

УДК 550.93+544.175+902.6322(477)

DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140614

Предварительные результаты датирования нижнепалеолитических стоянок Украины (Меджибож 1 и Меджибож А, Хмельницкая область) методом электронного спинового резонанса

Д. К. Чэй¹, Б. А. Б. Блэквелл^{1,2}, И. К. Сингх¹, В. Н. Степанчук³,
Д. А. Б. Бликстейн¹, Д. А. Флорентин^{1,2}, Э. Р. Скиннер^{1,2}, 2018

¹RFK Научно-исследовательский институт, Гленвуд, Нью-Йорк, США

²Кафедра химии, колледж Уильямса, Уильямстаун, Массачусетс, США

³Институт археологии НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 1 июня 2018 г.

Біля смт Меджибіж у Хмельницькій області України (49°35' пн.ш., 27°42' сх.д., 270 м н.р.м.) виявлено два багат шарові нижньопалеолітичні місцезнаходження під відкритим небом. Шар 16а, пов'язаний з нижнім алювіальним циклом місцезнаходження Меджибіж 1 містить кам'яні артефакти, переважно чопри, чопінги, сколи й знаряддя на них, вірогідні залишки вогнища, а також кістки з нарізками, зарубками і ознаками дроблення, залишені тут ранніми гомінідами, які мешкали на береговій лінії давньої водойми. Рештки ведмедя Денінгера (*Ursus deningeri*), носорога (*Stephanorhinus kirchbergensis*) та інших вимерлих ссавців епохи середнього плейстоцену дають змогу припускати, що шари 13—16 мають бути давнішими за 200 тис. років, що підтверджено наявною одиночною ТЛ-датою, а також даними щодо мікротеріофауни, палеоґрунтів, спорово-пилкового аналізу. Приблизно у 500 м від Меджибожу 1, на місцезнаходженні Меджибож А, виявлено шість археологічних шарів, розділених стерильними прошарками, що містять подібні кам'яні вироби, рештки фауни, залишки вогнищ. Для датування матеріалів Меджибожу застосовано метод електронного спинового резонансу (ЕСР), можливості якого щодо датування за емаллю зубів ссавців сягають 2—4 млн років, а точність становить 2—5 %. Продатовано стандартним і ізохронним методами ЕСР оленячі зуби — три з шару 16а Меджибожу I, один — з шару 1 Меджибожу А. Зразки вмісних відкладів проаналізовано відповідно до методики нейтронного активаційного аналізу для вимірювання рівня усередненої за кількістю та обсягом дози у седиментах. Усереднені у часі показники потужності космічних доз визначено відповідно до моделі змін, з використанням геологічних критеріїв. Зразок АТ29 з Меджибожу А зі стандартним LU віком 379±27 тис. років — найкращий з точки зору датування шару, що ґрунтується на аналізі фауни, але ізохрона показала дифузійне вторинне поглинання урану, що припускає більш давній вік. Усі зуби з Меджибожу 1 містили >100 ppm U у дентині, в емалі його вміст ва ріював від 2,8 до 11,8 ppm. Згідно із ізохроною зразка АТ41, що не демонструє ознак вторинного поглинання урану, можна припускати, що його поглинання на рівні $p \sim 4$ найбільший показник поглинання. За такого рівня p вік становить 373±17 тис. років, що корелює з пізньої фазою морської ізотопної стадії 11 (MIS). Імовірний вік зразка АТ44 — 399±11 тис. років при $p=4$, а зразка АТ45 — 396±13 тис. років при $p=6$; обидві дати корелюють із серединою стадії MIS 11. Їх ізохрони свідчать про вплив вторинного дифузійного поглинання урану на обидва зуби. Аналіз ізохрон допускає, що на всю стоянку міг вплинути один епізод вторинного поглинання, можливо, пов'язаний із зануренням у воду з високим вмістом урану. Згідно з датуванням, вогнища Меджибожу А — найдавніші в Україні, проте для підтвердження віку і оцінювання значення p необхідні датування за допомогою методу ЕСР і перевірка суміщеними ЕСР-²³⁰Th/²³⁴U датами більшої кількості зразків із різних шарів пам'ятки.

Ключові слова: ЕСР-датування, нижній палеоліт, Меджибіж, Україна, ЕСР ізохронний аналіз, середній плейстоцен, морська ізотопна стадія (MIS) 11.

Введение. В настоящее время на территории Украины известно лишь два местонахождения артефактов нижнепалеолитического облика в стратифицированном контексте и в сопровождении богатых палеонтологических остатков: Меджибож 1 и Меджибож А близ эпонимного пгт в Летичевском р-не Хмельницкой обл. Выявленные здесь остатки жизнедеятельности древнего человека включают каменные изделия, кости с признаками модификации, а также предполагаемые очаги. По нынешним оценкам, свидетельства пребывания человека охватывают значительный хронологический интервал: от 0,4 до, предположительно, 1,2 млн лет назад. Основанием для таких оценок в первую очередь являются данные палеопедологических и геологических изысканий. Хронологическая позиция наиболее молодых стоянок может быть охарактеризована более детально, в отдельных случаях с исключительной для отечественных памятников полнотой хроно- и биостратиграфических указаний. Это в особенности относится к Меджибожу 1, верхний нижнепалеолитический слой которого коррелируется с гольштейном (лихвиним) и датирован периодом морской изотопной стадии 11 (MIS 11) на основании целого ряда согласующихся между собой свидетельств из области палеонтологии крупных и мелких млекопитающих, палинологии, палеопедологии, геологии. Вместе с тем для памятника отсутствуют абсолютные датировки. Для оценки возраста равнинных памятников нижнепалеолитического возраста применим относительно узкий спектр датирующих методов. Один из них — метод электронного спинового резонанса (ЭСР). Он был применен для пилотного датирования серии образцов из верхних слоев Меджибожа 1 (слой 16а) и Меджибожа А (слой 1) (рис. 1 на с. 163).

Меджибож 1, Западная Украина. Местонахождение расположено в одном километре к западу от пгт Меджибож Летичевского р-на Хмельницкой обл., на левом берегу р. Южный Буг, под. 49°35'40" с.ш. и 27°42'23" в.д.

Раскопками в Меджибоже 1 выявлено 17 геологических слоев (см. примечание рис. 1, г). Образцы, датировки которых представлены в данной статье, были собраны в слое 16а. Слой 16а, залегающий в основании первого аллювиального цикла [Rekovets et al., 2007; Stepanchuk, 2013], представлен рыхлым серым песком с раковинами моллюсков и многочисленными хорошо сохранившимися фрагментами костей млекопитающих. Подстилающий глинистый слой 16b, толщиной от нескольких до 30—40 см, содержит единичные фаунистические находки и перекрывает архейские граниты. Выявлены остатки хоботных, носорогов, оленей, кабанов, медведей и др. животных. Видовая принадлежность некоторых из них, в частности, *Ursus deningeri*, медведей среднего плейстоцена, исчезнувших примерно 200 тыс. лет назад, или этрусского носорога *Stephanorhinus kirchbergensis*, впервые появившегося в Европе ~600 тыс. лет назад, дает возможность предполагать, что слои 13—16 относятся к периоду 200—600 тыс. лет назад [Kahlke, Kaiser, 2011; Stepanchuk, Moigne, 2016]. Аналогичны Меджибожу 1 по составу фауны такие западноевропейские стоянки Терра Амата и Кани Л'Эпинет, датирующиеся в пределах ~300—400 тыс. лет назад [Stepanchuk, Moigne, 2016].

Данные споро-пыльцевого анализа разреза Меджибожа и находки костей косули, *Capreolus capreolus*, указывают на то, что время отложения слоя 16а соответствует фазе умеренного лесного ландшафта, характерного для интерстадиалов или межледниковья. Наличие пресноводных моллюсков и рыб в нижнем аллювиальном цикле свидетельствует о накоплении остатков в условиях речной, болотистой или озерной системы [Stepanchuk, Moigne, 2016]. По результатам неопубликованного термолюминисцентного (ТЛ) анализа возраст седиментов из этого аллювиального цикла 390 ± 30 тыс. лет назад, что соотносится с возрастом стоянки, определенным по морфологии зубов мелких грызунов [Пясецкий, 2001; Mishra et al., 2007; Stepanchuk, 2009].

Каменные артефакты слоя 16 связаны с остатками небольших стоянок, располагавшихся вдоль древней береговой линии. Эти орудия были определены как принадлежащие Mode I, олдувайские [Степанчук и др., 2014], т. е. галечные. Имеются аналогии во многих близрасположенных и сравнительно удаленных памятниках с галечными орудиями, например в материалах пещеры Треугольная на Кавказе с возрастом 300—500 тыс. лет назад [Blackwell et al., 2005; Doronichev, 2016]. Каменные изделия Меджибожа 1 представлены чопперами и чопингами на кремневых гальках, а также отдельностях других пород: кварца, кварцита, гранита, известняка. Изделия на сколах со вторичной обработкой редки, двусторонние изделия и нуклеусы полностью отсутствуют [Rekovets et al., 2007; Moigne et al., 2014; Степанчук и др., 2014]. На стоянке обнаружены многочисленные кости с признаками раскалывания, нарезками, зарубками, вмятинами от ударов, свидетельствующие о разделке туш и намеренном расщеплении костей. Имеются обожженные кости, а также пепельно-сажистые скопления, предположительные очаги, указывающие на контролируемое использование огня [Stepanchuk, Moigne, 2016; Dmytruk, Stepanchuk, 2017].

Меджибож А, Западная Украина. Местонахождение Меджибож А удалено от Меджибожа 1 вниз по течению на расстояние около 500 м по прямой и находится на левом берегу Южного Буга под $49^{\circ}25'48''$ с.ш. и $27^{\circ}23'08''$ в.д. Шесть археологических горизонтов было выявлено в основании отложений правого берега р. Южный Буг, превышающего современный уровень вод примерно на 30 м [Степанчук и др., 2014]. Артефакты были обнаружены в отложениях завадовского (MIS 11), лубенского (MIS 13-15), мартоношского (MIS 17-19) и широкинского (MIS 21-35) (см. рис. 1, д) этапов, представленных дерново-подзолистыми, луговыми и болотистыми почвами, а также — и озерно-аллювиальными пойменными материалами [Матвіїшина, Кармазиненко, 2014]. Образцы, исследованные из этого пункта,

происходят из слоев 1 и 2, хотя и в других слоях было выявлено небольшое число фаунистических остатков. Каменная индустрия, галечная по базовым характеристикам, включает чопперы и микрочопперы, оббитые и раздробленные кремневые гальки, мелкие ретушированные отщепы, часто встречаются также раздробленные и фрагментированные кварцевые гальки [Степанчук и др., 2014]. Датированные в пределах 380—420 тыс. лет назад, очаги слоев 1 и 2 являются на сегодня самыми древними кострищами, обнаруженными в Украине [Dmytruk, Stepanchuk, 2017; Stepanchuk, 2013].

ЭСР датирование. Методом ЭСР можно датировать гидроксипатит зубной эмали возрастом от ~5—10 тыс. лет назад до ~2—5 млн лет, с точностью ~2—5%. Методы ЭСР, ТЛ и оптически стимулированной люминесценции (OSL) обнаруживают захваченные электроны в дефектах кристалла, однако сигналы ЭСР не исчезают аномально, что позволяет их повторно анализировать [Blackwell et al., 2016a]. Надежное датирование требует, чтобы время существования ЭСР сигнала τ превышало возраст образца на 2—3 порядка: средняя продолжительность сигнала в эмали составляет $\sim 10^{19}$ лет [Skinner et al., 2000]. Когда сигнал насыщается (т. е. все электронные ловушки заполнены), дальнейшее облучение не меняет его пиковую интенсивность. Это определяет максимально допустимый предел датирования образца. Минимальный предел датирования определяется способностью ЭСР спектрометра различать сигнал и фоновый шум [Blackwell et al., 2016a].

Возраст ЭСР вычисляется с использованием уравнения:

$$\begin{aligned} A_{\Sigma} &= A_{\text{int}} + A_{\text{ext}} = A_{\text{int}} + A_{\text{sed}} + A_{\text{cos}} = \\ &= \int_{t_0}^{t_1} D_y(t) dt = \int_{t_0}^{t_1} (D_{\text{int}}(t) + D_{\text{ext}}(t)) dt = \\ &= \int_{t_0}^{t_1} (D_{\text{int}}(t) + D_{\text{sed}}(t) + D_{\text{cos}}(t)) dt, \end{aligned}$$

где A_{Σ} — общая накопленная доза в образце, иногда называемая AD (accumulated dose); A_{int} — доза, накопленная за счет

внутренних источников; A_{ext} — доза, накопленная за счет внешних источников; A_{sed} — доза, накопленная за счет включающего седимента; A_{cos} — доза, накопленная за счет космического излучения; $D_{\Sigma}(t)$ — общий уровень дозы; $D_{\text{int}}(t)$ — внутренний уровень дозы от U, его дочерних ядер и других радиоизотопов; $D_{\text{ext}}(t)$ — внешний уровень дозы от $D_{\text{sed}}(t)$ и $D_{\text{cos}}(t)$; $D_{\text{sed}}(t)$ — уровень дозы от U, Th, и K в седиментах вокруг образца; $D_{\text{cos}}(t)$ — уровень дозы от космического излучения; t_1 — возраст образца; t_0 — современность [Blackwell et al., 2016a].

