Sprawozdania Archeologiczne, 2012, 64, s. 113-147

SPRAWOZDANIA ARCHEOLOGICZNE 64, 2012
PL ISSN 0081-3834

Grzegorz J. Poręba*, Zbigniew Śnieszko**, Piotr Moska***

NEW PERSPECTIVES ON THE DATING OF PREHISTORIC SOIL EROSION IN LOESS AREAS

ABSTRACT

Poręba G.J., Śnieszko Z., Moska P. 2012. New perspectives on the dating of prehistoric soil erosion in loess areas. *Sprawozdania Archeologiczne* 64, 113–147.

This study presents the results of Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of colluvial sediment profiles from Biedrzykowice and Świerklany in the archaeologically well documented loess area of southern Poland, The method, the criteria for site selection and the limitations of the interpretation of the dates obtained are discussed. It is shown that Holocene colluvial sediments containing grains of quartz can be approximately dated using OSL. Despite its many limitations, it remains the only method suitable for direct dating of colluvial sediments. The obtained OSL dates are consistent with the archaeological evidence. The Biedrzykowice profile, located 6 km from the Neolithic settlement at Bronocice, contains two layers of Holocene colluvial sediments. The older layer, OSL dated to 6–5 ka BP, is separated from the younger, medieval layer dated to 1,0–0,5 ka BP by a fossil soil. In Świerklany, where there are no known prehistoric settlements, the accumulation of colluvial sediments only started in the medieval period. The OSL dating confirms earlier assumptions that in natural Holocene ecosystems in loess areas of the moderate climate forest zones, mineral material was not transported by slope wash, or only to a minimal extent. This work is the first direct isotopic dating of colluvial sediments in Poland.

Key words: luminescence dating, colluvial sediments, Holocene, soil erosion, Neolithic
Received: 28.02.2012; Revised: 2.06.2012; Accepted: 5.07.2012

* Institute of Physics, Silesian University of Technology, Akademicka st. 2A, 44-100 Gliwice, Poland; grzegorz.poreba@polsl.pl
** Katowice School of Economics, Harcerzy Września st. 3, 40-659 Katowice, Poland; zsnieszko@poczta.onet.pl
*** Institute of Physics, Silesian University of Technology, Akademicka st. 2A, 44-100 Gliwice, Poland; piotr.moska@polsl.pl

INTRODUCTION TO THE ISSUE

Since the very beginning of agricultural use of loess areas the natural ecosystem has been disrupted. Disturbance of the natural vegetation cover, which had until then stabilised slopes, by agriculture resulted in a significant increase in susceptibility to water erosion by rainsplash, sheet wash and rill wash. Today, the Polish loess areas are almost entirely under cultivation and slopes are subject to soil erosion by water, and consequent deposits of sediments are at the foot of slopes. In Polish, the term *deluwium* is often used to describe these deposits (the term is used in the Polish version of this text), specifically to emphasise the role of water transport of sediments. In English, the term most similar to this concept is *colluvial sediments*, which can result in confusion during translation as in Polish language the products of mass transport are termed *koluwium* — its equivalent is the English *colluvium*, which describes both the material accumulated at the foot of steep slopes as a result of gravitational processes, as well as the products of slope washing (see *Glossary of geology* 1972).

The total mass of water eroded material accumulating at the foot of slopes is consistent with the difference between the amount of material removed from the slope and the amount of material discharged from the catchment area. The most effective slope wash processes are associated with large rainstorms and rapid melting of snow cover. During such events, soil erosion products accumulate only locally and most of the material is removed to the river valleys (Maruszczak, Trembaczowski 1956; Starkel 1997, and others). In the periods between downpours, the soil material is slowly and steadily transported over short distances by rainsplash processes, and as a result of mechanical agricultural procedures (e.g. ploughing).

The relationship between the quantity of material removed from the slope and the amount accumulated at its foot depends on the combination of slope geometry parameters, the agricultural regime and weather conditions. Long-term studies of soil erosion intensity carried out systematically on experimental plots, and more recently also the studies of sediments containing ^{137}Cs isotopes (possible volume of erosion during the last 50 years) and ^{210}Pb isotopes (possible volume of erosion during the last 100 years) indicate that, during the last century, a sediment layer of up to 1 m in thickness might have built up at the foot of slopes in loess areas. The research carried out by G. Poręba (2006) based on analysis of ^{137}Cs distribution on a cultivated loess slope in Ujazd shows that 1 m of colluvial sediments has accumulated at its foot in only the last 50 years. The calculations show that the average annual volume of soil loss during the last 50 years was 2 mm / year (locally from 0.2 to 8.1 mm). More than 50% of material removed by soil erosion was transported outside the dry valley.

