochemical analyses were provided on the base of the Center “Geoecology” of the Herzen State University, the RDMI Center of the Saint-Petersburg State University. The data obtained were processed by multidimensional statistic methods in Statistica 11.0 Software. The geochemical maps were constructed with help of Surfer 9.0. The set of ^{14}C dates was calibrated by OxCal 4.4. program. The lithological and stratigraphic columns were visualized by Starter 11.0.

Personal author contribution

The personal author's contribution consists of justification of the idea of investigation, formulation of the problem and tasks, the forming of the methodology of problem-solving, development and realization of investigation, analysis, and generalization of data obtained.

This research is the result of long-standing investigations (from 2000 to 2020), provided by the personal author or during joint works together with archaeologists of the State Hermitage Museum, the Kunstkamera Museum, IIMC RSA, the Samara State Social-Pedagogical University et al.

The development of methodology of the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions for the Holocene and the anthropogenic activity had been done on the archaeological sites of the different geographical zones such as the Dvina-Lovat' Basin (North-Western Russia) and the Southern Siberia region (Kulkova 2005, 2012). Full-scale investigations of the influence of global climatic changes on the ancient society development on the territory of Eastern Europe with RCC correlation had not been considered before the present. Such a kind approach the base of the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions was developed at first in the author's works. All analysis of samples as well the radiocarbon age determination were provided with direct author participation. On the archaeological sites of Eastern Europe of different periods, the author developed the geochemical indication method of the functional zones which allowed to reconstruct of the zones of different household activity in the settlements and ritual places. The model of the reconstruction of paleoclimatic events of the Later Pleistocene-Holocene and social and cultural transformations on the base of the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions and anthropogenic activity was set up. The data obtained were correlated with results of pollen and diatom analysis for studied deposits as well as with archaeological periodization. The paleoclimatic and chronological model which was developed on the base of the geochemical indication and radiocarbon dating shows the rapid climatic cycles in the Holocene and their connection with social and cultural transformations.

The theorems for defending:

1. On the base of geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions on the archaeological sites of different geographical zones of Eastern Europe for the Later Pleistocene-Holocene the following factors influencing the sedimentogenesis on the archaeological sites were set up: the relative temperature ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), humidity (CIA; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), hydrological regime of the water basin and its productivity ($\text{SiO}_2_{\text{biog}}$

- MnO/Fe₂O₃), erosion (ZrO₂/Al₂O₃; TiO₂/Al₂O₃) and anthropogenic activity (P₂O₅_{anthr}; CaO_{anthr}).
2. On the base of the generalization of mineralogical and geochemical investigations of sediments on the reference archaeological sites of different geographical zones of Eastern Europe (semi-desert, steppe, forest-steppe, forest, and tundra), radiocarbon and archaeological periodizations there were established the global climatic events and their correlations with the Rapid Climatic Cycles (RCC) during the Holocene: 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450-4200 calBP/3500–2200 BC (4200 calBP/2200 BC) и 3200-2800 calBP/1200-900 BC, as well the less significance climatic events as (7700-7600 calBP/5700-5500 BC и 7300-7200 calBP/5300-5200 BC) and their connection with cultural and historical transformations.
 3. Employing geochemical data processing by multidimensional mathematical statistics there were determined the main associations of the geochemical elements, which are characteristics of lithological (Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, TiO₂, Zr) and anthropogenic (P₂O₅, CaO, Sr) components of sediments on the archaeological sites. The anthropogenic impact on sedimentation of cultural layers in the time, as well as the spatial definition of living, household, and crafting zones on the ancient settlements, can be determined by the associations of geochemical elements (P₂O₃, CaO, Sr), (K₂O,Rb), (MnO,Ba), (Zn, Cu, Pb).
 4. On the base of a complex approach using the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions and the anthropogenic activity, the regional climatic chronological schemes, and the global paleoclimatic scale for the Later Pleistocene-Holocene were developed. This model allows for to reconstruction of the features of formation, development, and the stages of environmental transformation during the Holocene and their influence on the cultural and historical processes on the territory of Eastern Europe.

Reliability and approbation of results

The results of the investigation were presented at more than 40 international and Russian conferences and symposiums: “Scientific methods in archeology” Usrtion, Polan d (2001). Seminar on the perspective investigations “Impact of environment on the people migration in Eurasia”, St.Petersburg (2003); “Methods of absolute chronology” Ustron, Poland (2004); “Radiocarbon in archeological and paleoecological investigations”. Conference in honor of 50 years of 14C Lab in IIMC RSA, St.Petersburg, Russia (2007); “Radiocarbon and Archaeology”, 5th International symposium, Zurich, Swiss (2008); 10th International Geological Conference “Geology of the Baltic Sea – 10”, St.Petersburg, Russia (2010); 8th International Conference on Mesolithic in Europe” (MESO2010), Santander, Spain (2010); 6th International Symposium “Radiocarbon and Archaeology”, Pafos, Cyprus, (2011); 34th International Geological Congress, Brisben, Australia (2012); Russian-Germany Colloquium “Principles of dating of the Bronze and Iron Ages monuments and the Medieval period”, St.Petersburg, Russia (2013); Communication on the Stratigraphy, SMIA XI, Helsinki, Finland (2016); “Cultural processes in the Circumbaltic space in the Early and Middle Holocene”, the International Conference devoted to 70th anniversary of V.I.Timofeev, St.Peterburg, Russia, Kunstkamera (2017); 24th Neolithic Seminar “The processes of Neolithization of Eurasia: retrospective and perspective”, Ljubljana University, Slovenia, (2018); International conference “Strategy of life support in the Stone Age. Direct and indirect evidence of fishing and gathering” St.Petersburg, Russiaa, IVMC RSA (2018); “Radiocarbon in archeology: Past, Present, and Future”, International Conference devoted to anniversary of G.I.Zaitseva, St.Petersburg, Russia, IIMK RSA (2020); International Conference “Neolithic cultures of Eastern Europe: chronology, paleoecology, traditions”, St.Petersburg (2020); International Conference “Meso’2020 – Xth International Conference on the Mesolithic in Europe», Tuluse, CNRS, France (2020); International Conference 26th EAA 2020 Virtual Annual Meeting. Prague, Czech Republic, (2020); VII Russian Scientific Conference with international participation named V.V.Zaikov “Geoarchaeology and archaeological mineralogy – 2020”, Miass, Institution of the mineralogy of the Ural.

The research was been conducted in the framework of projects: 2018-2020 “Interdisciplinary research of Neolithic sites of the Lower Don and Lower Volga: complex comparison analysis of the household way of life, technological traditions of flint pretreatment and ceramic manufacture” RFBR 18-09-00568; 2018-2020 Innovation potential of iron in 3th-beginning of 1st millennium BC from the Ural to Carpathian: raw source material, technologies, mutual influences” RFBR 18-09-40063; 2018-2020 “Interdisciplinary study of the Mesolithic-Neolithic peat basin of the Upper Volga and the Upper Dnieper” RFBR 18-59-00007; 2019-2021 “The phenomenon of asbestos ceramics in the pottery traditions of Eastern Europe: technology and using, the structure of interregional contacts” RSF, 19-18-00375; 2021-2023 “Rakushechny Yar – the reference site of the Earlier Neolithic of Eastern Europe and its surroundings: from the beginning and until to cancel the Early Neolithic traditions” RFBR, 21-59-22008.

Publications

The research theme was sanctified in more than 230 full texted articles, in 39 articles in the reviewed journals from the list of VAC for publication of the main scientific results. The results of the research are presented in 5 collective monographs and 3 teaching books.

Acknowledgement

This work was carried out at the Department of Geology and Geoecology of the Herzen State Pedagogical University. The author expresses her gratitude to the Dean of the Faculty of Geography Subetto D.A., Head of the Department of Geology and Geoecology E.M. Nesterov, colleagues and employees of the Department for their help in the work, especially M.A. Markova, M.A. Streltsov, L.A. Nesterova for assistance in radiocarbon analysis. The author expresses special gratitude for the help in preparing the scientific report to Professor of the Department of Geochemistry of St. Petersburg State University E.G. Panova. In addition, colleagues A.A. Vybornov (Samara State Social Pedagogical University), A.N. Mazurkevich, E.V. Dolbunova (State Hermitage Museum), T.M. Gusentsova, N. Kosorukova (Cherepovets University), M.Ivanishcheva, M.T.Kashuba (IIMK RAS), M.M.Shakhnovich (Petrozavodsk Museum), Smolyaninov R.V., geographers T.V.Sapelko, A.Ludikova (Institute of Lake Science RAS). I would like to express special gratitude to A.M. Kulkov and T.A. Kulkova for their help and support.

THE CONTENT OF THE RESEARCH

1. *On the base of geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions on the archaeological sites of different geographical zones of Eastern Europe for the Later Pleistocene-Holocene the following factors influencing the sedimentogenesis on the archaeological sites were set up: the relative temperature ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), humidity (CIA; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), hydrological regime of the water basin and its productivity ($\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), erosion ($\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) and anthropogenic activity ($\text{P}_2\text{O}_5^{\text{anthr}}$; $\text{CaO}^{\text{anthr}}$).*

Sedimentogenesis in the Holocene in the continental part of Eastern Europe is characterized by the accumulation of lacustrine, aeolian, and paleosol deposits formed on the substrate of Pleistocene Quaternary deposits of the East European Plain of glacial, water-glacial, and erosion-denudation genesis. In turn, the Pleistocene deposits inherit the mineralogical and geochemical petrological found of the rocks of the Precambrian crystalline basement, overlain by the Paleo-Meso-Cenozoic deposits of the sedimentary cover of the East European Platform. Thus, during the formation of deposits of continental genesis in the Holocene, the main controlling factors of changes in the lithological and mineralogical-geochemical composition of deposits are landscape-climatic factors, which, on the one hand, are associated with the geographical zones of Eastern Europe, and, on the other hand, changed in different periods of the Holocene stories.

For each geographic zone of Eastern Europe, reference archaeological sites (Fig. 1) of the late Pleistocene - Holocene were selected. The deposits were sampled on these archaeological sites. The mineralogical, geochemical, grain sizes compositions of deposits were determined, the age of organic

remains was determined by radiocarbon dating, the paleoclimate was reconstructed, and its influence on the formation of sediments, and forming of cultural layers was determined. The following criteria for choosing reference sites were taken into account: clear lithology and stratigraphy of cultural layers, including complexes of different cultural and chronological stages; presence of organic materials from cultural layers for age determination by radiocarbon dating.



Fig.1 Geographical map of Eastern Europe with the boundaries of geographical zones (according to Kalutskov, 2020) with the location of reference archaeological sites.

An important criterion is the assessment of anthropogenic activity by the geochemical method in the layers of the stratigraphic sequence on the sites, which allows us to synchronize the change in anthropogenic activity in lithological layers with climatic events occurring in a given period of time.

The method of geochemical indication of landscape and climatic conditions (Kulkova, 2012, Kulkova et al. 2012; 2014; 2016; 2019) is the most all-purpose method based on the mineralogical and geochemical characteristics of various types of deposits, which can be used to determine the factors influencing changes landscape and climate and can be applied to deposits of various genesis.

Loose sedimentary deposits were sampled at the archaeological sites, along cross-sections with a clear lithological sequence, every 2-5 cm. If the rocks in the interval are interbedded, a sample was taken by method which characterize both types of rocks, as well as their contacts. The lithology of the deposits correlated with archaeological stratigraphy. The general requirement for samples taken for mineralogical, geochemical and grain-sizes analysis is the selection of a representative part of the rock in terms of the content and properties of minerals, the size and shape of crystals and grains, and lithological uniformity (Daszkiewicz et al. 2020). The total weight of the sample was about 100 grams, taking into account possible duplicates. For geochemical analysis, after each crushing cycle, control sieving was carried out, the residue is crushed to the desired grain size. Then all crushed material is combined. Manual reduction is carried out by the method of multiple (no more than 3 with one crushing) quartering and combining the material of two opposite quadrants to continue processing according to the accepted scheme. Due to the heterogeneity of the distribution of components in large and small fractions, before reducing the samples, they are mixed and then quartered.

The sample is grinded up in powder to a particle size of 200 mesh, 0.074 mm (to the state of powder). Next, the loss on ignition (LOI) was determined for the powder samples. For X-Ray Spectral fluorescence analysis using the Spectroscan Max spectrometer, 300 mg samples were pressed into a tablet using a boric acid substrate.

After measuring, the results of geochemical elemental composition obtained were processed by the method of multivariate statistical analysis (correlation analysis and PCA) in order to determine the main factors influencing sedimentogenesis. Depending on the mineralogical and geochemical composition of sediments, groups of geochemical elements and their compounds are distinguished, which are connected with each other by high correlations, which characterizes their genesis and certain conditions of sedimentogenesis. Thus, for different genetic types of sediments, it is possible to identify the main factors of sedimentogenesis, which are characterized by certain geochemical indicators: relative temperature, relative humidity, changes in the hydrological regime, and anthropogenic influence. The obtained data were correlated with paleoclimate reconstructions by the methods of pollen and diatom analysis, if the deposits were suitable for these methods (Rudaya, 2010).

The results obtained employing the methods of mathematical statistic processing were confirmed by separate geochemical modules, which are also used to reconstruct the features of the formation of sedimentary deposits. The relative temperature changes for terrigenous deposits can be characterized by the distribution of the titanium modulus ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) and the change in the content of zirconium (Zr) in the deposits (Yudovich and Ketris, 2011). The titanium module, in this case, shows the accumulation of accessory, weathering-resistant minerals of the titanium group in the psammitic fraction, and alumina in the pelitic fraction, which is formed as a result of more intense chemical weathering in a warm and humid climate. Changes in the temperature balance were also determined based on the modules $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, Sr/Rb , which reflect the transformation of plagioclase/feldspar, mica, clay minerals depending on weathering processes, mainly temperature effects. The destruction of potassium feldspar, according to the authors (Chen et al., 1999; 1998), is slower than that of plagioclases and leads to the accumulation of potassium compounds (K_2O) in the form of mica and clay minerals resistant to subsequent weathering.

The Nesbitt and Young Index (CIA) shows the degree of transformation of aluminosilicate minerals and changes in the mineral composition as a result of chemical weathering, depending on the relative humidity of the climate ($\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100\%$) (Nesbitt and Young, 1982). The CaO/MgO (Ca/Mg) ratio shows the increase in calcium relative to magnesium in the carbonate component under arid conditions, and has also been used to analyze changes in humidity and temperature balances under arid conditions.

The ratios $\text{SiO}_{2\text{biog}} = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ and $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ were used as an indicator of basin productivity for bottom sediments (Keller, 1963; Kulkova 2005; Kulkova et al. 2015). The productivity in the lake directly depends on the development of diatoms, the general indicator of which can be expressed by the index $\text{SiO}_{2\text{biog}}$.

The indicator $\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}} = \text{P}_2\text{O}_5 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{O})$ was used to assess the anthropogenic impact (Kulkova, 2012; Kulkova et al. 2015). Elevated values of this indicator correlate well with the horizons of cultural deposits, in which the remains of ancient people activity and the artifacts were found. The CaO_{antr} indicator reflects the accumulation of bone residues and tissues and is calculated as the ratio of CaO_{tot} to the sum of CaO_{tot} and Na_2O : $\text{CaO}_{\text{antr}} = \text{CaO}_{\text{tot}} / (\text{CaO}_{\text{tot}} + \text{Na}_2\text{O})$ (Kulkova et al. 2020). In this case, the ratios can be established and separated calcium and phosphorus of anthropogenic origin from calcium and phosphorus of lithogenic origin, which are associated with the lithological component of the deposits. Geochemical indicators were used for lacustrine, floodplain, aeolian/loess, paleosol deposits developed in different geographical zones on the reference archaeological sites of Eastern Europe for the reconstruction of landscape and climatic conditions.

Late Pleistocene

At present, **the Eliseevichi 1 site** is one of the best-studied the Late Upper Paleolithic settlements in the Desna River basin (Khlopachev et al. 2017). It is located on the northern part of the Eliseevichi village in the Zhiryatinsky district of the Bryansk region of the Russian Federation. The cultural layers were located on the site of the second floodplain terrace of the Sudost River, on a cape formed by the right bank of the river and consists of loess deposits of glacial genesis. Paleogeographic and geological-stratigraphic data, as well as a representative series of radiocarbon dates, indicate the time of the existence of the Eliseevichi 1 site after the maximum of the Valdai glaciation about 20 ka BP. The cultural layers containing finds of household constructions made of mammoth bones lie in the thickness of loess deposits. According to indicators of anthropogenic activity ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}} = \text{P}_2\text{O}_5 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{O})$ and $\text{CaO}_{\text{antr}} = \text{CaO} / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$), the author determined the levels of anthropogenic maximum activity in loess deposits. Phosphorus, calcium and strontium are the main components of the mineral part of bone tissue, teeth, and horn formations. At the same time, in the process of burial of bone remains, the carbonate-apatite that forms their structure is practically insoluble, and is not carried out by aqueous solutions. Therefore, in the places of settlements, and especially in the places of burials of people and animals, the content of phosphorus, calcium and strontium have strong anomalous values and were used as indicators of anthropogenic activity (Doronicheva et al. 2020a,b). The author correlated changes in the CIA (chemical index alteration) in the loess deposits of the Eliseevichi 1 cross-section and between global temperature changes obtained from the oxygen isotope ratio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) (Fig. 2) in Greenland ice cores and linked based on radiocarbon data dating to the microstratigraphic scale (Liu, Broecker, 2013) of the accumulation of iron-manganese films in desert deposits (WLM) for the Late Pleistocene, makes it possible to analyze in detail the chronology of sedimentation at the site. Based on radiocarbon chronology and the climate scale, the author constructed a climate-stratigraphic scale for the main stages of the settlement of the site by ancient people, presented in a collective publication (Khlopachev et al. 2017).

The results obtained formed the modern idea of the Eliseevichi settlement as a site with a long history of existence, which included three time intervals. Based on the results of this studies, three cultural horizons were identified at the site, characterized by increased anthropogenic activity, according to Kulkova M.A. in (Khlopachev et al. 2017). Two of them are correlated to the levels of the upper cultural horizon and the main (lower) cultural layer, and one more, the third, corresponds to the level of single finds of flint, occurring in loess deposits 0.3–0.4 m below the main cultural layer. The beginning of the formation of the lower, main cultural horizon associated with humus loess-like sandy loam (at a depth of 140–125 cm) in this area took place under cool climatic conditions, which can be correlated with a cooling of about 17660 ± 200 calBP. Further formation of the main cultural layer occurs under conditions of climate warming.

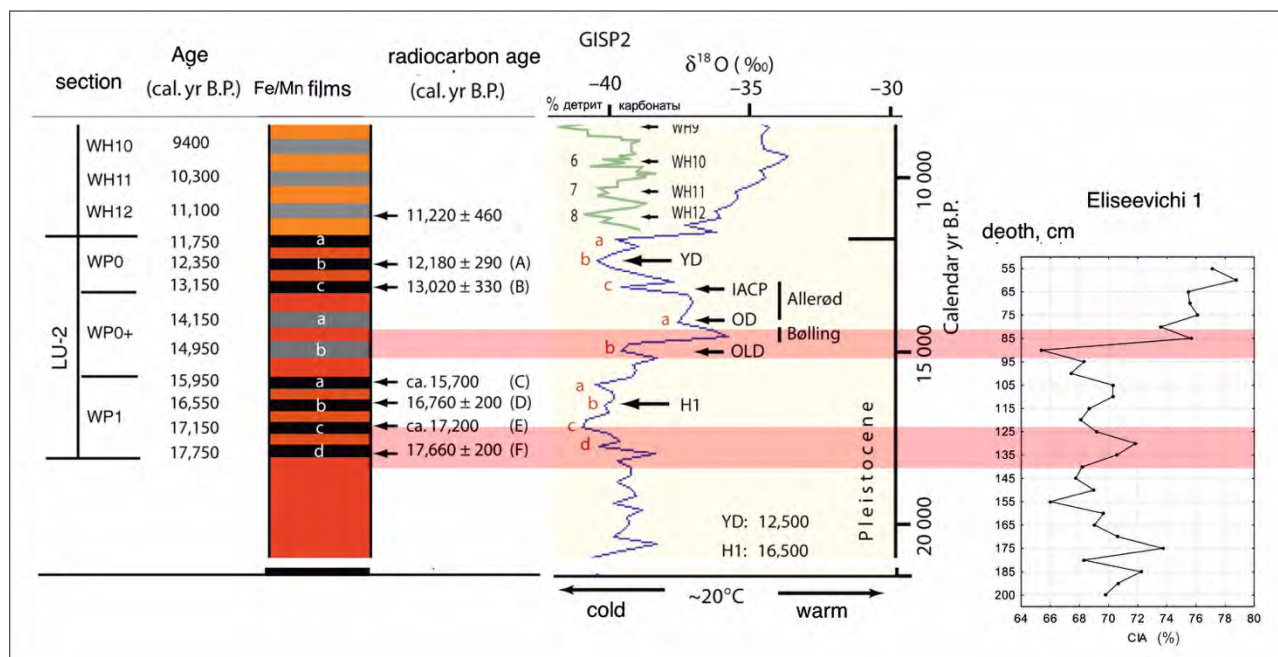


Fig.2. Correlations of the curve of changes in the chemical weathering index (CIA) in the loess deposits of the Eliseevichi I cross-section with changes in global temperatures in the Upper Pleistocene according to ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) data in Greenland ice (GISP2) and Mn-film microstratigraphy (WLM) (according to Liu, Broecker 2013, Khlopochev et al. 2017).