Метод аддитивной дозы с 10—16 аликвотами используется для определения накопленной дозы A_{Σ} . Все аликвоты, за исключением одной, облучались источником ^{60}Co до точно известных доз от 0—2500 Gy. Более старые образцы получали более высокие добавленные дозы, гарантируя, что наибольшая доза превышала $A_{\Sigma} \geq 10$ раз [Lee et al., 1997]. Построение высоты сигнала по сравнению с добавленными дозами давало кривую роста, х-перехват которой равнялся A_{Σ} [Blackwell, 2006].

Нейтронный активационный анализ (НАА) позволяет определить уровень внутренней дозы, $D_{\text{int}}(t)$ при измерении U в зубах. Поскольку «свежие» зубы не содержат U, ископаемые зубы должны были поглотить свой U из ранее накопленного U-поглощения. Совмещенное ЭСР- $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ датирование позволяет определить p , т. е. уровень поглощения U, однако обычно используются три модели поглощения, особенно для образцов, возраст которых может превышать максимальный порог $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ датирования (как в случае Меджибожа). При $p = -1$ модель раннего поглощения (EU) предполагает, что образец поглотил почти весь свой U вскоре после захоронения, и определяет самый молодой возраст из возможных. Линейное поглощение (LU) при $p = 0$ предполагает, что образец поглощал U на одинаковом уровне на протяжении всего времени своего захоронения, и определяет средний возраст. При $0 < p < 10$ модели позднего поглощения (RU) предполагают, что образец накопил свой U

в конце периода своего захоронения. При $p = 20$ модель экстремального поглощения (XU) дает самый древний возраст из всех возможных. На стоянках, где зубы могут быть датированы более чем одним методом, определения возраста по модели LU обычно более точны для образцов моложе 200—400 тыс. лет назад, в то время как модели RU чаще дают более точный возраст для зубов более >400—500 тыс. лет назад [Blackwell, 2001, 2006; Dibble et al, 2012, 2013; Blackwell et al., 2016a].

Также измеряемый с помощью нейтронного активационного анализа уровень дозы излучения в седиментах $D_{\text{sed}}(t)$ определяется U, Th, K и другими радиоизотопами в грунте вокруг зуба. Излучение α , β , и γ проникает в седименты на 20 мкм, около 2—3 мм и 30 см соответственно. Для упрощения расчетов, α -облученная эмаль удалялась во время подготовки образцов [Blackwell, 1989]. Поскольку минералы различаются по радиоактивности, $D_{\text{sed}}(t)$ по β и γ радиации, т. е. $D_{\text{sed},\beta}(t)$ и $D_{\text{sed},\gamma}(t)$, усредняются с учетом объема, занятого каждым осадочным компонентом в пределах β и γ сфер воздействия, в 3 и 30 см, соответственно.

Поскольку вода ослабляет излучение, $D_{\text{sed}}(t)$ корректировались с учетом концентрации осадочных вод и изменений, обусловленных палеоэкологическими условиями [Blackwell, 2001, 2006]. И в Меджибоже А, и в Меджибоже 1 образцы, вероятно, первоначально залежали в насыщенных влагой седиментах, которые и в дальнейшем периодически заливались водой, с изменением глубин древнего водоема в зависимости от палеоэкологических условий [Дикань, 2014; Dmytruk, Stepanchuk, 2017].

Перекрывающие породы и вода защищают зуб от космического излучения, $D_{\text{cos}}(t)$, но поскольку на речных, болотистых и озерных участках идут процессы эрозии, седиментации и переработки, $D_{\text{cos}}(t)$ также изменяется. Чтобы определить усредненные во времени уровни доз космического излучения $\bar{D}_{\text{cos}}(t)$, для каждого среза в осадочном и водном покрытии по геологическим данным рассчитывают-

ся мгновенные $D_{\text{cos}}(t)$, которые затем интегрируются с временной составляющей [Deely et al., 2011].

В погребенных образцах показатели $D_{\text{sed}}(t)$ и $D_{\text{cos}}(t)$ могут подвергаться изменениям из-за нестабильности глубины залегания и минералогического состава отложений. При анализе ископаемых образцов, обнаруженных в контексте речных и озерных систем, для каждого слоя должна быть датирована случайная выборка из 4—5 зубов. Если расчетные возрасты, A_{Σ} или концентрации U значительно различаются, зубы, вероятно, испытали значительные изменения [Blackwell, 1994]. Три зуба из слоя 16а Меджибожа 1 были проанализированы, чтобы проверить степень изменения; для Меджибожа А из-за отсутствия подходящих образцов такой анализ не был проведен.

В изохронном анализе субобразцы из крупного образца (большого зуба) анализируются согласно стандартному ЭСР. Поскольку один и тот же зуб теоретически должен иметь одинаковый уровень внешней дозы $D_{\text{ext}}(t)$, субобразцы, имеющие разные концентрации U , дают разные $D_{\text{int},i}(t)$ и, таким образом, разные $A_{\Sigma,i}$. Если построить график $A_{\Sigma,i}$ в сравнении с усредненным во времени внутренним уровнем дозы $\bar{D}_{\text{int},i}(t)$ для каждого субобразца, i дает прямую, угол ее наклона равен возрасту зуба, а пересечение с u дает уровень внешней дозы зуба A_{ext} . Изохронный анализ генерирует семейство линий, которые сходятся в A_{ext} и чьи наклоны зависят от p , т. е. скорости поглощения U [Blackwell,

Schwarcz, 1993]. Изохронный анализ может выявить зубы, испытавшие вторичное поглощение U , выщелачивание или ремобилизацию, т. е. подвергшиеся действию факторов, искажающих изохронный возраст и приводящих к ошибкам в вычислении $D_{\text{ext}}^{\text{Iso}}(t)$ [Blackwell et al., 2001, 2002]. Если известен $\bar{D}_{\text{ext}}^{\text{VG}}(t)$, усредненный во времени уровень космической дозы, измеренный для стоянки методом НАА или другими методами, изохронный анализ может определить правильный p для датировки зуба, поскольку правильный p дает $\bar{D}_{\text{ext}}^{\text{Iso}}(t)$, усредненный во времени уровень дозы изохрона, соответствующий $\bar{D}_{\text{ext}}^{\text{VG}}(t)$ [Blackwell et al., 2016a].

Подготовка образцов. Все образцы зубов и отложений были подготовлены с использованием стандартных протоколов ЭСР в лаборатории класса 10 000 (табл. 1). Для минимизации загрязнения все использовавшиеся стеклянные и пластмассовые изделия промывались в 6 М HCl(водн.) в течение 60 с и ополаскивались 15 раз в дважды дистиллированной деионизированной воде [Blackwell, 1989].

После фотографирования каждого зуба, толщину измеряли в 10—30 местах с помощью штангенциркуля CD-4С. После удаления всех остаточных седиментов и дентина с помощью дрели Dremel с алмазным наконечником от 30 до 50 точек на каждом субобразце измеряли микрометром Mitutoyo ID-C112E для целей нейтронного активационного анализа. Для удаления α -облученной эмали со всех по-

Т а б л и ц а 1. Образцы, использованные для датирования, Меджибож, Украина

Шифр			Положение						Зуб	
ESR	По каталогу	Археологический	Местонахождение	слой	кв	x (см)	y (см)	z (см)	вид	тип
AT29	2012.40	МА-12 к7	Меджибож А	1	1Е	45,0	25,0	63,0	cervid	коронка моляра/премоляра
AT41	2014.45	М1-11 к70	Меджибож 1	16а	14f	80,0	65,0	55,0	<i>Cervus</i> sp.	3-й моляр
AT44	2014.44	М1-11 к34	Меджибож 1	16а	14f	76,0	2,0	60,0	cervid	моляр
AT45	2014.42	М1-11 кк002	Меджибож 1	16а	23l	70,0	3,0	70,0	<i>Cervus elaphus?</i>	3-й моляр

верхностей удаляли ~20 мкм. После истирания эмали до 38—76 мкм (200—400 меш) $20 \pm 0,1$ мг навешивали в каждый набор из 10—16 аликвот. Аликвоты облучали ^{60}Co γ до 0—1300 Gy при 98 Gy/sec и нагревали в течение 72 ч при 90 °C для отжига любых неустойчивых помех сигнала, возникших во время подготовки или облучения [Skinner et al., 2000].

Все спектры были зафиксированы с помощью спектрометра JEOL RE1X ESR при полевой модуляции 100 kHz с амплитудой 0,1 mT при 2,0 mW. После установления максимальной пиковой интенсивности спектры были просканированы по 10,0 mT с центром в 336,0 mT, периодом качания 8,0 мин и временной постоянной 0,1 с. Пиковые высоты сохранялись и измерялись с использованием EWWIN v. 6.0.1 без деконволюции [Skinner et al., 2001a].

Для исследования по U, Th и K все виды седимента, еще один эмалевый, дентиновый и костный субобразцы были измельчены в порошок размерностью не более, чем 100 меш и изучены нейтронным активационным анализом на ядерном реакторе McMaster. Все остальные эмали и дентины были исследованы только на U. Навески седиментов по 0,7 г анализировались на U, Th и K; приблизительно 1,0—2,0 г навески эмали и дентина анализировались на U. Облучение 60,0 с предшествует паузе в 10 с перед подсчетом U в течение 60,0 с на счетчике с задержкой нейтронов (DNC). Th и K были г-рассчитаны в течение 20,0 мин. K подсчитывали после 24—30 ч задержки после 60,0 с облучения, а Th облучали в течение 1,0 ч и подсчитывали после задержки в 7,0 дней. Чтобы обеспечить точность, все результаты были откалиброваны по стандарту NIST 1633B [Blackwell, 1989].

Замечания по анализу данных. Все A_{Σ} и их погрешности вычислялись с помощью программы Vfit по насыщающей экспоненте, инверсивно взвешенные по пиковой интенсивности ($1/I^2$). В программе Rosy v. 1.4.2 просчитывались возрасты, уровни доз и их погрешности, а также корректировки с учетом ослабления излучения из-за рассеяния, плотности осадков и наличия

воды [Brennan et al., 1997]. Коэффициент α/γ эффективности эмали k_{α} был определен на уровне $0,15 \pm 0,02$, а начальное отношение активности $U(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_0$ — на уровне $1,2 \pm 0,2$. Сегодня $D_{\text{cos}}(0) = 292,9$ $\mu\text{Gy/y}$. При определении среднего во времени $D_{\text{sed}}(t)$ было принято, что постоянная концентрация воды W_{sed} равнялась 10 ± 5 wt% в сухие периоды и 40 ± 5 wt% во влажные периоды. Использовались модели изменений (см. например, [Deely et al., 2011]), где $D_{\text{sed}}(t)$ и $D_{\text{cos}}(t)$ рассчитывались согласно усредненным по объему и по времени уровням доз для каждого временного среза, а также использовались геологические данные при расчетах концентрации воды и мощности покрова [Blackwell et al., 2016a]. Средние возрасты рассчитывались путем инверсного взвешивания значений по их погрешностям с использованием программы Isoplot v. 3.7.

Неопределенность со значениями A_{Σ} , $D_{\text{int}}(t)$, $D_{\text{sed}}(t)$, и $D_{\text{cos}}(t)$ добавляет 3—5% к погрешностям в определении возраста. Точность датировки зависит от точности ЭСР спектрометра, калибровки источника ^{60}Co излучения, а также диагенетического состояния образца и его возраста [Blackwell et al., 2016a]. Ошибки до 10 тыс. лет при выборе границ временных интервалов для модели изменений $D_{\text{sed}}(t)$ и $D_{\text{cos}}(t)$ вносят дополнительно менее 1—2% неопределенности. Межлабораторные калибровки (например, [Varabas et al., 1993; Wieser et al., 2005]) подтвердили, что результат ЭСР датирования, полученные лабораторией кафедры химии, колледж Уильямса, Уильямстаун, Массачусетс, 01267-2692, не подвержены систематическим ошибкам.