In many of the profiles studied so far, the Holocene colluvial sediments overlie fossil soil that formed in natural ecosystems before the first noticeable effects of agricultural use

of the slopes. Less commonly, these sediments occur in sequences with buried soils separating them. Holocene colluvial sediments are laid down during phases of severe water soil erosion on cultivated slopes, and fossil buried soils represent phases of stabilisation after the cessation of farming. The structure of fossil soil profiles contains indirect information on the type of vegetation spreading onto the uncultivated land. In Polish loess areas seasonally active valleys (otherwise know as 'dry valleys') are common, and it in their floors that Holocene colluvial sediments of greatest thickness have been preserved.

The oldest agricultural pressure on the loess areas in Poland began in the Neolithic, when vast areas above the floors of river valleys were settled (Kruk 1973; 1980; 1993, Kruk, Milisauskas 1999; Kruk *et al.* 1996, Śnieszko 1985; 1995). There are grounds to believe that large scale environmental transformation was taking place in many archaeologically well-known Neolithic settlement regions in the Polish loess areas. Soil erosion, however, covered only the settlement areas and land used for agricultural purposes. Even in settlement micro-regions with high population densities the natural ecosystems survived (see fig. Kruk 2008, 160–161).

After the collapse of Neolithic agriculture the loess areas of Poland were settled repeatedly. If the break between the Neolithic activity and later agricultural exploitation was long enough for regeneration of natural vegetation, that period should be documented in the profiles by soils forming on the Neolithic colluvial sediments. If these soils are covered by further colluvial sediments this indicates renewed agricultural use. Preserved Holocene colluvial sediment profiles may therefore record the history of agricultural use of a particular slope. Geological and pedological records of the same events, however, are different even between adjacent profiles within the same dry valley. This is documented in the varying colluvial sediment sequences in Biała, where adjacent profiles located in the same dry valley recorded soil erosion events differently (Klimek 2003; Poręba *et al.* 2009).

A major problem in research on Holocene colluvial sediments is the lack of methods to correlate colluvial sediment layers in the profiles with specific stages of agricultural use of the slope. For a given slope which was used repeatedly for farming purposes, documentation of its history only on the basis of the characteristics of the colluvial sediments is practically impossible. Colluvial sediments with similar characteristics may have accumulated at different times, while colluvial sediments of varying characteristics could have accumulated during the same period. Frequently used procedures for approximate age assessment of sediments are radiocarbon dating of fossil soils underlying colluvial sediments and the use of fragments of pottery in the colluvial sediments floor. Dating of fossil soil humus using ^{14}C (mostly humins and humic acids) allows only for an indicative estimate of the age of soils, and do not determine the age of sediments overlying them. Such dates only support a conclusion that colluvial sediments are younger than the radiocarbon dating of the humus, but how much younger remains unknown. A similar problem relates to dating from pottery found in the sediments, as in this case also, they indicate that the sediments are younger than the earliest fragments of pottery, but not by how much.

Assessment of prehistoric soil erosion is, therefore, often based not on the results of its direct effects on specific slopes, but on the results of archaeological and geological research of Holocene sediments in river valleys in the catchment areas settled by farmers. Such information provided the basis for the overall model of the history of soil erosion processes, but it was not useful for detailed analysis of changes at specific sites.

The only solution to the chrono-stratigraphic problems of Holocene colluvial sediments may be isotopic dating of samples from these sediments. The use of radiocarbon dating carries uncertainty because much of the humic fraction present is redeposited, while the assumption that the age of organic macro-remains from the sediments (i.e. charcoal) is equivalent to the age of colluvial sediments in which they were found is often wrong (Bluszcz *et al.* 2007, Kaiser *et al.* 2007). The present authors suggest that the application of luminescence dating of quartz grains in the profiles of Holocene colluvial sediments in the loess areas is useful. The OSL method selected for this purpose allows for age tests of samples taken from anywhere in a profile. In the following sections the authors will present the physical basis and the advantages and limitations of this method.

