

УДК 550.93 : 551.791

А. МОЛОДЬКОВ, А. РАУКАС

## ВОЗРАСТ ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭЛЕКТРОННО- ПАРАМАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО (ЭПР) ДАТИРОВАНИЯ РАКОВИН СУБФОССИЛЬНЫХ МОЛЛЮСКОВ

### Введение

Планомерная геологическая съемка с заложением новых буровых скважин и введение в практику геологических работ изотопно-геохимических и физических методов датирования показали, что история плейстоцена в северных районах страны сложнее, чем представлялась до сих пор. Это обстоятельство потребовало пересмотра существующих стратиграфических схем и переоценки возраста ряда разрезов, а также характера и границ межледниковых водоемов. Однако использование в этих целях традиционных палеоботанических и изотопных методов (радиоуглеродного и уран-иониевого) часто не приводит к ожидаемым результатам из-за хорошо известных погрешностей этих методов, в частности в приложимости к раковинам моллюсков (Olsson, 1974; Kaufman и др., 1971). Для образцов возрастом 0,3—1 млн. лет использование последних вообще не представляется возможным из-за ограниченного возрастного диапазона: 20—50 тыс. лет для радиоуглеродного, 200—250 тыс. лет для уран-иониевого.

В этом аспекте понятен интерес, который проявляют исследователи к новым возможностям определения физического возраста обитавших в море организмов и к расширению номенклатуры методов датирования морских отложений.

Так, в последние годы внимание многих исследователей привлекали работы, показывающие принципиальную возможность использования ЭПР-спектроскопии для датирования геологических и археологических объектов (Ikeya, 1975; Моисеев, 1980; Ikeya, Ohmura, 1981; Hennig, Grün, 1983; Molodkov, 1986 и др.).

Использование ЭПР-метода в этих целях имеет существенные достоинства — это прежде всего:

- возможность проведения неdestructивных анализов образцов различного состава и генезиса;
- возможность проведения практически неограниченного числа повторных измерений одного и того же образца;
- минимальная предварительная обработка образцов;
- незначительная навеска образцов (50—250 мг);
- широкий круг потенциальных объектов датирования;
- теоретическая возможность датирования событий практически от современных до нескольких миллионов лет назад.

К настоящему времени в результате предварительных экспериментов признаны перспективными для дальнейших исследований более 25 объектов разного минерального состава, таких, например, как кальцит, ископаемые кости и древесина, раковины моллюсков и др. (Hennig, Grün, 1983).



В данном случае для анализов были выбраны раковины субфоссильных моллюсков. Возможность их датирования была нами доказана (Молодьков и др., 1986) при исследовании морских голоценовых отложений Западной и Северной Эстонии. Полученные результаты находились в согласии с радиоуглеродными и спорово-пыльцевыми данными и хорошо вписались в эпейрогенетический спектр голоценовых береговых образований Балтийского моря (Kessel, Raukas, 1979). Анализ результатов доказал перспективность и необходимость дальнейших детальных исследований, направленных на разработку ЭПР-метода датирования раковин субфоссильных моллюсков четвертичного периода.

### Принцип и процедура ЭПР-датирования

Как известно, метод ЭПР-спектроскопии обеспечивает непосредственную индикацию парамагнитных дефектов кристаллической структуры. В случае природных минералов эти дефекты создаются ионизирующим излучением радиоактивных элементов, входящих в состав минерала и окружающей его среды. Интенсивность наблюдаемого ЭПР-сигнала коррелирует с количеством парамагнитных радиационно-индуцированных дефектов и, следовательно, с запасенной палеодозой и возрастом минерала. Предполагая уровень фоновой радиации постоянным, возраст в простейшем случае можно рассчитать по формуле

$$\text{возраст (тыс. лет)} = \frac{\text{палеодоза } P \text{ (Гр)}}{\text{годовая доза } D \text{ (мГр/год)}}. \quad (1)$$

Таким образом, проблема ЭПР-датирования тесно связана с корректным определением палеодозы, запасенной раковиной за время ее захоронения и с оценкой годичной дозы, при которой происходила эта аккумуляция. Задача эта весьма сложная и требует учета специфики как исследуемого объекта и окружающей его среды, так и техники ЭПР-спектроскопии.

### Определение запасенной палеодозы

Доза природной радиации, запасенная раковиной с момента ее образования (кристаллизации) или эквивалентная ей концентрация радиационных дефектов, определялась нами методом «добавочных доз», т. е. путем наложения лабораторных доз на природную с последующей экстраполяцией интенсивности ЭПР-сигнала к нулю (рис. 1).