Результаты и обсуждение. Для датировки палеолитических слоев Меджибожа было подготовлено 14 субобразцов из четырех зубов. AT41, AT44 и AT45 происходят из слоя 16а Меджибожа 1, а AT29 — из слоя 1 Меджибожа А (см. табл. 1). Поскольку все зубы имеют среднее значение $[U_{\text{den}}] > 100$ ppm (табл. 2), даты по модели EU, вероятно, недооценивают реальный возраст образцов [Blackwell et al., 2016a]. Например, в Маратусе I, Греция, находки

из которой были выявлены в озерных отложениях и имеют аналогичные A_{Σ} , изохронные анализы дали $p=2$ [Blackwell et al., 2018]. Зуб из Хопвуд Фарм (США), найденный в озерных отложениях с седиментологией и концентрациями U, аналогичными зубам Меджибожа, характеризуется $p=0$ (LU), что подтверждается другими методами датирования [Blackwell et al., 2016b]. В Носаке, Сербия, изохронный анализ показал, что зуб, имеющий столь же высокий показатель U, как и зубы из Меджибожа, характеризуется $p=10$ [Dimitrijević et al., 2015]. Таким образом, корректные модели для зубов Меджибожа, похоже, варьируют в пределах $0 < p < 10$. Далее будут обсуждаться лишь несколько из моделей возраста в рамках $0 < p < 10$; в таблицах приводятся данные о нескольких возрастных группах (табл. 3, 4).

Меджибож А. Один образец седиментов, непосредственно сцементированных с зубом из слоя 1, и два образца основных включающих седиментов из слоев 1 и 2 были проанализированы по методике NAA (табл. 3). Слои 1 и 2 дали существенно различающиеся значения $D_{sed}(t)$; здесь следует иметь в виду, что ограниченное число привлеченных образцов седиментов не может полностью учитывать неравномерность характеристик седиментов [Blackwell, Blickstein, 2000]. Для обоих субобразцов AT29 были получены практически идентичные $[U_{en}]$, в среднем $44,69 \pm 0,02$ ppm, тогда как $[U_{den}]$ в среднем составил около 13,4 ppm (табл. 2, а). Показатель $[U_{den}]$ образца AT29 почти в 10 раз ниже, чем у зубов Меджибожа 1 (см. ниже). А это предполагает, что условия Меджибожа А были более сухими, и зубы из его контекста, вероятно, имели меньшие значения p , стремящиеся к $p=0$ [Blackwell et al., 2002]. Возраст AT29 по двум субобразцам составил в среднем $379,1 \pm 26,7$ тыс. лет назад при $p=0$ (LU) (см. табл. 4, а), что соответствует MIS 11. Эта дата хорошо коррелирует с возрастом 380—420 тыс. лет назад, предполагаемым для слоев 1 и 2 [Матвіїшина, Кармазиненко, 2014]. При $p=2$ средний возраст AT29 составит приблизительно 550 тыс. лет назад,

Таблица 2. U в образцах из Меджибожа

Образец	Концентрация U (ppm)		
	Эмаль	Внутренний дентин	Внешний дентин
а. AT29			
AT29en1-5	4,70	12,20 ¹	—
AT29en6-8	4,68	14,50 ¹	—
среднее значение AT29	4,69	13,35 ¹	—
($n=2$)	$\pm 0,02$	1,63	—
б. AT41			
AT41en1+3	1,47	129,81	102,77 ²
AT41en2+4	6,11	128,31	102,77
среднее значение AT41 ($n=2$)	3,79	129,06	102,77
погрешность	$\pm 2,32$	0,75	0,02
в. AT44			
AT44en1	1,88	129,61 ²	137,43
AT44en2	2,17	121,43	127,81 ²
AT44en3	3,29	133,92	118,18
AT44en4	—	129,61 ²	118,18
AT44en5+7	4,34	121,28	127,81 ²
AT44en6	1,44	128,22	127,81 ²
AT44en8	3,86	143,20	127,81 ²
среднее значение AT44 ($n=7$)	2,83	129,61	127,81
погрешность	$\pm 1,17$	9,24	13,61
г. AT45			
AT45en1	—	134,37	—
AT45en1+2	11,79 ^{2,3}	129,18 ²	—
AT45en2	—	123,98	—
AT45en3	11,79	129,18 ²	—
AT45en4	11,79 ^{2,3}	129,18 ²	—
среднее значение AT45 ($n=5$)	11,79	129,18	—
погрешность	$\pm 0,02$	7,35	—
Стандартная аналитическая погрешность	$\pm 0,02$	0,02	0,02
Пределы обнаружения ⁴	$\sim 0,01$ — 0,02	0,01— 0,02	0,01— 0,02

¹ Значения исчислены по смешанному внутреннему и внешнему дентину.

² Данные недоступны. Предполагается среднее значение.

³ Предположительно загрязнен дентином.

⁴ Стандартные пределы обнаружения зависят от массы образца и типа материала.

Таблица 3. Радиоактивность вмещающих седиментов, Меджибож, Украина

Образец шифр/тип	Слой	Концентрация			Уровни доз седиментов ¹			
		U (ppm)	Th (ppm)	K (wt%)	$D_{sed,\beta}^{BG}(t)^{2,3}$ ($\mu\text{Gy/y}$)	$D_{sed,\gamma}^{BG}(t)^{3,4}$ ($\mu\text{Gy/y}$)	$D_{sed,\beta}^{BG}(t)^{2,5}$ ($\mu\text{Gy/y}$)	$D_{sed,\gamma}^{BG}(t)^{4,5}$ ($\mu\text{Gy/y}$)
а. Меджибож А								
2016UKR01	1	0,54	2,40	0,51	145	275	90	176
основной седимент		$\pm 0,02$	0,09	0,02	23	18	15	17
2016UKR02	2	0,84	3,96	0,74	216	427	134	273
основной седимент		$\pm 0,02$	0,10	0,02	34	27	23	24
среднее значение ($n = 2$)		0,69	3,18	0,63	181	351	112	225
		$\pm 0,21$	1,10	0,16	50	107	31	69
б. Меджибож 1								
2016UKR03	15c1	0,93	1,87	0,62	115	314	71	201
основной седимент		$\pm 0,02$	0,08	0,02	11	21	8	18
2016UKR04	15c2	0,97	1,30	0,47	94	259	58	166
основной седимент		$\pm 0,02$	0,07	0,02	10	17	6	15
2016UKR05	16a	0,76	1,83	0,54	100	278	62	178
основной седимент		$\pm 0,02$	0,08	0,02	10	19	7	16
2016UKR06	16b	1,13	4,27	0,85	161	494	100	316
основной седимент		$\pm 0,02$	0,14	0,02	17	31	11	29
среднее значение ($n = 4$)		0,95	2,32	0,62	118	336	73	215
		$\pm 0,15$	1,33	0,17	30	108	19	69
AT44en3	16a	3,29	0,41	0,02	93	356	58	228
эмаль		$\pm 0,02$	0,28	0,01	9	26	6	22
AT29sed ⁶		11,72	1,18	0,13	491	1268	305	812
седимент в образце		$\pm 0,02$	0,19	0,01	65	79	46	73

¹ Сокращения: $D_{sed,\beta}^{BG}(t)$ — уровень доз основного седимента по β излучению $D_{sed,\gamma}^{BG}(t)$ — уровень дозы основного седимента по γ излучению

² Вычислено с учетом плотности эмали, $\rho_{mol}=2,95\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ кластической плотности седимента, $\rho_{sed}=2,66\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$

³ Уровни доз и 1 σ погрешности вычисленные с учетом наземной концентрации вод, $W_{sed}=10,0\pm 5,0 \text{ wt\%}$

⁴ Вычислено с учетом уровня космических доз, $D_{cos}(t)=0,000\pm 0,000 \text{ mGy/y}$ кластической плотности седимента, $\rho_{sed}=2,66\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$

⁵ Уровни доз и 1 σ погрешности вычисленные с учетом аквальной концентрации вод, $W_{sed}=40,0\pm 5,0 \text{ wt\%}$

⁶ Вероятно, загрязненный дентином.

что маловероятно, если учитывать палеопедологические данные, относящие к периоду MIS 11 как слои 1 и 2 Меджибожа А, так и слой 16а Меджибожа 1 [Матвіїшина, Кармазиненко, 2014]. В последнем случае такая датировка подтверждается и составом фауны [Stepanchuk, Moigne, 2016].

Изохрона AT29, имеющая лишь две точки, может дать неточный возраст по

A_{ext} или $\overline{D}_{ext}(t)$ (рис. 2). Все линии модели дали отрицательные значения A_{ext} , варьирующие от -5900 до -1600 Gy . Отрицательные A_{ext} предполагают, что зуб поглощал вторичный U наиболее вероятно в эпизоде диффузионного поглощения [Blackwell et al., 2001]. Если зуб испытывал вторичное поглощение, его правильная модель вряд может характеризовать

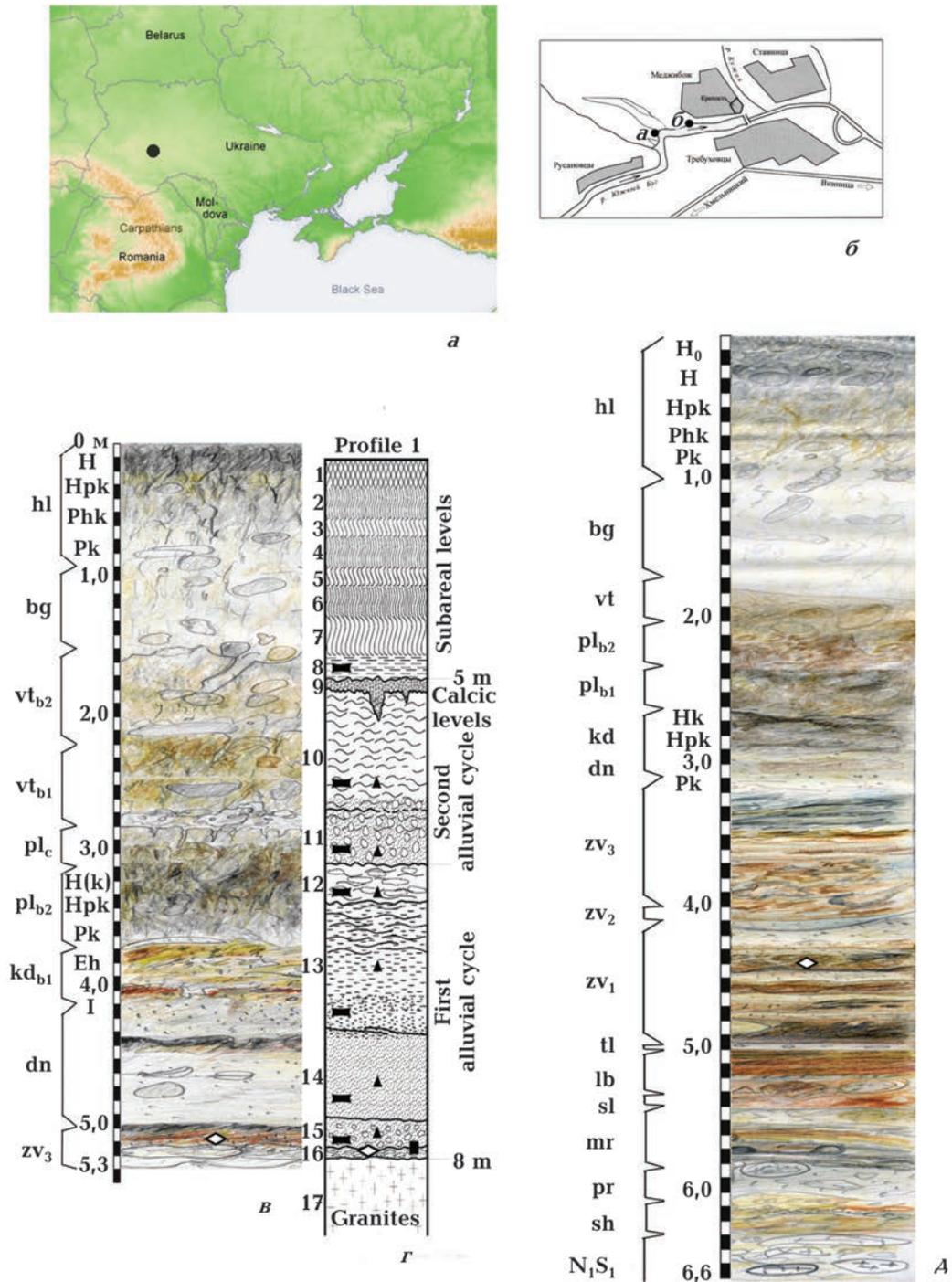


Рис. 1. Меджибож 1 и Меджибож А, географическое положение стоянок и разрезы отложений: а, б — положение стоянок на физико-географической карте и картосхеме (а — Меджибож 1, б — Меджибож А), в, г — разрез отложений Меджибожа 1 (3 по [Матвіїшина, Кармазиненко, 2014], 4 по [Rekovets et al., 2007]); д — разрез отложений Меджибожа А, по [Матвіїшина, Кармазиненко, 2014]. Белыми ромбами показано место происхождения образцов для ЭСР датирования.

ся $p=0$ (LU), однако p необходимо тестировать посредством сопряженной даты $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$.