CASE STUDIES

For the present study profiles from Biedrzykowice (Miechowskie loess) and Świerklany (next to the Rybnik loess border) were selected (Fig. 1) on the basis of the following criteria:

1. Profiles are located in archeologically well documented areas

The search for exposures of colluvial sediment focussed on areas where the settlement history is well known. If we assume that in a specific region of prehistoric settlement agricultural pressure impacted across its entire area and lasted for a long time, the colluvial sediments of corresponding age should be widespread. If, however, only parts of the slopes were cultivated, the colluvial sediments would have accumulated only where conditions were appropriate. Thus the lack of sediments in a specific profile does not document a gap in settlement, and archaeological research remains the basis for drawing conclusions on the spatial distribution of agricultural pressure.

2. Exposures are located in the bottom of valleys

Previous studies indicate that the best developed profiles of Holocene colluvial sediments occur in the bottom of dry valleys in the loess areas. The opportunity for direct access to exposures is provided by the vertical walls of gullies cutting through the dry valleys. Unfortunately, the most recent phase of gully erosion has removed most of the older Holocene sediments, and therefore, so far only a few suitable exposures have been found (Śnieszko 1995). In valleys without gullies, access to Holocene colluvial sediments is possible with mechanical excavation (Poręba *et al.* 2011; Klimek 2003).

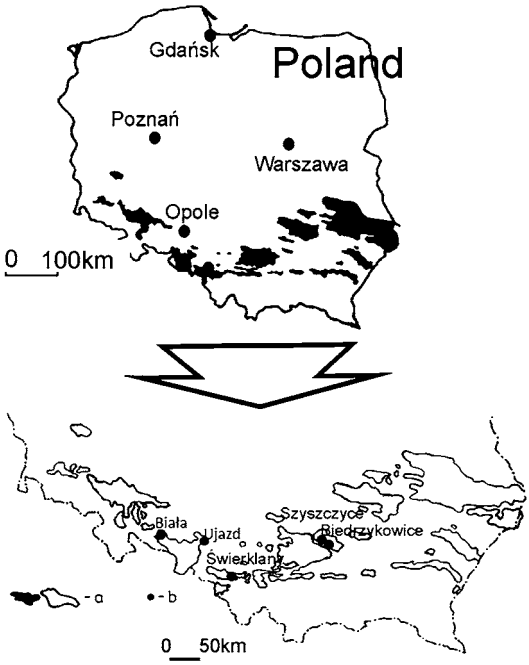


Fig. 1. Location of profiles referred to in the text. 1 — OSL dated sites, 2 — sites described in the text; 3–5 other sites referenced by the authors

Ryc. 1. Rozmieszczenie profilów cytowanych w tekście: 1–2 — stanowiska datowane OSL, opisywane w tekście; 3–5 inne stanowiska, na które powołują się autorzy

In Biedrzykowice, Neolithic agricultural pressure is very well documented at the site of Bronocice and its surrounding area, indicating the possibility of a major impact of farming on the landscape, especially in the period 3650–3100 BC (Fig. 2).

While there is no doubt that the agricultural pressure near the village of Bronocice was significant, delimitation of the area impacted by Neolithic farming has so far been possible only on the basis of the size and distribution of the population in the region, and knowledge of land use techniques applicable at the time. Archaeological survey of the village and its neighbouring area revealed no trace of agricultural pressure from the end of the Neolithic period to the Middle Ages, when the present-day pattern of villages was established. In the village of Biedrzykowice, located 6 km from the Neolithic settlement of Bronocice, a profile of colluvial sediments preserved in a dry valley beside the Sancygniówka river valley was identified, the significance of which had already been identified in the literature (Śnieszko 1985; 1995; Kruk *et al.* 1996). So far only the results of radiocarbon dating of fossil soil humus from the base of Holocene colluvial sediments were known for this site. This data was not directly correlated with the assessment of the age of sediments overlying the soil. Their primary stratigraphic interpretation was based on the results of archaeo-

