



## ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ВРЕМЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДАТИРОВАНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Н. Л. Алукер, Я. М. Суздальцева, А. Н. Чернов

При определении возраста четвертичных отложений термолюминесцентным (ТЛ) методом возникает ряд трудностей. Они связаны с многообразием влияющих на процесс получения достоверных датировок факторов, которые и анализируются в работе. Для оценки временных интервалов датирования проводятся расчеты времени жизни носителей зарядов при определенных температурах на средне- и высокотемпературных ловушках, изучается характер зависимости накопления ТЛ сигнала в определенных пиках термолюминесценции от дозы облучения в диапазоне доз до 100 кГр. В качестве дополнительного параметра для получения более достоверной информации предлагается использовать отношение интенсивностей в средне- и высокотемпературных ТЛ пиках. Учет тенденций изменения этих отношений позволяет избежать ошибки при оценке временного диапазона.

**Ключевые слова:** термолюминесценция, детектор, тестовая доза облучения, мощность дозы, термолюминесцентное датирование, четвертичные отложения.

## EVALUATION OF QUATERNARY DEPOSITS TIME LIMIT POTENTIAL DATING USING THERMO-LUMINESCENT METHOD

N. L. Aluker, Ya. M. Sudzaltseva, A. N. Chernov

The dating of Quaternary deposits by means of thermo-luminescent method (TL) is concerned with a number of difficulties associated with a variety of factors influencing on the obtaining of proved datings. These factors are analyzed in the work. To assess time intervals of dating calculations of charge carriers life span under fixed temperatures at medium and high temperature traps are carried out, the dependence of thermoluminescent signal accumulation in definite peaks of thermoluminescence from dose rate in dosage range up to 100 kGy is studied. As advanced option for obtaining more reliable information it is suggested to use the intensity ratio in medium and high temperature thermoluminescent peaks. Registration of change trends in these ratios enables researchers to avoid mistakes during evaluation of time span.

**Keywords:** thermoluminescence, detector, test radiation dose, dose rate, thermoluminescent dating, Quaternary deposits.

Несмотря на огромный объем собранной информации о самом верхнем слое земной коры, геология четвертичных отложений до сих пор остается одной из самых дискуссионных. Достоверность и точность палеогеографических и палеоклиматических исследований определяется состоянием стратиграфии и хронологии реконструируемых интервалов. Особенную важность приобретает достоверность стратиграфической информации при использовании геологических данных для исследований, связанных с прогнозом изменений природной среды и климата ближайшего будущего, что требует получения точных сведений для максимально узких временных интервалов [6]. Для решения этой задачи необходимы расчленение массивов отложений и точные стратиграфические корреляции. В настоящее время интенсивно развиваются такие дозиметрические методы датирования четвертичных отложений, как термолюминесценция (ТЛ) и оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ) [7, 9]. Проводится множество исследований, связанных с развитием теоретических основ и усовершенствованием методик [8, 10, 11]. Одним из важных параметров, влияющих на надежность результатов при ТЛ и ОСЛ датировании, является время

жизни электронов в ловушках, соответствующих определенным пикам ТЛ.

В Кемеровском государственном университете и Институте экологии человека СО РАН при этом выполняются основные условия проведения надежных датировок: временной диапазон для керамики находится в области линейности дозового накопления за счет природного фона, надежно фиксируется 0-момент (момент отжига керамики), т. е. рубеж, с которого начинается накопление дозы [1]. Увеличение степени надежности и достоверности ТЛ метода датирования четвертичных отложений является актуальной задачей.

Цель данной работы – оценка предельных временных возможностей использования ТЛ метода при датировании четвертичных отложений. Для ее достижения необходимо решение следующих задач.

1. Оценка времени жизни носителей зарядов в различных ловушках при определенных температурах (для оценки способности образцов сохранять запасенную светосумму в течение длительного времени).

2. Изучение дозовых зависимостей накопления сигнала в определенных пиках ТЛ при облучении в широком дозовом диапазоне (для оценки



временных пределов применимости метода при датировании четвертичных отложений).