At a depth of 125–115 cm, the conditions of sedimentation change, and light brown (whitish) loess-like sandy loam begins to form. Its formation occurs in cold and dry climatic conditions. According to global climate changes, this episode corresponds to a cooling of about 16760 ± 200 calBP, also known as the Heinrich I episode. According to the geochemical indicators the anthropogenic activity which was not recorded in these layers.

At a depth of 115–105 cm, the formation of loess-like sandy loam is associated with an episode of slight warming. The formation of the upper cultural horizon begins at a depth of 105–95 cm and is fixed by the deposition of humus loess-like sandy loam with coal inclusions. High anthropogenic activity in deposits belonging to the second cultural layer, according to geochemical indicators, is recorded in this area at a depth of 95–85 cm, about ca. 14,500 calBP. The formation of dark brown loam at a depth of 85–50 cm occurred in a warm and humid climate. This is also confirmed by the data of the pollen analysis.

The Holocene

Steppe and semi-desert zones of Eastern Europe.

The reconstruction of climatic conditions for the Early-Middle Holocene was carried out at the reference stratified archaeological **Algay and Orosheemoe 1 sites** of the Neolithic-Eneolithic periods (Kulkova et al. 2019; Vybornov et al. 2012), located on the border of steppe and semi-arid zone. On these settlements, the earliest evidence of the Neolithic and Chalcolithic periods in Eastern Europe was found. The settlements are located to north of the village Alexandrov Guy of the Saratov region on one of the capes of the right bank of the Bolshoi Uzen River (basin in the Volga-Ural interfluvium). The deposits are represented by loess-like loams with cultural deposits, separated by sterile, artifact-free interlayers. In addition, interlayers of loams are clearly distinguished, enriched in the humus component and containing inclusions of plant residues. Mineral composition of sediments consists of clay minerals, feldspar, mica/chlorite, quartz, zircon, titanomagnetite, carbonates, iron oxides and hydroxides. Analysis of the mineralogical and geochemical composition of deposits and processing by correlation analysis and the PCA analysis made it possible to identify groups of chemical components that characterize the main factors of sedimentation (Kulkova et al. 2019, Ovchinnikov et al., 2020).

The 1st group includes geochemical components that compose aluminosilicate rock-forming minerals such as Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , as well as Fe_2O_3 , TiO_2 , Zr, which are part of the accessory minerals of iron, titanium and zirconium. A high correlation between these components is also recorded with such components as MnO and microelements V, Cu, Cr. This group reflects the terrigenous component in the deposits. According to the mineralogical analysis, the 1st group of geochemical components reflects the presence of minerals in the sediments: feldspars, mica, quartz, clay minerals, goethite-hydrogoethite, titanomagnetite, zircon.

The 2nd group consists of geochemical components that are part of carbonates: CaO, Sr, have high correlations between themselves and a negative correlation with other geochemical compounds.

The 3rd group includes components - P_2O_5 , MgO and Zn, which in this case are associated with plant residues and humic organo-mineral compounds in loess deposits. Elevated concentrations of these components are registered in layers with humus interlayers.

PCA processing of XRF analysis data ($n=30$, $R^2=0.65$) identifies two main factors affecting the sedimentogenesis of loess-like loams: F1 (CaO , $\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , MnO, Fe_2O_3) shows antagonism between the components of the carbonate group and the minerals, feldspars, quartz, minerals of oxides and hydroxides of iron and manganese. Positive values correspond to the accumulation of carbonates, which occurs during periods of drier, arid conditions, while clay minerals and iron oxides formed during humid climatic periods. Given that manganese compounds are associated with humus layers, this also indicates humid climatic conditions. Therefore, the first factor can be characterized as variations in relative humidity. Positive values of the 1st factor characterize dry climatic conditions, and negative values characterize wet ones (Fig. 3). This factor is also confirmed by other geochemical modules showing the change in the mineral composition as a result of changes in the relative humidity of the climate ($\text{CIA}=\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ – Nesbitt-Young index, the degree of transformation of aluminosilicate minerals as a result of chemical weathering), as well as the CaO/MgO ratio, which shows an increase in calcium relative to magnesium in the carbonate component under arid conditions.

F2 (Al_2O_3 , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Zn/TiO_2 , Zr, Cr, La) shows the antagonism of the components of aluminosilicates and biogenic components to the components that in composition of resistant accessory minerals. Accumulation of clay aluminosilicate minerals together with organo-mineral and iron compounds (P_2O_5 , Fe_2O_3 , Zn) reflects warmer conditions, while accessory minerals such as zircon, titanomagnetite can be accumulated during cooler periods. The second factor in this case characterizes changes in relative temperature. These data correlate with the distribution of the titanium modulus ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) in the deposits along the cross-section. According to Yudovich and Ketris (2000), the titanium module shows the accumulation of accessory minerals of the titanium group in the psammitic fraction, and alumina in the pellic fraction, which is formed during more intense chemical weathering in a warm and humid climate. This is also confirmed by the distribution of the zirconium module ($\text{ZrO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) in the sediments along the cross-section.

The indicator $\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}} = \text{P}_2\text{O}_5/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{Na}_2\text{O})$ was used to assess the anthropogenic impact. Elevated values of this indicator correlate well with the horizons of cultural deposits in which bone remains and ceramics were found. The model of climatic fluctuations based on the change in the values of the main factors (F1, F2) and the anthropogenic indicator ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{antr}}$) is shown in Fig.3.

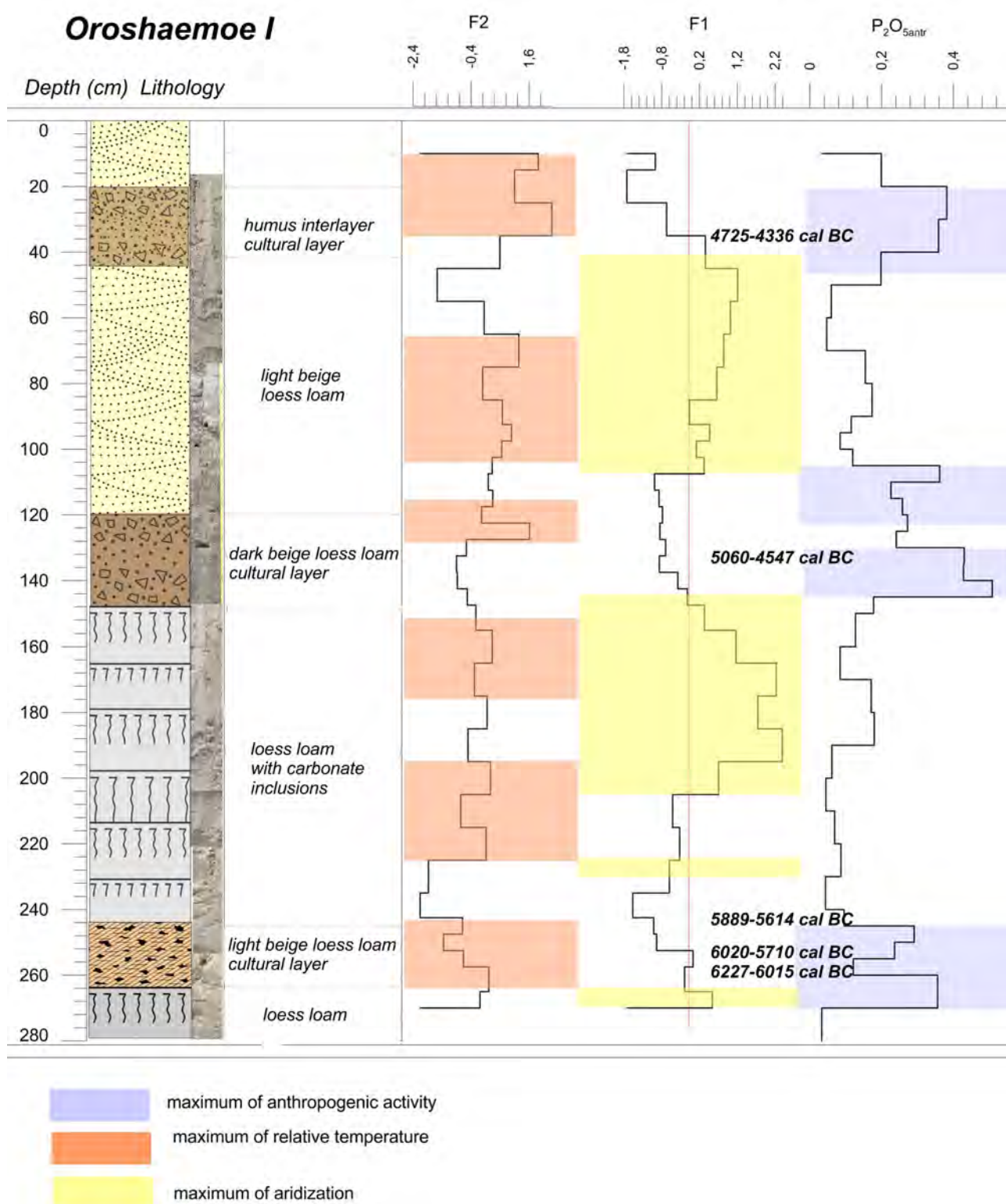


Fig. 3. Model of climatic fluctuations and anthropogenic activity at the Oroshaemoe I site according to geochemical indicators.

Forest-steppe zone

The multi-layer **site Dobroe 9** is located on the remnant of the first floodplain terrace of the Voronezh River, in the middle course of the Don River basin. Materials from the Neolithic, Eneolithic, Early Iron Age and Slavyanian periods were found at this site (Smolyaninov et al., 2021).

Changes in paleoclimatic parameters that affect the conditions of sedimentogenesis (relative temperature, relative humidity, degree of chemical weathering) were estimated by the author using

the appropriate geochemical modules: $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, CIA and are discussed in a collective publication (Smolyaninov et al., 2021). The geochemical index $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ was used to determine anthropogenic activity. In the lower part of the section deposits there is a sterile layer without artifacts of floodplain alluvium of light yellow color. According to the geochemical data, it is characterized by a lack meanings of anthropogenic activity indicator and is formed in drier conditions than the overlying cultural layer. The lower cultural layer is represented by gray silt, in which artifacts of the Early Neolithic (the Srednedonskaya culture) were found. In the deposits of the layer, a change in the values of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ have been registered, from an increase in these indicators to a decrease in $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. The process of sedimentogenesis of these deposits took place in cool climatic conditions, which then gave way to warming and increased humidity. Increasing CIA values also mark the transition from cool and dry to warm and humid conditions. According to the drift of the values of the $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ indicator, one can register high anthropogenic activity in the middle horizon of the layer. This layer is characterized by the largest amounts of archaeological finds, including the remains of bones of mammals, fish, birds, along with other artifacts, such as flint tools and ceramics of the Srednedonskaya culture. This can be indirect evidence of a favorable environmental situation, characterized by warm and humid conditions during this period. ^{14}C date on humic acid from this deposit horizon corresponds to 7317-6839 calBP/5317-4839 calBC (SPb_2840).

The upper layer, belonging to the Middle and Late Neolithic-Chalcolithic period, is represented by dark brown silt of floodplain genesis. An increase in $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$, CIA and a decrease in the ratio of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ indicate humid and warm climatic conditions at the beginning of the formation of this horizon. Artifacts of the Lyalovskaya and the Srednestogovskaya cultures were found in the deposits. According to the anthropogenic geochemical marker ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$), the deposits are characterized by high anthropogenic activity. These data indicate favorable climatic conditions that existed at the beginning of the development of the Middle Neolithic cultures in this area.

Forest zone.

The Zamostye 2 site is located in the central part of the East European Plain, on the Upper Volga Upland, in the upper part of the Volga River. The site was located on the shore of lake basin, in the valley of the modern Dubna river (Lozovskaya et al. 2020), on the left bank of the river. The site belongs to the type of peat-lake settlements of hunters and fishermen. Ancient settlements dating back to the Late Mesolithic - Early Neolithic period were located in the lake zone which was used as an economic zone, where a complex of structures associated with fishing activities was found. The conditions of sedimentogenesis of peat-gyttja deposits (relative humidity, relative temperature, changes in the water level in the reservoir, anthropogenic influence) were assessed using the method of geochemical indication. Organic deposits of sapropel and peat were selected from the core (AA-18), located in the floodplain of the Dubna River. At present, the river inherits lacustrine reservoirs, which were developed here at the beginning of the Holocene. The mineralogical composition of coastal sediments, represented by loams and sandy loams, was established under a binocular. Processing of the geochemical data using correlation and factor analysis made it possible to identify groups of geochemical components that are part of mineral or organic-mineral compounds formed under different conditions in the process of sedimentation of bottom sediments. Each group includes components that have the highest correlations with each other:

Group 1: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , K_2O - rock-forming oxides that are part of terrigenous sediments, represented by clay minerals, mica, quartz, feldspars, with the inclusion of trace elements (Rb, V, Y, Nb, Zr).

Group 2: MnO , Na_2O , CaO (Ba, Sr) - components included in the composition of organic-mineral compounds associated with the organic component of gyttja.

Group 3: Co, Ni, Cu, Zn, elements accumulating in deposits with increasing reducing conditions.

Group 5: P_2O_5 (La), $\text{CaO}_{\text{anthr}}$ - components that are part of anthropogenic organic remains, mainly bone remains, accumulated in sediments as a result of the activities of ancient man.

Factor analysis ($n=23$, $R^2=0.75$) made it possible to identify three main factors influencing the process of deposit formation:

FI (Fe_2O_3 , MnO, CaO, P_2O_5 / SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Zr). Positive values of the first factor indicate a group of components that composes the organic-mineral composition, while negative values of the first factor are associated with an increase in the terrigenous (mineral) proportion of sediment in sediments. The first factor can characterize the change in the water level in the reservoir. An increase in the concentrations of organic-mineral components characterizes the deep water reservoir.

FII (Co, Ni, Cu, Pb/ MnO, Fe_2O_3) shows the antagonism of a group of elements (Co, Ni, Cu, Pb), which indicates the reducing, oxygen-free conditions (positive values), in relation to the components - indicators of oxidizing conditions (MnO, Fe_2O_3). The second factor establishes a change in the hydrological regime of the reservoir, from an open, aerated basin to a basin in which the processes of waterlogging and decomposition of organic matter take place.

FIII (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 / P_2O_5 , CaO, Zn, La) can be associated with an anthropogenic activity (negative values).

Changes in the values of the factors along the sediment core correlate well with other indicators associated with the climatic conditions of sedimentogenesis, such geochemical modules as $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Rb/Sr, and CIA, which characterize the relative temperature and humidity, and with the $\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ lake productivity index.

At the site, episodes of a decrease / increase in the lake water level, periods of cooling / warming and related stages of change in the settlement by bearings of different cultural traditions, as well as changes in the economic strategies, were established. The change of archaeological cultures and epochs on the territory of the Zamostye 2 site corresponds to the initial stages of the transgressive stages in the development of paleo-reservoirs. The most significant change in the material culture of the local population is the emergence of ceramic production and the transition to the Neolithic period, which coincides with abrupt changes in paleoclimatic conditions.

The Okhta 1 site is located on the border of the Russian Platform and the Baltic-Scandinavian crystalline shield, on a sandy cape formed after the Littorina transgression (Kulkova et al. 2012; Ryabchuk et al. 2016; Kulkova et al. 2016; Gusentsova, Kulkova 2020). On the Okhtinsky Cape, at the confluence of the Okhta and Neva rivers, a unique multi-layered monument was discovered containing cultural layers of the Neolithic and Early Metal Ages, the Early Iron Age and Roman times. Studies of the sandy-silty deposits of the cross-section included archaeological, lithological, granulometric, mineralogical-geochemical, and radiocarbon analyses.

Geochemical indicators were used to reconstruct the landscape and climatic conditions. The mineral composition of the deposits includes such minerals as clay minerals, feldspars, mica/chlorite, hornblende, garnet, zircon, titanomagnetite, oxides and hydroxides of iron and manganese, and carbonates. Grain-size analysis showed that fine-grained sands were formed in marine conditions of a shallow bay with active wave action. Elevated values of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio in sediments are associated with an increase in the quartz component, compared with clay and feldspar minerals, and characterize the formation of well-sorted quartz fine-grained sands in a shallow reservoir, in beach conditions. Elevated values of MnO/ Fe_2O_3 ratio reflect the predominance of oxidizing conditions in the process of sedimentogenesis, which occur in well-aerated water bodies. Indicators CIA, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ were used to characterize changes in relative humidity. In the sediment layers, which are characterized by increased values of these indicator ratios, an increased humus content and vegetation residues were also found. Indicators $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, Sr/Rb show changes in relative temperature. Changes in $\text{P}_2\text{O}_5^{\text{anthr}}$ in sediments reflect anthropogenic activity.

The change in the level of the reservoir on the coast of the bay correlates with changes in anthropogenic activity, and, accordingly, the appearance of carriers of different cultural traditions on the coast.

The sites located on the southern coast of Lake Ladoga, about 4 km from the coast, include **sites Podolye 1-3** (Sapelko et al. 2019; Gusentsova, Kulkova, 2020). At the Podolye -1 site, as well as at Okhta 1, wooden fishing structures of different times were found, where the cultural layer was

preserved *in situ*. Two cultural layers were found during the excavations. The lower cultural layer, represented by light yellow silt, is interbedded with a layer of peat. The upper cultural horizon consists of sandy-silty sediments interbedded with black organic sediments. The layers are covered with dense gray loam. To reconstruct the paleolandscape-climatic conditions at the site, the methods of mineralogical and geochemical analyzes, as well as spore-pollen analysis, diatom analysis, and grain-size analyzes were used (Gusentsova, Kulkova, 2020, Sapelko et al., 2019). The age of deposits and artefacts was determined using radiocarbon dating. The main geochemical indicators that were used are SiO_2biog to determine the productivity of the reservoir and the water level in the reservoir, $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ is the change in anthropogenic activity, CIA is the change in relative humidity. The change in anthropogenic activity has a good correlation with the stages of the appearance of carriers of different cultural traditions at the site. The transgressive phase of Lake Ladoga leads to flooding of the site and people leaving it (Fig. 4).

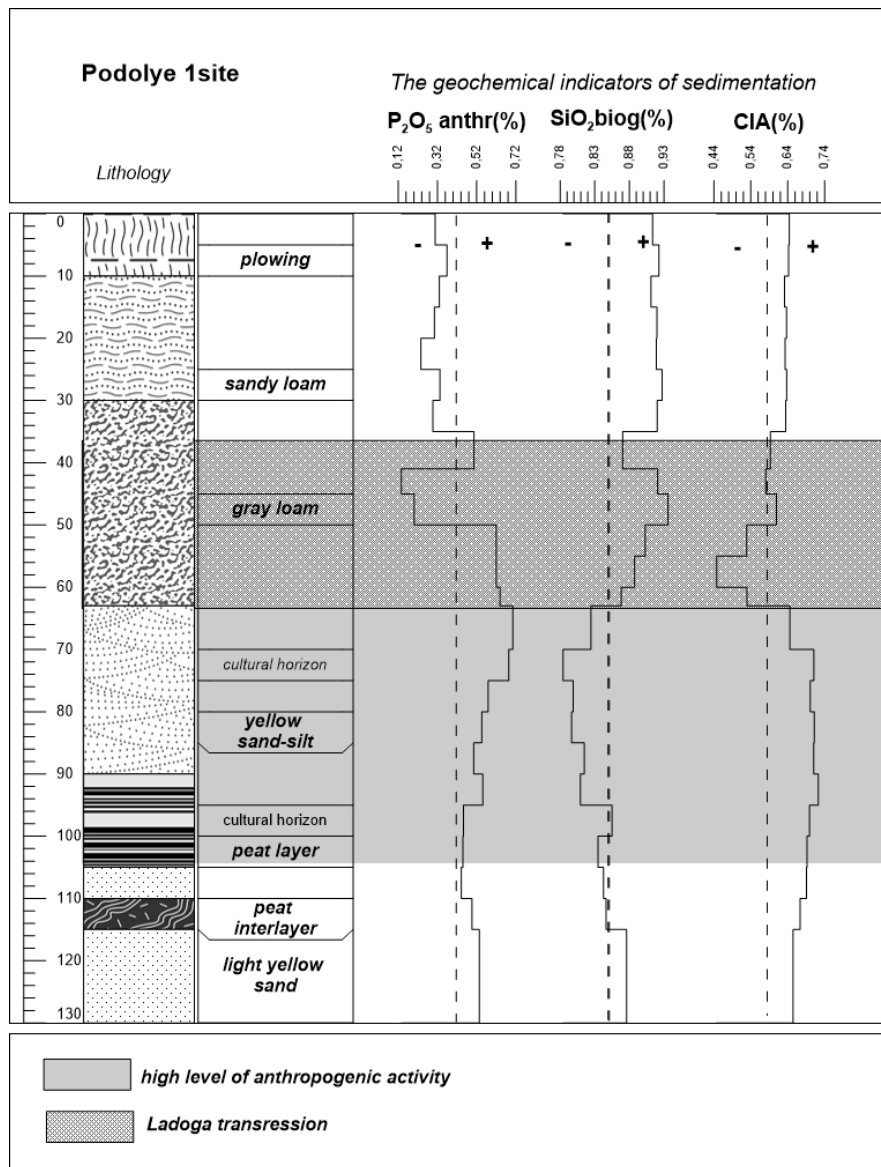


Fig. 4. Reconstruction of the sedimentogenesis at the Podolye 1 site according to geochemical data. Serteya archaeological microregion.