Изохронный возраст AT29 не представляется надежным для всех моделей поглощения, но LU возраст устанавливает

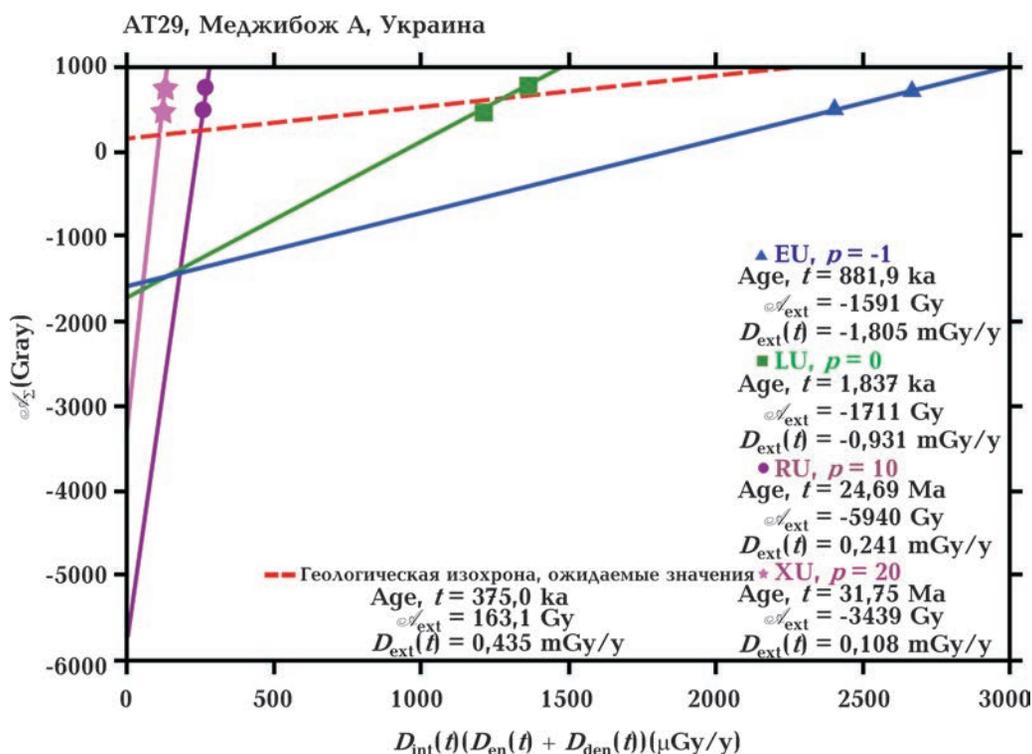


Рис. 2. Изохрона АТ29, Меджибож А. Каждая смоделированная линия регрессии указывает на извне накопленную дозу $A_{ext} \leq -1600$ Gy. Линии предполагают, что образец АТ29 испытал диффузионное вторичное поглощение U, но для надежной изохроны обычно требуется как минимум четыре субобразца. Каждая из линий регрессии значительно удревняет возраст АТ29, если учитывать лимиты возраста, устанавливаемые по фауне памятника. С отрицательными усредненными по времени и объему значениями внешней дозы, полученными из анализа изохроны для каждой смоделированной линии, ни один из показателей $\overline{D}_{ext}^{-Iso}(t)$ не согласуется с $\overline{D}_{ext}^{-VG}(t)$, усредненной временной и объемной внешней дозой, определенной для стоянки. При возрасте $t=375$ тыс. лет назад и $\overline{D}_{ext}^{-VG}(t)=436$ μ Gy/y согласно стандартных данных ЭСР, изохрона, ожидаемая для этих геологических данных (пунктирная оранжевая линия), должна характеризоваться $A_{ext}=163,5$ Gy.

минимальный возрастной предел. Таким образом, возраст АТ29, вероятно, датируется не менее 379 тыс. лет назад.

Меджибож 1. Четыре образца включающего седимента были проанализированы с помощью NAA для определения уровня осадочных доз, $D_{sed}(t)$ (табл. 3, b). Анализ седиментов для слоев 15a, 15b и 16a дал аналогичные $D_{sed}(t)$, но слой 16b содержал больше U и дал более высокий $D_{sed}(t)$.

Образец АТ41 (моляр олени) залегал ближе к верхней части слоя 16a (см. табл. 1). Для стандартного ЭСР анализа среднее значение A_{Σ} в $743,6 \pm 23,1$ Gy дает средний возраст $373,2 \pm 16,6$ тыс. лет назад, при условии, что $p=4$ (табл. 4, b). Несмотря на наличие только двух субобразцов, линии АТ41 сходятся в $A_{ext} \sim 200$ Gy (рис. 3). При установленном по данным анализа

седиментов $\overline{D}_{ext}^{-VG}(t)=508$ μ Gy/y изохрона со значением $p=4$ дает линию с $\overline{D}_{ext}^{-Iso}(t) \approx \overline{D}_{ext}^{-VG}(t)$. Таким образом, $p=4$, скорее всего, является правильной моделью и следовательно, АТ41 датируется 373 ± 17 тыс. лет назад, что коррелирует с поздней фазой MIS 11.

Еще один олениный моляр, образец АТ44, залегал в средней части слоя 16a (см. табл. 1). При среднем значении A_{Σ} в $784,3 \pm 14,0$ Gy, его семь субобразцов дают стандартный возраст ЭСР $326,9 \pm 8,2$ тыс. лет назад при $p=2$ и $432,7 \pm 10,8$ тыс. лет назад при $p=4$ (см. табл. 4, c). Если опустить субобразцы АТ44en4 и АТ44en2, возраст которых значительно отличается от других, средний возраст АТ44 составит $399,0 \pm 11,4$ тыс. лет назад при $p=4$.

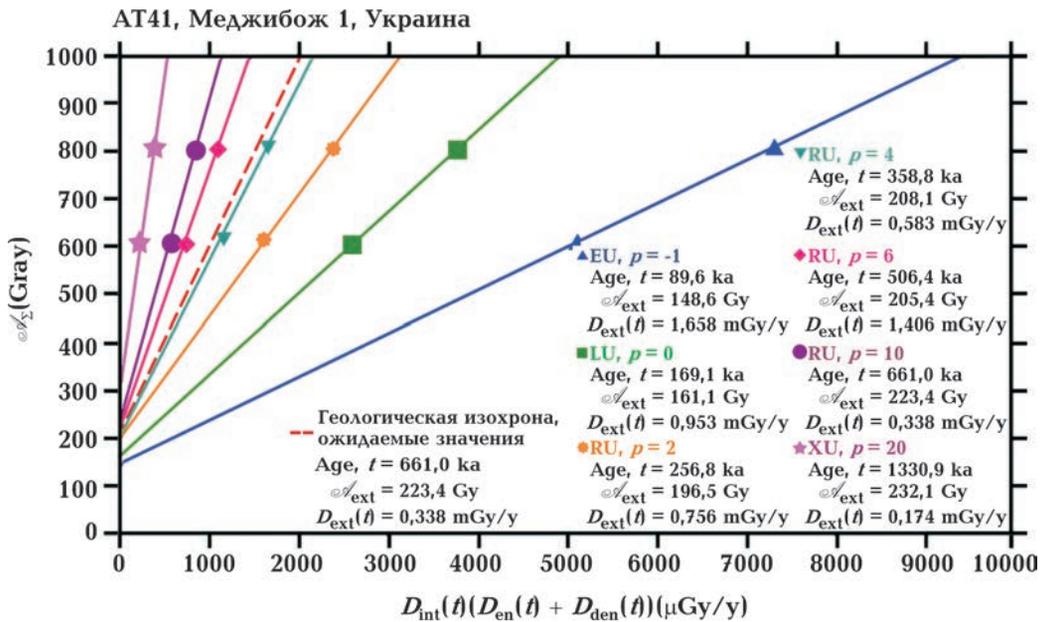


Рис. 3. Изохрона АТ41, Меджибож 1. Все линии регрессии образца АТ41 сходятся на внешне накопленной дозе $149 \text{ Gy} < A_{ext} < 232 \text{ Gy}$. Судя по положительным A_{ext} и углам всех линий, АТ41, вероятно, не испытывал вторичной ремобилизации U, однако изохрона лишь с двумя точками не так надежна, как с четырьмя или более точками. При возрасте $t = 400$ тыс. лет, а также установленном для местонахождения усредненным по времени и объему показателем внешней дозы, $\bar{D}_{ext}^{VG}(t) = 500 \text{ } \mu\text{Gy/y}$, по стандартным ЭСР данным геологическая изохрона (пунктирная оранжевая линия) должна иметь $A_{ext} = 200 \text{ Grays}$. Линия регрессии с показателем $p = 4$ демонстрирует усредненный по времени и объему показатель внешней дозы $\bar{D}_{ext}^{Iso}(t)$, хорошо согласующийся с данными измерений седиментов $\bar{D}_{ext}(t)$. Таким образом, $p = 4$, вероятно, является лучшей моделью поглощения U; она предполагает, что зуб датируется ~ 373 тыс. лет.

В изохронном анализе все линии АТ44 имели отрицательный A_{ext} от -1007 до -628 Gy (рис. 4). Отрицательные A_{ext} предполагают, что АТ44, вероятно, испытывал диффузионное вторичное поглощение [Blackwell et al., 2001]. Более того, стандартный возраст при $p = 0$ (LU), вероятно, оказывается слишком молодым для АТ44, в то время как показатели изохроны последовательно превышают реальный возраст. Учитывая, что АТ41, вероятно, имеет значение $p = 4$, использование $p = 4$ для АТ44 может дать приемлемые результаты. Таким образом, АТ44, вероятно, датируется 339 ± 11 тыс. лет назад, что коррелирует с MIS 11 (табл. 4, в).

Олений моляр АТ45 выявлен в нижней части слоя 16а (см. табл. 1). При среднем значении $A_{\Sigma} 638,4 \pm 16,9 \text{ Gy}$ и $[U_{en}] = 11,79 \text{ ppm}$ усредненный по трем субобразцам стандартный возраст ЭСР составляет $246,7 \pm 11,8$ тыс. лет назад при условии, что $p = 4$, и $332,1 \pm 13,9$ тыс. лет назад при

$p = 6$. Обе даты существенно моложе, чем возраст для двух других зубов из слоя 16а (см. табл. 4, г). Чтобы получить сопоставимый возраст, p должно быть установлено равным 10, что дает дату $400,4 \pm 16,7$ тыс. лет назад. Таким образом, геохимическая история зуба АТ45 очевидно иная, чем у двух других зубов из слоя 16а.

В то время как среднее значение $[U_{den}]$ составляет $120\text{—}145 \text{ ppm}$ для всех трех зубов из Меджибожа 1, $[U_{en}]$ АТ45 примерно в 10 раз больше, чем у других образцов. Это указывает на то, что образец эмали АТ45 может быть загрязнен дентином (см. табл. 2, b—d). Поскольку этот зуб был маленьким, а его дентин очень похож на эмаль, дентин мог загрязнить образец. Всего лишь 6 % дентина повышают уровень $[U_{en}]$ от 4,0 до 11,79 ppm. Кроме того, если АТ45 был изменен, в сравнении с другими зубами он может иметь иную геохимическую историю, совершенно другой возраст или p [Blackwell, 1994].