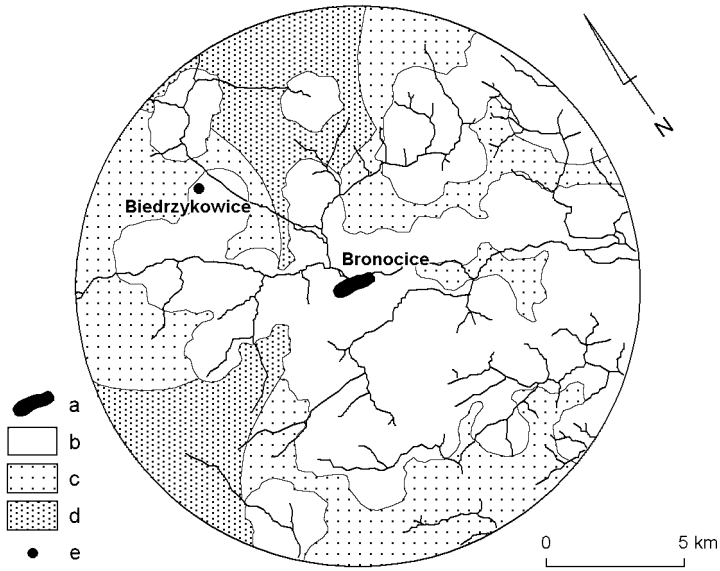


Fig. 2. The alleged reach of transformation in vegetation surrounding the settlement in Bronocice attributable to agricultural activities of the middle and lower Neolithic (after J. Kruk 2008 pp. 161, with permission), a — the settlement at Bronocice; b — range of concentrated agricultural pressure; c — diffuse agricultural pressure, d — intact (original) vegetation landscape; e — the profile in Biedrzykowice

Ryc. 2. Domniemany zakres przekształceń szaty roślinnej otoczenia osiedla w Bronocicach wywołanych użytkowaniem rolniczym przez społeczności środkowego i młodszego neolitu (after J. Kruk 2008 s. 161 — za zgodą autora); a — osiedle w Bronocicach; b — zasięg skoncentrowanego oddziaływania rolniczego; c — rozproszone oddziaływanie rolnicze; d — nienaruszony (pierwotny) krajobraz roślinny; e — profil w Biedrzykowicach

logical survey and palaeogeographic analysis of Holocene river sediments on the floor of the Sancygniówka river valley (Śnieszko 1985; Kruk *et al.* 1999). For the OSL tests in Biedrzykowice, samples were taken from both the humic horizons of fossil soils dated by radiocarbon, and from the overlying colluvial sediments. In total, the age of 10 samples from the 5,0 m thick profile were analysed (Fig. 3). In Świerklany, near the border of the Rybnik loess, archaeological salvage works exposed an area of 17 925 m^2 in which fragments of dry valleys were exposed, though no evidence of permanent prehistoric settlement was found. The oldest agricultural pressure may only have begun in the Middle Ages with the formation of the Świerklany settlement, which is attested in historical documents since the early thirteenth century. Courtesy of the director of research, Dr. D. Abłamowicz, deep excavations of the colluvial sediments were undertaken, and OSL dating carried out on samples taken from four excavations (Poręba *et al. in press*). In the exposure made in one of the dry valleys in the area examined by the archaeologists, a well developed profile of colluvial sediments and underlying fossil soils was preserved (Fig. 4). Their age will be discussed later in the text.