The **Serteya** archaeological microregion is located in the basin of the Dvina-Lovat' basin, in the southern part of the Pskov and north-western parts of the Smolensk region. Ancient lakes in the area of the Serteya archaeological microregion were formed after the retreat of the glacier and were located in a chain, separated by narrow isthmuses, which were eroded during

periods of rising water levels. Along their shores, as well as in the central parts of the lake basins, there are unique archaeological sites that were dated from the 8th millennium BC up to 10 c. AD. At present, the lake basins are swamped and inherited by the narrow channel of the Serteya River, which flows into the Western Dvina River. Peat-gyttija lacustrine deposits of borehole No. 63 in the Great Serteyskaya hollow (limnic zone) (Kulkova et al. 2015, Kulkova et al. 2016). Data from other cross-sections and boreholes have also been published (Kulkova, 2005; Kulkova, 2012; Mazurkevich et al. 2012). The mineral composition of the deposits includes clay minerals, feldspar minerals, micas, quartz, hornblende, iron and manganese oxides, calcite/ anhydrite, garnet, zircon, and sulfates. Based on the correlation analysis of the geochemical composition of the deposits of cores 63 and 72, the following groups of geochemical components with high correlations were established:

Group 1: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 - rock-forming oxides that are part of terrigenous sediments, represented by clay minerals, mica, quartz, feldspars, titanomagnetite, apatite.

Group 2: CaO , MnO , S, LOI - components included in the composition of organic-mineral compounds associated with the organic component of gyttija. CaO is an element of carbonates, sulfates (anhydrite). LOI (loss on ignition) determines the amount of organic (at 500°C), carbonate and sulfate components (at 900°C). Iron has a high correlation coefficient with aluminum (0.81), which suggests that one of the forms of iron occurrence in lake sediments is ferruginous clay particles. The results of factor analysis allow us to identify the following factors ($n=32$, $R^2=0.65$):

FI ($\text{TiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}/\text{CaO}, \text{C}_{\text{org}}, \text{MnO}$) shows the antagonism of terrigenous components accumulating in shallow water conditions in relation to organic-mineral complexes deposited in deeper water conditions, characterizes the change in the water level in the reservoir, and in this case is an indicator of transgressive /regressive stages.

FII (P_2O_5 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{All elements}$). The high correlation of iron and phosphate compounds reflects the anthropogenic impact on the reservoir. One of the types of input of iron concentrations into a water basin is the processes of soil erosion as a result of anthropogenic activity.

FIII ($\text{Na}_2\text{O}/\text{All elements}$). The main form of occurrence in these deposits (Na_2O) is minerals of the plagioclase group. In a warm climate, albite (sodium plagioclase) undergoes changes in the form of sericitization and, after destruction, passes into clay minerals. This allows us to conclude that an increase in the Na_2O ratio and positive values of the 3rd factor may be an indicator of a cool climate in which plagioclase is stable. Under warm climatic conditions, plagioclase is destroyed and transformed into sericite and clay minerals. The destruction of potassium feldspar is slower than that of plagioclase and leads to the accumulation of K_2O in clay minerals and hydromicas. The pair correlation coefficient of the $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio and the values of the 3rd factor is ($R^2=0.78$). The ratio $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ was used as an indicator of the relative humidity of the climate. The indicator $\text{SiO}_{2\text{diat}} = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ reflects the proportion of planktonic diatoms in sediments and, accordingly, the productivity of the reservoir. The $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ratio (the correlation of this indicator with CaO is $R^2=0.76$) characterizes the degree of alkalinity of a water reservoir at a high oxidizing potential. Changes in the water level in the lakes and climatic factors influenced the cultural and historical stages of settlement in the region. The main stages of these transformations were reconstructed by the method of geochemical indication.

Lake Kamyshovoe (Kaliningrad region).

Geochemical studies carried out by the author on Lake Kamyshovoe were published in collective papers (Kublitskiy et al., 2020; Druzhinina et al. 2020). Data obtained allow us to reconstruct the conditions of sedimentogenesis and the influence of landscape-paleoclimatic and anthropogenic factors on them. Deposits are represented by various types of gyttija. The following geochemical indicators were calculated: the index of biogenic silica, reflecting the change in the productivity of the reservoir ($\text{SiO}_{2\text{biog}}$). Factors of sedimentogenesis ($n=72$, $R^2=0.53$) were established by principal component analysis (Fig. 5).

FI CaO , $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, Al_2O_3 , TiO_2 , Zr - shows the antagonism between the group of components of the organic-detrital origin and the group of components of the aluminosilicate minerals, which are the terrigenous component of the sediment. Organic-detrital remains are observed in gyttija deposits

in the form of small inclusions of phytoplankton shells and valves. This factor characterizes the hydrological conditions of sedimentogenesis, transgression/regression stages.

FII. Zn, Co, Pb / CaO, MnO, Al₂O₃, characterizes the redox conditions of the reservoir: positive values of the factor correspond to reducing conditions, negative values correspond to oxidizing ones. Comparison of the data obtained with the stages of settlement of the area by the ancient population shows a correlation with fluctuations in the reservoir and climate.

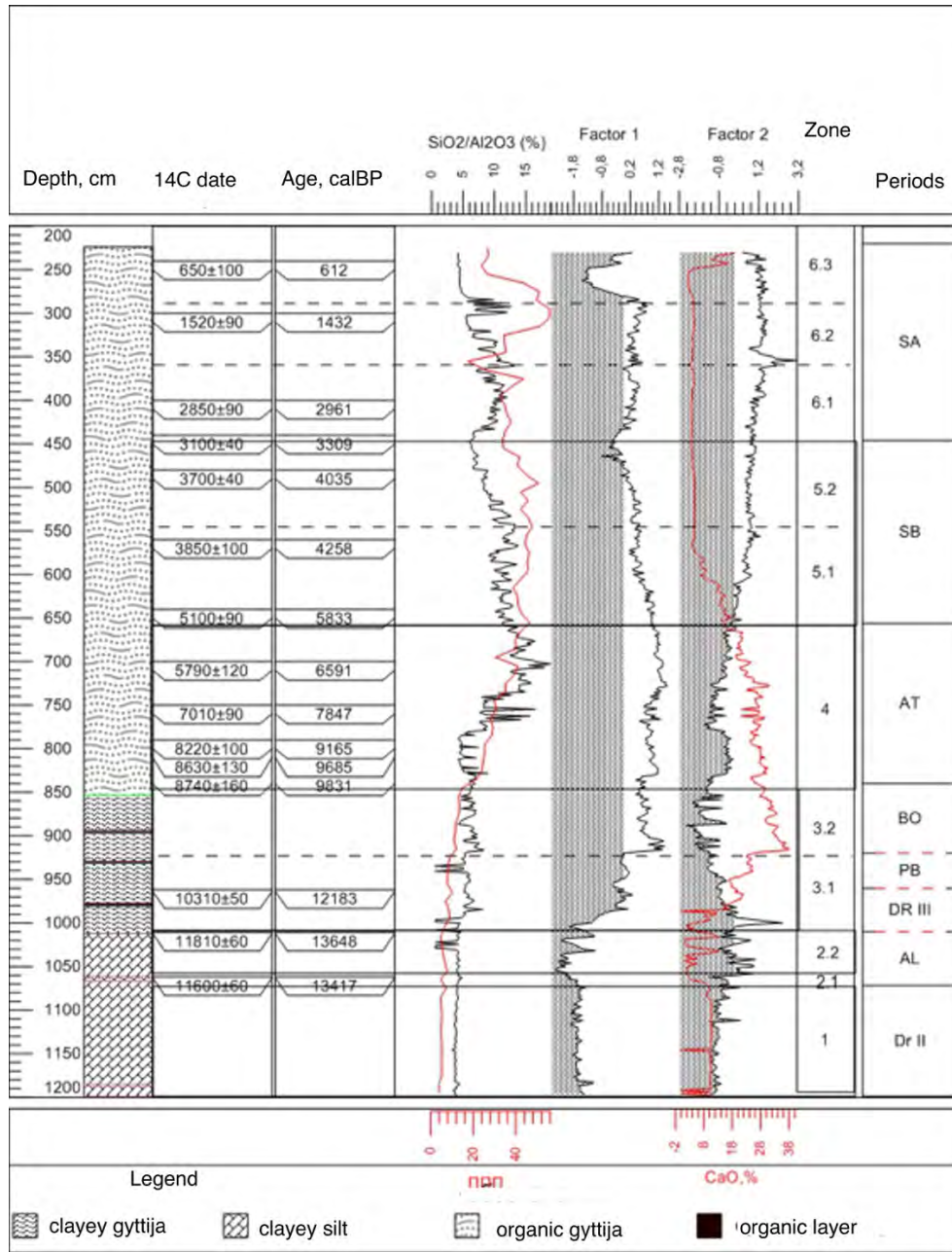


Fig.5. Changes in the values of geochemical indicators in the bottom sediments of the lake. In (Kublitskiy et al. 2020)

North-Eastern region (Southern Prionezhie, Lake Vozhe basin).

The Karavaikha 4 site is located in the basin of Lake Vozhe, in the north of the Vologda region, in the central part of the Russian North. The lake is connected through the river Svid' with Lake Lache, located in the Arkhangelsk region. The drainage basin of Lakes Vozhe and Lacha is a flat area with a developed river network. Mesolithic and Neolithic sites are mainly developed in the region. The

Neolithic tradition is dominated by a culture with pit-comb ceramics. Later sites from the early metal period are also presented. In the basin of Lake Vozhe, the earliest sites were dated back to the Mesolithic and they include several peat sites located near the Pogostishe villidge on the river Modlona. To reconstruct the paleogeographic conditions during the ancient people habitation at the Karavaikha 4 site, mineralogical-geochemical and pollen analysis of sediments from peat-gyttija cross-section were carried out (Kulkova et al. 2015; Piezonka et al. 2017). The deposits in the lower part of the section are represented by fine-grained sands of alluvial-lacustrine genesis; in the upper part of the section, organogenic deposits are presented by peat-gyttija. To characterize the change in the water level in the reservoir, the indicators MnO/Fe_2O_3 were used as an indicator of oxidizing conditions, $SiO_{2\text{biog}}$ as an indicator of the productivity of the lake. To characterize the change in anthropogenic activity, the change in phosphates in sediments of the cross-section was used. The data of the geochemical composition of the deposits were processed using the multiple correlation method: Group 1 includes components, P_2O_5 (Sr), which characterize anthropogenic activity. Bone remains and artifacts were found in sediments with elevated contents of these components.

Group 2 (Al_2O_3 , K_2O , SiO_2 , TiO_2), components included in the composition of aluminosilicates (clay minerals, quartz, feldspar, mica) and titanomagnetite. These data are confirmed by mineralogical analyses. The change in these components in sediments of the cross-section has a correlation with zirconium (Zr), which is mainly part of zircon, and characterizes the supply of clastic terrigenous material to the reservoir. The redox/oxidative conditions were estimated from the indicator MnO/Fe_2O_3 ratio and variations of Zn. The drainage basin of Lake Vozhe was formed after the disappearance of the glacial lakes, in their place were shallow and deep-water basins of various sizes, in which large lakes were formed. Changes in the lake water level, eutrophication processes and the forming of shallow swamp lakes, a decrease in productivity were the main factor regulating the distribution and settlement of this territory by ancient fishermen-hunters of the Neolithic period.

The multi-layered settlement of **Tudozero V** is located on the edge of a sandy spit that stretches between lakes Onega and Tudozero. This site is located in the Prionezhskaya lowland, in the southeastern part of the Megorsko-Andomskaya Upland. The Tudozero V site was formed on aeolian sand deposits that form coastal dune ridges, which, in turn, formed on sandy coastal spits (Kulkova et al. 2014). The upper level of the strata of the settlement contains cultural layers from the Middle Ages to the Middle Neolithic with pit-comb ceramics. It is separated by a thick sterile layer up to 1.5 m from the lower level of strata containing the cultural layers of the Early Neolithic and Late Mesolithic. To characterize the relative temperature changes, the modules K_2O/Na_2O and Rb/Sr were used, which reflect the change in the chemical composition of the feldspar component in the process of changing the temperature regime. The Chemical Index of Alteration (CIA) was used to establish the relative change in humidity. Aeolian deposits were sedimented as a result of re-waving and transfer of clastic material, sorting and redistribution by specific gravity of particles. Fine and light particles are blown away by the wind, while hard and heavy particles accumulate. The deposits of the lower horizon are dominated by a group of geochemical components (SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 и Zr), which compose quartz, and accessory minerals (ilmenite, zircon, rutile), which was determined in the mineralogical composition of the deposits. When blown by the wind, the removal of light particles and the accumulation of heavier and more durable particles had been occurred. As a rule, such processes occurred more intensively in dry and cool climatic conditions. To characterize the change in anthropogenic activity, we used the indicator of change in the content of phosphates (P_2O_5) in sediments. Deposits with high levels of anthropogenic activity, corresponding to cultural layers, alternate with deposits with low anthropogenic activity, which makes it possible to identify unfavorable conditions for settling the site.

Based on the obtained mineralogical and geochemical results of different genetic types of deposits formed during the Late Pleistocene-Holocene at each of the studied archaeological sites located in different geographical zones in Eastern Europe, indicator ratios of components or groups of components were established, reflecting the influence of paleoclimatic conditions and ancient anthropogenic activity on the process of sedimentogenesis. Based on these indicators, the following

paleoclimatic characteristics can be established: relative temperature ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), relative humidity (CIA; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), hydrological regime of the reservoir and its productivity ($\text{SiO}_2^{\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), erosion processes ($\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) associated with precipitation and anthropogenic activity ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$ $\text{CaO}_{\text{anthr}}$).

2. *On the base of the generalization of mineralogical and geochemical investigations of sediments on the reference archaeological sites of different geographical zones of Eastern Europe (semi-desert, steppe, forest-steppe, forest, and tundra), radiocarbon and archaeological periodizations there were established the global climatic events and their correlations with the Rapid Climatic Cycles (RCC) during the Holocene: 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5450-4200 calBP/3500–2200 BC (4200 calBP/2200 BC) u 3200-2800 calBP/1200-900 BC, as well the less significance climatic events as (7700-7600 calBP/5700-5500 BC u 7300-7200 calBP/5300-5200 BC) and their connection with cultural and historical transformations.*

Steppe zone. The Neolithic-Eneolithic Algay and Oroshaemoe 1 sites.

Reconstruction of the climatic conditions for the formation of deposits at the sites of Algay and Oroshaemoe 1 (Lower Volga region) was carried out using the method of geochemical indication of sedimentation processes and compared with the data of radiocarbon analysis and soil studies (Kulkova et al. 2019, Ovchinnikov et al., 2020). Radiocarbon dates obtained for organic remains from the cultural layers of the Algay and Oroshaemoe 1 sites (Vybornov et al., 2020; Kulkova et al., 2019; Ovchinnikov et al. 2020) show the chronology of the settlement of the sites. Cool and dry conditions are recorded in the initial period of the site occupation by people, about 8200 calBP/6200 calBC. After this climatic period, the first traces of anthropogenic activity at the sites are recorded in the sediments. At the later stage, or immediately after the phase of strong climate aridization, the first evidence of carriers of the Orlovskaya Neolithic culture appears at the Oroshaemoe 1 site. The climate in this period was characterized as warm and moderately humid. In the deposits of this time at the Algay site, anthropogenic activity is low. The distribution of carriers of the Orlovskaya culture at the Oroshaemoe 1 site is dated to the period 7900-7615 calBP/5900-5615 calBC. At the Algay site, the beginning of the appearance of carriers of this culture dates back to 7800-7650 calBP/5800-5650 calBC. Favorable conditions, which are characterized by some increase in humidity (but were still quite dry compared to the present period) continued in the area until about 7500 calBP/5500 calBC. Starting from this time, the next stage of climate aridization takes place. Carriers of the early and middle stages of the Oryol'skaya culture appeared at the Algay site during favorable short-term periods, alternating between dry and cool conditions, the maximum of which is fixed at about 7050 calBP/5050 calBC. At the Algay site, according to the geochemical indication, the beginning of aridization is recorded around 7656-7566 calBP/5656-5566 calBC. The period 7600-7470 calBP/5600-5470 calBC is correlated with the first stage of the Oryol'skaya culture. A slight increase in humidity at the Algay site is fixed at about 7350-7120 calBP/5350-5120 calBC. High anthropogenic activity is recorded in the layers of this time. The middle stage of the Oryol'skaya culture belongs to this period. The maximum climatic aridization and warm climatic conditions are recorded in the deposits at the Algay and Oroshaemoe 1 sites around 7050 calBP/5050 calBC. In the deposits of this time, low anthropogenic activity is recorded. An increase in aridization leads to the complete abandonment of the sites by the carriers of the Oryol'skaya culture. There is a stage of strong climate aridization around 7100-7000 calBP/5100-5000 calBC.

In the area of the Algay and Oroshaemoe 1 sites, the transition to humid and warm climatic conditions (climatic optimum) occurred after 7050 calBP/5050 calBC. In the period of 7000-6900 calBP/5000-4900 calBC the carriers of the Cis-Caspian culture appeared. At the Algay site, the stage of emergence of the carriers of the Cis-Caspian culture also occurred during wet and warm conditions, around 6900-6366 calBP/ 4900-4366 cal BC. This was a rather favorable climatic period, which contributed to the forest distribution along the river valleys to the south and the spread of broad-leaved forests according to pollen analysis. The next stage of climate aridization begun around 6700-6500 calBP/4700-4500

cal BC. The period of aridization in the steppe zone is also dated according to some publications to the time of 6500-6400 calBP/4500-4400 calBC (Bolikhovskaya, 2011). At the Oroshaemoe 1 site, the appearance of carriers of the Khvalynian culture is dated around 6700-6300 calBP/4700-4300 calBC. This was in the period at the end of an episode of strong aridization. In deposits of this age, high values of anthropogenic indicators are recorded and remains of artifacts have been found. The beginning of the development of the Khvalynian Eneolithic culture is corresponded with a period of improvement in climatic conditions in the steppe zone. One of the important climatic indicators in the steppe zone is humidity. The moisture coefficient reflects the ratio of heat and moisture and determines the direction and intensity of most natural processes and landscape development.

Forest-steppe zone. Multi-layered site Good 9 (Middle Don river basin)

Deposits of gray fine-grained silt, which was found in the bottom of the lower cultural layer, with artifacts of the Neolithic period (Srednedonskaya culture) were formed in the transition period, about 7317-6839 calBP / 5317-4839 calBC (Smolyaninov et al. 2020). It can be assumed that the lower cultural layer was formed during the transitional stage from a cool climate to a warm and humid one and belongs to the stage of the Atlantic thermal maximum. The abundance of archaeological zoo material indicates a developed fishery. The plant remains from the cultural layer indicate the development of forest vegetation what can be corresponded with the Atlantic climatic optimum of the Holocene around 5000 BC (Spiridonova, 1991)? when a forest-steppe was being formed on the territory of the Upper Don. The third stage in the development of the Srednedonskaya culture, according to archaeological data, is marked as the time of establishing contact between Neolithic cultures and the Eneolithic population from the south. On the territory of the Upper Don, there is a transition to unstable conditions, which can be one of geographical reasons for the moving of the southern population in the northern territories which are richer in natural resources. Dark brown silt of the upper cultural horizon. In the lower part of the deposits the artefacts of the Lyalovskaya and Srednedonskaya cultures were found. According to the geochemical indication, the deposits are characterized by high anthropogenic activity and were formed during a humid and warm climate. Deposits with finds of bronze age within the upper cultural layer are dated on humus to 3900-3500 calBP / 1886-1498 calBC. The climatic characteristics of deposit sedimentation correspond to the beginning of the late Subboreal period, which characterizes, in general, climatic conditions as relatively humid and warm. This period is characterized by the development of the forest-steppe landscape (Bolikhovskaya, 2010) in this area.