### Основа метода ТЛ датирования

Метод определения геологического возраста пород базируется на предположении, что природная высокотемпературная термолюминесценция является индикатором аккумулятивной дозы, запасенной породой за счет воздействия естественного радиационного фона, обусловленного природными радионуклидами и космическим фоном. Следовательно, сигнал высокотемпературной ТЛ пропорционален запасенной породой дозе, а значит и геологическому возрасту пород, и может применяться для определения возраста и различных корреляций геологических структур.

Однако при определении возраста четвертичных отложений по ТЛ приходится сталкиваться с рядом трудностей, которые связаны с большим числом факторов, влияющих на интенсивность ТЛ сигнала (термальная история породы, содержание в ней различных примесей, метаморфические процессы, особенности структуры и т.д.). В связи с этим для получения достоверных датировок большое внимание необходимо уделять отбору коллекции образцов.

Для повышения надежности метода необходимо располагать геологическими данными о формировании структур и использовать предварительные исследования проб другими методами (измерения спектров поглощения, отражения в видимой и ИК областях, спектров люминесценции, рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава проб и т.д.).

В настоящее время для подготовки образцов для датирования в основном используется классическая методика выделения мономинеральной фракции кварца из представленной на анализ пробы [5]. Методика достаточно трудоемка, включает в себя ряд механических и химических операций<sup>1</sup>.

Исходя из опыта работы по проведению датирования археологической керамики, авторы допускают использование для анализа проб без

<sup>1</sup> Из пробы путем отмучивания в воде удаляется глинистая фракция. Проба просушивается и просеивается на ситах для выделения фракции нужного размера (обычно используется фракция 0,1–0,25 мм). На ультразвуковом диспергаторе осуществляется отделение зерен кварца от сростков. Путем промывки пробы в разбавленном растворе соляной кислоты удаляются примеси карбонатов. Отделение кварца от тяжелых минералов осуществляется в бромформе (CHBr<sub>3</sub>) или в жидкостях Клеричи (раствор формиата HCOOTI и малоната HOOC-CH<sub>2</sub>-COOTI таллия) с помощью центрифугирования. Полученная мономинеральная фракция кварца промывается в разбавленном растворе соляной кислоты. Далее проба подвергается дополнительной химической обработке в концентрированной плавиковой кислоте в течение 40 мин.

предварительной механической и химической обработки. Тогда подготовка сводится к сухой расситовке проб и выделению определенного для всей коллекции фракционного размера зерен (0,08–0,2 мм). В этом случае также надежно фиксируется сигнал ТЛ необлученной пробы, образец не подвергается химическому воздействию кислот, не нарушается поверхностный слой зерен, для которого существенен вклад воздействия излучений с малыми пробегами.

### Образец и аппаратура, применяемая для его исследования

Эксперименты проводились на образцах четвертичных отложений (состоящих преимущественно из кварцевого песка), отобранных из прибрежной зоны Рижского залива в районе Булдури с глубины 20–40 см. Измерения осуществлялись на образцах определенного фракционного размера (0,08–0,2 мм).

Измерения кривых термовысвечивания необлученных и облученных проб четвертичных отложений проводились на ТЛ комплексе Risø TL/OSL Reader TL-DA-15A и на термолюминесцентной установке ДТУ-01М.

Для облучения проб использовалась установка РХМ-γ-20. Гамма-установка представляет собой установленный на станине свинцовый контейнер, в центре которого расположен неподвижный облучатель в виде кассеты с источниками гамма-излучения. Центральную камеру образуют шток и пробка, которые при помощи механизма подъема и поворота пробки перемещаются по центральному каналу относительно облучателя, закрепленного на корпусе контейнера (на станине гамма-установки), также имеется шесть боковых камер. Принцип работы установок основан на использовании гамма-излучения радиоактивного изотопа кобальта-60, создающего высокоэнергетическое гамма-излучение (1,17 и 1,33 МэВ), обеспечивающее в качестве одного из механизмов поглощения гамма-квантов образование электрон-позитронных пар.

Объект облучения, предназначенный для исследования, устанавливается на рабочий столик и с помощью механизма опускается в рабочую камеру. Спустя определенное время шток с рабочим столиком поднимается вверх, и объект облучения извлекается из рабочей камеры. В связи с тем что мощность дозы составляет примерно 6 кГр/ч, мы можем проводить исследования накопления дозы до сотен кГр, что труднодостижимо при использовании других облучателей.