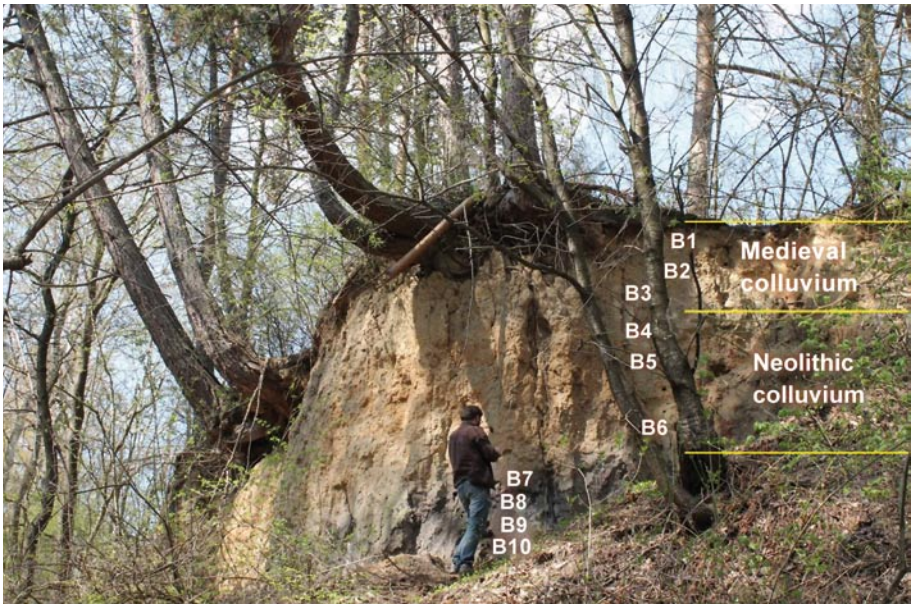


Fig. 3. Sampling site for OSL dating in Biedrzykowice
Ryc. 3. Miejsce poboru próbek do datowań OSL w Biedrzykowicach

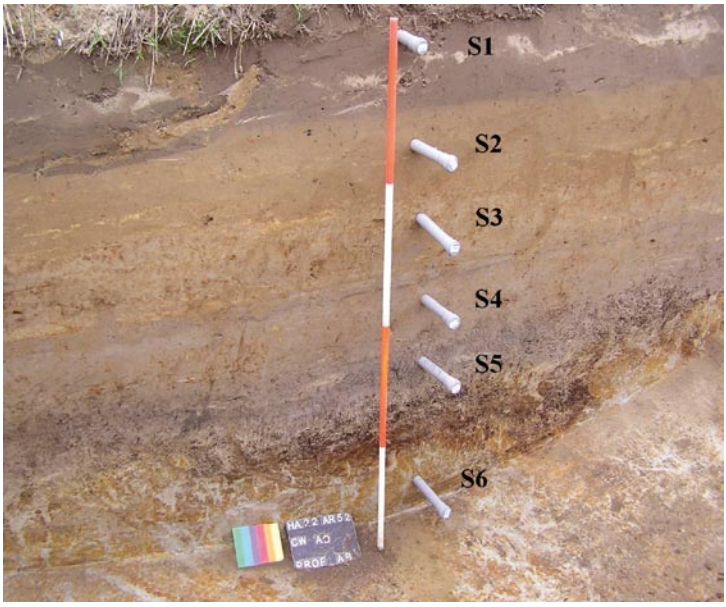
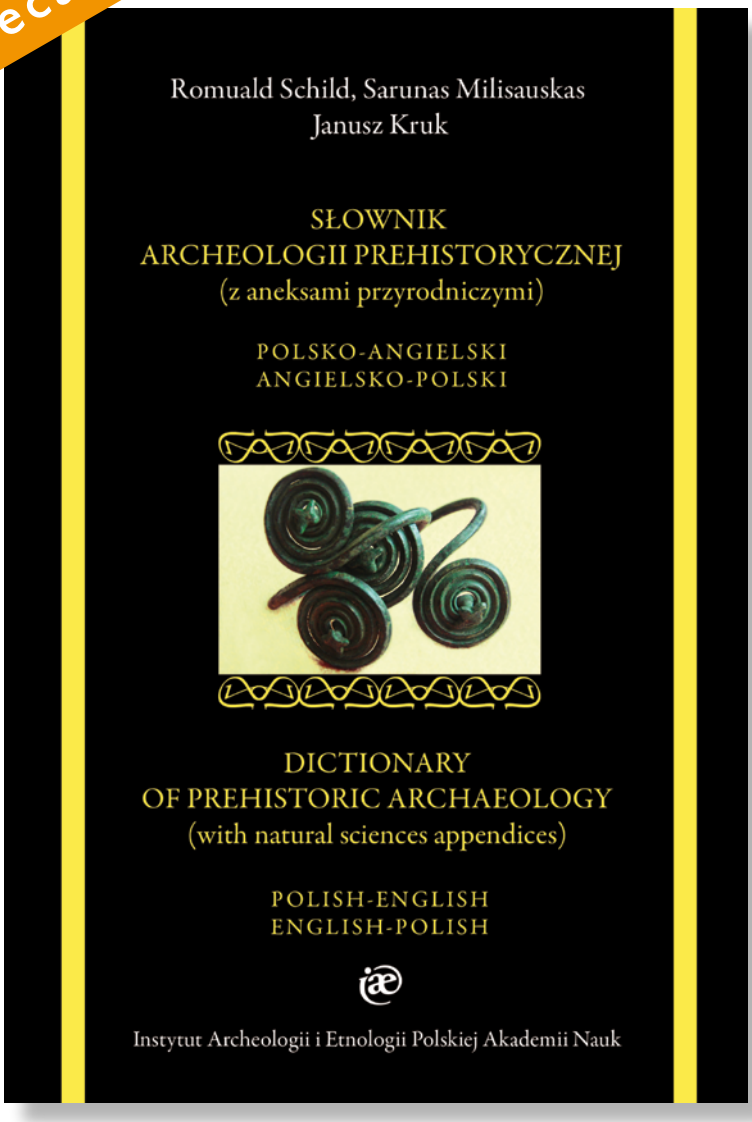