Forest zone. Zamostye 2 site (Mesolithic-Neolithic period)

The artifacts of Zamostye 2 site were found in the pet-gyttija deposits. The beginning of the formation of lacustrine deposits in the lower part of core is dated back to the Boreal period (Lozovskaya et al. 2020). At this time, according to geochemical indicators, climatic conditions can be characterized as cool (low values of the K_2O/Na_2O and Rb/Sr ratios) and dry (low values of CIA index). Traces of anthropogenic activity are recorded. The deposits were formed under conditions of transgression in the shallow, well-aerated lake. Enrichment of the deposits by the detrital components (inclusions of shell remains) and some geochemical indicators characterizing the oxidative conditions in the reservoir are recorded. At this time, the lake was an open, well-aerated reservoir. The climate can be described as a transition to warmer and wetter conditions. This episode is clearly recorded in the sediments and correlates with the cooling of the climate around 8200 calBP/6200 calBC. During this period, the water level in the reservoir decreases according to the geochemical indicators. Anthropogenic activity was high, which corresponds to the development of the final Mesolithic cultures in this area. Further warming and an increase in climate humidity was registered in the period 7661–7167 cal BP/5711–5217 calBC. There is a gradual overgrowth of the shores of the lake. During this period, the carriers of Neolithic cultures (the Neolithic culture of the Upper Volga) occupied this place. The gradual overgrowing of the lake reservoir, which was briefly interrupted by transgression at the end of the Atlantic period (according to pollen analysis), leads to the final shallowing of the lake, which is recorded in the Subboreal period. People abandoned this place connected with fishing. Periodic fluctuations in the water level and coastline changed the location of settlements in the lake

shore zone. Ares located on the cape of the shore were occupied during the Mesolithic period. In this time a cooling episode with an increase in dryness and decreasing of water level around 8200–8000 calBP/6200–6000 calBC occurred. In the Early Neolithic period the first stage of the Upper Volga culture is dated to 7661–7167 calBP/5711–5217 calBC. A further decrease of the lake water level around 3900–3500 calBP/1893–1506 calBC leads to a break in sedimentation and a change in the hydrological regime.

Forest and taiga zone. Okhta 1 and Podolye 1 sites (Neolithic-Early Metal period).

At the Okhta 1 site (Kulkova et al. 2012; Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016; Ryabchuk et al. 2016; Sapelko et al. 2019; Gusentsova and Kulkova, 2020), the conditions of the ancient population development on the territory of Okhta Cape, in the coastal zone of the ancient Littorina Sea (one of the stages of the modern Baltic) during Neolithic-Early Metal period were studied. After the maximum of the Littorina transgression around 8400–7610 calBP / 6459–5666 calBC, a coastal spit was separated from the sea by the so-called Ligovskaya Spit (Ryabchuk et al., 2014) and the lagoon zone began to form. At the beginning of the regressive stage, after 7600 calBP/5660 calBC, the lagoon located in the eastern part of the Ligovskaya Spit, periodically was connected with the Littorina Sea through a strait within the modern Neva river valley. After the Littorina Sea regression around 6200 calBP/4200 calBC, the coastal zone of the shallow bay was partly separated from the sea by a sand bar, which was later transformed into Okhta Cape. The central part of Okhta Cape at about 5500 calBP/3550 calBC was the top point of the cape rising above the water.

The earliest radiocarbon dates relating to the beginning of the appearance of an ancient man in the Okhta Cape area refer to the period from 6164–5633 calBP / 4164–3633 calBC. During this period, carriers of the Pit-Combed culture appear. Separate fragments of the Early Neolithic pottery of the Sperrings culture were also found at the site. Probably, at this time, the first settlement appeared here, which was formed on the territory exponated after the Littorina transgression. The cultural layer belongs to the Middle Neolithic period and it is dated to 6066–5495 calBP/4066–3495 calBC on the radiocarbon analysis and archaeological finds. The remains of material culture testify that the coastal lagoon shallow zone was used for fishing and hunting. Periodic changes in the water level in the basin, associated with the isostatic uplift of the land during this period, influenced the formation of the microrelief of the sand spit. Around 5500 calBP/3500 calBC, the water level in the bay drops and a system of shallow rivers and channels forms (Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016, Ryabchuk et al. 2016). This is the time of deterioration of climatic conditions.

The next increasing of water level in the Baltic Sea was around 5450–5050 calBP/3450–3050 calBC. This is also registered by other researchers (Berglund et al. 2005; Harff et al. 2011). Climatic conditions are changing towards a more humid and warmer climate. On the coast of the shallow bay of the Okhta Cape, remains of fishing constructions and burials dating back to the late Neolithic-Eneolithic period were found. Various types of wooden structures were built in the coastal, intermittently flooded area. Traces of living areas, among which there were working zone of stone processing - cores and accumulations of waste, stone raw materials, including small flakes; grinding tiles, abrasives. Two burials with remains of tooth and bone particles as well amber adornments dated to 5300–4700 calBP/3300–2700 calBC were found on the elevated part of the cape (Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2012).

Around 4700–4200 calBP/2700–2200 calBC there was a change of climatic and hydrological conditions. Artifacts of the Bronze Age (end of the 2nd - beginning of the 1st millennium BC) were found. They are presented by separate fragments of corded ware ceramics. Significant changes in paleogeography in this area were recorded around 3500 calBP/1500 calBC. At this time, the formation of a delta of the river system, which flows into a shallow sea bay, takes place. The deposits were intensively washed out. Anthropogenic activity was low, which is confirmed by the absence of finds of material culture in this period. The formation of deposits sedimented during of the Neva River formation is dated back to 3639–3128 calBP/1639–1128 calBC (Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2016). After the formation of deltaic sediments around 2800 calBP/800 calBC, the next stage of cape settlement occurs already in the Early Iron Age. These stages are illustrated by a scheme of

radiocarbon dates (Fig. 6) obtained from carbon deposits for various types of ceramics at the Okhta 1 site, processed by the Bayesian statistics method using the OxCal 4.4 calibration program.

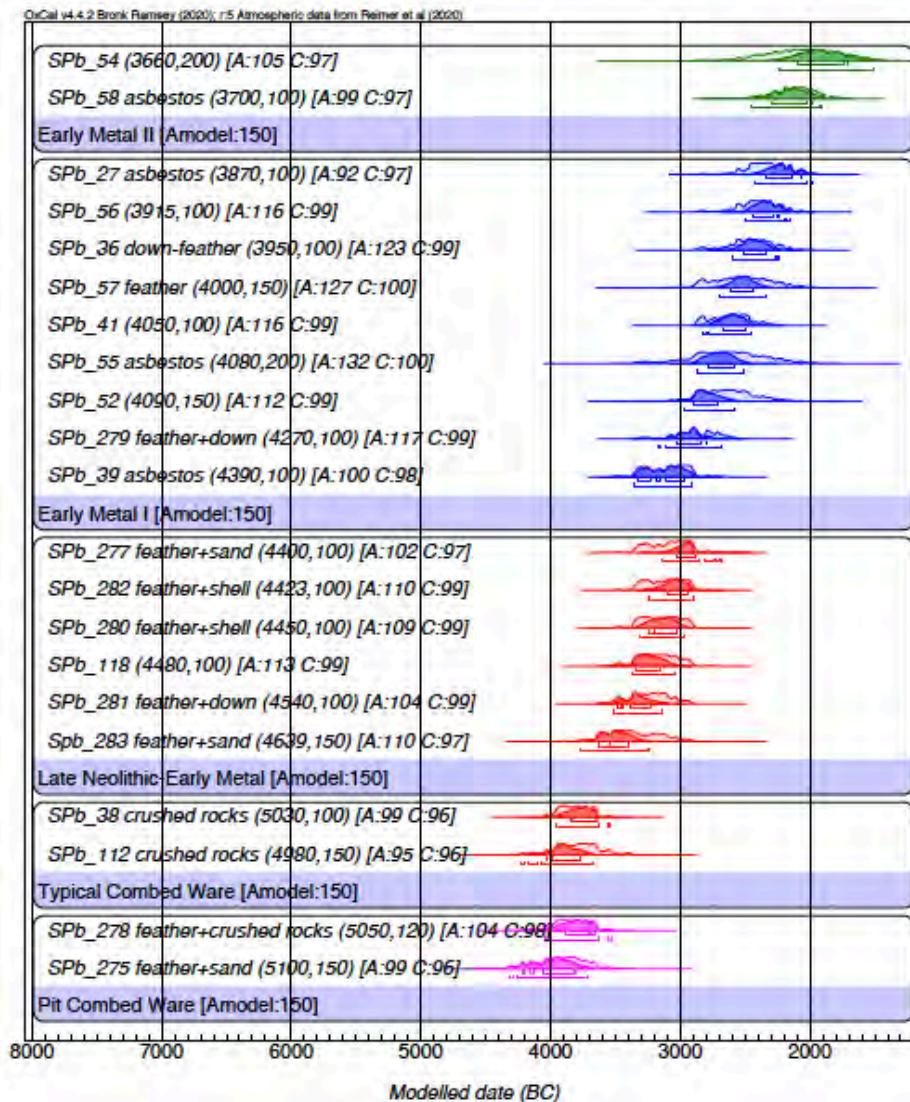


Fig.6. Distribution of radiocarbon dates obtained from food crusts on different types of pottery at the Okhta 1 site using Bayesian statistics (OxCal 4.4.).

Multi-layered Podolye 1 site. Geochemical data indicate the appearance of an anthropogenic signal in peat deposits at the Podolia 1 site (Gusentsova, Kulkova 2020). Wooden fishing structures were built in the shore zone of the ancient canal that flows into Lake Ladoga. Radiocarbon dates for wooden piles are 5350–5135 calBP/3350–3135 calBC (Gusentsova and Kulkova 2020). The style of the fishing structures is the same as on the Okhta1 site, located in the coastal zone of the lagoon of the ancient Baltic Sea in this same period (Gusentsova and Sorokin, 2012). Fishing traps were made from pegs and thin sticks. Radiocarbon dating of wooden structures lies in the range of 5350–4750 calBP/ 3350–2750 calBC (Gusentsova, Kulkova 2020). Ceramics have analogies with pottery of the end of the 4th - the first half of the 3rd millennium from the Okhta 1 site, the Orovnavolok XVI site in Karelia (Zhulnikov, 1999), with Volosovo-type ceramics from the Upper Volga region. The pottery tempered by shell is dated to 5695–5385 calBP/3695–3385 calBC and has an analogy with pottery from the Modlona-1 site in the Eastern Onega Lake region (Gusentsova and Kulkova 2020). The radiocarbon dates on charred food crusts from the asbestos-type pottery at this site is 5715–5483 calBP/3715–3483 calBC. The Late Pit Ware and Asbestos Ware from the Kirikki site in Finland have the same age (Carperlan, 1979; Pesonen, 1999). In the lower part of the silty deposits, finds of cultures of the Later Neolithic - Early Metal Age were found (Gesentsova, Kulkova, 2020). There were

structures on the sandy shore, the remains of which show that the main economic strategy in the early Neolithic period, was fishing and hunting. The next stage, according to geochemical investigations of gray loam sedimentation, occurred during increasing of water level and transition to cold conditions. The water level increasing caused the repeated erosion of the upper cultural layer. The oxidizing conditions in the reservoir, which formed during the transgression period, were also confirmed by geochemical data by diatom analysis. Diatoms typical for Ladoga Lake basin were found in these layers (Sapelko et al. 2019). The beginning of the Ladoga transgression occurred after 4000 calBP/2000 calBC, which led to the flooding of the monument and the population leaving this site.

Forest zone. Serteya archaeological microregion.

According to the geochemical indicators, detailed reconstructions of landscape and climate changes were carried out at the sites located on the shores of ancient lakes of the Serteya basin (Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2016; Kulkova et al. 2018). In the period 12000-9200 calBP/ 9850-7430 calBC, the climate can be characterized as cool and dry. The lakes in this period were deep-water with the high productivity. About 10,000 calBC, anthropogenic elements appear in lacustrine sediments. In the same time, apparently, the first sites related to the Mesolithic period appear on the shores of the basins. The some artifacts of the Mesolithic age were found on the shores of ancient lakes.

Period of 9200-5000 calBP / 7430-3100 calBC. The maximum of regression is fixed in lakes at about 8300 calBP/ 6397-6229 calBC. The climate during this period becomes more humid and warm. Productivity in the lake is decreasing. Anthropogenic impact on the ecosystem is decreasing. According to archaeological data, no archaeological sites of this period have been found. It is likely that the population density is decreasing or it is absent. The appearance of pottery among the tribes in the northwest region is dated to about 7748-8413 calBP/6500-5750 BC. These sites were united in the Serseyskaya cultural group. Around 8000-7700 calBP/6000-5700 calBC an increase of the water level in reservoirs is recorded. The climate becomes dry and cool. Productivity in water bodies is increasing. Anthropogenic pressure on water bodies is increasing. This is likely to be due to an increase in population density in the microregion. The settlements of the middle and late phases of the Serteya culture were located on the high slopes of lake basins. The decrease in the water level in the lakes of the microregion is fixed at 7500-6500 calBP/5500-4500 calBC. The climate at this time becomes warm and humid. Lake productivity is low. Anthropogenic impact on the reservoir is increasing. At this time, settlements of the Rudnynskaya culture appeared on the shores of the lakes. This culture combined the local cultural traditions and the traditions of the Narva culture. About 6500-5500 calBP/4500-3500 calBC the transgression is recorded in water basins. The climate was cool and humid. Lake productivity is increasing. Anthropogenic load on the reservoir decreases. In this region, there was a sharp decrease in the number of settlements, it is even possible that during the period, the considered archaeological microregion was uninhabited.

In the period of about 5100-2600 calBP/3100-410 calBC, the regression in water basin occurs around 5100-4700 calBP/3100-2700 calBC. The climate was warm and less humid. The littoral part of the lakes overgrows, the lakes turn into swamps. The productivity of lakes is sharply reduced. Changes in the environment seem to lead to the emergence of new forms of buildings. In the coastal part of swampy lakes, pile dwelling sites of the Usvyatian culture appear. The next transgressive phase in water bodies is fixed at about 4000-3700 calBP/2283-1685 calBC. The climate during this period becomes a little colder. An increasing of dryness is recorded around 3700-3600 calBP/1700-1600 calBC. During this period, pile dwelling sites of the Zhizhitskaya and Severobelaruskaya cultures were developed in the microregion. The anthropogenic load is slightly reduced in the comparizon to the previous period. The pile dwelling sites are flooded, and the population moved the settlements to the islands and higher parts of the shores of the lakes, where the settlements of the Uzmen culture were found. In the period around 3400-3100 calBP/1400-1100 calBC the water level in the lakes decreased. The climate during this period was warm, humidity slightly increases. Anthropogenic impact on water bodies is increasing (this correlates with the end of the Uzmen culture).

The period that began about 2600 cal. years ago Around 2600 calBP/600 calBC, cooling and an increase in humidity are observed in the study region, and transgression in the basin is registered in the basins. The anthropogenic impact on the ecosystem is decreasing, the remains of the settlements of the early Dnieper-Dvina culture have not been found in this region.

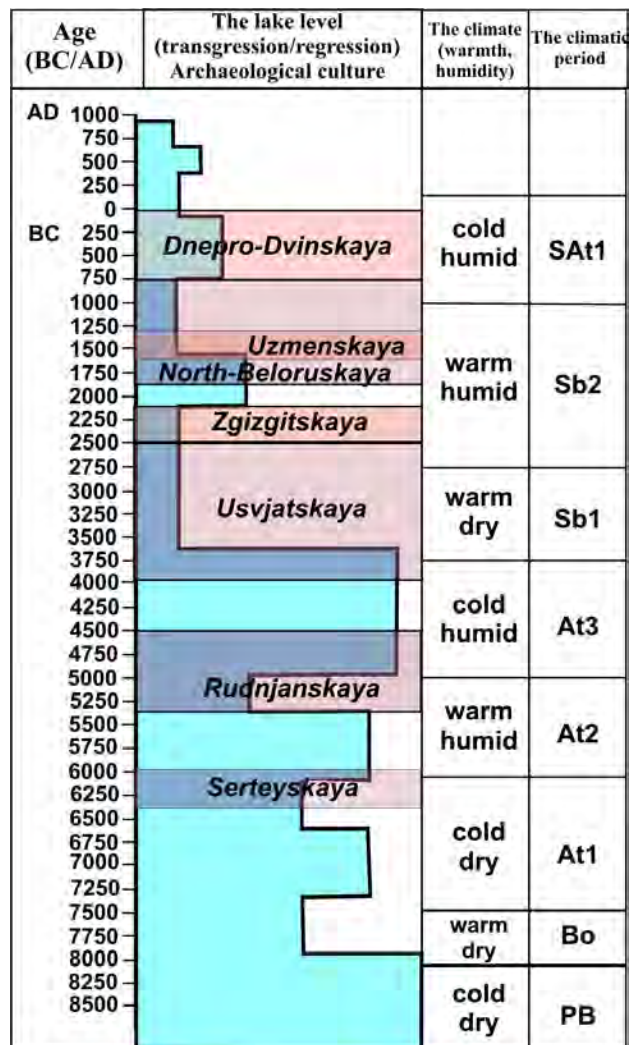


Fig. 7. Chronology of landscape-climatic events and archaeological cultures in the Holocene in the area of the Serteya basin (Kulkova, 2012).

Lake Kamyshovoe and Tsedmar D settlement

In the region of the Kaliningrad district, reconstructions of paleoclimate were conducted using geochemical data on the Kamyshovoe lake deposits. The lower unit of deposits is represented by clayey gyttija dated to ca. 12183 calBP/10183 calBC. According to the geochemical analysis, a high concentration of the terrigenous component and increasing of the carbonates in these sediments can be noted. Climatic conditions can be described as cool and dry, which corresponds to the Preboreal period. The reservoir becomes flowing, an oxidizing conditions is established. A slight increase in the productivity of the reservoir is recorded according to geochemical indicators, which coincides with the development of diatoms.

The accumulation of carbonate gyttija at 9830-5833 calBP/7830-3847 calBC is characterized by an increase in the content of organic matter (LOI 500°C), biogenic silica and carbonate component (LOI 950°C), which indicates a transition to a humid and warm climate and corresponds to the Atlantic period. A change in sedimentation is recorded around 8200 calBP/6200 calBC. The geochemical indicators record cool and dry climate conditions. After this episode, the formation of organogenic gyttija occurs as a result of intense processes of coastal erosion with a high rate of weathering and

sedimentation. The reservoir is characterized by oxidizing conditions and low productivity. The maximum productivity is observed at about 6590-5833 calBP/4590-3847 calBC, which corresponds to the episode of the Atlantic thermal maximum. In the period of 4258-3309 calBP/2258-1309 calBC, reducing conditions prevail, the carbonate component decreases and the terrigenous component increases in sediments, which indicates a decreasing of chemical weathering. Along with this process, there is an increase in organic-mineral complexes associated with lot of plant and detrital components, which is an indicator of eutrophication of the basin. This stage corresponds to the Subboreal period. Around 5833-4258 calBP/3833-2258 calBC the productivity of the basin decreases slightly.

In the period of 3309-612 calBP/1300 calBC-1350 calAD, an increase in organogenic and chemogenic components occurs, which indicates humid climatic conditions with a high rate of weathering and sedimentation, as well as eutrophication of the reservoir. This stage corresponds to the Subatlantic period.

Thus, at the turn of 5833-4250 calBP/3833-2258 calBC, there is a transition to drier climatic conditions and a slight cooling, which corresponds to the boundary of the Atlantic and Subboreal periods. During this period, the formation of the Tsedmar culture took place. This culture was formed under influence of several cultural traditions, such as the Narva culture, the Pit-Combed culture, the Neman culture and the culture of funnel-shaped goblets.

A summary diagram of climate change and transgressive/regressive stages during the Holocene and the development of the main archaeological cultures in the northwestern region of Eastern Europe is shown in Fig.8.

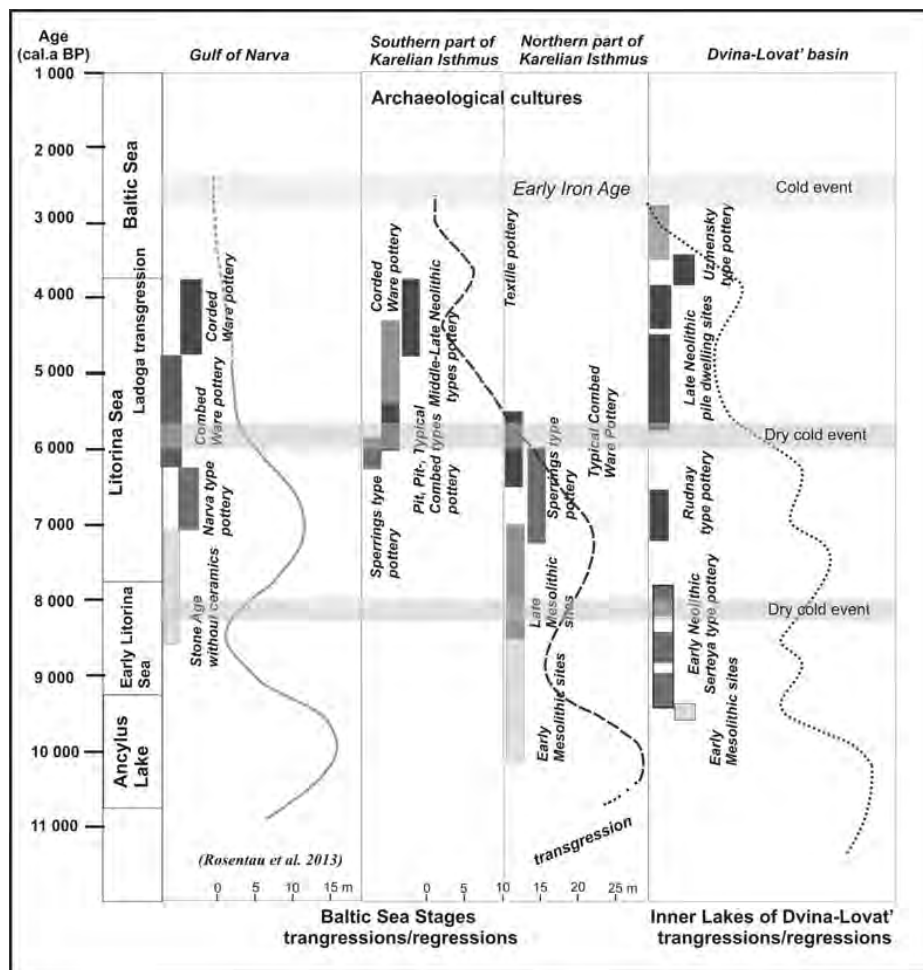


Fig.8. Generalized scheme of climate change and transgressive/regressive stages in the Holocene and the development of the archaeological cultures on the territory of the North-West part of Eastern Europe.