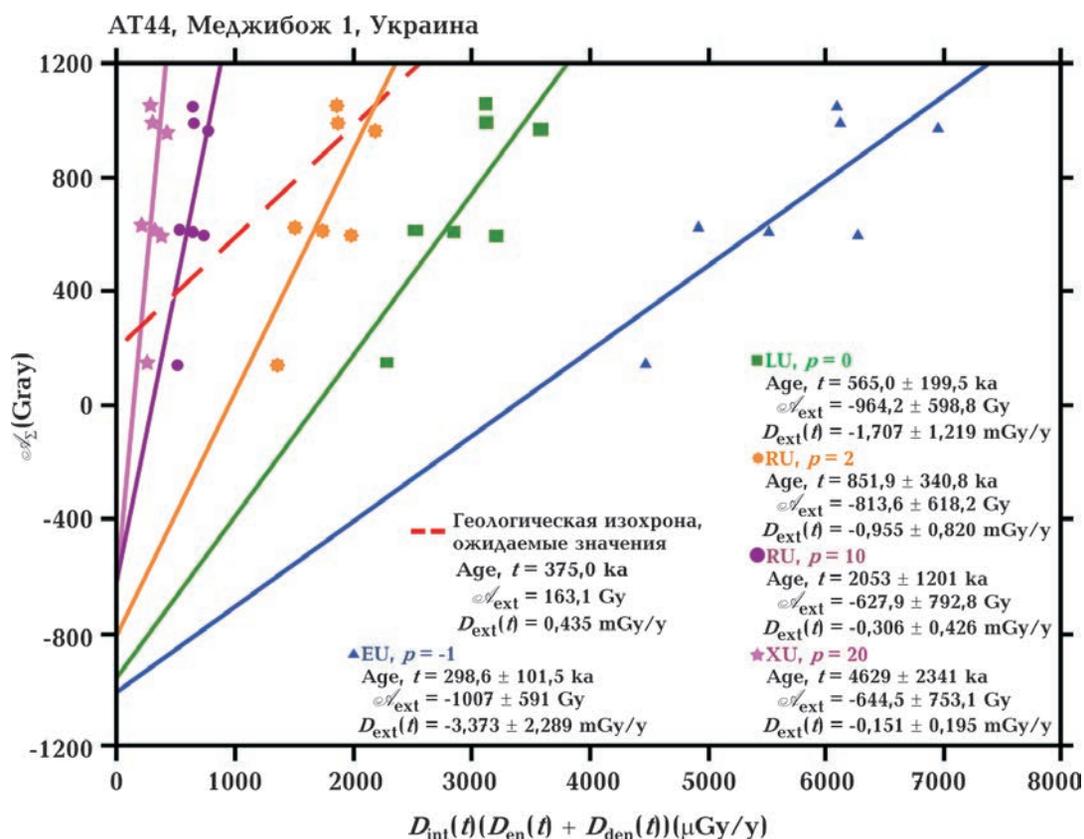


Рис. 4. Изохрона AT44, Меджибож 1. Этот изохронный анализ имеет высокую надежность, поскольку просчитан в семи точках. Все модели линий регрессии сходны по извне накопленной дозе, $-1007 \text{ Gy} < A_{ext} < -628 \text{ Gy}$. Поскольку эти линии указывают на то, что AT44 имеет диффузионное вторичное поглощение U , все они значительно удревняют возраст AT44 (если иметь в виду лимиты, определяемые по фауне местонахождения). Со всеми негативными усредненными по времени и объему значениями внешней дозы, полученными из анализа изохроны $\bar{D}_{ext}(t)$, ни одна из моделей $\bar{D}_{ext}(t)$ не согласуется с установленной для стоянки $\bar{D}_{ext}(t)$, усредненной временной и объемной внешней дозой. При возрасте $t=400$ тыс. лет и $\bar{D}_{ext}(t)=333 \mu\text{Gy/y}$ согласно стандартным данным ЭСР и геологическим данным, геологическая изохрона (пунктирная оранжевая линия), должна иметь $A_{ext}=133,2 \text{ Gy}$.

При показателе $[U_{en}]=11,79$ ppm, полученном с помощью NAA, изохронный анализ для AT45 демонстрирует отрицательный A_{ext} , варьирующий от -5100 до -2900 Gy (рис. 5, а). Предполагая, что $[U_{en}]=4$ ppm, $[U_{en}]$, наблюдаемый в других зубах слоя 16а, дает возраст в среднем $301,1 \pm 11,2$ тыс. лет назад, при $p=4$ и $397,8 \pm 16,6$ тыс. лет назад при $p=6$. Опять же, изохрона дает отрицательный диапазон A_{ext} от -6400 Gy до -610 Gy (рис. 5, б). Подобно AT29 и AT44, изохронные возрасты AT45 значительно удревняют реальные возрасты. Однако независимо от используемого $[U_{en}]$ изохроны показывают, что AT45, вероятно, испытывал вторичное диффузионное поглощение

U . Таким образом, дата AT45 не точна. Учитывая, что AT45 находился глубже в слое 16а, он был подвергнут воздействию любых событий погружения (см. ниже) более длительное время, что, вероятно, увеличивает эффект воздействия на его p и концентрации U в нем. При $p=6$, AT45 может указывать на датировку до 398 ± 17 тыс. лет назад, что коррелирует с MIS 11 (табл. 4, d).

Хотя Меджибож А и Меджибож 1 расположены на расстоянии 0,5 км друг от друга, три из четырех зубов Меджибожа, вероятно, испытывали диффузное вторичное поглощение U . Это говорит о том, что большая часть слоя 16а в Меджибоже 1 и слой 1 в Меджибоже А могли характери-

Т а б л и ц а 4. ЭСР даты Меджибожа по эмали

Образец	Накоплен- ная доза, A_{Σ} (Gy)	Уровень внешней дозы		Стандартный ЭСР возраст ^{1,2,3}							
		$\bar{D}_{\text{вн}}(t)^{1,2}$	$\bar{D}_{\text{вн}}(t)^{1,2}$	EU	LU	RU 2	RU 4	RU 6	RU 8	RU 10	XU
		($\mu\text{Gy/y}$)	($\mu\text{Gy/y}$)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)
а. АТ29, слой 1, Меджибож А											
АТ29en1-5	752,3	289	144	243,1	423,9	615,9	775,1	919,1	990,1	1062,2	1325,8
	$\pm 22,6$	87	4	22,1	39,6	61,3	85,5	112,3	126,0	143,1	213,8
АТ29en6-8	530,0	300	137	186,9	320,1	450,6	562,4	668,0	802,1	759,5	945,2
	$\pm 30,5$	91	2	19,2	34,3	51,8	68,9	90,3	123,2	111,1	161,1
среднее значение АТ29	704,7	295	141	218,4	379,1	545,1	679,9	806,2	913,6	923,3	1146,0
(n=2)	$\pm 18,8$	8	5	14,9	26,7	41,0	55,7	73,1	89,5	91,5	134,2
б. АТ41, слой 16а, Меджибож 1											
АТ41en1+3	607,5	371	135	108,2	193,3	288,7	375,4	470,0	509,5	562,4	774,6
	$\pm 34,0$	26	5	7,4	13,1	19,9	25,7	32,4	35,4	39,6	57,3
АТ41en2+4	804,4	376	132	102,9	186,6	280,7	371,6	477,3	521,5	584,3	868,2
	$\pm 30,1$	26	4	6,1	11,0	16,9	21,8	27,5	30,2	33,6	50,3
среднее значение АТ41	743,6	374	134	105,2	189,5	284,2	373,2	474,3	516,6	575,5	832,6
(n=2)	$\pm 23,1$	3	2	4,7	8,4	12,9	16,6	21,0	23,0	25,6	38,0
в. АТ44, слой 16а, Меджибож 1											
АТ44en1	620,8	374	141	102,8	184,4	275,4	359,1	449,0	486,6	537,5	752,4
	$\pm 26,7$	27	8	5,9	10,6	16,2	21,2	26,3	28,6	31,8	48,1
АТ44en2	1050,	382	144	158,2	286,5	441,1	584,4	729,6	805,4	894,7	1245,4
	$\pm 39,$	28	6	8,7	15,6	24,3	31,5	39,6	43,5	48,3	72,7
АТ44en3	597,6	394	130	88,3	158,8	236,8	322,2	392,5	425,2	471,3	674,3
	$\pm 19,2$	28	5	4,5	8,1	12,4	16,8	20,2	22,3	24,9	37,4
АТ44en4	151,2	288	163	30,4	54,8	81,2	103,4	127,6	135,3	147,4	199,0
	$\pm 25,7$	20	19	5,3	9,5	14,1	18,0	22,3	23,6	25,6	35,0
АТ44en5+7	970,5	384	141	130,0	235,7	358,9	476,2	605,4	665,1	743,7	1068,1
	$\pm 45,6$	27	6	8,3	14,9	22,9	29,9	37,8	45,0	46,2	68,9
АТ44en6	623,9	386	138	114,5	203,9	304,2	370,4	488,6	531,0	582,7	789,7
	$\pm 43,6$	27	6	9,1	16,1	24,4	29,8	39,2	42,8	47,3	66,5
АТ44en8	998,9	379	144	150,3	271,9	414,6	549,2	686,4	759,6	838,6	1174,7
	$\pm 67,5$	27	7	12,0	21,5	32,9	43,0	53,6	59,5	66,0	96,0
среднее значение АТ44	784,3	370	143	119,1	215,3	326,9	432,7	540,9	592,6	659,8	924,7
(n = 7)	$\pm 14,0$	36	10	3,0	5,3	8,2	10,8	13,5	15,0	16,5	24,5
среднее значение АТ44	712,7	383	140	110,7	199,6	301,1	399,0	500,3	543,8	607,5	854,7
(-en4, -en2)	$\pm 14,6$	7	5	2,7	4,8	7,9	11,4	14,2	17,8	17,8	21,8
АТ45en1+2	563,5	390	119	64,9	117,9	174,6	229,2	298,0	318,2	357,0	546,5
	$\pm 30,1$	26	5	4,8	8,6	13,0	17,0	21,4	23,0	25,7	38,7

Образец	Накоплен-ная доза, A_{Σ} (Gy)	Уровень внешней дозы		Стандартный ЭСР возраст ^{1,2,3}							
		$\bar{D}_{sed}(t)^{1,2}$	$\bar{D}_{cos}(t)^{1,2}$	EU	LU	RU 2	RU 4	RU 6	RU 8	RU 10	XU
		($\mu\text{Gy/y}$)	($\mu\text{Gy/y}$)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)	(ka)
AT45en3	715,3	378	129	79,4	144,5	214,1	283,7	368,4	397,6	446,3	685,0
	38,0	25	6	5,9	10,6	16,1	21,1	26,6	28,8	31,8	48,0
AT45en4	637,0	380	125	71,4	129,9	192,1	253,4	330,1	354,8	396,8	611,8
	23,6	26	6	6,0	10,6	15,4	19,9	24,5	26,4	29,0	40,9
среднее значение AT45	638,4	383	124	71,9	130,8	193,5	246,7	332,1	356,9	400,4	614,8
(n = 3)	16,9	6	5	3,2	5,7	8,6	11,8	13,9	15,0	16,7	24,6
d. AT45, слой 16а, Меджибож 1											
AT45en1+2 ⁴	563,5	382	127	78,4	141,8	211,5	277,3	354,9	381,2	424,6	622,6
	30,1	26	5	5,3	9,5	14,4	18,9	23,7	25,6	28,5	42,7
AT45en3 ⁴	715,3	370	137	96,9	175,6	263,3	347,8	443,4	482,1	538,2	785,4
	38,0	25	7	6,5	11,7	17,9	23,5	29,4	32,2	36,0	54,1
AT45en4 ⁴	637,0	387	128	86,4	156,2	233,8	277,3	393,2	426,2	474,0	695,7
	23,6	26	5	7,4	12,9	19,0	18,9	19,1	31,2	34,7	46,5
среднее значение AT45⁴	638,4	380	131	87,4	158,2	236,5	301,1	396,4	430,2	479,4	700,9
(n = 3)	16,9	9	6	3,6	6,5	9,8	11,2	13,4	17,1	19,1	20,8

¹ Сокращения: EU=при условии раннего поглощения U, $p=-1$ LU=при условии линейного (непрерывного) поглощения U, $p=0$ RU x =при условии недавнего поглощения U с $p=x$, $0<x<10$ XU=при условии очень позднего поглощения U, $p=20$ $\bar{D}_{sed}(t)$ = усредненный в объеме и времени уровень осадочной дозы $\bar{D}_{cos}(t)$ = усредненный во времени уровень космической дозы

² Вычислено с учетом плотности седиментов, $\rho_{sed}=2,66\pm 0,02$ г/см³ плотности эмали, $\rho_{en}=2,95\pm 0,02$ г/см³ плотности дентина, $\rho_{den}=2,85\pm 0,02$ г/см³

³ Вычислено с учетом α фактора, $\kappa_{\alpha}=0,15\pm 0,02$ исходного соотношения активности U, $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_0=1,20\pm 0,20$ концентрации воды в эмали, $W_{en}=2\pm 2$ wt% концентрации воды в дентине, $W_{den}=5\pm 2$ wt% потерь радона в зубе, $Rn_{tooth}=0\pm 0$ vol%

⁴ Вычислено с учетом концентрации урана в эмали, $[U_{en}]=4,00\pm 0,02$ ppm

зоваться сходными геохимическими условиями, возможно подтоплением. В насыщенном седименте органические кислоты из разлагающихся туш могли понижать pH в воде вокруг зубов, растворяя обогащенные U-минералы и позволяя зубам абсорбировать U [Skinner et al., 2001b]. Местонахождения Меджибожа неоднократно подтоплялись в прошлом и располагались около водоема. Ландшафт иногда мог заболачиваться, как это предполагают высокие концентрации K в седиментах и высокие концентрации U в дентине (см. табл. 2, 3): погружение в физиологический раствор или засоленную воду часто связано с высокими концентрациями U [Blackwell et al., 2002]. В связи с палеоклиматическими из-

менениями места расположения стоянок могли проходить цикл от полного погружения под воду, через болотистые условия, до полностью открытой местности, при иссушении водоема. После отложения слоя 16а он мог уйти под воду, а затем наблюдалось иссушение или дренирование, а также вторичное поглощение U, как это произошло в слоях 1 и 2 Олдувая [Skinner et al., 2001b]. Независимо от того, какой сценарий обеспечил вторичное поглощение U, AT41, залежавший в верхней части слоя 16а может объяснить, почему он не имел вторичного поглощения U, такого как имели AT44 и AT45, залежавшие последовательно ниже, а следовательно, глубже в воде и на протяжении более длительного