Fig. 4. Sampling site for OSL dating in Świerklany
Ryc. 4. Miejsce poboru próbek do datowań OSL w Świerklanach

Polecamy!



Dystrybucja

Instytut Archeologii i Etnologii PAN
Al. Solidarności 105, 00-140 Warszawa, **www.iaepan.edu.pl**
Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Ośrodek Archeologii Gór i Wyżyn
ul. Sławkowska 17, 31-016 Kraków, tel. 12 422 29 05, **www.archeo.pan.krakow.pl**

OSL DATING OF COLLUVIAL SEDIMENTS

Since colluvial sediments contain quartz, which has been used in geo-chronological testing with luminescence methods since the 1960s, the dating of these sediments using Optically Stimulated Luminescence (OSL) has been attempted. The OSL method exploits the dosimetric properties of quartz — that is the ability to store energy from ionizing radiation. For dating of sediments, age is determined by dating the last exposure of quartz grains to sunlight. During exposure of quartz grains to light (including sunlight), the previously stored ionizing radiation energy is released, thus zeroing the earlier luminescence signal (i.e. the record of the time from the previous stretches of radiation energy storage is deleted). After being cut off from light (i.e. by burial), quartz starts to store energy once more. The advantage of OSL is that even brief exposure to light during the formation of sediments results in a significant reduction in OSL of the grains. This phenomenon is different from thermo-luminescence, when even after long exposure to light residual thermo-luminescence (residual TL) remains. Residual thermo-luminescence can reach a value of up to several Gy (the **gray** — unit of absorbed dose, 1 Gy corresponds to the absorption of one joule of such energy by one kilogram of matter), what makes dating of young sediments using this method significantly more difficult.

OSL analysis compares the equivalent dose of ionizing radiation received by the quartz grains (sources of radiation are radio-nuclides naturally occurring in sediment, mainly isotopes of uranium and thorium series and potassium-40 isotope) and cosmic ray radiation to the current dose rate. In OSL the current dose rate can be shown for a year or a thousand years (mGy/a and Gy/ka respectively). The annual dose rate can currently be determined in laboratories, or directly in the field. Radioactivity in the sample is measured by gamma ray spectrometry, alpha ray spectrometry, mass spectrometry or dosimetry methods. In Polish laboratories gamma ray spectrometry or its newer version, semiconductor gamma ray spectrometry, is most commonly used.

Luminescence age is equal to the ratio of the absorbed dose of ionizing radiation from isotopes in the sediment and cosmic radiation (equivalent dose) to the current dose rate in the sediment. It is necessary to assume that the radiation dose rate was constant throughout the period of deposition of the sediment. Equivalent dose for the grains is determined by OSL readers, reading luminescence after stimulation with light of specific wavelength. Before the luminescence measurements, chemical preparation produces samples of pure quartz with a specific grain size range (typically 90–125 microns). All stages of testing (including sampling) are carried out without white light exposure.

The OSL method measures the absorbed dose for several “aliquot“ of the sediment (several mg), and much less often for individual grains. The problem is that only a few percent of grains in the sediment show adequate luminescence sensitivity, or intensity of luminescence signal.

The OSL method can be applied successfully to dating of sediments (particularly aeolian) not older than 200 000 years, and due to the methodical progress can be applied to sediments accumulated during the last few decades also.