3. *Employing geochemical data processing by multidimensional mathematical statistics there were determined the main associations of the geochemical elements, which are characteristics of lithological (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Zr) and anthropogenic (P_2O_5 , CaO, Sr) components of sediments on the archaeological sites. The anthropogenic impact on sedimentation of cultural layers in the time, as well as the spatial definition of living, household, and crafting zones on the ancient settlements, can be determined by the associations of geochemical elements (P_2O_3 , CaO, Sr), (K_2O , Rb), (MnO , Ba), (Zn, Cu, Pb).*

The assessment of the impact of anthropogenic activity on the transformation of sediments and the formation of cultural layers on the ancient settlements was carried out using the method of the geochemical indication of functional zones on settlements. For the reconstruction of various factors influencing on the cultural deposit formation, an approach has been developed using multivariate factorial and multiple correlation analyses. It is possible in this case to identify individual groups of geochemical elements and their associations for characteristics of anthropogenic or natural factors influencing on sediment composition (Kulkova, 2012; Oonk et al., 2009; Nielsen and Kristiansen, 2014). Another important criterion for detailed interpretation of geochemical data is archaeological information about the site. The using complex research methods, such as geochemical, geophysical and archaeological analysis in the assessment of an archaeological site, in detail all the features of life, including household activity, pottery manufacture ancient metallurgy etc. can be reconstructed (Kulkova et al. 2021, Kulkova et al. 2020, Morgunova et al. 2021). The spatial distribution of anomalous concentrations of some chemical elements in the places of ancient settlements makes it possible to establish: the boundaries of archaeological sites and their locations; obtain information on how the landscape was used (Entwistle et al. 1998, Wilson et al. 2006); establish functional zones and features of various structures within the settlements. An assessment of the distribution of anomalous concentration of certain elements or associations of elements at archaeological sites has shown that the interpretation of the data obtained cannot always be unambiguous and depends on many factors. An important question in the interpretation of geochemical data is also the geochemical explanation that the accumulation of one or another chemical element is of an anthropogenic nature and is not related to the mineral composition of deposits at a given site.

Soil and bottom lake sediments accumulate certain chemical elements associated with anthropogenic activity, which change the chemical composition of sediments. As a rule, elements for determining anthropogenic activity on ancient sites are P, Ca, K, Na, and Mg, as are the trace elements Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn (Aston et al. 1998; Cabala et al. 2012; Lutz 1951; Schlezinger and Howes 2000; Terry et al. 2004; Tian et al. 2012; Wells et al. 2000). Aston et al. (1998) identified the main functions of human activity in which the accumulation of anthropogenic chemical elements occurs: the development of ancient settlements, animal breeding in enclosed spaces, the use of fire (hearths and forest fires), ancient metallurgy, handicraft activities (leather production, processing agricultural crops). According to Schlezinger and Howes (2000), an increase in the phosphorus content in soils occurs as a result of the accumulation of urea and human and animal faeces in habitats, the accumulation of decay residues of animal and plant organisms, and the use of animal manure for fertilizers. The increase in phosphorus may also be associated with food preparation, consumption and waste disposal (Terry et al. 2004). Stable forms of phosphorus are insoluble and resistant to oxidation, reduction and leaching (Wells 2004; Holliday and Gartner, 2007). Phosphorus is a main component of tissues of living organisms (in the form of nucleic acids, phospholipids, nucleotides, etc.) (Sanchez et al. 2007), it is presented in products that are used in the economy (wood, plants, bones, meat, etc.), and its concentration in the deposits increases depending on the input of various organic materials, such as plant and animal products, that are consumed and used in a certain way. The concentration of phosphorus in the cultural layers serves as an indicator of the intensity of settlement of the territory by ancient people, since phosphorus is contained in organic matter, which is deposited during human activity in proportion to the time of habitation and population growth (Marwick, 2005). Other elements may also be used to indicate different functional areas on settlements. High concentrations of calcium, which is the main component of bone tissue, as well as

phosphorus, are associated with human and animal habitats, as well as burials and graves. High concentrations of sodium, potassium, and rubidium may be associated with the presence of ash at fire sites (Middleton and Price, 1996). Increasing concentrations of iron and mercury may indicate the use of various colorants such as ocher and cinnabar during ritual activities (Wells 2004). A combination of elements, such as Fe, Mn, Zn, Cu, is associated with waste disposal sites, burials, cesspools, and residues after feasts. Thus, the chemical composition of deposits at archaeological sites can provide valuable information for determining the features of functional zones in settlements. The most effective method for establishing functional areas is the use of "multi-element" analysis (Wilson, 2008).

The author (Kulkova 2012, Kulkova et al. 2015) developed a method of multicomponent analysis based on the identification of groups of geochemical components of anthropogenic genesis by the method of multivariate mathematical statistics that characterize various functional zones on ancient settlements. The author developed ratios of geochemical components and geochemical modules for individual elements, for example, potassium, calcium, strontium, phosphorus, which can form compounds associated both with the mineral composition of deposits and the activity of ancient people. This makes it possible to separate the components associated with the lithological component of the deposits from the anthropogenic ones (Kulkova, 2012; Kulkova et al. 2012; Kulkova et al. 2016; Kublitskiy et al. 2020). Comparison with samples taken outside the anthropogenic activity from the same lithological layer. Other factors that affect the behavior of individual chemical elements are pH (alkaline acid), Eh (reductive-oxidative) potentials of the soil environment, the content of organic matter in soils, etc., which should also be taken into account when assessing the formation of a cultural layer in a settlement. To assess the overall anthropogenic impact on the settlements, the author proposed the following ratios of components for calculation: $P_{2O_{5antr}} = P_{2O_5} / (P_{2O_5} + Na_2O)$ (%), $Ca_{antr} = Ca_{tot} / (Ca_{tot} + Na_2O)$ (%), $K_{2O_{antr}} = K_2O / (K_2O + Na_2O)$ (%) and $Rb_{antr} = Rb / (Rb + Na_2O)$ (%). Elevated values of indicators ($P_{2O_{5antr}}$, Ca_{antr}) correlate well with the areas of sediments in which bone remains were found. In this case, such ratios make it possible to establish and separate anthropogenic calcium and phosphorus from lithogenic ones, which are associated with the lithology of the deposits. Indicators ($K_{2O_{antr}}$, Rb_{antr}) were used to identify focal clusters (Kulkova, 2012; Kulkova et al. 2014; Kulkova et al. 2015).

Upper Paleolithic site Yudinovo.

The Yudinovo site is one of the most studied sites of the Upper Paleolithic (15–12 thousand years ago), located in the Desna river basin, in the Pogarsky district of the Bryansk region of Russia. The household objects of different types have been discovered on the site: the remains of five dwellings of the Anosovo-Mezin type, six large household pits, ten large "ash pans" – the accumulations of bone coal and ash, two small hearths, two hearth pits, several "clad" pits, numerous production sites associated with the primary treatment of flint and tusk and cutting carcasses of arctic foxes (Khlopachev et al. 2022)

Important indicators for assessment of the ancient microrelief are changes in the content of the main rock-forming components (Al_2O_3) - alumina and (SiO_2) - silica. 3D geochemical maps of Al_2O_3 and SiO_2 distributions can be used for reconstruction of ancient microrelief in the area of the excavation (Fig. 9). Elevated concentrations of alumina (Al_2O_3) are associated with depressions in the relief, where loam deposits accumulate. Low concentrations of SiO_2 also mark areas of depressions in the relief. Silica, which is associated with the sandy component, is confined to elevated areas and is associated with areas of gray sandy loam in the excavation area. Elevated areas are composed of gray sandy loam enriched in silica and depleted in alumina; they mark the layer in squares t-28 and t-29, and are also noted in the middle part of square t-30, on the border with the pit-depression. It is possible that the sand accumulations could have been specially brought by a person to the place lot.

Geochemical maps of the distribution of complex of anthropogenic components, such as phosphorus ($P_{2O_{5antr}}$), calcium (Ca_{antr}), potassium ($K_{2O_{antr}}$), rubidium (Rb) (Fig. 10) show areas associated with burnt bone remains. The largest accumulations are associated with depressions in the relief. Such zones are observed on the surface of the depression in squares t-28 and t-29 and form ring structures.

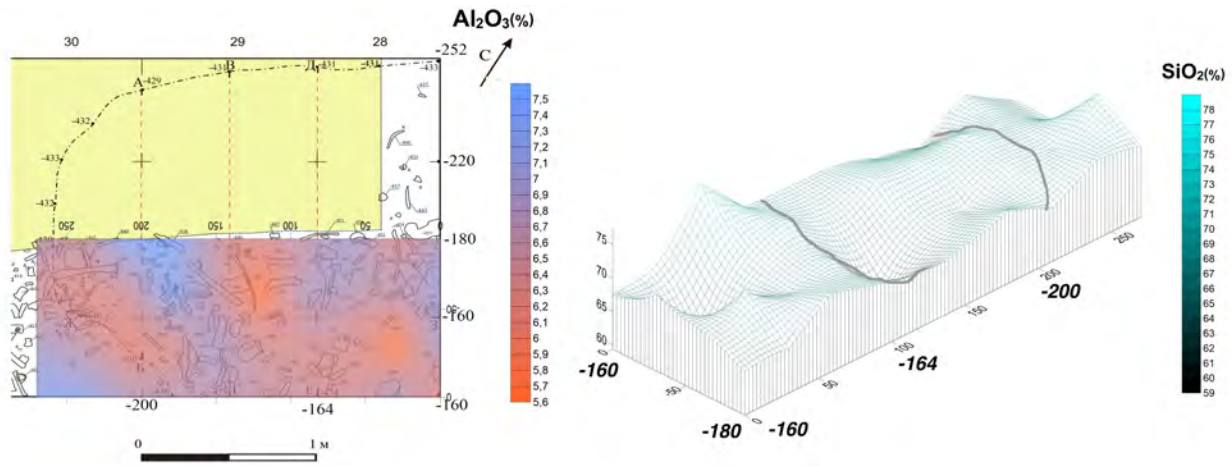


Fig. 9. Geochemical maps of the distribution of Al_2O_3 , and SiO_2 (3D) over the area of the excavation in squares 28-30, showing the features of the microrelief.

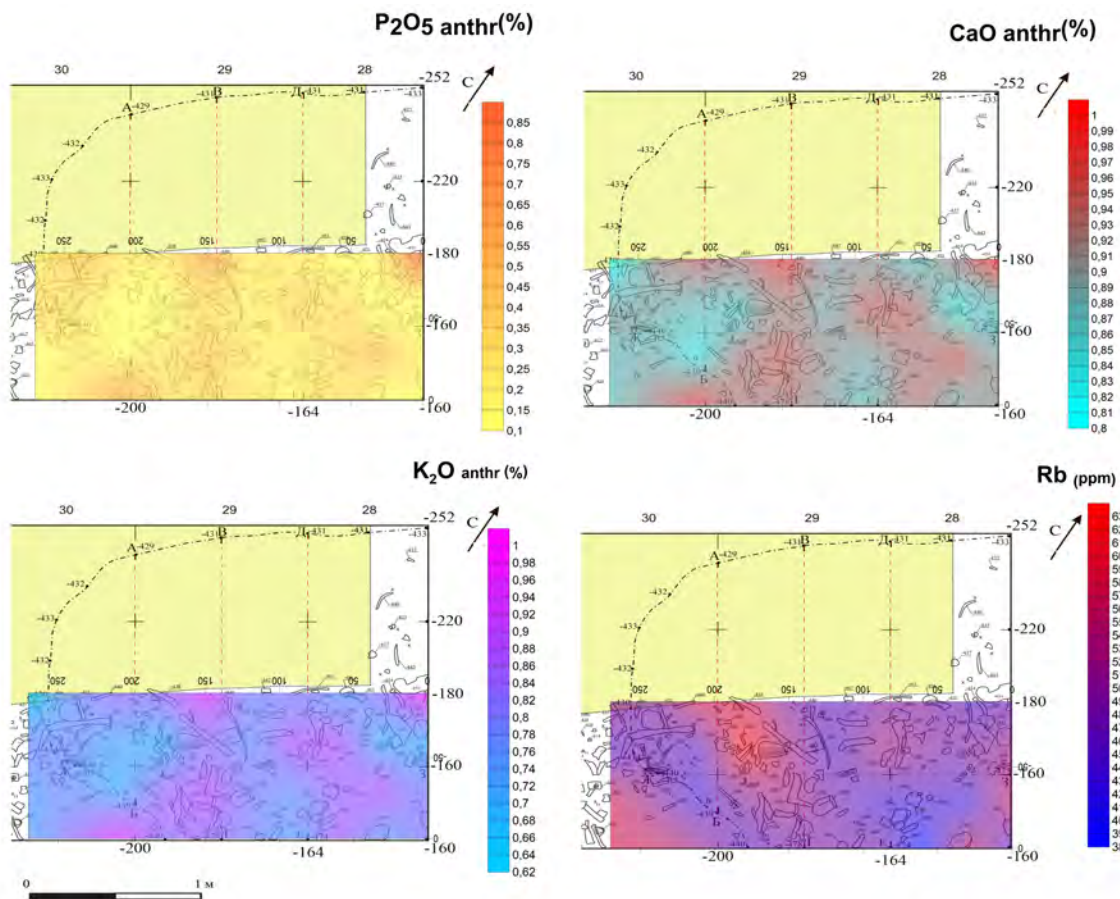


Fig.10. Group 2 - anthropogenic indicators of the places with bone and carbonaceous remains. Geochemical maps of the distribution of indicators ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$, $\text{CaO}_{\text{anthr}}$, $\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$, Rb_{anthr}) on the excavation area in squares 28-30

A zone with high contents of the complex of these anthropogenic elements is also recorded in the T-30 square on the border of the "ash pit" and the pit-depression.

The second group of chemical components (Fe_2O_3 , MnO , Ba) may be an indicator of the location of organic residues (skins, wood, etc.), which were subject to decomposition and decay. High concentrations of these elements are noted in the ash pan deposits. The zone of high concentrations

of these elements is confined to the border of the squares t-29 and t-30, which are planigraphically connected with the edge of the "ash pan". The layer with high concentrations of these elements "flows" further into the "pit-depression" zone. Anomalous arsenic (As) concentrations are recorded in the area of square t-30, in its middle part. Hanging contents of arsenic (As), lead (Pb), zinc (Zn) are also noted in the deposits of the "ash pan".

Data on anthropogenic chemical elements make it possible to reconstruct the following structures on the surface of the studied area of the Yudinovskaya site: firstly, the upper cultural horizon above the pit-depression is characterized by increased contents of a complex of components that are associated with burnt bones: phosphorus ($P_2O_{5\text{anthr}}$), calcium (CaO_{anthr}), potassium (K_2O_{anthr}), rubidium (Rb), which allows us to consider it as a separate cultural layer with bone remains; secondly, in the layer of the ash pit, which belongs to the main, lower cultural layer, there are high concentration (Fe_2O_3 , MnO, Ba), elements associated with decomposed organic residues, such as skins, wood, etc. The totality of these chemical elements is also concentrated in deposits associated with deposits in the filling of the pit-depression, especially, increased concentrations of elements in the deposits on the sides of the pit-depression, into which the ash pan layer falls. Along with this complex of elements, elevated contents of arsenic (As), lead (Pb), zinc (Zn) are recorded in the ash pan deposits at the edge of the depression. It is known that the concentrations of these elements increase in a reducing environment, during the decomposition of organic matter. In addition, a complex of such elements as arsenic (As), zinc (Zn), lead (Pb) can be associated with various components that make up the substances, the sources of which were located far from the Yudinovo site. For example, realgar is a red arsenic sulfide mineral, which, according to geological maps, is not found in the region where this archaeological site is located.

Ladoga Lake basin (sites Okhta 1 and Podolye 1).

To study the functional zones on these settlements, geochemical studies of cultural layers were carried out. The cultural layers were formed around 5300 calBP/3300 calBC (Kulkova et al. 2015; Gusentsova and Kulkova 2020; Kulkova et al. 2020). At the sites of Okhta 1 and Podolia 1, various types of functional zones were considered on the surface of cultural layers, which formed around 5300 calBP/3300 calBC. At the Okhta 1 site, geochemical mapping data and the distribution of artifacts show the burial site. The burial deposits are characterized by anomalous values of a complex of chemical anthropogenic components, such as $P_2O_{5\text{anthr}}$, CaO_{anthr} and Fe_2O_3 , Sr_{anthr} . The geochemical composition of the deposits at the Podolye 1 site shows a different character of the distribution of geochemical elements. On the terrace of the canal there were seasonal fishing camps with fireplaces and places for cutting and cooking animals and fish. A combination of such anthropogenic elements as K_2O_{anhtr} , Rb_{anhtr} , CaO_{anhtr} , and Sr_{anhtr} stands out in the cultural layer of the sediments of this site. On the shore of the canal, it is possible to distinguish areas for the location of fires (K_2O_{antr} and Rb_{antr} - elements that are accumulated in charcoal and ash) and areas for cutting and cooking animals and fish (CaO_{anhtr} and Sr_{anhtr} - main elements of bone tissue). In the pit located on the terrace of the channel, another geochemical complex with anomalous values was characterized: K_2O_{anhtr} , Rb_{anhtr} , CaO_{anthr} , Sr_{anthr} , Mn_{anthr} , Ba_{anthr} , Fe and $P_2O_{5\text{anthr}}$, which may indicate the accumulation of waste in the channel pit.: K_2O_{anhtr} and Rb_{anhtr} - components, which are part of ash and charcoal, $P_2O_{5\text{anthr}}$, CaO_{anthr} , Sr_{anthr} are components of bone tissues, Mn_{anthr} , Ba_{anthr} and Fe are components that are part of decomposed organic matter. The distribution geochemistry of major sediment-forming elements such as alumina (Al_2O_3) and silica (SiO_2) is an important factor in determining the ancient microrelief at this site. Associations of geochemical indicators from the same lithological context at the sites of Okhta 1 and Podolye 1 have different anthropogenic load. The deposits from the burial are characterized by anomalous values of such bioindicators as $P_2O_{5\text{anhtr}}$ and CaO_{anhtr} , which are the main components of bones and tissues. Iron in the form of hematite (Fe_2O_3), is part of the ocher, which was used in the ritual ceremony.

Serteya archaeological microregion.

The reconstruction of the functional zones was carried out on the Neolithic site. The remains of the material culture were found in sandy-silty deposits. Mineral composition of deposits: quartz, mica, clay minerals, feldspars, accessory minerals: zircon, garnet, titanomagnetite, hydrogoethite, ilmenite. According to the results of the geochemical composition of deposits, several geochemical groups of components associated with different minerals, including organo-mineral complexes of the anthropogenic component of deposits, can be distinguished at the site by the method of multicomponent correlation analysis:

Group I: SiO_2 - quartz,

II group: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , Na_2O - feldspars, mica, clay minerals; hydrogoethite; ilmenite;

Group III: K_2O , Ba - the main components of wood ash;

Group IV: P_2O_5 , CaO , MnO , C_{tot} - components of carbonate-apatite of bone tissues and teeth, with organic residues.

An analysis of the stratigraphy and paleorelief on the site allowed to conclude that the place for the settlement was chosen taking into account the features of the ancient relief and composite from sandy dune deposits. According to the factor analysis, it is possible to identify the factors associated with anthropogenic transformations of sediments at the site. For the lower (1st) cultural horizon, the first factor (FI) characterizes the features of the relief and reflects the antagonism of the components of the sand (SiO_2 , Zr) and the components of the clay-mica minerals (Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O). Accumulation of the clay component enriched in iron oxides and hydroxides is typical for depressions and pits, including those left from plant roots. The second, third and fourth factors can be interpreted as related to various anthropogenic activities at the site, which led to a change in the composition of sediments and the appearance of different types of components:

FII (CaO , Na_2O , $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$, Ba, TiO_2);

FIII (K_2O , Al_2O_3 , Ba, $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, MnO , LOI);

FIV (MgO , MnO , Fe_2O_3 , $\text{TiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$, LOI).