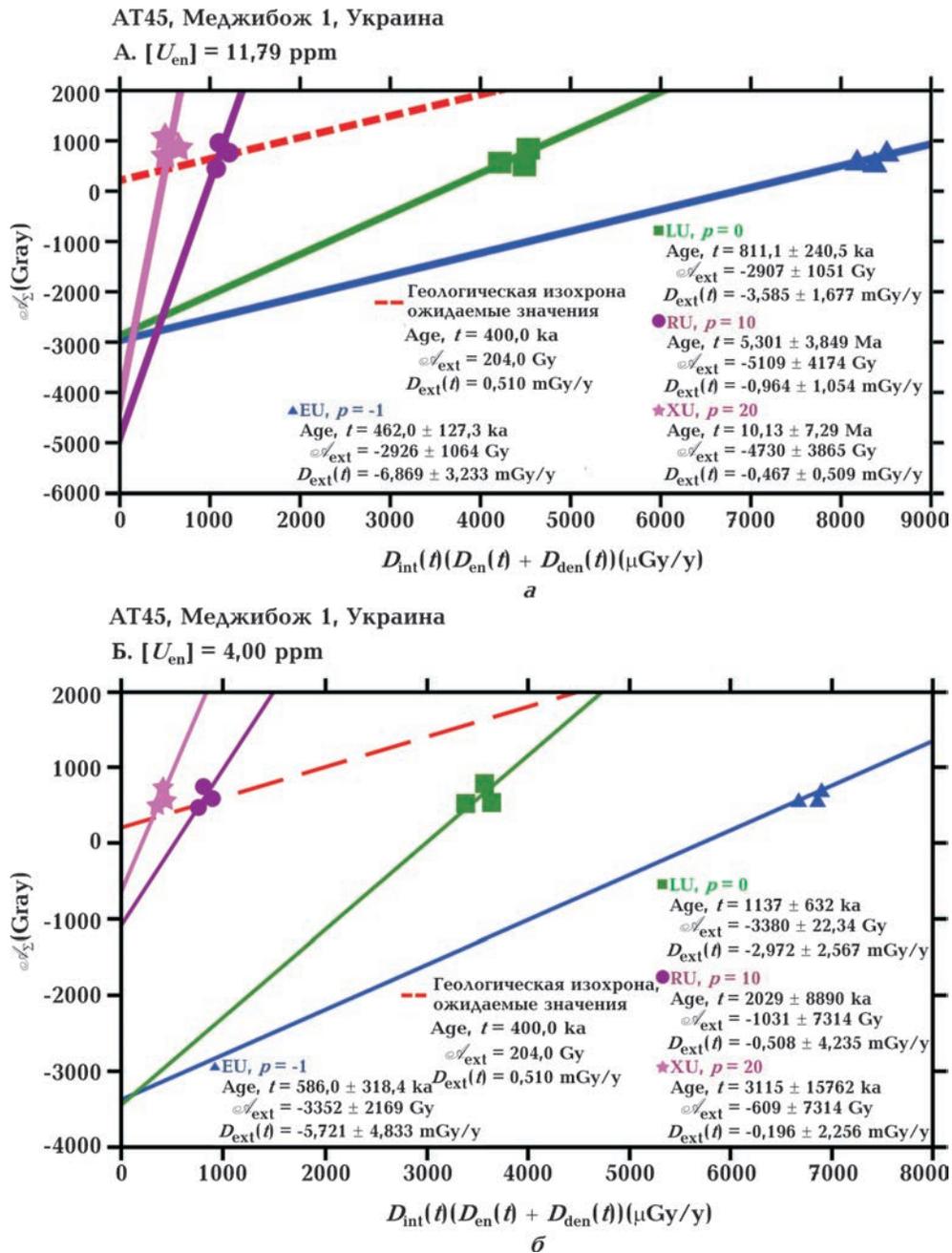


Рис. 5. Изохрона АТ45, Меджибож 1. АТ45 имеет концентрацию U в эмали $[U_{en}] = 11,79$ ppm, что почти в три раза больше, чем для других зубов Меджибожа 1. Беря во внимание концентрацию U в дентине $[U_{den}] > 120$ ppm, можно допустить, что небольшое количество дентина в примеси к эмали могло привести к увеличению показателя $[U_{en}]$. Если принять незагрязненный показатель $[U_{en}] \sim 4$ ppm, т. е. примерно равный значениям $[U_{en}]$, наблюдаемым для других зубов Меджибожа, возраст может быть оценен более точно: а — при $[U_{en}] = 11,79$ ppm линии регрессии EU и LU хорошо совпадают по внешней накопленной дозе, $A_{ext} = -2920$ Gy, но линии RU и XU имеют $A_{ext} \sim 4900$ Gy; б — если $[U_{en}] = 4,0$ ppm, то линии регрессии EU и LU хорошо коррелируют по $A_{ext} = -3360$ Gy, но линии RU и XU — по $A_{ext} \sim 820$ Gy. Независимо от фактического $[U_{en}]$, АТ45, вероятно, прошел через диффузионное вторичное поглощение U. Ни одна из линий регрессии АТ45 не дает надежного возраста. С отрицательными, согласно изохронного анализа, усредненными по времени и объему показателями внешней дозы $\overline{D}_{ext}(t)$, ни одна из моделей $\overline{D}_{ext}(t)$ не согласуется с установленной для стоянки $\overline{D}_{ext}(t)$, усредненной временной и объемной внешней дозой. При возрасте $t = 396$ тыс. лет и $\overline{D}_{ext}(t) = 519$ μ Gy/y согласно геологическим данным, геологическая изохрона (пунктирная оранжевая линия), должна иметь $A_{ext} = 205,5$ Gy. Результаты изохронного анализа были бы более надежными, если бы имелись еще два субобразца.

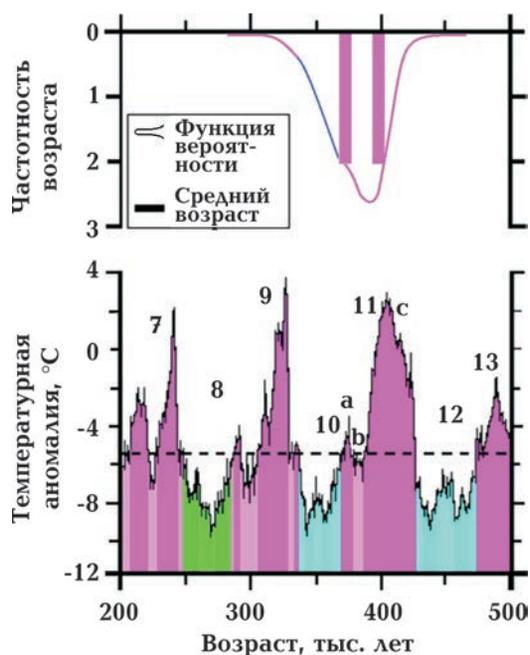


Рис. 6. Возраст зубов из Меджибожа. Верхний график показывает функцию плотности вероятностей возраста для зубов, а нижний — глобальные средние температуры и морские изотопные стадии (MIS) между 200 и 500 тыс. лет назад. В целом, продатированные образцы относятся к интервалу 356—399 тыс. лет назад. Три зуба почти наверняка были затронуты вторичным поглощением U, их возраст согласуется с возрастом АТ41 при значении $p=4$, как это предполагается изохронным анализом. Все четыре даты коррелируют со средней и поздней фазами MIS 11.

времени. Поскольку АТ45 по залеганию самый глубокий, он мог находиться в воде наибольшее время.

Выводы. Были продатированы 14 субобразцов из четырех зубов Меджибожа А и Меджибожа 1, но поскольку выбор наилучшего коэффициента U-поглощения p является дискуссионным, результаты являются предварительными. Для тестирования на вторичную U-ремобилизацию был осуществлен анализ изохрон. В Меджибоже А изохронный анализ образца АТ29 дал отрицательные показатели A_{ext} , вероятно потому, что АТ29 испытал вторичное диффузионное поглощение U [Blackwell et al., 2001]. Вероятно, его следует датировать 379 ± 27 тыс. лет назад. Этот возраст согласуется с возрастом, предложенным по данным палеопочвенного и фаунистического

анализа [Матвиішина, Кармазиненко, 2014, Рековець та ін., 2014; Stepanchuk, Moigne, 2016]. Изохронный анализ образца АТ41 из Меджибожа 1 показал, что его $p \sim 4$, несмотря на наличие только двух субобразцов. Если значение $p=4$ является точным, тогда возраст АТ41 373 ± 17 тыс. лет назад коррелирует с поздней фазой MIS 11. Как и АТ29, образцы АТ44 и АТ45 из Меджибожа I вероятно испытывали вторичное диффузионное поглощение U. Все три зуба, возможно, были погружены в воду, которая затопила участок достаточно глубоко, чтобы покрыть АТ44, но не АТ41. Это событие, вероятно, увеличило уровень поглощения U для АТ44 и АТ45 до $p \geq 4$. В качестве альтернативы можно допускать, что АТ44 и АТ45 были погружены в воду во время, предшествовавшее захоронению АТ41. Учитывая имеющиеся на сегодня данные, АТ44 может быть датирован 399 ± 11 тыс. лет назад при значении $p=4$, тогда как АТ45 может датироваться 397 ± 16 тыс. лет назад, при $p=6$; обе даты коррелируют со средней фазой MIS 11 (рис. 6).

Полученные данные указывают, что верхние слои Меджибожа А могут содержать одни из самых древних очагов, обнаруженных в Восточной Европе. Их дата совпадает, например, с древними свидетельствами использования огня на Ближнем Востоке [Roebroeks, Villa, 2011; Shimelmitz et al., 2014]. Полученная оценка возраста также наводит на мысль, что возможным обитателем местонахождений у Меджибожа были *H. heidelbergensis*, хотя решающим аргументом здесь может служить обнаружение костных останков этих гоминид. В то же время, учитывая небольшое количество субобразцов, ни изохрону образца АТ41, ни его стандартный ЭСР возраст нельзя считать установленными надежно, как и возраст остальных трех образцов. Для подтверждения этих предварительных результатов требуется больше дат.

Полученные результаты вполне согласуются с данными, полученными ранее, и относят время функционирования верхних слоев Меджибожа 1 (слой 16а) и Меджибожа А (слой 1) к интервалу 380—400 тыс.

лет назад. Вновь полученные даты позволяют с большей уверенностью говорить об использовании древними гоминидами огня в указанный период времени. С археологической точки зрения в имеющихся материалах как правило отсутствует выразительное нуклеусное расщепление, практически нет устойчивого формообразования орудий на сколах, нет признаков применения технологии двусторонней оббивки. Эти черты характерны для наиболее архаичных культур, так называемые галечных, олованских, относящихся к технотипологическому моду I. Даже наиболее молодые комплексы Меджибожа, несмотря на свой сравнительно поздний возраст (порядка 380—420 тыс. лет назад), также не выходят за рамки такой характеристики. Такой архаизм технологии и типологии каменных изделий возможно объясняется своеобразием социокультурных адаптаций локальной группы древних гоминид, осваивавших среднеплейстоценовые ландшафты западного сегмента Восточно-Европейской равнины.

Учитывая небольшое количество проанализированных образцов зубов из Меджибожа, а также остающиеся открытыми вопросы, связанные с расчетом их возраста, требуется провести исследование большего числа зубов из различных слоев

с целью проверки как точности определения возраста, так и возможного вторичного изменения образцов. Большое число изохронных анализов должно подтвердить степень вторичного поглощения U в этих слоях и, возможно, сможет выявить полную геохимическую историю для Меджибожа. Хотя вторичная U-ремобилизация в зубах может препятствовать правильному совмещению ЭСР- $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ дат, парные даты должны проверяться для оценки значения p .

Благодарности. Государственный фонд фундаментальных исследований Украины, проекты Ф53.5/005—2013, Ф77/91—2017, Ф77/50—2018, поддерживал раскопки и геологические анализы. Дж. Ф. Хоффекер (Университет Колорадо) помог в отборе и транспортировке образцов. Сотрудники Научно-исследовательского института RFK 2014—2018, особенно К. Мерфи и К. Гопалкришна, помогли в подготовке ряда образцов. Элис Пидручны и ее сотрудники (Ядерный реактор Университета МакМастер) провели нейтронный активационный анализ. Национальный фонд научных исследований США (ILI 9151111 для ЭРС), Ядерный Реактор Университета Макмастер, Колледж Уильямса, Научно-исследовательский институт RFK и Фонд ЭСР поддерживали эту работу.