### Экспериментальное определение параметров ТЛ. Оценка времени жизни носителей зарядов на локальных уровнях при различных температурах

Температура, при которой происходит накопление дефектов за счет ионизирующего излучения в образце, имеет очень большое значение для ус-



ловий накопления дозы и сохранения информации о дозе облучения, так как эффективность накопления дефектов является температурно-зависимым процессом. Даже небольшие повышения температуры в процессе геологической жизни породы относительно средней (региональный метаморфизм, природные катастрофы, пожары и т.д.) могут существенно изменить ТЛ характеристики пробы.

Для оценки применимости минерала или породы для возрастных определений решающими являются свойство минералов пробы сохранять информацию об облучении в течение актуального исторического периода (стабильность создаваемых облучением дефектов) и характер зависимости накопления ТЛ сигнала от дозы облучения. Для этого необходим предварительный анализ термолюминесцентных характеристик пробы, включающий оценку глубины уровней захвата носителей заряда (энергии активации –  $E$ ) и частотного фактора ( $S$ ), для каждого из наблюдаемых пиков ТЛ [3, 4].

На рис. 1 приведена кривая термовысвечивания необлученного образца. На ней выделяются среднетемпературный (220–270 °С) и высокотемпературный (330–390 °С) пики, интенсивность ТЛ последнего преобладает. Наблюдается также еще один более высокотемпературный пик (440–460 °С), но он характерен не для всех образцов и потому для данных объектов детально не изучался.

Были определены энергии активации и частотный фактор для различных ТЛ пиков.

Энергия активации оценивалась по методу Урбаха (эмпирической формуле для медленной скорости нагрева):

$$E = T_m / 400,$$

где  $T_m$  – температура максимума пика, К;  $E$  – энергия активации, эВ.

Для нахождения частотного фактора использовался метод Луцкика:

$$S = \frac{\beta}{\delta} \lambda T_m^{\delta},$$

где  $S$  – частотный фактор,  $c^{-1}$ ;  $\beta$  – скорость нагревания, °С/с;  $T_m$  – температура максимума пика, К;  $\delta$  – полуширина пика на половине высоты, °С.

Для исследованных нами образцов с наблюдаемыми сложными кривыми ТЛ в температурном диапазоне 200–400 °С энергии активации варьируют от 1,2 до 1,7 эВ, значения частотного фактора в пределах погрешности оцениваются в  $10^{12} c^{-1}$ . Оцененное время жизни сохранения информации об облучении при таких параметрах для самых высокотемпературных ловушек достигает сотен миллионов лет.

Огромное влияние температуры на время жизни электронов на ловушках иллюстрируется расче-

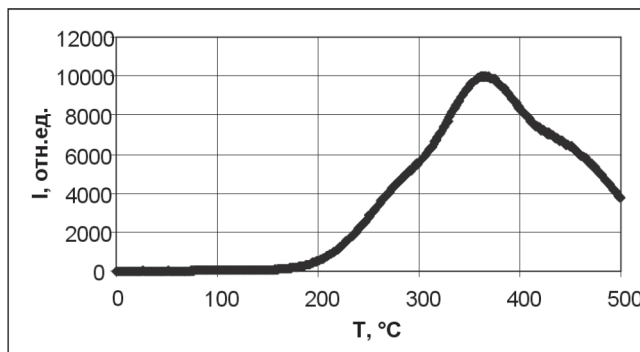


Рис. 1. Кривая термолюминесценции необлученного образца

тами, выполненными для различных ТЛ пиков, за которые ответственны ловушки, характеризующиеся параметрами, представленными в таблице.

Расчет проводился по следующим формулам:

$$\tau_1 = \tau_2 \exp\left(\frac{E(1/T_1 - 1/T_m)}{k}\right),$$

$$\tau_1 = \tau_2 \frac{1}{S} \exp(E/kT_m),$$

где  $\tau_1$  – время жизни электронов на ловушках при определенной средней температуре существования объекта в захоронении, с;  $\tau_2$  – время жизни электронов на ловушке в максимуме пика ТЛ (пик  $T_m$ ), с;  $E$  – энергия активации, эВ;  $T_m$  – температура максимума пика, К;  $T_1$  – поверхностная температура, К;  $S$  – частотный фактор,  $c^{-1}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана, эВ/К.