The second factor (FII) shows the antagonism of components associated with the remains from hearths (K_2O , Ba, TiO_2) to lithogenic components (CaO , Na_2O , SiO_2). In places of increased concentrations of elements associated with wood ash, residues of charcoal and ash stains from hearths were found.

The third factor (FIII) shows the antagonism between the complex of lithogenic components (K_2O , Al_2O_3 , Ba, CaO) and components (Fe_2O_3 , MnO , LOI), which are associated with the accumulation of humus and coincide with traces of habitation and internal areas of the dwellings.

The fourth factor FIV (MgO , MnO , Fe_2O_3 , $\text{TiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$, LOI) is associated with areas of accumulation of organic matter and bone residues (P_2O_5 , LOI), which could be concentrated in areas of animal cutting and food preparation. Sherds from pottery were also found in these zones.

Figure 11 shows geochemical maps drawn on the base of indicators - factor load data, giving an idea of the position of various sites associated with anthropogenic activity and reflecting the spatial arrangement of various functional zones on the area of the settlement.

In deposits of the 2nd upper cultural horizon at the Serteya 3-3 site, the remains of temporary structures are recorded. According to the geochemical data of deposits from the 2nd cultural horizon, the factors influencing the formation of these deposits were also established. FI ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Fe_2O_3 , MgO , CaO) reflects the features of the microrelief. In depressions in this case, sand deposits were accumulated, which may indicate small ancient channels. This matches well with the 3D reconstruction of the ancient surface. The areas of the foci were determined by the indicator ratio $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}} = \text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)$. Comparison of the anomalous $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$ values with the hearth zones shows a good correlation. It allows to trace the change in the location of the hearths in space. Areas of concentration of bone residues were determined by the CaO/SiO_2 ratio. The abnormal values match the locations where calcified bones were found. The distribution map of the positive values of the second factor shows the zones of humus content (Ba, MnO , TiO_2). Negative values of the third factor FIII (MgO , $\text{K}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$, LOI) indicate habitat areas (P_2O_5 , LOI). The integrated application of the geochemical method and the geomagnetic method (Mazurkevich et al. 2012), as well as the use of more accurate methods for measuring magnetic susceptibility with a kappameter, makes it possible

to detect traces of unreadable structures during excavations and obtain data for determination of zones associated with human activity. Such sites have been recorded in the cultural layer at the multilayer site of the Neolithic period Seretey XIV (Kulkova, 2012; Kulkova et al. 2018). In addition to the main indicators of anthropogenic activity, the comparison of geochemical data and geophysical anomalies also made it possible to obtain additional information on other indicator elements that may be associated with biogenic processes and human activities. Elevated concentrations of iron oxides Fe_2O_3 and FeO appear around plant roots and may characterize the remains of decayed stumps (Mazurkevich et al. 2012). High anomalous concentrations of iron oxides (Fe_2O_3 and FeO) also correspond to the localization of long-term fires. Accumulation of lead (Pb) may be associated with hearths, or with deposits of humus under reducing conditions. In this archaeological context, the distribution of Pb correlates with the accumulation of $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$ in wood ash. The accumulation of copper (Cu) can also be associated with reducing conditions and accumulates in the areas of the hearths. According to geochemical indicators, high values of such indicators as $\text{K}_2\text{O}_{\text{antr}}$, Cu and Pb were established, which can be explained by the accumulation of ash or the localization of a small hearth that was not visually detected during excavations.

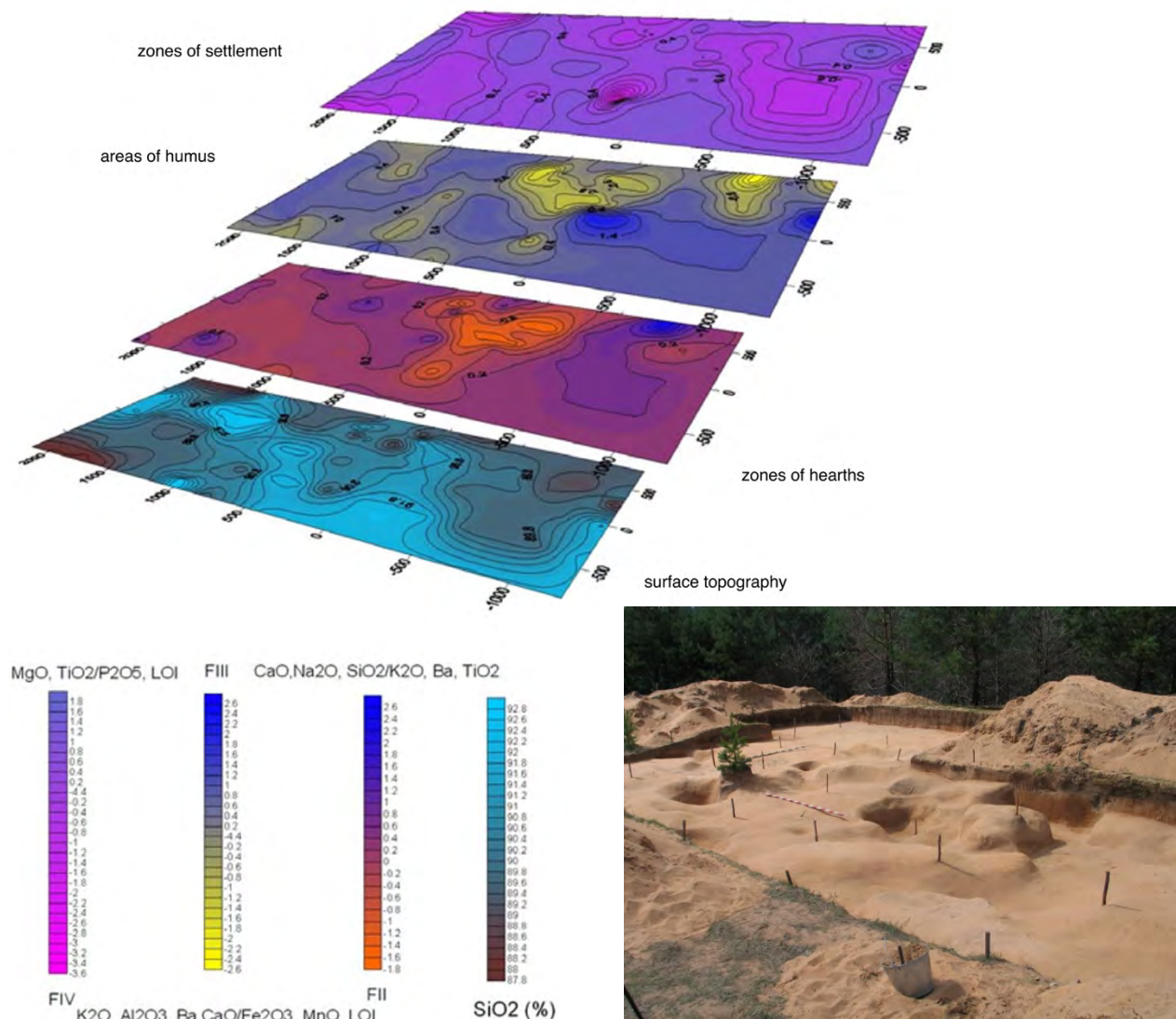


Fig. 11. Spatial distribution of functional zones on the surface of the 1st cultural horizon of the Seretey 3-3 site according to geochemical mapping b (Mazurkevich et al. 2012; Mazurkevich et al., 2013).

The reconstruction of functional zones by the method of geochemical indication was also carried out in the territories of Karelia and the Kola Peninsula. In the tundra zone, there are areas made up of clusters of stone boulders that were left by people. During the excavation of such stone piles or stone structures, no archaeological finds were found. As a rule, such structures were considered in connection with the description of the so-called "Saami cult complexes" by Shakhnovich M.M. (Shakhnovich, 2005; Shakhnovich et al. 2019). Near Niemelyanhovi, according to Finnish archaeologists of the 19th century, two Korelian linnavuori of the 12th–13th centuries are known: Rautalahtilinnavuori near the Syvälahti bay and Otsoyenen-Linnamäki on the northern shore of the Niemelyanlahti bay, on the Hyyurniemi peninsula (Shakhnovich, 2005). Two rock outcrops stand out on the shore of the bay, the southern slopes of which are steep and have traces of seismic processes. The deposits on the flat slopes are represented by sandy deposits, which are underlain by gray sandy loam of the postglacial bottom sediments of Lake Ladoga. There are several stone formations on the rocky platform of Niemelyanhovi I. According to the geochemical data, the anomalous zones at the site are generally well identified by the increased content of such anthropogenic components as P_2O_5 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , the increased values of which are associated with boulder deposits in the central and lateral zones of the complex, outside the concentration structures of these elements are at the level of background values for these deposits. Perhaps this marks the activities associated with butchering animals, burning wood and using ocher in rituals that took place in the central part of the monument near the large stonework and around the other stone heaps. The arable layer covers the masonry and the addition itself can be dated to a period earlier than the 16th century AD. Despite the absence of any objects and remnants of material culture, such a design, as well as a set of geochemical indicators, indicates that ritual actions were carried out in the central part of the stone heap, perhaps the stonework was sprinkled with bone ash.

Sredny Peninsula, the cult place "Bratja".

Rocky remains "Bratja" - a object of the post-glacial geological history of Fennoscandia, located directly on the seashore, in the northwestern part of the Sredny Peninsula. Two picturesque stone pillars of a bizarre shape stand out in the surrounding landscape, which are similar to natural "statues" with a mythological meaning (Shakhnovich, Kulkova, 2020). The pillars are located on a flat, first sea terrace - an ancient pebble beach, at an altitude of about 15 m above sea level. The study of deposits by the method of geochemical indication makes it possible to establish several main factors influencing the process of formation of deposits and to identify anthropogenic components, if they were present in the deposits. The formula of the first factor (F1) (63.5%): CaO , P_2O_5 (Sr) / Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 (Zr) shows antagonism between the groups of components associated with anthropogenic activity, the association of components (CaO , P_2O_5 (Sr)), which are characterized by high correlations and rock-forming and accessory components (Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , (Zr)), associated with the minerals of the sandy deposits.

The contents of anthropogenic components CaO , P_2O_5 , (Sr, Rb) were also determined for sediments at 2 sites. Compared to the content of these components in the background samples taken outside the site, anomalous concentrations in the sediments at the site stand out. Two anomalous zones are distinguished on both sites of the monument investigated by the complex of anthropogenic components. These zones can be considered as places of ritual actions. In such zones, anomalous contents of anthropogenic potassium and rubidium have been recorded. Elevated concentrations of $K_{2O_{anthr}}$ are associated with wood ash in the sediments of the cultural layer and are a marker of the fire zone. This is also shown by the Rb_{anthr} values, which correlate well with $K_{2O_{anthr}}$. In the areas of fires, which is enriched with ash, increased concentrations of zinc (Zn) and copper (Cu) are also characteristic. Thus, based on the data obtained the zones of fires, as well as areas of ash emissions from them, located nearby were reconstructed. It can be assumed that zones with elevated contents of a complex of elements such as P, Ca, K, Sr, Rb, Zn, Cu mark areas of ancient ritual practice where sacred offerings could be left, animal meat was butchered, and fire was made. Thus, according to geochemical studies, it can be concluded that in the space between the two remnants of the "Brothers" ceremonial, ritual actions were performed, which can be considered as pagan sacrifices associated

with hunting and household magic. These rock remains could be perceived as an expressive natural object, endowed with sacred properties, and the areas near them were used for ritual practices.

Tarkhankut peninsula (Crimea), Bronze Age cattle pens.

At the Tarkhankut-18 site (pit 1), located on the Tarkhankut Peninsula in the Crimea, samples of the deposits of the cultural layer that formed on the surface of the aeolian deposits were taken on a grid, every 60 cm. In addition, samples were taken from the surface of the aeolian deposits (background pit) to establish the background contents of geochemical components. The background pit was laid outside the archaeological site in order to determine the composition of geologically similar deposits that are not subject to anthropogenic influence.

Maps of the distribution of components (SiO_2 , Al_2O_3) associated with the lithological composition of the deposits show the features of the microrelief in the excavation area (Fig. 12). Elevated areas are clearly distinguished, on which the stone walls of the corral were built, and low areas, in which cattle were kept inside stone structures. The sediments in these areas are heavily "trampled" and reworked. Elevated values of anthropogenic components ($\text{CaO}_{\text{anthr}}$, $\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$, $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$) in sediments in the areas of depression inside the paddocks (Fig. 13) indicate intense anthropogenic activity associated with livestock management. These sites are also characterized by high values of the main anthropogenic components, compared with the background site, outside the paddocks. The aggressive chemical environment, which changed the chemical composition of the sediments and led to the almost complete dissolution of carbonates, was formed in the conditions of the cattle stable, which is also confirmed by archaeological evidence. The content of CaO in the paddocks is much lower than in the background deposits. Anomalies of anthropogenic $\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$, and Ba, which are associated with the processes of formation of humus, manure, etc. are also noted in paddock areas. Thus, according to the data of geochemical elements, it is possible to determine the main function of this area as a pen-stall for keeping animals.

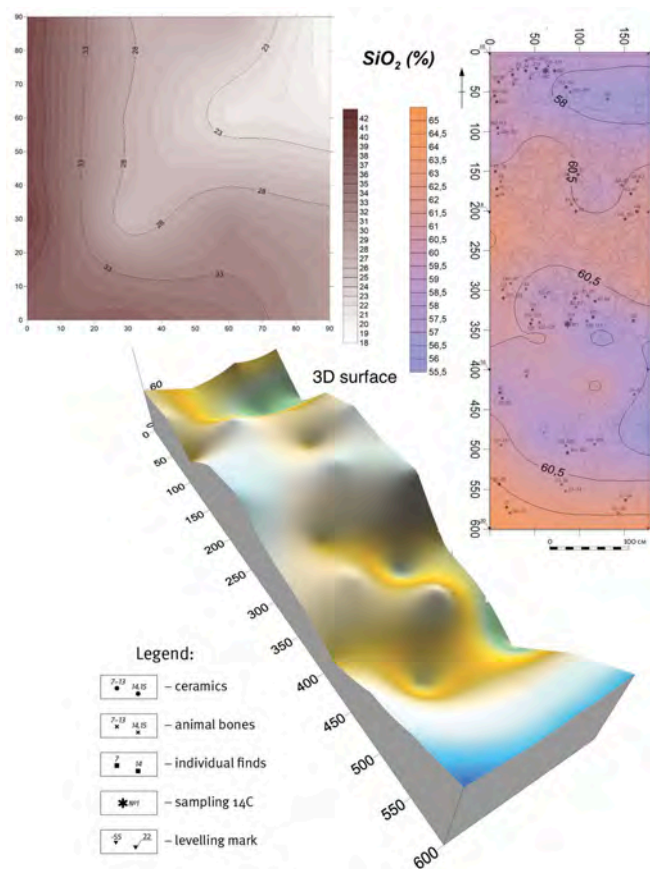


Fig. 12. Site Tarkhankut 18. Distribution of SiO_2 (%) in sediments: 1 – background geochemical map, 2 – geochemical map in the corral area; 3 – 3D reconstruction of the cultural layer topographical surface. Maps built by the author and published in (Kashuba et al. 2021).

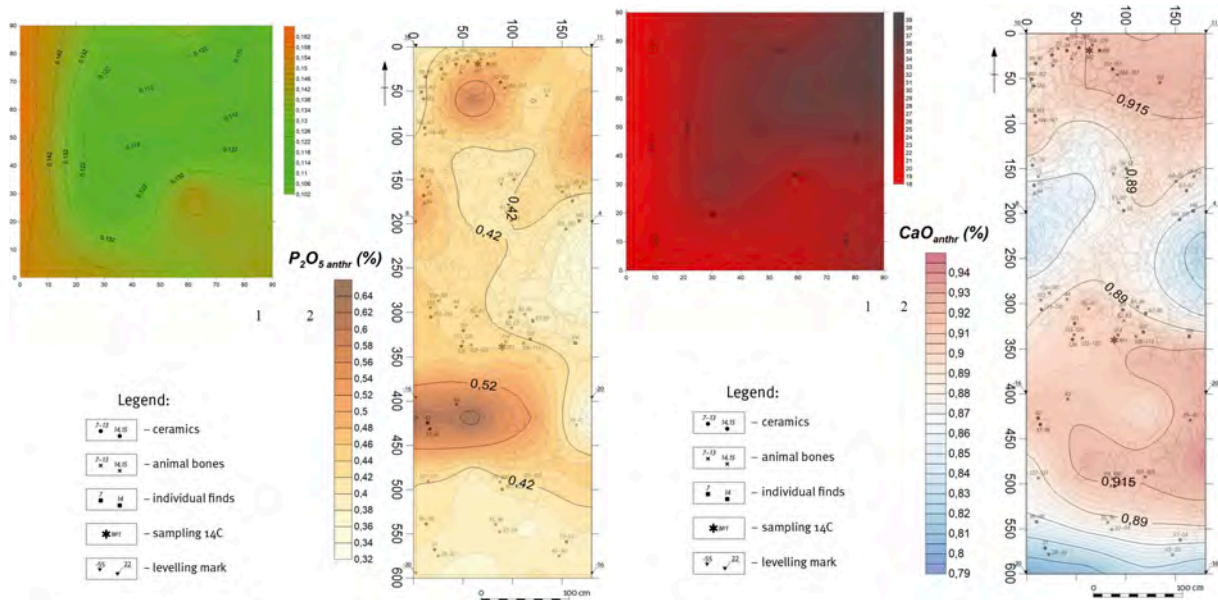


Fig.13. Tarkhankut site 18. Geochemical maps of distribution a) P_2O_{5anthr} (%), b) CaO_{anthr} in sediments: 1 — background geochemical map, 2 — geochemical map in the corral area. Maps built by the author and published in (Kashuba et al. 2021).

The study of cultural deposits by mapping geochemical indicators by the area of the cultural layer on archaeological sites makes it possible to assess in more detail the functional zones of ancient sites and settlements and establish them where it cannot be determined using traditional archaeological methods. These data make it possible to characterize various types of functional zones and reconstruct human life in settlements, as well as to reconstruct production technologies by determining the chemical composition of artifacts (Kulkova et al. 2018; Kulkova et al. 2020; Zancini et al. 2020; Kulkova et al. 2021, Mogrunova et al. 2021; Andreev et al. 2021). The development of a multi-element method for the reconstruction of functional zones on the sites of the Neolithic - Early Iron Age is important for understanding the activities of ancient people in Eastern Europe, as well as in other regions. This approach, using a complex of geochemical components, makes it possible to identify various functional zones on monuments formed in various zones geographical and lithological types of sediments.

4. On the base of a complex approach using the geochemical indication of the landscape-paleoclimatic conditions and the anthropogenic activity, the regional climatic chronological schemes, and the global paleoclimatic scale for the Later Pleistocene-Holocene were developed. This model allows for to reconstruction of the features of formation, development, and the stages of environmental transformation during the Holocene and their influence on the cultural and historical processes on the territory of Eastern Europe.

There are several reasons for climate change. At present, the most important factor is the influence of solar activity on the Earth's climate, which has been proven by empirical studies, primarily based on isotope data. Eleven-year, two-hundred-year, thousand-year and other cycles of change in solar activity are distinguished. (Muscheler, 2007; Dean, 2000; Bond, 1997). Research conducted by Dergachev V.A. (Dergachev & van Geel, 2004) made it possible to establish the periodicity of natural processes, which coincides with the 2400-year and 1500-year cycles of solar activity. Variations in the cosmogenic isotopes ^{10}Be and ^{14}C , which are formed in the atmosphere under the influence of cosmic ray fluxes and then stored in the archives of the natural environment, such as tree rings, layers of ice, banded clays, corals, etc., have a cyclicity, mainly of 2400 years and less distinct cyclicity of 1500 years. According to many researchers, after a cold episode during the Younger Dryas (12700-11500 calBP), in the Holocene, the main global cooling episodes occur around 8200 calBP/6200 calBC (Magny, 2003; Jiang et al., 2005; Fa-Hu Chen et al. 2006 and others), 5800 and 5300 cal

BP/3800-3300 calBC (Magny, 2004), about 4100 calBP/2100 calBC (Cheng-Bang An et al., 2006, Fa-Hu Chen et al., 2006); around 2800 calBP/800 calBC (van Geel et al., 1996) and the Little Ice Age around 500 calBP (17-19 centuries AD). Studies show that these episodes of severe cooling were often accompanied by volcanic eruptions. These episodes form “radiocarbon plateaus” on the calibration radiocarbon curve (Kulkova, 2007). There are now a large number of publications that link the changes that occur in cultural communities to environmental changes (e.g., Weiss et al., 1993; deMenocal, 2001; Weninger et al., 2006; Büntgen et al., 2011; Drake, 2012; Kaniewski et al., 2013; Wiener, 2014). Some regional asynchrony in the timing of these episodes can be explained by the nature of RCC cooling events, which include a combination of orbital, glacial factors, as well as oceanic circulation, tropical volcanic eruptions, and solar activity (Finné et al., 2011; Wanner et al., 2011), and this can also be explained by the complexity of the Middle Holocene climatic transition (Triantaphyllou et al., 2009; Magny et al., 2013). Figure 14 shows the correlation of rapid climatic fluctuations (RCC) established using geochemical indicators at archaeological sites in Eastern Europe and according to various natural markers according to Mayewski et al. (2004).