Список литературы

- Дикань Н. І. Перші відомості щодо викопних остракод (клас Ракоподібні, підклас Черепашкові рачки) з алювіальних відкладів Оленього розкопу археологічної стоянки Меджибіж 1. В кн.: *В. М. Степанчук (рег.). Місцезнаходження Меджибіж та проблеми вивчення нижнього палеоліту Східноєвропейської рівнини*. Тернопіль: ООО «Тернограф», 2014, С. 83—88.
- Матвіїшина Ж. М., Кармазиненко С. П. Результати палеопедологічних досліджень четвертинних відкладів палеолітичного місцезнаходження Меджибіж. В кн.: *В. М. Степанчук (рег.). Місцезнаходження Меджибіж та проблеми вивчення нижнього палеоліту Східноєвропейської рівнини*. Тернопіль: ООО «Тернограф», 2014, 49—69.
- Пясецкий В. К. Среднеашельское местонахождение Меджибож. *Vita Antiqua*. 2001. № 3—4. С. 125—134.
- Рековец Л. И. Меджибож — местонахождение териофауны и многослойная палеолитическая стоянка человека в Украине. *Вестник зоологии*. 2001. Т. 35. № 6. С. 39—44.
- Рековец Л. І., Соха П., Степанчук В. М., Ковальчук О. М., Демешкант В. І. Реконструкція умов існування териофауни і давньої людини епохи ліхвін місцезнаходження Меджибіж в Україні. В кн.: *В. М. Степанчук*

- (ред.). Місцезнаходження Меджибіж та проблеми вивчення нижнього палеоліту Східноєвропейської рівнини. Тернопіль: ООО «Терно-граф», 2014. С. 70—78.
- Степанчук В. Н., Рыжов С. Н., Матвишина Ж. Н., Кармазиненко С. П., Муань А. М. Первые итоги изучения нижнепалеолитических местонахождений Меджибожа. В кн.: В. М. Степанчук (ред.). Місцезнаходження Меджибіж та проблеми вивчення нижнього палеоліту Східноєвропейської рівнини. Тернопіль: ООО «Терно-граф», 2014. С. 22—48.
- Barabas, M., Walther, R., Wieser, A., Radtke, U., & Grün, R. (1993). Second interlaboratory-comparison project on ESR dating. *Applied Radiation and Isotopes*, 44, 119—129. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(93\)90206-P](https://doi.org/10.1016/0969-8043(93)90206-P). Blackwell, B. A. B. (2006). Electron spin resonance (ESR) dating in karst environments. *Acta Carsologica*, 35, 123—153. doi: <https://doi.org/10.3986/ac.v35i2-3.236>.
- Blackwell, B. A. B. (2001). Electron spin resonance (ESR) dating in lacustrine environments. In W. M. Last, J. P. Smol (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 283—369). Springer Netherlands.
- Blackwell, B. A. (1989). *Laboratory Procedures for ESR Dating of Tooth Enamel*. McMaster University Department of Geology Technical Memo.
- Blackwell, B. A. (1994). Problems associated with reworked teeth in electron spin resonance (ESR) dating. *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, 13, 651—660.
- Blackwell, B. A. B., & Blickstein, J. I. B. (2000). Considering sedimentary U uptake in external dose rate determinations for ESR and luminescent dating. *Quaternary International*, 68(1), 329—343. doi: [10.1016/S1040-6182\(00\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00056-2).
- Blackwell, B. A., & Schwarcz, H. P. (1993). ESR isochron dating for teeth: A brief demonstration in solving the external dose calculation problem. *Applied Radiation & Isotopes*, 44(1-2), 243—252. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(93\)90227-2](https://doi.org/10.1016/0969-8043(93)90227-2).
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., & Blickstein, J. I. B. (2001). ESR isochron exercises: how accurately do modern dose rate measurements reflect paleodose rates? *Quaternary Science Reviews*, 20(5-9), 1031—1039. doi: [10.1016/S0277-3791\(00\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00081-0).
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., Brassard, P., & Blickstein, J. I. B. (2002). U Uptake in tooth enamel: Lessons from isochron analyses and laboratory simulation experiments. *Proceedings of the International Symposium on New Prospects in ESR Dosimetry and Dating*. Society of ESR Applied Metrology, Osaka. *Advances in ESR Applications*, 18, 97—118.
- Blackwell, B. A. B., Liang, S., Golovanova, L. V., Doronichev, V. B., Skinner, A. R., & Blickstein, J. I. (2005). ESR at Treugol'naya Cave, northern Caucasus Mt., Russia: Dating Russia's oldest archaeological site and paleoclimatic change in Oxygen Isotope Stage 11. *Applied Radiation & Isotopes*, 62(2), 237—245. doi: [10.1016/j.apradiso.2004.08.005](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.08.005).
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., Blickstein, J. I. B., Montoya, A. C., Florentin, J. A., Baboumian, S. M., Ahmed, I. J., & Deely, A. E. (2016a). ESR in the 21st century: From buried valleys and deserts to the deep ocean and tectonic uplift. *Earth Science Reviews*, 158, 125—159. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.001>.
- Blackwell, B. A. B., Kim, D. M. K., Curry, B. B., Grimley, D. A., Blickstein, J. I. B., & Skinner, A. R. (2016b). Shell we date? ESR dating Sangamon Interglacial Episode deposits at Hopwood Farm, IL. *Radiation Protection Dosimetry*, 172(1-3), 283—295. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw213>.
- Blackwell, B. A. B., Sakhrani, N., Gopalkrishna, K. K., Singh, I., Harvati, K., Turloukis, V., ... Skinner, A. R. (2018). ESR dating ungulate teeth and molluscs from Marathousa 1, Greece. *Quaternary International*.
- Brennan, B. J., Rink, W. J., McGuirl, E. L., & Schwarcz, H. P. (1997). Beta doses in tooth enamel by «one group» theory and the Rosy dating software. *Radiation Measurements*, 27, 307—314.
- Deely, A. E., Blackwell, B. A. B., Mylroie, J. E., Carew, J. L., Blickstein, J. I. B., Skinner, A. R. (2011). Testing cosmic dose rate models for ESR: dating corals and molluscs on San Salvador, Bahamas. *Radiation Measurements*, 46(9), 853—859. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.02.008>.
- Dibble, H. L., Aldaeias, V., Alvarez-Fernández, E., Hallett-Desguez, E., Jacobs, Z., Olszewski, D. I., ... El-Hajraoui, M. (2012). New Ex-

- cavations at the Site of Contrebandiers Cave, Morocco. *Paleoanthropology*, 2012, 145—201. doi:10.4207/PA.2012.ART74.
- Dibble, H. L., Aldaeias, V., Jacobs, Z., Olszewski, D. I., Rezek, Z., Lin, S. C., ... El-Hajraoui, M. (2013). On the industrial attributions of the Aterian and Mousterian of the Maghreb. *Journal of Human Evolution* 64, 194—210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.10.010>.
- Dimitrijević, V., Mrdjić, N., Korać, M., Chu, S., Kostić, D., Jovičić, M., & Blackwell, B. A. B. (2015). The latest steppe mammoths (*Mammuthus trogontherii* (Pohlig)) and associated fauna on the Late Middle Pleistocene steppe at Nosak, Kostolac Basin, Northeastern Serbia. *Quaternary International*, 379, 14—27. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.06.025>.
- Dmytruk, Y., & Stepanchuk, V. (2017). Pedo-geochemical assessment of a Holsteinian occupation site. In D. Dent & Y. Dmytruk (Eds.), *Soil science working for a living: Applications of soil science to present-day problems*. Springer Nature.
- Doronichev, V. (2016). The Pre-Mousterian industrial complex in Europe between 400 and 300 ka: Interpreting its origin and spatio-temporal variability. *Quaternary International*, 409, 222—240. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.05.063>.
- Kahlke, R. D., & Kaiser, T. M. (2011). Generalism as a subsistence strategy: advantages and limitations of the highly flexible feeding traits of Pleistocene *Stephanorhinus hundsheimensis* (Rhinocerotidae, Mammalia). *Quaternary Science Reviews*, 30, 2250—2261. doi:10.1016/j.quascirev.2009.12.012.
- Lee, H. K., Rink, W. J., & Schwarcz, H. P. (1997). Comparison of ESR signal dose-responses in modern and fossil tooth enamels. *Radiation Measurements*, 27(2), 405—411. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(96\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(96)00112-6).
- Mishra, S., White, M. J., Beaumont, P., Antoine, P., Bridgland, D. R., Limondin-Lozouet, N., ... White, T. S. (2007). Fluvial deposits as an archive of early human activity. *Quaternary Science Reviews*, 26(22-24), 2996—3016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.035>.
- Moigne, A. M., Stepanchuk, V. N., & Rizhov, S. (2014). MIS 11-9 locality of Medzhibozh, Ukraine: Archeological and paleozoological evidence. *Abstracts of the XVII World UISPP Congress 2014 in Burgos*.
- Rekovets, L., Chepalyga, A., & Povodyrenko, V. (2007). Geology and mammalian fauna of the Middle Pleistocene site, Medzhibozh, Ukraine. *Quaternary International*, 160(1), 70—80. doi:10.1016/j.quaint.2006.09.014.
- Roebroeks, W., & Villa, P. (2011). On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Shimelmitz, R., Kuhn, S. L., Jelinek, A. J., Ronen, A., Clark, A. E., & Weinstein-Evron, M. (2014). 'Fire at will': The emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution*, 77, 196—203. doi:10.1016/j.jhevol.2014.07.005.
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., Chasteen, D. E., Shao, J. M., & Min, S. S. (2000). Improvements in dating tooth enamel by ESR. *Applied Radiation and Isotopes*, 52(5), 1337—1344. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00092-0).
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., Chasteen, D. E., & Shao, J. M. (2001a). Q band ESR studies of fossil tooth enamel. *Quaternary Science Reviews*, 20(5-9), 1027—1030. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00066-4).
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., & Lothian V. (2001b). Calibrating ESR ages in the 2-Ma range at Olduvai Gorge, Tanzania. Paleanthropology Society, Kansas City, MO. *Journal of Human Evolution*, 40(3), A22.
- Stepanchuk, V. N. (2009). Medzhibozh, Ukraine. Early Middle Pleistocene evidence of human dispersal in the east European plain. In A. P. Derevianko, M. V. Shunkov (Eds.), *The earliest human migrations in Eurasia*. Makhachkala: Institute of Archaeology and Ethnography Press.
- Stepanchuk, V. N. (2013). Studies of Lower Palaeolithic sites in Medzhibozh. In M. Yamada (Ed.) *Archaeological and Geological Researches in Ukraine* (pp. 27—38). Center for Obsidian and Lithic Studies, Nagano.
- Stepanchuk, V. N., & Moigne, A. M. (2016). MIS 11-locality of Medzhibozh, Ukraine: Archaeological and paleozoological evidence. *Quaternary International*, 409, 241—254. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.050>.

Stepanchuk, V. N., Ryzhov, S., Rekovets, L., & Matviishina, Z. N. (2010). The Lower Paleolithic of Ukraine: Current evidence. *Quaternary International*, 223—224, 131—142. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.006>.

Wieser, A., Debuyst, R., Fattibene, P., Meghifene, A., Onori, S., Bayankin, S. N., Blackwell, B. A. B., ... Tromprier, F. (2005). The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, 62(2), 163—171. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.08.027>.

ne, A., Onori, S., Bayankin, S. N., Blackwell, B. A. B., ... Tromprier, F. (2005). The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, 62(2), 163—171. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.08.027>.

Preliminary results of dating for the Lower Paleolithic sites of Ukraine (Medzhibozh 1 and Medzhibozh A, Khmel'nitskii region) by electron spin resonance method

J. K. Qi, B. A. B. Blackwell, I. K. Singh, V. N. Stepanchuk, J. I. B. Blickstein,
J. A. Florentin, A. R. Skinner, 2018

In the West of Ukraine, the Medzhibozh site complex includes two multi-layered open-air Lower Paleolithic sites sitting at 49°35' N 27°42' E, 270 m amsl. In Medzhibozh I's lower alluvial cycle, Layer 16a yielded Paleolithic artefacts, mainly choppers, chopping tools, and flakes with little secondary modification, associated with likely fireplaces and bones with cutmarks left by early hominids inhabiting an ancient shoreline. *Ursus deningeri*, *Stephanorhinus kirchbergensis*, and other Middle Pleistocene fossils, as well as microtheriofauna, pollen, paleopedology data suggest that Layers 13—16 must predate 200 ka, but only one TL date has been done here. About 500 m away from Medzhibozh I, Medzhibozh A's six archaeological layers were intercalated with sterile gravels, with analogous stone products, fauna, hearth relics. Since ESR can date mammalian enamel up to 2—4 Ma with 2—5 % precision, three cervid teeth from Layer 16a at Medzhibozh I and one from the Layer 1 in Medzhibozh A were dated by standard and isochron ESR. Sediment samples were analyzed by NAA to measure volumetrically averaged sedimentary dose rates. Using geological criteria, a ramped box model calculated time-averaged cosmic dose rates were determined. From Medzhibozh A, AT29's standard LU age of 379±27 ka agreed best with ages estimated from the faunal analyses, but the isochron showed diffusional secondary U uptake, suggesting the age could be older. At Medzhibozh I, all teeth had >100 ppm U in their dentine, but enamel U ranged from 2,8 to 11,8 ppm. AT41's isochron, which did not show secondary U uptake, suggested that the U uptake rate, $p \sim 4$ was the best uptake rate, yielding an age of 373±17 ka, which correlates with late Marine Isotope Stage (MIS) 11. Meanwhile, AT44's age likely dates at 399±11 ka with $p=4$, and AT45's at 396±13 ka with $p=6$, both of which correlate with mid MIS 11. Their isochrons suggested secondary diffusional U uptake had affected both teeth. All isochron analyses suggest that one secondary uptake event may have affected the entire site, likely due to immersion in U-rich water. If correct, AT29's age makes Medzhibozh A's hearths the oldest in the Ukraine, but more teeth from all the layers must be ESR dated and tested with coupled ESR— $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ to confirm the ages and p 's.