Для хронологии пригодны только такие ловушки, в которых время жизни электронов (дырок) при поверхностных температурах хотя бы в 10–20 раз больше возраста исследуемых объектов [2].

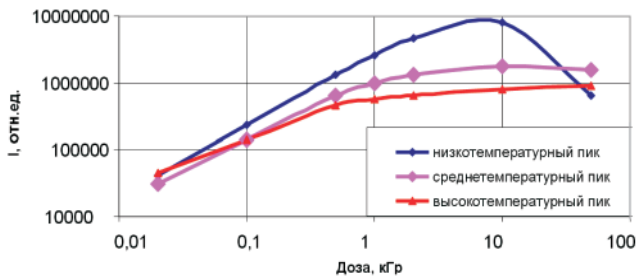
Исходя из изложенного, можно сделать вывод о том, что для датирования отложений возрастом более сотен тысяч лет можно использовать только достаточно высокотемпературные пики ТЛ.

### Изучение дозовой зависимости накопления ТЛ для различных ТЛ пиков

Следующим важным параметром, характеризующим степень пригодности пробы для опре-

Зависимость времени жизни электронов в ловушках ( $\tau_1$ ) от температур ( $T_1$ )

$T_m$ , °С	$S$ , $c^{-1}$	$E$ , эВ	$\tau_1$ (лет) при различных $T_1$ (°С)				
			-20	-10	0	10	20
130	$10^{12}$	1,01	4	0,6	0,1	$3 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$
160	$10^{12}$	1,08	100	20	3	0,6	0,1
220	$10^{12}$	1,23	$10^5$	$10^4$	$2 \cdot 10^3$	300	50
250	$10^{12}$	1,31	$4 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$10^3$
260	$10^{12}$	1,33	$10^7$	$10^6$	$10^5$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$
270	$10^{12}$	1,36	$3 \cdot 10^7$	$10^6$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$
330	$10^{12}$	1,51	$3 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^6$
350	$10^{12}$	1,56	$3 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^7$
370	$10^{12}$	1,61	$3 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$10^9$	$1,5 \cdot 10^8$
390	$10^{12}$	1,66	$3 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{12}$	$10^{11}$	$10^{10}$	$10^9$



**Рис. 2.** Дозовые зависимости интенсивностей разных ТЛ пиков

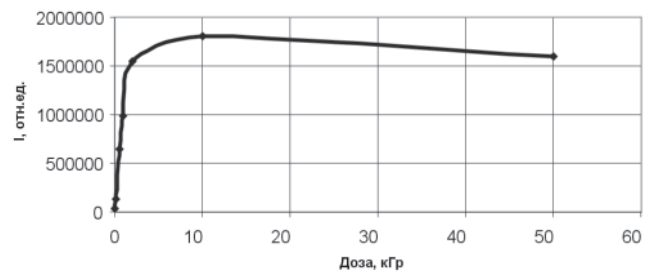
деления ее возраста, является линейность накопления аккумулярованной в результате облучения дозы (дозовая зависимость накопления сигнала ТЛ в определенных пиках, используемых для анализа).

Эксперимент проводился с целью определения предела насыщения основных наблюдаемых после облучения ТЛ пиков. Облучение образцов проводилось в очень широком дозовом диапазоне (от 50 Гр до 100 кГр). В области доз до 1 кГр для точного определения поглощенной дозы использовались термолюминесцентные детекторы ТЛД-К, в области более высоких доз расчет проводился исходя из проведенных измерений с использованием временной зависимости облучения.

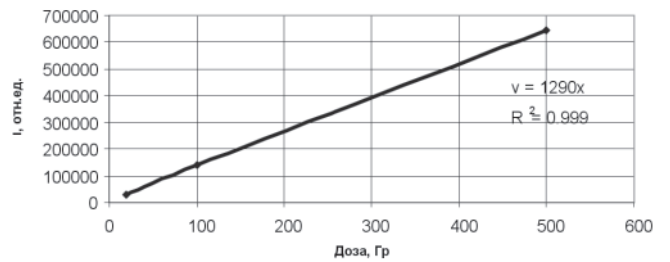
После облучения образцов на кривой термо-высвечивания появляется дополнительный низкотемпературный пик (140–150 °С), связанный с более мелкими ловушками.