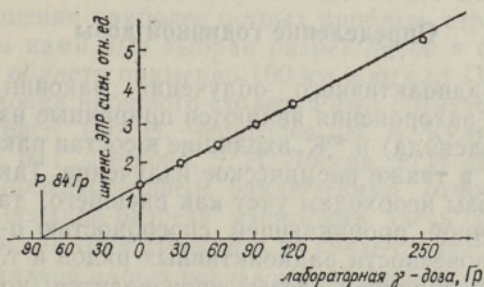


Рис. 1. Дозная зависимость и способ оценки аккумулярованной дозы при датировании раковин ЭПР-методом.

При датировании плейстоценовых раковин в качестве меры концентрации радиационных дефектов мы использовали площадь под кривой поглощения или ее амплитуду в области магнитного поля, отвечающей



требованиям тест-плато (рис. 2), а также сигнал первой производной, снятый в режиме сильной (до 1 мТл) перемодуляции (Molodkov, Hütt, 1985; Molodkov, 1986).

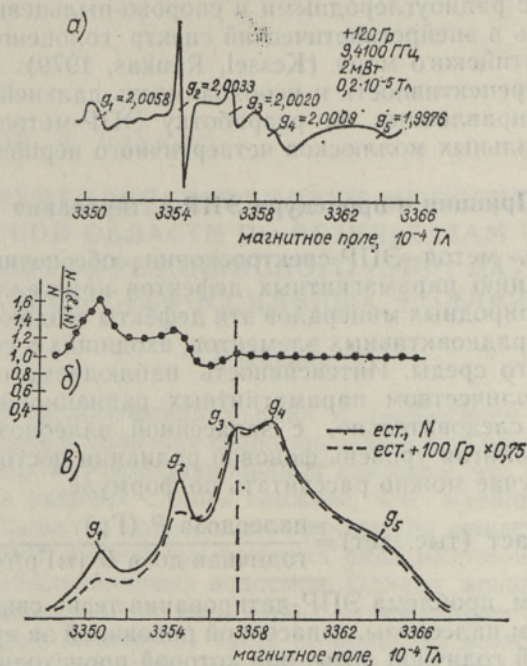


Рис. 2. Типичный ЭПР-спектр раковин субфоссильных моллюсков (а) и интегрированные ЭПР-спектры поглощения с природной (сплошная линия) и лабораторной (пунктирная линия) дозами облучения (б). С помощью тест-плато (б) определяется рабочая область магнитного поля ( $3357,3\text{—}3368,0 \cdot 10^{-4}$ Тл).

При датировании голоценовых раковин регистрацию ЭПР-спектра производили при повышенной (до 150 мВт) микроволновой мощности для выделения аналитической линии ( $g$ -фактор 2,0012) и подавления смежных линий ( $g_3 = 2,0020$  и  $g_5 = 1,9976$ ). Использовали также сдвиг фазы детектора примерно на  $110^\circ$  для подавления сигналов марганца и органических радикалов (Molodkov, 1988).

### Определение годичной дозы

Источниками радиоактивного облучения раковин субфоссильных моллюсков в месте захоронения являются природные изотопы  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  (с продуктами их распада) и  $^{40}\text{K}$ , входящие в состав раковин и окружающие их отложения, а также космическое излучение. Таким образом, при оценке годичной дозы необходим учет как внешнего, так и внутреннего облучения с различной проникающей способностью  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -компонентов, степени неравновесности радиоактивных рядов и т. д.

Расчет внешней годичной дозы производится по данным гамма-спектрометрического анализа содержаний U, Th, K во вмещающих отложениях (Молодков, 1986), внутренней — по данным нейтронно-активационного анализа раковин.

Годичная доза в уравнении (1) времязависима, поскольку дочерние элементы семейства урана, встроенного в структуру раковины в момент ее кристаллизации, распадаются с соответствующими им периодами полураспада. В связи с накоплением дочерних элементов распада урана,



в раковине происходит непрерывное увеличение мощности внутренней дозы облучения. Этот факт, а также необходимость отдельной оценки различных компонентов внешнего и внутреннего облучения и времени жизни радиационного дефекта учитываются при расчете возраста плейстоценовых раковин (Molodkov, 1986, 1988)

(2)

$$T = \tau \left[ - \ln \left( 1 - \frac{P_S}{\tau (D_C + D_{\text{ext}, \gamma} + k_1 D_{\text{ext}, \beta} + k_a D_{\text{int}, \alpha}^U + k_2 D_{\text{int}, \beta}^U + D_{\text{int}, \alpha, k_2 \beta}^{\text{Th}}(t))} \right) \right].$$