The method, based on the principle that luminescence of grains as measured in laboratories is a function of time elapsed since their last contact with sunlight, makes it possible to determine the moment when their exposure to sunlight was cut off by being covered by sediments. One of the advantages of OSL is that it can date a few small portions from the same sample. As the samples are from sediments that were created as a whole at the same time, theoretically the results of age calculations of any small portion should be similar. In this case, it allows for dating the entire sample based on the average from the age of small portions that should present little differences. Unfortunately, very often the results of dating of small portions from the same sample differ quite significantly, which limits the reliability of the OSL dating method in some sediments containing quartz.

Different results from OSL measurements of small portions are a consequence of many environmental factors affecting the final laboratory results. In chrono-stratigraphy of Quaternary deposits, so far the best results have been obtained from Chinese loess (Lu *et al.* 2007, Lai 2010). Good light exposure of quartz grains in this case was due to exposure of grains to sunlight during their long transport.

It is surprising that quartz transported by slope wash from the soil surface on the short loess slopes is also very well "zeroed" as a result of sun exposure. This is documented primarily in the results of OSL dating of colluvial sediments, the time of creation of which was determined using the 137Cs method as falling within the last 50 years. The quartz grains eroded in the last 50 years from soils developed on loess, despite only a short transport to the foot of the slopes, have produced OSL ages of less than 200 years. Exposure during single transport episodes, even on a slope of several hundred meters in length (for example during heavy rainfall) would not be able to "zero" the whole mass of the grains (too short transport time). Therefore, some authors associate zeroing of grains on the slope only with repeated and prolonged transport at very short distances during rainsplash.

To explain the phenomenon of good exposure of quartz grains in Holocene colluvial sediments, the impact of processes other than transport during slope wash on their exposure is examined below.

LIMITATIONS IN AGE DETERMINATION OF OSL-DATED COLLUVIAL SEDIMENTS

As a result of slope wash, sediments made up mainly of displaced surface soil layers are formed (Fig. 5). In loess areas, this usually means decalcified quartz dust, or clay dust containing humus and iron compounds. A major limitation on the accuracy of OSL dating is a lack of specific knowledge about the changes in humidity over the period of sediment deposition, for which we know there were seasonal, annual and long-term differences.

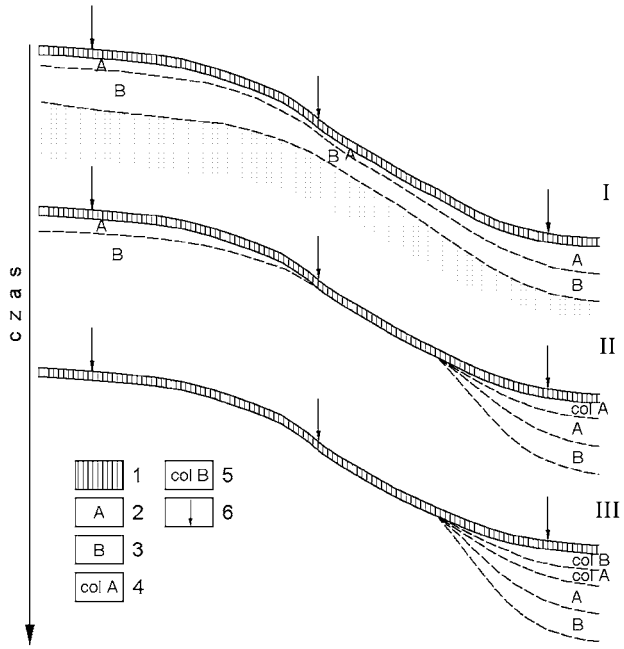


Fig. 5. Schema of accumulation of colluvial sediments at the foot of a slope under cultivation (own compilation from various sources and own observations).
I — early stage of agriculture; II, III further changes as a result of soil erosion. 1 — the soil floor subjected to farming activity; 2 — A level of soil in the catena; 3 — B level of soil in the catena; 4 — colluvial sediments corresponding to erosion of level A; 5 — colluvial sediments corresponding to erosion of level B; 6 — sunlight zeroing the previous OSL age of quartz grains; 7 — ionizing radiation affecting the size of the dose