Исходя из дозовой зависимости роста интенсивностей различных ТЛ пиков видно (рис. 2), что при средней мощности дозы 0,4 сГр/год на средне- и высокотемпературных пиках можно в области линейности (около 0,8 кГр) работать до возрастов  $2 \cdot 10^5$  лет. Скорости накопления дозы в средне- и высокотемпературных пиках различаются. Начиная с возраста  $2,5 \cdot 10^5$  лет (0,8 кГр) прирост интенсивности сигнала в зависимости от дозы облучения сохраняется только для высокотемпературного пика и продолжается как минимум до нескольких миллионов лет (50 кГр). Интенсивности ТЛ низко- и среднетемпературного пиков насыщаются при дозах примерно 2 кГр. Для низкотемпературного пика выше дозы облучения 5 кГр наблюдается сильное падение интенсивности ТЛ сигнала, а для среднетемпературного пика – более слабое (см. рис 2). На рис. 3–7 показаны дозовые зависимости для средне- и высокотемпературных пиков в разных дозовых интервалах.

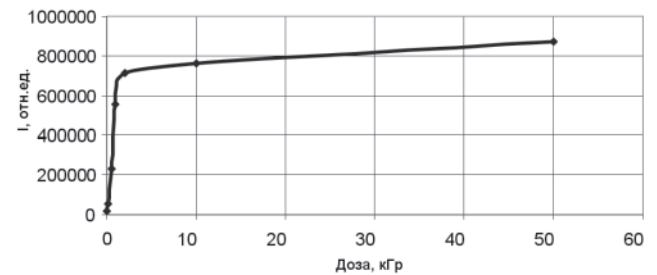
Не зная геологической истории образца и исходя только из ТЛ исследований, есть вероятность неверно определить возраст породы, работая в области линейности накопления сигнала ТЛ в разных дозовых интервалах, скорости накопления дозы в которых существенно различаются. На наш взгляд, избежать этого можно путем введения дополнительного параметра – отношения интенсивностей в средне- и высокотемпературных ТЛ пиках



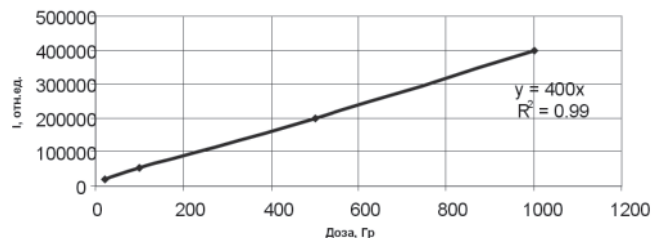
**Рис. 3.** Дозовая зависимость среднетемпературного ТЛ пика



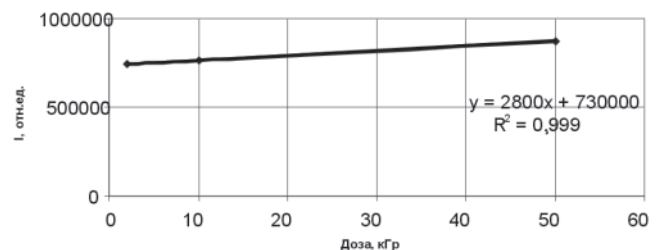
**Рис. 4.** Дозовая зависимость в области линейности для среднетемпературного ТЛ пика