где  $\tau$  — время жизни аналитического сигнала (или соответствующего ему радиационного дефекта);  $P_S$  — определяемая в лаборатории запасаемая палеодоза;  $D_C$  — космический компонент внешней дозы;  $D_{\text{ext}, \gamma, \beta}$  — внешняя годовичная доза облучения;  $D_{\text{int}, \alpha, \beta}^U$  — внутренняя годовичная доза, обусловленная встроенным в раковину ураном;  $D_{\text{int}, \alpha, \beta}^{\text{Th}}(t)$  — времязависимый компонент внутренней годовичной дозы, обусловленный накоплением в раковине  $^{230}\text{Th}$  и продуктов его распада;  $k_1, k_2$  — коэффициенты, учитывающие зависимость внешней и внутренней  $\beta$ -дозы от геометрии раковины;  $k_a$  — эффективность  $\alpha$ -облучения.

### Обработка образцов и измерения

Все ЭПР-измерения проводили при комнатной температуре с использованием спектрометра ERS-221 (ГДР) с частотой модуляции 100 кГц, глубиной 0,04—1 мТл и микроволновой мощностью до 150 мВт.

Образцы раковин тщательно промывали в воде, остатки песка и глинистых минералов удаляли в ультразвуковой ванне. Для удаления  $\alpha$ -облученного слоя раковины обрабатывали 3 мин в 0,3н. HCl и затем измельчали. Порции образцов массой 50—300 мг последовательно облучали возрастающими  $\gamma$ -дозами, накладываемыми на природную дозу. Приготовление образцов и измерения производили при рассеянном дневном свете.

### Характеристика разреза и обсуждение полученных результатов

Для выяснения возможностей использования ЭПР-метода датирования в целях решения наиболее острых проблем стратиграфии северных районов страны нами был выбран разрез Затон в бассейне р. Мезени в Архангельской области примерно 100 км к югу от Полярного круга. Разрез начиная с конца прошлого столетия был объектом изучения для многих исследователей (Ф. Н. Чернышев, Н. А. Кулик, Е. Н. Былинский, Ю. Л. Рудович, В. Г. Легкова, Э. И. Лосева, Э. И. Девятова и др.), которые пришли к противоречивым заключениям относительно возраста и формирования осадков разреза. Неясными здесь оставались возраст и количество морских трансгрессий и их связь с оледенениями.

Основной задачей наших исследований было выяснение возраста морских осадков разреза. Обычно эти осадки рассматриваются как микулинские и накопление их связывают с бореальной трансгрессией на севере Европейской части Союза или ээмской на территориях Дании и Скандинавии. Но в последние годы помимо отложений микулинского межледниковья некоторыми авторами в данном регионе были выявлены отложения средневалдайского межледниковья, соответствующие более молодой трансгрессии. Были также попытки переоценить возраст



бореальной трансгрессии, которую ошибочно относили к средневалдайскому межледниковью.

Изученный разрез Затон вскрыт на левом берегу р. Мезени в обрыве надпойменной террасы высотой 12—13 м, в 1,5 км выше одноименного поселка (Девятова, 1982). В основании разреза прослеживаются голубовато-серые морские глины с обильной фауной моллюсков, среди которых по Э. И. Девятовой и Э. И. Лосевой (1964) доминируют крупные хорошо развитые толстостенные формы: *Cyprina islandica* L., *Astarte borealis* Chemn., *Astarte borealis* Chemn. var. *placenta* Mörch., *Astarte elliptica* Brown., *Mya truncata* L., *Saxicava arctica* L., *Cardium ciliatum* Fabr., *Neptunea despecta* L., *Pecten islandicus* Müll., *Macoma baltica* L. и др. Вверх по разрезу глины постепенно пополняются примесью песка (рис. 3) и переходят в серый песчанистый алеврит мощностью 1—1,5 м, а затем в серо-бежевый алевритовый песок мощностью 1—2,5 м. В этой части разреза доминирующий комплекс фауны состоит из *Littorina littorea* L., *Mytilus edulis* L., *Macoma baltica* L., *Macoma calcarea* Chemn., *Macra elliptica* Brown. Встречаются также лузитано-бореальные виды *Cardium edule* L. var. *rusticum* и *Cardium fasciatum* Mont. (Девятова, 1982), свидетельствующие об обмелении и опреснении бассейна.