Key words: ESR dating, Lower Paleolithic, Medzhibozh, Ukraine, ESR isochron analyses, Middle Pleistocene, Marine Isotope Stage (MIS) 11.

References

Dykan, N. I. (2014). First data on fossil ostracods (class Crustacea, subclass Ostracoda) from alluvial sediments of Deer excavation area

of archaeological locality Medzhibizh 1. In V. N. Stepanchuk (Ed.), *Medzhibizh locality and the problems of Lower Paleolithic studies*

- on the East European Plain (pp. 83—88). Ternopil: ООО "Terno-graph" (in Ukrainian).
- Matviyishina, Zh. M., & Karmazinenko, S. P. (2014). Results of paleopedological studying of Quaternary deposits of Medzhibozh Paleolithic locality. In V. N. Stepanchuk (Ed.), *Medzhybizh locality and the problems of Lower Paleolithic studies on the East European Plain* (pp. 49—69). Ternopil: ООО "Terno-graph" (in Ukrainian).
- Piasetsky, V. K. (2001). The Middle-Acheldom location Medzhibozh. *Vita Antiqua*, (3-4), 125—134 (in Russian).
- Rekovets, L. I. (2001). Medzhibozh — the teriofauna location and the multilayered Paleolithic site of a man in Ukraine. *Vestnik zoologii*, 35(6), 39—44 (in Russian).
- Rekovets, L. I., Socha, P., Stepanchuk, V. N., Kovalchuk, A. N., & Demeshkant, V. I. (2014). Reconstruction of existence conditions of the teriofauna and ancient man during the Likhvin epoch at the Medzhybizh locality in Ukraine. In V. N. Stepanchuk (Ed.), *Medzhybizh locality and the problems of Lower Paleolithic studies on the East European Plain* (pp. 70—78). Ternopil: ООО "Terno-graph" (in Ukrainian).
- Stepanchuk, V. N., Ryzhov, S. N., Matviyishina, Zh. N., Karmazinenko, S. P., & Moigne, A. M. (2014). First results of investigation of Medzhibozh Lower Paleolithic localities. In V. N. Stepanchuk (Ed.), *Medzhybizh locality and the problems of Lower Paleolithic studies on the East European Plain* (pp. 22—48). Ternopil: ООО "Terno-graph" (in Russian).
- Barabas, M., Walther, R., Wieser, A., Radtke, U., & Grün, R. (1993). Second interlaboratory-comparison project on ESR dating. *Applied Radiation and Isotopes*, 44, 119—129. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(93\)90206-P](https://doi.org/10.1016/0969-8043(93)90206-P).
- Blackwell, B. A. B. (2006). Electron spin resonance (ESR) dating in karst environments. *Acta Carsologica*, 35, 123—153. doi: <https://doi.org/10.3986/ac.v35i2-3.236>.
- Blackwell, B. A. B. (2001). Electron spin resonance (ESR) dating in lacustrine environments. In W. M. Last, J. P. Smol (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 283—369). Springer Netherlands.
- Blackwell, B. A. (1989). *Laboratory Procedures for ESR Dating of Tooth Enamel*. McMaster University Department of Geology Technical Memo.
- Blackwell, B. A. (1994). Problems associated with reworked teeth in electron spin resonance (ESR) dating. *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, 13, 651—660.
- Blackwell, B. A. B., & Blickstein, J. I. B. (2000). Considering sedimentary U uptake in external dose rate determinations for ESR and luminescent dating. *Quaternary International*, 68(1), 329—343. doi: 10.1016/S1040-6182(00)00056-2.
- Blackwell, B. A., & Schwarcz, H. P. (1993). ESR isochron dating for teeth: A brief demonstration in solving the external dose calculation problem. *Applied Radiation & Isotopes*, 44(1-2), 243—252. [https://doi.org/10.1016/0969-8043\(93\)90227-2](https://doi.org/10.1016/0969-8043(93)90227-2).
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., & Blickstein, J. I. B. (2001). ESR isochron exercises: how accurately do modern dose rate measurements reflect paleodose rates? *Quaternary Science Reviews*, 20(5-9), 1031—1039. doi: 10.1016/S0277-3791(00)00081-0.
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., Brassard, P., & Blickstein, J. I. B. (2002). U Uptake in tooth enamel: Lessons from isochron analyses and laboratory simulation experiments. *Proceedings of the International Symposium on New Prospects in ESR Dosimetry and Dating*. Society of ESR Applied Metrology, Osaka. *Advances in ESR Applications*, 18, 97—118.
- Blackwell, B. A. B., Liang, S., Golovanova, L. V., Doronichev, V. B., Skinner, A. R., & Blickstein, J. I. (2005). ESR at Treugol'naya Cave, northern Caucasus Mt., Russia: Dating Russia's oldest archaeological site and paleoclimatic change in Oxygen Isotope Stage 11. *Applied Radiation & Isotopes*, 62(2), 237—245. doi:10.1016/j.apradiso.2004.08.005.
- Blackwell, B. A. B., Skinner, A. R., Blickstein, J. I. B., Montoya, A. C., Florentin, J. A., Baboumian, S. M., Ahmed, I. J., & Deely, A. E. (2016a). ESR in the 21st century: From buried valleys and deserts to the deep ocean and tectonic uplift. *Earth Science Reviews*, 158, 125—159. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.001>.
- Blackwell, B. A. B., Kim, D. M. K., Curry, B. B., Grimley, D. A., Blickstein, J. I. B., & Skinner, A. R. (2016b). Shell we date? ESR dat-

- ing Sangamon Interglacial Episode deposits at Hopwood Farm, IL. *Radiation Protection Dosimetry*, 172(1-3), 283—295. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw213>.
- Blackwell, B. A. B., Sakhrani, N., Gopalkrishna, K. K., Singh, I., Harvati, K., Tourloukis, V., ... Skinner, A. R. (2018). ESR dating ungulate teeth and molluscs from Marathousa 1, Greece. *Quaternary International*.
- Brennan, B. J., Rink, W. J., McGuirl, E. L., & Schwarcz, H. P. (1997). Beta doses in tooth enamel by «one group» theory and the Rosy dating software. *Radiation Measurements*, 27, 307—314.
- Deely, A. E., Blackwell, B. A. B., Mylroie, J. E., Carew, J. L., Blickstein, J. I. B., Skinner, A. R. (2011). Testing cosmic dose rate models for ESR: dating corals and molluscs on San Salvador, Bahamas. *Radiation Measurements*, 46(9), 853—859. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.02.008>.
- Dibble, H. L., Aldaeias, V., Alvarez-Fernández, E., Hallett-Desguez, E., Jacobs, Z., Olszewski, D. I., ... El-Hajraoui, M. (2012). New Excavations at the Site of Contrebandiers Cave, Morocco. *Paleoanthropology*, 2012, 145—201. doi:10.4207/PA.2012.ART74.
- Dibble, H. L., Aldaeias, V., Jacobs, Z., Olszewski, D. I., Rezek, Z., Lin, S. C., ... El-Hajraoui, M. (2013). On the industrial attributions of the Aterian and Mousterian of the Maghreb. *Journal of Human Evolution* 64, 194—210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.10.010>.
- Dimitrijević, V., Mrdjić, N., Korać, M., Chu, S., Kostić, D., Jovičić, M., & Blackwell, B. A. B. (2015). The latest steppe mammoths (*Mammuthus trogontherii* (Pohlig)) and associated fauna on the Late Middle Pleistocene steppe at Nosak, Kostolac Basin, Northeastern Serbia. *Quaternary International*, 379, 14—27. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.06.025>.
- Dmytruk, Y., & Stepanchuk, V. (2017). Pedo-geochemical assessment of a Holsteinian occupation site. In D. Dent & Y. Dmytruk (Eds.), *Soil science working for a living: Applications of soil science to present-day problems*. Springer Nature.
- Doronichev, V. (2016). The Pre-Mousterian industrial complex in Europe between 400 and 300 ka: Interpreting its origin and spatio-temporal variability. *Quaternary International*, 409, 222—240. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.05.063>.
- Kahlke, R. D., & Kaiser, T. M. (2011). Generalism as a subsistence strategy: advantages and limitations of the highly flexible feeding traits of Pleistocene *Stephanorhinus hundsheimensis* (Rhinocerotidae, Mammalia). *Quaternary Science Reviews*, 30, 2250—2261. doi:10.1016/j.quascirev.2009.12.012.
- Lee, H. K., Rink, W. J., & Schwarcz, H. P. (1997). Comparison of ESR signal dose-responses in modern and fossil tooth enamels. *Radiation Measurements*, 27(2), 405—411. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(96\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(96)00112-6).
- Mishra, S., White, M. J., Beaumont, P., Antoine, P., Bridgland, D. R., Limondin-Lozouet, N., ... White, T. S. (2007). Fluvial deposits as an archive of early human activity. *Quaternary Science Reviews*, 26(22-24), 2996—3016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.035>.
- Moigne, A. M., Stepanchuk, V. N., & Rizhov, S. (2014). MIS 11-9 locality of Medzhibozh, Ukraine: Archeological and paleozoological evidence. *Abstracts of the XVII World UISPP Congress 2014 in Burgos*.
- Rekovets, L., Chepalyga, A., & Povodyrenko, V. (2007). Geology and mammalian fauna of the Middle Pleistocene site, Medzhybozh, Ukraine. *Quaternary International*, 160(1), 70—80. doi:10.1016/j.quaint.2006.09.014.
- Roebroeks, W., & Villa, P. (2011). On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Shimelmitz, R., Kuhn, S. L., Jelinek, A. J., Ronen, A., Clark, A. E., & Weinstein-Evron, M. (2014). 'Fire at will': The emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution*, 77, 196—203. doi:10.1016/j.jhevol.2014.07.005.
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., Chasteen, D. E., Shao, J. M., & Min, S. S. (2000). Improvements in dating tooth enamel by ESR. *Applied Radiation and Isotopes*, 52(5), 1337—1344. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(00\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00092-0).
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., Chasteen, D. E., & Shao, J. M. (2001a). Q band ESR studies of fossil tooth enamel. *Quaternary Science*

- Reviews*, 20(5-9), 1027—1030. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00066-4).
- Skinner, A. R., Blackwell, B. A. B., & Lothian V. (2001b). Calibrating ESR ages in the 2-Ma range at Olduvai Gorge, Tanzania. Paleoanthropology Society, Kansas City, MO. *Journal of Human Evolution*, 40(3), A22.
- Stepanchuk, V. N. (2009). Medzhibozh, Ukraine. Early Middle Pleistocene evidence of human dispersal in the east European plain. In A. P. Derevianko, M. V. Shunkov (Eds.), *The earliest human migrations in Eurasia*. Makhachkala: Institute of Archaeology and Ethnography Press.
- Stepanchuk, V. N. (2013). Studies of Lower Palaeolithic sites in Medzhibozh. In M. Yamada (Ed.) *Archaeological and Geological Researches in Ukraine* (pp. 27—38). Center for Obsidian and Lithic Studies, Nagano.
- Stepanchuk, V. N., & Moigne, A. M. (2016). MIS 11-locality of Medzhibozh, Ukraine: Archaeological and paleozoological evidence. *Quaternary International*, 409, 241—254. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.050>.
- Stepanchuk, V. N., Ryzhov, S., Rekovets, L., & Matviishina, Z. N. (2010). The Lower Paleolithic of Ukraine: Current evidence. *Quaternary International*, 223—224, 131—142. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.006>.
- Wieser, A., Debuyst, R., Fattibene, P., Meghifene, A., Onori, S., Bayankin, S. N., Blackwell, B. A. B., ... Trompier, F. (2005). The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, 62(2), 163—171. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.08.027>.