**Рис. 5.** Дозовая зависимость высокотемпературного ТЛ пика

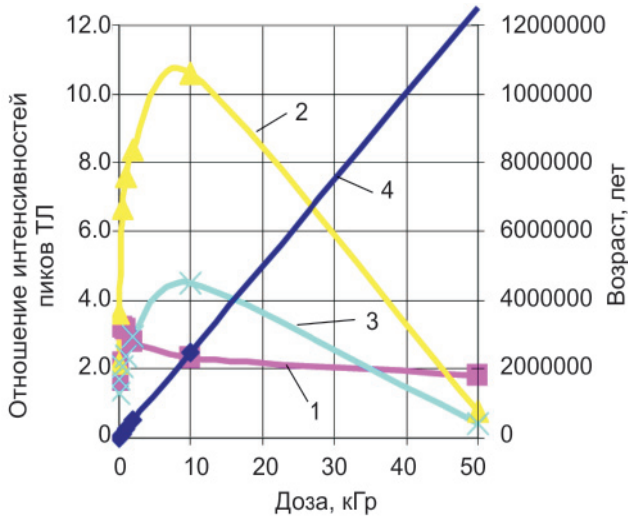


**Рис. 6.** Дозовая зависимость в области линейности при дозах до 1 кГр для высокотемпературного ТЛ пика



**Рис. 7.** Дозовая зависимость в области линейности при больших дозах для высокотемпературного ТЛ пика

(рис. 8, 9). Данный параметр важен для увеличения достоверности оценок временных интервалов существования геологического объекта. При этом, во-первых, исключается неопределенность влияния условий эксперимента, в том числе идентичности масс навески, а во-вторых, это соотношение способствует вычленению различных временных



**Рис. 8.** Дозовая зависимость отношения интенсивностей ТЛ пиков

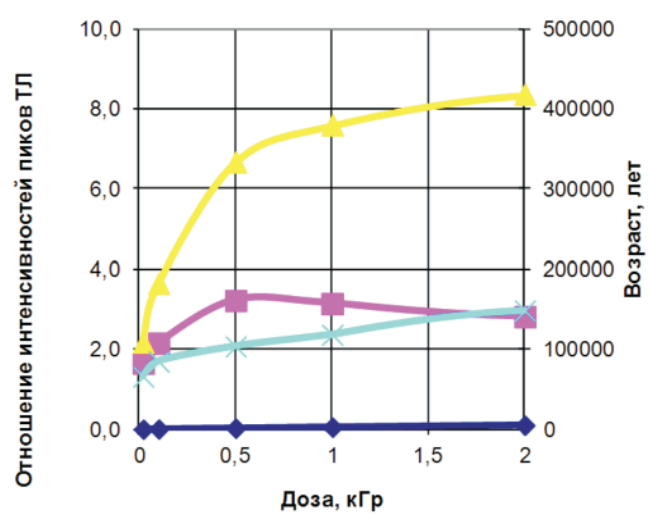
Отношение интенсивности ТЛ: 1 – среднетемпературного пика к высокотемпературному, 2 – низкотемпературного к высокотемпературному, 3 – низкотемпературного к среднетемпературному; 4 – вспомогательная ось, возраст, лет

диапазонов с разными скоростями накопления дозы.

Отношение интенсивности низкотемпературного пика к средне- и высокотемпературным пикам после лабораторного облучения существенно падает при облучении большими дозами, т.е. для образцов старше миллиона лет. Отношение среднетемпературного пика к высокотемпературному практически не меняется и составляет примерно 2 (см. рис. 8).

В области возрастов в сотни лет отношение интенсивности низкотемпературного пика к средне- и высокотемпературным растет, максимум наблюдается при возрастах около  $2 \cdot 10^6$  лет. Отношение интенсивности среднетемпературного пика к высокотемпературному проходит через максимум при возрастах порядка  $10^5$  лет, достигая 3,5-кратного превышения среднетемпературного пика над высокотемпературным при лабораторном облучении. Однако в природных условиях разные условия стабильности ловушек могут приводить к частичному высвечиванию среднетемпературного пика и уменьшению отношения.

Предварительно оценить возрастной интервал можно по отношению интенсивностей низкотемпературного пика к средне- и высокотемпературному после облучения хотя бы двумя разными дозами. Это позволяет выделить временной диапазон, в котором находится исследуемый образец (рост или спад отношений). При облучении только одной дозой без учета тенденции изменения отношений вероятно значительная ошибка в определении возраста, так как одинаковые отношения характерны для восходящей и спадающей частей дозовой зависимости.



**Рис. 9.** Отношение интенсивностей ТЛ пиков в области малых доз

Усл. обозн. см. на рис. 8

### Выводы

Получены расчеты времени жизни носителей зарядов на различных ловушках в исследуемых образцах. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что для работы с отложениями четвертичного периода при средних для Сибири температурах можно использовать только достаточно высокотемпературные ТЛ пики. Оцененное время жизни для самых высокотемпературных ловушек составляет сотни миллионов лет. Однако для хронологических целей пригодны ловушки, в которых время жизни носителей заряда в 10–20 раз больше возраста исследуемых объектов, что приводит к уменьшению пределов датирования до миллионов лет.