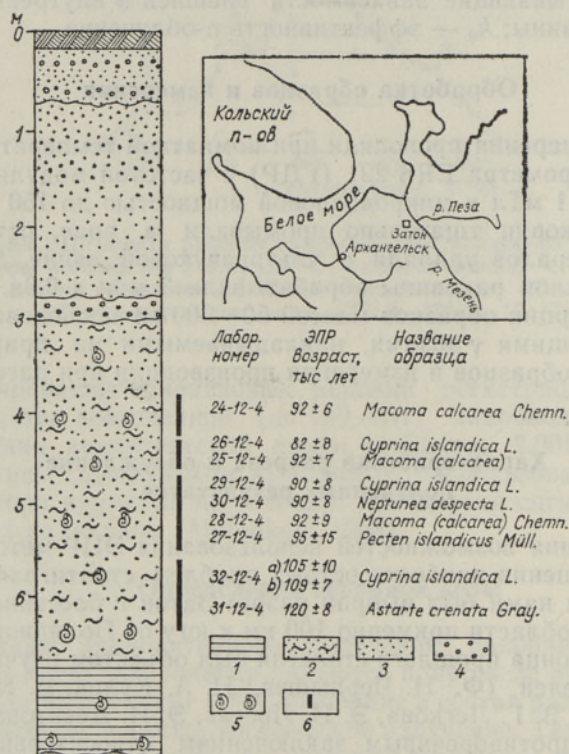


Рис. 3. Местоположение и строение исследованного разреза с результатами ЭПР-датирования раковин субфоссильных моллюсков. 1 — глины, 2 — песок алевритовый, 3 — песок, 4 — гравий и галька, 5 — раковины моллюсков, 6 — место отбора образцов.

Учитывая обстоятельство, что микулинский возраст подстилающих голубовато-серых глин не вызывает сомнений, основное внимание уделяли именно датированию фауны алеврито-песчаных отложений на глубине 3,8—6,4 м (табл. 1).



Результаты ЭПР-датирования раковин субфоссильных моллюсков

Лабораторный номер	Глубина отбора, м	Название образца	$D_{ext, \gamma, \beta} + D_c$ , мкГр/год	$\bar{D}_{int, \alpha, \beta}$ , мкГр/год	$U_{int}$ , 10-4%	Палеодоза $P_1$ , Гр	Возраст, тыс. лет
24-12-4	3,80—4,25	<i>Macoma calcarea</i>	1072	130	0,7	110,6	92±6
25-12-4	4,25—4,65	<i>Macoma calcarea</i>	1174	98	0,5	117,0	92±7
26-12-4	4,25—4,65	<i>Cyprina islandica</i>	920	104	0,6	84,0	82±8
27-12-4	4,65—5,60	<i>Pecten islandicus</i>	1130	28	0,2	110,0	95±15
28-12-4	4,65—5,60	<i>Macoma calcarea</i>	1111	85	0,5	110,0	92±9
29-12-4	4,65—5,60	<i>Cyprina islandica</i>	717	245	0,9	86,6	90±8
30-12-4	4,65—5,60	<i>Neptunea despecta</i>	914	128	0,5	93,8	90±8
31-12-4	5,60—6,40	<i>Astarte crenata</i>	885	111	0,5	119,5	120±8
32-12-4a	5,60—6,40	<i>Cyprina islandica</i>	835	114	0,5	103,4	109±7
32-12-4b	5,60—6,40	<i>Cyprina islandica</i>	835	106	0,5	98,8	105±0

Анализировали раковины различных видов моллюсков, отобранные непосредственно из разрезов и предоставленные нам Х. Путником (ИГ АН ЭССР). Полученные даты сопоставляли со спорово-пыльцевыми данными Э. И. Девятовой (1982). В целом полученные результаты говорят в пользу того, что весь изученный комплекс морских отложений в рассматриваемом разрезе накопился во время микулинского межледниковья на фоне постепенной регрессии и опреснения бассейна.

Полученные датировки в интервале от 82±8 до 120±8 тыс. лет (таблица) увязываются с современными представлениями о возрасте микулинского (ээмского, ресс-вюрмского) межледниковья (Пуннинг, Раукас, 1985). Результаты радиоуглеродных датировок (30—52 тыс. лет) и ураниониевых определений (45—80 тыс. лет), полученные в лаборатории изотопной геологии Института геологии АН ЭССР (Путник и др., 1985) представляются заниженными.