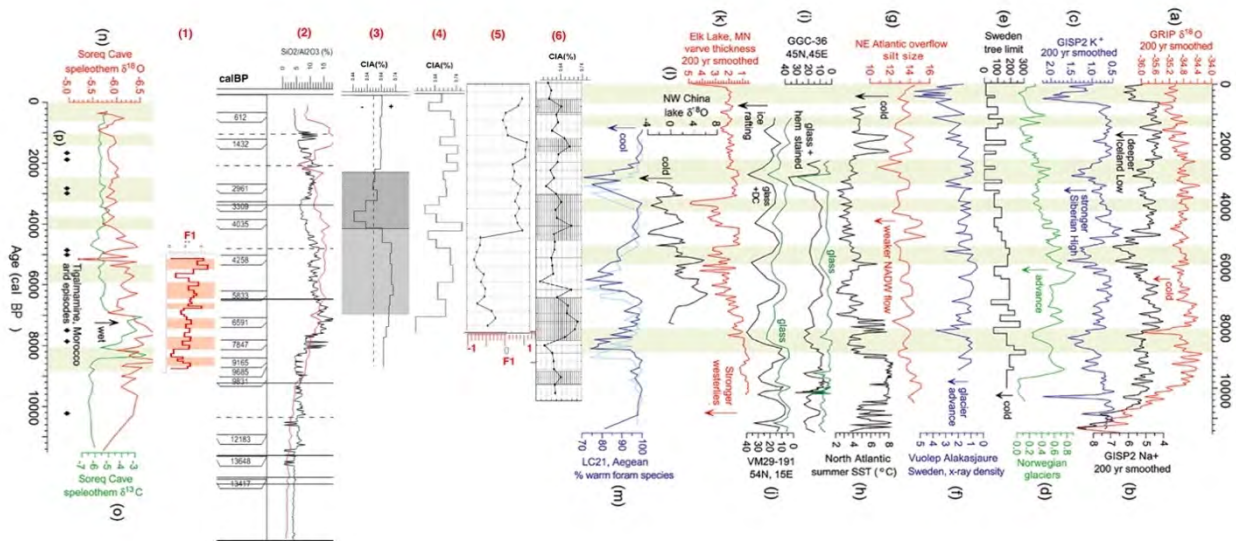


Fig.14. Climate change in the Holocene on the base of various natural indicators according to (Mayewski et al., 2004) and correlation with geochemical indicators of paleoclimate: (1) F1 – Oroshaemoe 1 site; (2) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ – Kamyshevoe lake; (3) CIA - Podillia 1 site; (4) CIA - Dobroe 9 site; (5) F1 - Karavaikha 4 site; (6) CIA - Serteya site.

The chronology of archaeological cultures, built on the basis of radiocarbon dating of various organic materials from cultural layers at key archaeological sites in Eastern Europe is shown in the Figure 14. Based on studies using geochemical indicators in sediments at archaeological sites in Eastern Europe, the following sharp short-term cyclical climate changes were established (8400-8000 calBP / 6400-6000 BC (8200 calBP / 6200 cal BC), 6300-5700 calBP / 4350–3750 calBC, 5450-4200 calBP/3500-2200 calBC (4200 calBP/2200 calBC) and 3200-2800 calBP/1200-900 calBC and less significant climatic events (7700-7600 calBP/5700-5500 calBC and 7300-7200 calBP) /5300-5200calBC)). These episodes influenced landscape and climatic conditions in the Holocene in Eastern Europe and were a trigger for socio-cultural transformations (Table 1) (Vybornov et al. 2012, 2013; Kulkova et al. 2015; Kulkova et al. 2016; Kulkova et al. 2021, Vybornov et al. 2018; Korolev et al. 2018; Morgunova et al. 2019; Vybornov et al. 2019; Vybornov et al. 2020, Vybornov et al. 2021; Vybornov and Kulkova 2020; Vybornov and Kulkova 2021). A detailed correlation of short-term paleoclimatic events and the appearance of carriers of different cultures in the Holocene was carried out by the method of geochemical indication, which makes it possible to compare such events as climatic changes and anthropogenic activity, imprinted in archival sedimentary deposits at archaeological sites. These data are compared for different landscape and climatic zones of Eastern Europe (Table 1).

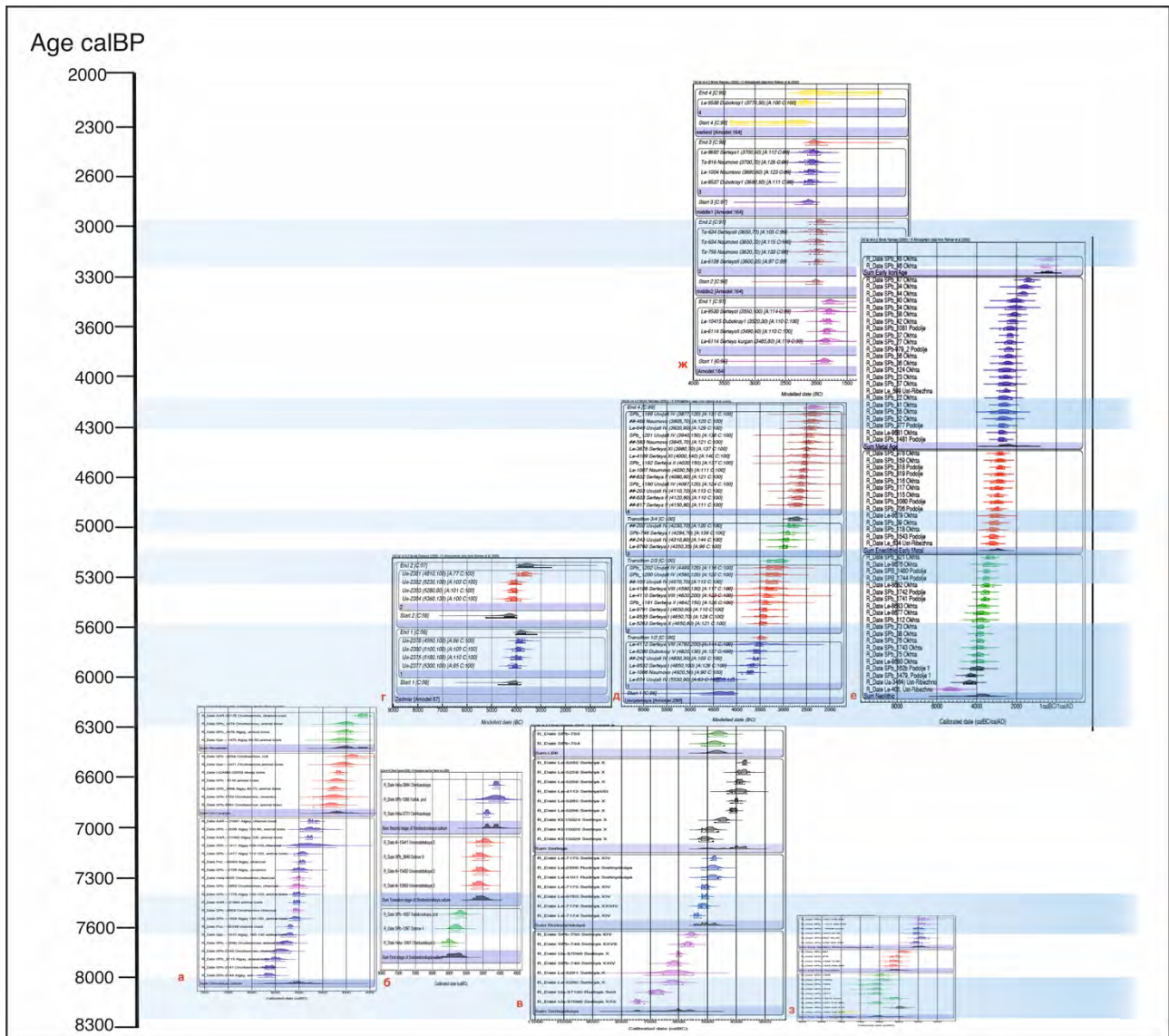


Fig.15. Chronology of archaeological cultures for the studied sites: a) Orosshaemoe-Algai sites, semi-desert-steppe; b) sites in the basin of the middle basin of the Don, forest-steppe; c) forest zone of the Dvina-Lovat' basin (e, g); d) forest zone – Tsedmar D site; f) forest-tundra – sites Okhta 1-Podilye 1; h) forest zone – Zamotye 2 site.

Tabl. 1. Rapid climatic changes (RCC) and social and cultural transformations in Eastern Europe

8200 calBP/6200 cal BC The transition to the Neolithic		
<i>Semi-desert and steppe zones</i>	<i>Forest-steppe zone</i>	<i>Forest and tundra zones</i>
Kairshak culture (Northern Caspian region). The existence of "closed" enclaves of the first Neolithic settlements, their evolutionary development. The beginning of the appearance of the Orlovskaya culture in the Lower Volga basin.	Elshanskaya culture (Middle Volga region). Evolutionary development of closed enclaves.	Zamostye 2 site (Upper Volga). Transition to the late Mesolithic period
Dzhangar culture (North-Western Caspian region). There are changes in the technology of manufacturing ceramics. Autochthonous development associated with the influence of the carriers of the Kairshak culture	The appearance of monuments of the Middle Don and Karamyshev cultures (Middle and Upper Don River)	The first evidence of the appearance of the Serseyskaya Neolithic culture (Dvina-Lovat' ibasin)
The emergence of the Rakushechny Yar culture in the Lower Don basin. Influence of Anatolian-Middle Eastern traditions		Southern Ladoga Late, Southern Onega Lake, Lake Vozhe basin - Mesolithic communities
The emergence of the first centers for the manufacture of ceramics in Eastern Europe and the spread of individual impulses of these traditions among the Mesolithic communities.		
7700-7600 calBP/5700-5600 calBC and 7300-7200 calBP/5300-5200 calBC Neolithization and transition to Eneolithic period		
The development of the Orlovskaya culture (Lower	The emergence of southern communities from the steppe zone. Formation of	Zamostye 2 site (Upper Volga) emergence of Early Neolithic communities of the Upper Volga

Volga), Algay and Oroshaemoe sites.	changes in ceramics of the Elshanskaya culture and the emergence of the Surskaya cultural tradition (Middle Volga region) (7700 calBP/5700 calBC)	culture (7700 calBP/5700 calBC). The next stage is the emergence of the Lyalovo culture (7200 calBP/5200 calBC).
The formation of the transitional Cis-Caspian culture from the Neolithic to the Chalcolithic period around 7500 calBP/5500 calBC in the Northern Caspian (Dzhangar, Zhekalgan I). The emergence of syncretic ceramics. The appearance of a sheep at the site of Kurpezhe Molla (7100 calBP/5100 calBC)	Formation of the Srednevolzhskaya culture as a result of cultural syncretism of the Late Elshanian, Tenteksor and Late Orlovskaya cultures (Middle Volga region) (7700 calBP/5700 calBC).	Development of Mesolithic communities (Karelian Isthmus, Southern Ladoga region). Sperrings culture emergence (7000 calBP/5000 calBC)
Emergence of the Syezzhin cultural type (7400 calBP/5400 calBC)	Development of the Karamyshevskaya and Srednedonskaya cultural traditions (Middle and Upper Don) (7700 calBP/5700 calBC). Transition to the Eneolithic in the Middle Don. Formation of the Cherkasky culture type on the basis of the Nzhnedonskaya culture and local population (7350 calBP/ 5350 calBC).	Dvina-Lovat' basin. Development of the middle and late phases of the Serteya culture (7700 calBP/5700 calBC). Formation of the Rudnynskaya culture (7300-7250 calBP/5300-5250 calBC), which combines local cultural traditions and traditions of the Narva culture.
The Nzhnedonskaya culture is in the northern Azov region, the Azovodnieprovskaya culture is in the western Azov region and the south of the steppe Dnieper region (Kotova 2015).	Dnieprodonetskaya cultural and historical community in the basins of the Seversky Donets and the Dnieper. Ceramics with comb ornaments. Formation of the 2nd stage of the Bugodniesterian culture (Kotova 2015)	The appearance of the Early Neolithic in the Southern Onega region (Karavaikha 4). In the South-Eastern Onega region (Tudozero V) in the period 7636-7500 calBP / 5636-5500 calBC. Sperrings culture emergence (7300 calBP/5300 calBC)
6300-5700 calBP/4350–3750 BC, 5300 calBP/3300 cal BC, 5000 calBP/ 3000 calBC, 4200 cal BP/2200 calBC Transition to a productive economy, Eneolithic, Late Copper-Early Bronze Age		
Distribution of carriers of the Khvalyn culture at the	Development of the Srednestogovskaya	At the Zamostye 2 site (Upper Volga), the fall of the Lyalovo

Oroshaemoe site (6700-6300 calBP/4700-4300 calBC) (Lower Volga). The decline of the Khvalynian culture associated with the Balkan-Danube metallurgical center (5800-5700 calBP / 3800-3700 calBC)	Eneolithic culture (Middle Don) (6700-6300calBP/4700-4300calBC). Contacts with Lyalovo culture.	culture was 5700 calBP/3700 calBC. Emergence of carriers of Bronze Age cultures (5000 calBP/3000 calBC).
Formation of the Yamnaya culture of the Bronze Age, the Berezhnovskaya cultural traditions that developed on the basis of the Khvalynian-Srednestogovskaya population (Volga region) (5600-4300 calBP / 3600-2300 calBC)	Emergence of communities with hybrid ceramics of the Srednedonskaya and Karamyshevskaya types (Middle Don) 5700 calBP/3700 calBC. The formation of the Neolithic community of the Ksizovo type as a process of interaction between the Ryazan-Dolgovskaya and Srednestogovskaya cultures (5700 calBP/3700 calBC)	Southern Ladoga. Carriers of Pit, Pit-Combed and Combed cultures began to develop in the period 6070-5633 calBP/4071-3633 calBC (Okhta 1, Podolye 1). A typical Combed culture appear, traditions of making ceramics with a feather, asbestos, shell, burials with amber (5300-4820 calBP / 3364-2871calBC) were spreaded. Beginning of the Bronze Age with emergence of Corded Ware, after 4200 calBP/2200 calBC Dvina-Lovat' basin. In the coastal part of swampy lakes, pile dwelling of the Usvyatka culture appeared. The most ancient settlements date back to 4570-4330 calBP/2570-2330 calBC. Development of the Zhizhitskaya culture (4000-3700 calBP/2283-1685 calBC). The emergence of carriers of other cultural traditions in the region (the culture of funnel-shaped cups, ball amphoras, cultures of corded ware ceramics, the last stage of the Dnieperdonetskaya culture)
		Vyshtnetskaya Upland. The composition of the Tsedmar culture, due to the interaction of the Narva, Pit-Comb, Neman cultures and the culture of funnel-shaped cups (5833-4250 calBP / 3833-2258 calBC).

3200 calBP-2900 calBP/1200 calBC- 900 calBC
Late Bronze Age crisis and transition to Early Iron Age

The spread of cultures of the early Hallstatt circle in the Carpatho-Danube basin is activated in 10-9 SS. calBC (Kashuba, 2012).	In the forest-steppe zone between the Dniester and Don rivers, as a result of migrations, new cultures with a complex type of economy were formed – the Chernoleskaya culture (Bochkarev, Kashuba, 2018).	The appearance of the first iron products in the Volga-Kama region in the Maklasheev culture of the final Bronze Age, around 12/11 - the first half of the 9th century. BC.
Critical changes occurred in the second half to the end of the 10th century. BC: disappearance of the Chisinau-Corlateni culture; significant changes in the culture of Gava-Goligrady; the transformation of the late Belogradovskaya culture (early Chernoleskaya) into the culture of the developed (late) Chernoleskaya (Kashuba 2000).	Late 13th–10th century BC. the collapse of the Srubnaya and Andronovo cultural and historical community. They are replaced by a community of cultures of rolled ceramics in a significant area of the steppe and forest-steppe from the Danube to the Altai.	Manufacture of iron products in the Volga-Kama region in the early Ananyino time - in the second half of the 9th-7th centuries. BC e. (Chizhevsky, 2012)
The third early Hallstatt culture of the region is Kozia-Saharna, late 11th–early 8th c. BC is the most northeastern cultural formation of the Eastern Balkan circle of cultures Insula Banului–Pshenichevo II–Babadag II (Kashuba 2000)		In the Southern Ladoga region, the appearance of bimetallic objects of the Ananyino type in the Volkhovskaya culture of the 9th-6th centuries. BC. (Yushkova, 2011)
The period of the final bronze in the steppes of the Northern Black Sea region is associated with the population of the Belozerskaya culture, the transition from agriculture to settled cattle breeding in the 12-11 centuries.		
Dry conditions 1000–950 BC - the expansion of the "Cimmerians" into the Pontic steppes from the		

North Caucasus to the Danube (Kotova, Makhortykh, 2010).		
--	--	--

CONCLUSION

The author has carried out a major generalization of the data of geochemical studies of deposits obtained on the basis of reference archaeological sites located in different geographical zones of Eastern Europe. For each landscape-climatic zone of Eastern Europe (steppe and semi-desert zones, forest-steppe, forest and tundra zones), reference multilayer archaeological sites were selected, on which studies were carried out on the reconstruction of the paleoclimate, the formation of the cultural layer and the development of archaeological cultures. Estimation of the nature of sedimentation at archaeological sites of various geographical zones of Eastern Europe using geochemical indicators of landscape and climatic conditions allows us to identify factors such as relative temperature ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; Sr/Rb), relative humidity (CIA; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), hydrological regime of basin and its productivity ($\text{SiO}_{2\text{biog}}$ $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$), erosion processes ($\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), and anthropogenic activity ($\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$). Mathematical processing of geochemical data obtained for lithological deposits at ancient human sites makes it possible to identify groups of chemical elements of the lithological (Al_2O_3 , SiO_2 , Zr , Fe_2O_3 , TiO_2) and anthropogenic components (P_2O_5 , CaO , Sr). The correlation of these indicators in sediments makes it possible to compare the landscape-climatic conditions of sedimentation and the level of anthropogenic activity for certain chronological stages of the Late Pleistocene - Holocene in Eastern Europe. Unlike other methods of reconstruction of landscape and climatic conditions, the geochemical method allows to establish variations in the change in the composition of sediments and, accordingly, to reconstruct climatic changes for short periods of up to 100 years. This makes it possible to build a more detailed climate-stratigraphic chronology.

On the basis of geochemical indicators of landscape and climatic conditions, the chronological stages of settlement of Eastern Europe were established. The correlation of paleoclimatic data with the level of anthropogenic activity by means of geochemistry, with the results of radiocarbon dating makes it possible to construct detailed climatic chronological scales for sites of various periods located in different geographical zones of Eastern Europe (the site of the Late Paleolithic Eliseevichi II; Dobroye 9; the Mesolithic-Neolithic site Zamostye 2; the Neolithic-Early Metal sites Okhta 1, Podolye 1; the Neolithic-Early Iron Age sites in the Serteya archaeological microregion; the Neolithic site Karavaikha 4; the Mesolithic-Early Iron Age site Tudozero V).

For the first time for the region of Eastern Europe, based on the application of the method of multivariate statistical analysis, complexes of geochemical indicators and associations of indicators characterizing various functional areas in settlements were determined. It is important for assessing the impact of anthropogenic activity in the Holocene on the environmental ecology in different geographical zones.

To assess the anthropogenic impact on the transformation of deposits and the features of the formation of cultural layers, the method of geochemical indication of functional zones in settlements was used. Such associations of chemical elements as (P_2O_5 , CaO , Sr), (K_2O , Rb), (MnO , Ba), (Zn , Cu , Pb) can be used to identify residential, economic and crafting zones in the places of ancient settlements. At the Okhta 1 site of the Neolithic-Early Metal Age, the burial deposits are characterized by anomalous values of a complex of chemical anthropogenic components, such as $\text{P}_2\text{O}_{5\text{anthr}}$, $\text{CaO}_{\text{anthr}}$ и Fe_2O_3 , Sr_{anthr} . The geochemical composition of the deposits at the Podolye 1 site shows a different character of the distribution of chemical elements. In the shore zone of the channel, sites for the location of hearths ($\text{K}_2\text{O}_{\text{anthr}}$ and Rb_{anthr}) and areas for cutting and cooking animals and fish ($\text{CaO}_{\text{anthr}}$ and Sr_{anthr}) can be determined.

The remains of hearth accumulations (K_2O , Ba , TiO_2), places of accumulation of humus, traces of habitation and internal areas of the living structure (Fe_2O_3 , MnO , (LOI_{500})), areas of accumulation of

organic matter and bone remains (P_2O_5 , LOI), which could accumulate in places where animals are butchered and food is prepared.

In the territories of Karelia and the Kola Peninsula, in areas composed of stone boulders, elevated values of such components as P_2O_5 , CaO, Fe_2O_3 , K_2O indicate activities associated with butchering animals, burning wood and using ochre in rituals.

In the region of the Tarkhankut peninsula (Crimea), the internal areas of the livestock corral were characterized by an increased content of anthropogenic components (P_2O_5 , K_2O , Rb) and low CaO concentrations compared to the background values.