При определении возраста четвертичных отложений по ТЛ, приходится сталкиваться с рядом трудностей, связанных с многообразием влияющих на нее факторов. Это прежде всего возможный частичный отжиг в участках нагрева пород (высвечивание пород пожарами, химическое выветривание, процессы перекристаллизации, изменение термолюминесценции минералов в зонах тектонических подвижек и т.д., что приводит к отсутствию надежного 0-момента) и изменчивый минеральный состав отложений. В связи с этим к отбору образцов необходим чрезвычайно аккуратный подход, включающий обычно отбор стратиграфической колонки (в соответствии с требованиями отбора проб для ТЛ анализа) и имеющей строгую геологическую привязку.

Исходя из полученных дозовых зависимостей накопления ТЛ для эталонного образца (преимущественно кварцевого прибрежного песка Рижского залива), можно сделать вывод о линейности накопления дозы для среднетемпературного пика в пределах до 0,8 кГр (далее наблюдается насыщение ТЛ), что позволяет работать до возрастов  $2 \cdot 10^5$  лет. Кроме того, для высокотемпературного



пика наблюдаются две области линейности с различным наклоном прироста дозы: до 1 кГр (возраст  $2,5 \cdot 10^5$  лет) и в области больших доз – до 50 кГр (возраст от  $2,5 \cdot 10^5$  и до нескольких миллионов лет).

Как дополнительный параметр для получения более достоверной информации может использоваться отношение интенсивностей в средне- и высокотемпературных ТЛ пиках до и после лабораторного облучения и отношения более высокотемпературных пиков к низкотемпературным.

Учет тенденций изменения этих отношений позволяет избежать ошибки при оценке временного диапазона.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-90765, проект № 14-06-31068, проект №14-05-31501).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Датирование** археологической керамики термолюминесцентным методом [Текст] / Я. М. Комарова (Суздальцева), Н. Л. Алукер, В. В. Бобров, Н. В. Сорокина // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47, № 5. – С. 614–618.
2. **Кирюшин, Ю. Ф.** Определение возраста древней керамики термолюминесцентным методом [Текст] / Ю. Ф. Кирюшин, И. И. Матросов // Новые методы в археологии. – Томск, 1980. – С. 54–64.
3. **Лущик, Ч. Б.** Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах [Текст] / Ч. Б. Лущик, А. Ч. Лущик. – М.: Наука, 1989. – 262 с.
4. **Марфунин, А. С.** Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах [Текст] / А. С. Марфунин. – М.: Недра, 1975. – 327 с.
5. **О достоверности** термолюминесцентного метода датирования в геологии [Текст] / Г. И. Хютт, Я.-М. К. Пуннинг, А. В. Смирнов, Р. А. Раямяэ // Изотопные методы измерения возраста в геологии. – М.: Наука, 1979. – С. 239–247.
6. **Чагырская** пещера – стоянка среднего палеолита Алтая [Текст] / А. П. Деревянко, С. В. Маркин, В. С. Зыкин [и др.] // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2013. – № 1. – С. 2–27.
7. **Improved** methodology and new thermoluminescence ages for the dune sequence in south-east South Australia [Text] / D. J. Huntley, J. R. Prescott // Quaternary Science Reviews. – 2001. – Vol. 20. – P. 687–699.
8. **Liritzis, I.** Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environmental materials (Sedimentary Deposits). Pt I: Techniques [Text] / I. Liritzis // Global Nest: the Int. J. – 2000. – Vol. 2, N 1. – P. 3–27.
9. **Luminescence** dates for the palaeolithic site of Piekary Ila (Poland): comparison between TL of burnt flints and OSL of a loess-like deposit [Text] / N. Mercier, H. Valladas, L. Frogeta [et al.] // Quaternary Science Reviews. – 2003. – Vol. 22. – P. 1245–1249.
10. **New** Technique in Retrospective TL Dosimetry: Pre-dose Effect in the 230 °C TL Glow Peak of Porcelain [Text] / H. Y. Goksu, D. I. K. Stoneham, I. K. Bailiff, G. Adamiec // A Appl. Radiat. Isot. – 1998. – Vol. 49, N 1–2. – P. 99–104.
11. **Watanuki, T.** A comparison of GLSL, IRSL and TL dating methods using loess deposits from Japan and China [Text] / T. Watanuki, S. Tsukamoto // Quaternary Science Reviews. – 2001. – Vol. 20. – P. 847–851.