### Выводы

Хорошая сопоставимость полученных датировок с ранее известными геологическими данными по региону и сохранение их возрастной последовательности с увеличением глубины наводят на мысль, что наши результаты являются вполне достоверными и ЭПР-методика может быть с успехом использована в целях изучения возраста и эволюции морских водоемов. Кроме того, полученные нами данные свидетельствуют о наличии в разрезе Затон следов лишь одной трансгрессии, принадлежащей к бореальной, и говорят в пользу ее микулинского возраста.

### ЛИТЕРАТУРА

- Девятова Э. И. Природная среда позднего плейстоцена и ее влияние на расселение человека в Северодвинском бассейне и в Карелии. Петрозаводск, 1982.  
 Девятова Э. И., Лосева Э. И. Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода в бассейне р. Мезени. Л., 1964.



- Моисеев Б. М. Палеодозиметрический метод определения возраста месторождений радиоактивных элементов. — Докл. АН СССР, 1980, 854, 1227—1229.
- Молодьков А. Н. Лабораторный вариант гамма-спектрометра для определения содержания природных радионуклидов в породе. — В сб.: Изотопно-геохимические исследования в Прибалтике в Белоруссии. Таллин, 1986, 149—157.
- Молодьков А. Н., Хютт Г. И., Кессел Х. Я., Раукас А. В. Методические особенности ЭПР датирования раковин голоценовых субфоссильных моллюсков. — В сб.: Изотопно-геохимические исследования в Прибалтике и Белоруссии. Таллин, 1986, 158—172.
- Пуннинг Я.-М. К., Раукас А. В. Палеогеография позднечетвертичного времени Северной Европы. — В кн.: Итоги науки и техники. Палеогеография, 2. М., 1985.
- Путник Х. Э., Пуннинг Я.-М. К., Раямяэ Р. А., Мартма Т. А. Результаты изотопно-геохимических исследований раковин моллюсков из разреза Затон (Архангельская обл.). — Тез. докл. Всесоюз. конф. «Геохронология четвертичного периода». Москва, 1985, 41.
- Hennig, G. J., Grün, R. ESR dating in Quaternary geology. — Quatern. Sci. Rev., 1983, 2, 157—238.
- Ikeya, M. Dating a stalactite by electron paramagnetic resonance. — Nature, 1975, 255, 48—50.
- Ikeya, M., Ohmura, K. Dating of fossil shells with electron spin resonance. — J. Geol., 1981, 89, 247—250.
- Kaufman, H., Broecker, W. S., Thurber, D. I. The status of U-series methods of mollusc dating. — Geochim. Cosmochim. Acta, 1971, 35, 1155—1183.
- Kessel, H., Raukas, A. The Quaternary history of the Baltic. Estonia. — Acta Univ. Ups. Symp. Ups. Ann. Quing. Cel., 1979, 127—146.
- Molodkov, A. ESR dating of Quaternary shells: recent advances. — Nucl. Tracks, 1988, 13 (in press).
- Molodkov, A. Application of ESR to the dating of subfossil shells from marine deposits. — J. Ancient TL, 1986, 4, 3, 49—54.
- Molodkov, A., Hütt, G. ESR dating of subfossil shells: some refinements. — In: Ikeya, M., Miki, T. (eds). ESR Dating and Dosimetry, IONICS. Tokyo, 1985, 145—155.
- Olsson, I. V. Some problems in connection with the evaluation of  $^{14}\text{C}$  age. — Geol. Fören. Stockh., 1974, 96, 311—320.

Институт геологии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
13/X 1986

A. MOLODKOV, A. RAUKAS

ARHANGELSKI OBLASTI MERELISTE ÜLEMPLEISTOTSEENI SETETE  
VANUS SUBFOSSIILSETE MOLLUSKITE KODADE ELEKTRONPARAMAGNETILISE  
RESONANTSI DATEERINGUTE ALUSEL

Zatoni läbilõikes dateeritud subfossiilsete molluskite kodade vanus kinnitab boreaalse transgressiooni kuulumist Mikuulini jäävaheaega ja lubab väita, et EPR meetodit saab edukalt kasutada kvaternaariajastu merede vanuse määramiseks ja nende arengu selgitamiseks.

A. MOLODKOV, A. RAUKAS

THE AGE OF THE UPPER PLEISTOCENE MARINE DEPOSITS IN THE  
ARKHANGELSK DISTRICT ON THE BASIS OF THE ESR DATING OF  
SUBFOSSIL MOLLUSC SHELLS

The potential usage of a new, electron spin resonance (ESR) dating of subfossil shells is discussed on an example of the northern part of the East-European Plain. A variant of ESR technique, elaborated at the Institute of Geology of the Academy of Sciences of the Estonian SSR is described and the Mikulino age of the Boreal transgression proved.