Geochemical mapping of functional zones is an important tool for determining the boundaries of archaeological sites and fixing the cultural layers of the archaeological heritage, which cannot be reliably established by archaeological methods.

It can also be noted that the presence of man has a strong impact on the environment, transforming natural objects. And even in the absence of any archaeological evidence of the appearance of a person in a particular place and the remains of material culture, traces of the stay can be detected using the anthropogenic geochemical markers. This can be used for delineation and determination the boundaries of the cultural layer. This is important for the protection work of cultural heritage sites.

According to geochemical indicators in the Holocene deposits at the sites of prehistorical man, global climatic events are recorded associated with sharp rapid short-term climate changes (RCC) during the Holocene period around 8200 calBP/6200 BC, 6300-5700 calBP/4350-3750 BC, 5450-4200 calBP /3500-2200 BC (4200 calBP/2200 BC) and 3200-2800 calBP/1200-900 BC. Less significant climatic events were also recorded, which could not be captured by traditional methods of climate reconstruction (for example, pollen analysis) (7700-7600 calBP/5700-5500 BC and 7300-7200 calBP/5300-5200 BC). The method of geochemical indication makes it possible to correlate climatic events with the level of anthropogenic activity at archaeological sites. These results make it possible to assess the impact of global climatic factors on the transformation of cultural and historical communities in Eastern Europe.

Around 8200 calBP/6200 calBC, in the early Holocene in Eastern Europe, a transition to the Neolithic period is registered. It is characterized by the rapid advancement of mobile hunters from the semi-desert, steppe and forest-steppe zones to the forest zone, which is associated with sharp climatic changes. There is a development of ceramic production, which characterizes the process of neolithization of Eastern Europe. In contrast to Western and Central Europe, this process is associated in the Early Neolithic with the spread of pottery and the specific technique of making stone tools. During periods of climate deterioration, especially those associated with rapid short-term climate change (RCC), cultural communities spread to regions that are characterized by an abundance of water resources, usually from regions where water bodies are shrinking or drying up.

The next chronological period can be characterized as a transitional period between the Neolithic and the Chalcolithic (7200-7100 calBP/5200-5100 calBC). In the steppe zone, the appearance of Chalcolithic cultures occurs around 6700 calBP/4700 cal BC.

A more complex process, which is associated with the social stratification of society and the development of production, is the Bronze Age. The bronze casting tradition in Eastern Europe originates in the steppe zone and is associated with the Srubnaya culture, appears around 4800 calBP/2800 calBC. Its spread to the northern forest zones is not so intense, because the adaptation strategies of the population of the forest zone remain stable and conservative at the level of the Neolithic-Chalcolithic, when hunting and gathering remain the main life-support activity.

Critical changes refer to the period 3100-2900 calBP/1100-900 calBC and affect the entire space of Eastern Europe. During this period, there is a rapid development of technology for the iron production. Between the Bronze Age and the Iron Age, there is a two thousand-year transition period "bimetallicum", when both bronze and iron were used in different regions. The process of introducing iron production was very uneven. In the forest zone, the Iron Age only begins around 2500 calBP/500 calBC. The nomadic tribes played an important role in the development and dissemination of this technology. They made military equipment from iron and waged wars of conquest. The third stage

of the transformation of the geosystem of Eastern Europe, referring to the late Holocene, can be characterized as an integral geosystem of the era of the development of metal production. The results of the research can be used for practical application in geology, geography, archeology, ecology and in works on protection of cultural and historical heritage. The data obtained can be used in lecture courses and practical classes in geology, archeology, geography in higher educational institutions.

Own publications of applicant presented for the defence

1. **Kulkova M.**, Kashuba M., Gavrylyuk N., Kulkov A., Kaiser E., Vetrova M., Zancini A., Platonova N., Hellstrom K., Winger K. Composition of white paste inlay on the pottery from sites of the 10th-8th centuries bce in the northern Pontic region // *Archaeometry*. - 2020. - Volume 62, Issue 5. - P. 917-934. - DOI: 10.1111/arc.12567. **Q1**
2. **Kulkova M. A.**, Vybornov A.A., Yudin A., Doga N., Popov A. New interdisciplinary research on Neolithic-Eneolithic sites in the Low Volga River region // *Documenta Praehistorica*. - 2019. - Volume 46. - P. 376-387. - DOI: 10.4312/dp.46.23. **Q1**
3. **Kulkova M.**, Gusentsova T., Nesterov E., Sorokin P., Sapelko T. Chronology of Neolithic-Early Metal age sites at the Okhta river mouth (Saint Petersburg, Russia). *Radiocarbon*. – 2012- 54 (3-4). - 1049-1063. - DOI: 10.1017/S0033822200047664 **Q1**
4. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Dolbunova E. Paste recipes and raw material sources for pottery-making in hunter-gatherer communities in the forest zone of Eastern Europe (Dnepr-Dvina region, 7–6th millennia BC) // *Journal of Archaeological Science : Reports*. - 2018. - Volume 21. - P. 962-972. - DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.04.006. **Q1**
5. **Kulkova M. A.**, Nesterov E. M., Markova M. A., Gusentsova T. M., Sorokin P. E., Sapelko T. V., Ludikova A. V., Ryabchuk D. V. Geoarchaeological investigations on the development of the Neva river delta (gulf of Finland) during the Holocene// *Journal of marine systems* [Text]. - 2014. - Volume 129. - P. 19-34. - DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.05.009 DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.42.4> **Q1**
6. **Kulkova M.A.**, Mazurkevich AN, Dolbunova EV, Lozovsky VM. The 8200 calBP climate event and the spread of the Neolithic in Eastern Europe // *Documenta Praehistorica*. -2015. Volume 42. - 77–92. - DOI: 10.2458/AZU_RC.57.18427, **Q1**
7. Sapelko T. V., Gusentsova T. M., **Kulkova M. A.**, Ludikova A. V., Denisenkov V. P., Korneenkova N. Yu. Ladoga transgression and landscapes of the Holocene second half in the Southern Ladoga area (according to the study of the archaeological site Podolye-1) // *News of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. - 2019. - N 5. - C. 78-95. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41224802>. - DOI: 10.31857/S2587-55662019578-95. **Q2**
8. Gusentsova T. M., **Kulkova M. A.** The subsistence strategy and paleoenvironment on the Stone Age site Podolye 1 in the southern Ladoga Lake region (Eastern Baltic) // *Quaternary International*. - Kidlington, 2020. - Volume 541. - P. 41-51. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104061821930062X>. - DOI: 10.1016/j.quaint.2019.05.039. **Q1**
9. **Kulkova M. A.**, Kashuba M. T., Kulkov A. M., Vetrova M. N. Pottery of Early Iron Age from the Glinjeni II-Lasants (North-Western Pontic Sea Region) : Composition, Technology and

- Raw Material Sources // Heritage. - 2021. - Volume 4, Issue 4. - P. 2853-2875. - URL: <https://www.mdpi.com/2571-9408/4/4/160>. - DOI: 10.3390/heritage4040160. **Q2**
10. Vybornov A., **Kulkova M.**, Nesterova L., Kosintsev P., Platonov V., Platonova S., Philippsen B. Diet and Chronology of Neolithic-Eneolithic Cultures (from 6500 to 4700 cal BC) in the Lower Volga Basin // Radiocarbon. - 2018. - Volume 60, Issue 5. - P. 1597-1610. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38635590>. - DOI: 10.1017/RDC.2018.95. **Q1**
 11. Korolev A., **Kulkova M.**, Platonov V., Roslyakova N., Shalapinin A., Yanish Y. E. Archaeological materials of eneolithic settlements in forest-steppe zone of the volga region : A source for diet and chronology // Radiocarbon. - 2018. - Volume 60, Issue 5. - P. 1587-1596. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38615432>. - DOI: 10.1017/RDC.2018.114. **Q1**
 12. Vybornov A., Zaitseva G., Kovaliukh N., **Kulkova M.**, Possnert G., Skripkin V. Chronological Problems with Neolithization of the Northern Caspian Sea Area and the Forest-Steppe Povolzhye Region // Radiocarbon. – 2012. - Volume 54 , Issue 3-4 – P. 795 – 799. - DOI: 10.1017/S0033822200047445. **Q1**
 13. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Gerasimov D. Stone Age archaeological sites and environmental changes during the Holocene in the NW region of Russia // Geological Society, London. Special Publications. – 2016. - Volume 411 (1). - P. 27-49. - DOI: 10.1144/SP411.8 **Q1**
 14. **Kulkova M.**, Mazurkevich A., Dolbunova E., Regert M., Mazuy A., Nesterov E., Sinai M. Late Neolithic Subsistence Strategy and Reservoir Effects in ¹⁴C Dating of Artifacts at the Pile-Dwelling Site Serteya II (NW Russia) // Radiocarbon. - 2015. - Volume 57.- P. 611–623. - DOI: 10.2458/azu_rc.57.18427 **Q1**
 15. Ryabchuk D., Zhamoida V., Amantov A., Sergeev A., Gusentsova T., Sorokin P., **Kulkova M.**, Gerasimov D. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic–Bronze and Iron Age settlements// Geological Society, London. Special Publications. - 2016. Volume 411 (1). P. 51-76. - DOI: org/10.1144/SP411.5 **Q1**
 16. Vybornov A., Andreev K., Kudashov A., **Kulkova M.** The development of early pottery in the forest zone of the Middle Volga region (Eastern Europe) // Documenta Praehistorica. – 2021. - Volume 49. – P. 70-81. - DOI: 10.4312\dp.48.19 **Q1**
 17. Vybornov A.A., **Кулькова М. А.**, Doga N.S. Natural and Climatic Crises as a Factor of Cultural and Economic Changes in the Neolithic–Eneolithic of the Lower Volga Region // Ural'skii istorichesky Vestnik. - 2021. - N 3 (72). - C. 15-25. - URL: http://uralhist.uran.ru/en/archive/478/481/_aview_b700. - DOI: 10.30759/1728-9718-2021-3(72)-15-25. **Q1**
 18. Kublitskiy Y., **Kulkova M.**, Druzhinina O., Subetto D., Stancikaite M., Gedminiene L., Arslanov K. Geochemical approach to the reconstruction of sedimentation processes in Kamyshovoye lake (Se Baltic, Russia) during the late glacial and holocene // Minerals. - 2020. - Volume 10, Issue 9. - Article 764. - P. 1-17. - DOI: 10.3390/min10090764. **Q2**
 19. Daszkiewicz M., Gavrylyuk N., Hellstrom K., Kaiser E., Kashuba M., **Kulkova M.**, Nykonenko D., Schneider G., Winger K. Possibilities and limitations of pxf as a tool for analysing ancient pottery: A case study of late bronze and early iron age pottery (1100-600

- BC) from the northern black sea region // *Prahistorische Zeitschrift*. - 2020. – Volume 95(1). – P. 238–266. - DOI: 10.1515/pz-2020-0009. **Q1**
20. Druzhinina O., Kublitskiy Y., Stancikait M., Nazarova L., Syrykh L., Gedminien L., Uogintas D., Skipityte R., Arslanov K., Vaikutien G., **Kulkova M.**, Subetto D. The Late Pleistocene - Early Holocene palaeoenvironmental evolution in the SE Baltic region : a new approach based on chironomid, geochemical and isotopic data from Kamyshovoye Lake, Russia // *Boreas*. - 2020. - Volume 49, Issue 3. - P. 544-561. - URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/bor.12438>. - DOI: 10.1111/bor.12438. **Q1**
21. Lozovskaya O., Clemente C. I., Ershova E., **Kulkova M.** Subsistence strategies on the late Mesolithic and early Neolithic lake settlement Zamostje 2 in Volga-Oka region : Evidence of fishing // *Quaternary International* . - 2020. - Volume 541. - P. 74-88. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42990540>. - DOI: 10.1016/j.quaint.2019.11.021. **Q1**
22. Piezonka H, Nedomolkina N, Ivanishcheva M, Kosorukova N, **Kulkova M.**, The Early and Middle Neolithic in NW Russia: radiocarbon chronologies from the Sukhona and Onega regions // *Documenta Praehistorica*. – 2017. - Volume 44. - P. 122-151. - DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.44.8> **Q1**
23. Khlopachev G. A., Gribchenko Yu. N., **Kulkova M. A.**, Sapelko T.V. New data on the age and longevity of the late palaeolithic site of Eliseevitchi 1 // *Stratum Plus*. - 2017. - Issue 1. - P. 41-57. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28432790>. **Q1**
24. Morgunova N.L., Roslyakova N. V. **Kulkova M. A.** New Data on the Chronology and Development of Cattle Breeding During the Eneolithic and Early Bronze Age in the Southern Ural Region // *Bulletin of the Volgograd State University. Series 4 : History. Regional studies. International relationships*. - Volgograd, 2019. – Volume 24, N 3. - P. 17-36. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39193389>. - DOI: 10.15688/jvolsu4.2019.3.2. **Q1**
25. Vybornov A. A., Kosintsev P. A., **Kulkova M. A.**, Doga N. S., Platonov V. I. Время появления производящего хозяйства в Нижнем Поволжье = When Food Producing Economy Appeared in the Lower Volga Region // *Stratum Plus*. - Kishinev, 2019. - N 2. - P. 359-368. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38246552>. **Q1**
26. Выборнов А. А., Дога Н. С., **Кулькова М. А.** Вариант перехода к энеолиту в Нижнем Поволжье = The variant of the transition to the eneolithic in the lower Volga region // *Краткие сообщения Института археологии*. - 2020. - Выпуск 258. - С. 65-74. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42812752>. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.258.65-74. **Q2**
27. Doronicheva E., Golovanova L.V., Doronichev V. B., **Kulkova M. A.**, Odinkova E. V., Shackley S. M. ; Doronicheva E., Golovanova L.V., Doronichev V. B., Kulkova M. A., Odinkova E. V., Shackley S. M. New data about exploitation of lithic raw materials and mobility in the Middle Paleolithic in the Northern Caucasus = Nouvelles donnees sur l'utilisation des matieres premieres lithiques et la mobilite pendant le Paleolithique moyen du Caucase du Nord / // *Anthropologie (France)*. - 2020. - Article 102757. - DOI: 10.1016/j.anthro.2020.102757. **Q2**
28. Zanoci A., **Kulkova M. A.**, Bat M., Kulkov A. M. Early Iron Age Pottery from Saharna Mare–Dealul Manastirii : Interdisciplinary Approach // *Peuce*. - 2020. - Volume 2020, N 18. - P. 67-109. **Q2**

29. Vybornov A. A., Koltsov P. M., **Kulkova M. A.** Mesolithic and neolithic Northern Cis-Caspian and Molga steppe : Geometric microliths = [Геометрические микролиты в мезолите и неолите Северного Прикаспия и степного Поволжья] // *Oriental Studies*. - 2020. - Vol. 13, N 1. - P. 106-121. - DOI: 10.22162/2619-0990-2020-47-1-106-121. **Q2**
30. Andreev K. M., Kulkova M. A., Somov A. V. The Production Technology of The Neolithic Ceramics from The Middle Volga Region Based on The Petrographic Analysis = Технология изготовления неолитической керамики Среднего Поволжья по данным петрографического анализа // *Kratkie soobsheniya insituta arheologii*. - 2021. - Issue 263. - P. 378-393. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.378-393. **Q2**
31. Morgunova N.L., **Kulkova M.A.**, Kulkova A.M. Meteoric iron in production and religious practice of the Yamnaya culture in the Urals region = Метеоритное железо в производственной и ритуальной практике ямной культуры Приуралья // *Kratkie soobsheniya insituta arheologii*. - 2021. - Issue 262. - P. 190-206. - DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.262. **Q2**
32. Vybornov A. A., Stavitsky V. V., **Kulkova M. A.** On the origin of the Caspian culture = О происхождении прикаспийской культуры // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4. Istoriya. Regionovedenie. Mezhdunarodnye otnosheniya*. - 2021. - Volume 26, N 2. - P. 31-37. - URL: <https://hfrir.jvolsu.com/index.php/en/component/attachments/download/2485>. - DOI: 10.15688/jvolsu4.2021.2.2. **Q1**
33. Vybornov A., Andreev K., Somov A., **Kulkova M.** The Neolithic evolution and cultural transformations in the Povolzhye region (Eastern Europe) // *Documenta Praehistorica*. - 2020. - Volume 47. - P. 222-230. - DOI: 10.4312/DP.47.12. **Q1**
34. Doronicheva E. , Golovanova L. V., Doronichev V. B., Nedomolkin A. G., Spasovskiy Y. N., **Kulkova M. A.**, Odinokova E. V., Nesmeyanov S. A., Voeykova O. A., Muriy A. A., Tregub T. F., Volkov M. A., Shirobokov I. G., Tselmovitch V. A., Korzinova A. S. ; E. Doronicheva, L. V. Golovanova, V. B. Doronichev, A. G. Nedomolkin, Y. N. Spasovskiy, M. A. Kulkova, E. V. Odinokova, S. A. Nesmeyanov, O. A. Voeykova, A. A. Muriy, T. F. Tregub, M. A. Volkov, I. G. Shirobokov, V. A. Tselmovitch, A. S. Korzinova A new Middle Paleolithic site in the North-Central Caucasus (preliminary results of a comprehensive research) = Nouveau site du Paleolithique Moyen dans le Caucase Central (resultats preliminaires des etudes complexes) / // *Anthropologie (France)*. - 2020. - Volume 124, Issue 2. - Article 102758. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003552120300340?via%3Dihub>. - DOI: 10.1016/j.anthro.2020.102758. **Q2**
35. Smolyaninov R. V., Yurkina E. S., Kulichkov A. A., **Kulkova M. A.**, Zheludkov A. S., Yanish E. Yu., Shatrovaya D. O. Materials of the Early Neolithic culture of Site Dobroe 9 at the Upper Don // *Povolzhskaya Arheologiya*. - 2021. - Volume 3 (37). - P. 99-116. - DOI: 10.24852/pa2021.3.37.99.116. **Q2**
36. Vybornov A. A., **Kulkova M. A.** Chronology Issues of the Neolithic Cultures in the Volga-Kama Basin // *Povolzhskaya Arheologiya*. - 2021. - N 3 (37). - C. 42-54. - DOI: 10.24852/pa2021.3.37.42.54. **Q2**
37. Vybornov A., **Kulkova M.**, Goslar T, Possnert G. The problem of the Neolithisation process chronology in Povolzhye *Documenta Praehistorica*. – 2013. – Volume 40. - P.13-20. - DOI: <https://doi.org/10.4312/dp.40.2> **Q1**

- 38.** Kashuba M. T., Smekalova T. N., **Kulkova M. A.**, Gurov E. Yu. New Results of Interdisciplinary Study of Bronze Age Settlements in Northwestern Crimea. *Vestnik of Saint Petersburg University. History*, 2021, vol. 66, issue 4, pp. 1270–1295. **Q2** DOI: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu02.2021.414>
- 39.** Khlopachev G.A., **Kulkova M.A.**, Gribchenko Yu.N. Features of the formation of the settlement structure of the Upper Paleolithic site of Yudinovo based on the materials of archaeological and geochemical studies in 2015-2018 // *Stratum plus. Archeology and cultural anthropology*. - 2022. - № 1. - P. 239-258.- DOI: 10.55086/sp221239258 **Q1**

Monographs

1. Neolithic radiocarbon chronology of Eastern Europe in the 7th-3rd millennium BC / ed. Mazurkevich A.N., Kulkova M.A., Dolbunova E.V., - Smolensk, Scroll, 2016. - 456 p. (eng)
2. Crimean Scythia in the system of cultural relations between East and West (III century BC - VII century AD): collective monograph / ed. A.I. Ivanchik and Mordvintsev V.I. - M., Simferopol: IP Zueva T.V., 2017, - 440 p. (Russian)
3. Helsinki Harvest: Proceedings of the 11th Nordic Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology. MASF7. Archaeological Society of Finland, Helsinki. 2019 (eng).
4. Zamostye 2 site and the development of the natural environment of the Volga-Oka interfluvium in the Holocene: Collective monograph / Comp. O.V. Lozovskaya, V.M. Lozovsky. - St. Petersburg: IIMK RAN, 2018. – 214 (Russian)

Teaching books

1. Kulkova M.A. Radiocarbon (^{14}C) in the environment and the method of radiocarbon dating / teaching aid, Russian State Pedagogical University named after. A.I. Herzen. St. Petersburg, 2011 - 40 p.
2. Kulkova M.A. Applied paleolandscape geochemical research methods / Textbook. St. Petersburg, Publishing House of the State University. A.I. Herzen, 2012. - 120 p.
3. Mazurkevich A.N., Kulkova M.A., Savelyeva L.A. Geoarchaeological problems of the Upper Dnieper and Western Dvina (Western Russia): a guide. Part II. Moscow-Smolensk. Universum. 2012. 105 p. (eng)
4. Kulkova M.A. Adaptation of ancient communities to environmental changes in the Holocene in the regions of the Middle East, Western Europe, the Balkans and the Northern Black Sea region: a textbook, part 1 / M. A. Kulkova. - St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Pedagogical University im. A. I. Herzen, 2021. - 160 p.