## REFERENCES

1. Komarova (Sudzaltseva) Y.M., Aluker N.L., Bobrov V.V., Sorokina N.V. [Dating of archeological ceramics by thermo-luminescent method]. *Neorganicheskiye materialy – Nonorganic materials*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 614–618. (In Russ.).
2. Kiryushin Yu.F., Matrosov I.I. [Dating of ancient ceramics]. *Novye metody v arkheologii* [New methods in archeology]. Tomsk, 1980, pp. 54–64. (In Russ.).
3. Luschik Ch.B., Luschik A.Ch. *Raspad elektronnykh vozbuzhdeniy s obrazovaniyem defektov v tverdykh telakh* [Dissociation of electron excitations with defect creation in solid bodies]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 262 p. (In Russ.).
4. Marfunin A.S. *Spektroskopiya, lyuminestsentsiya i radiatsionniye tsentry v mineralakh* [Spectroscopy, thermo-luminescence and radiation centers in minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 327 p. (In Russ.).
5. Hyutt G.I., Punning Ya.M.K., Smirnov A.V., Rayamyae R.A. *O dostovernosti termolyuminestentnogo metoda datirovaniya v geologii. Isotopnyye metody izmereniya vozrasta v geologii* [On reliability of thermo-luminescent dating method in geology. Isotopic method of age determination in geology]. Moscow, 1979, Nauka Publ., pp. 239–247. (In Russ.).
6. Derevyanko A.P., Markin S.V., Zysin V.S., et al. [Chagyrskaya Cave as the site of Middle Paleolithic in the Altai]. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii – Archeology, ethnography and anthropology of Eurasia*, 2013, no. 1, pp. 1–27. (In Russ.).
7. Huntley D.J., Prescott J.R. Improved methodology and new thermoluminescence ages for the dune sequence in south-east South Australia. *Quaternary Science Reviews*, 2001, vol. 20, pp. 687–699.
8. Liritzis I. Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environment materials (Sedimentary Deposits). Pt I. *Techniques. Global Nest: the Int. J.*, 2000, vol. 2, no. 1, pp. 3–27.
9. Mercier N., Valladas H., Frogeta L., et al. Luminescence dates for the palaeolithic site of Piekary



Ila (Poland): comparison between TL of burnt flints and OSL of a loess-like deposit. *Quaternary Science Reviews*, 2003, no. 22, pp. 1245–1249.

10. Goksu H.Y., Stoneham D., Bailiff I.K., Adamiec G.A. New Technique in Retrospective TL Dosimetry: Pre-dose Effect in the 230 °C TL Glow Peak

of Porcelain. *Applied Radiation and Isotopes*, 1998, vol. 49, no. 1–2, pp. 99–104.

11. Watanuki T., Tsukamoto S. A comparison of GLSL, IRSL and TL dating methods using loess deposits from Japan and China. *Quaternary Science Reviews*, 2001, no. 20, pp. 847–851.

© Н. Л. Алукер, Я. М. Суздальцева, А. Н. Чернов, 2014

**АЛУКЕР Надежда Леонидовна**

Кемеровский государственный университет (КГУ), Кемерово, доцент, к. ф-м. н.

*E-mail: naluker@gmail.com*

**СУЗДАЛЬЦЕВА (Комарова) Яна Михайловна**

Институт экологии человека (ИЭЧ) СО РАН, Кемерово, науч. сотр., к. х. н.

*E-mail: y-komarova@mail.ru*

**ЧЕРНОВ Алексей Николаевич**

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН), инженер, аспирант

*E-mail: geotl@yandex.ru, geotl@igm.nsc.ru*

**ALUKER Nadezhda**, PhD, ass. prof., Kemerovo State University (KSU), Kemerovo, Russia. *E-mail: naluker@gmail.com*

**SUZDALTSEVA (Komarova) Yana**, PhD, Institute of Human Ecology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IHE SB RAS),

Kemerovo, Russia. *E-mail: y-komarova@mail.ru*

**CHERNOV Alexei**, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: geotl@yandex.ru, geotl@igm.nsc.ru*