Ryc. 5. Schemat akumulacji deluwiów u podnóża stoku objętego zabiegami agrotechnicznymi. Kompilacja wg różnych źródeł i własnych obserwacji
I — etap początków zabiegów agrotechnicznych; II, III kolejne zmiany pod wpływem erozji gleb. 1 — strop gleby objęty zabiegami agrotechnicznymi; 2 — poziom A gleby w katenie; 3 — poziom B gleby w katenie; 4 — deluwia odpowiadające spłukiwaniu poziomu A; 5 — deluwia odpowiadające spłukiwaniu poziomu B; 6 — światło słoneczne zerujące dawny wiek OSL ziaren kwarcu

Post-gley traces in sediments may infer long-term changes in humidity, but not the length of time during which the sample was more (or less) damp. This issue, however, is of little importance when small portions of the same sample have different OSL ages. Deciding which of the ages of small portions of the same sample correspond most closely to the age of the sediment is the most difficult interpretational problem. So far, this age was calculated using the average from the results obtained for small portions, but there are also other ways of determining the age of sediment, such as age modelling calculations (Galbraith *et al.*, 1999). The impact of different factors on OSL age of small portions in colluvial sediments is shown in the diagram below (Fig. 6).

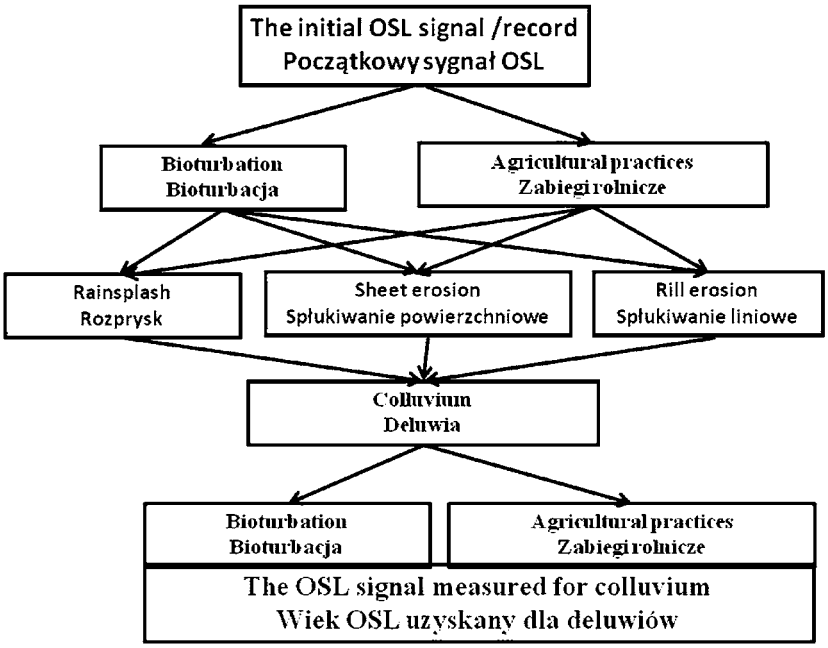


Fig. 6. Schema of stages of quartz grains exposure before final re-deposition at the foot of the slope. Further explanations in the text

Ryc. 6. Schemat etapów naświetlania ziaren kwarcu przed końcową redepozycją u podnóża stoku. Objaśnienia w tekście

The main conclusions of the studies carried out thus far on the subject can be summarised as follows:

1. Exposure of quartz grains on the surface of the Pleistocene loess took place from the beginning of the pedoturbation processes during the formation of soil at the end of aeolian accumulation (Fig. 7).

For at least several thousand years older grains reached the soil surface as a result of a slow and continuous Holocene zooturbation. Some grains exposed on the surface were transported to deeper soils by zoogenic and phytogenic channels. After a long period of time these processes effectively homogenised the OSL ages of quartz grains in the pedoturbation zone and "rejuvenated" their age, mainly in the humic levels, but also in the endopedons. In the areas covered with natural vegetation for thousands of years in the Holocene, only pedoturbation was responsible for the rejuvenation of the "OSL Pleistocene age", and the minimal (almost nonexistent) slope wash did not lead to the formation of mineral colluvial sediments.

2. With the first agricultural practices, additional exposure of quartz grains (previously zeroed by natural processes) on the surface of the soil began during mechanical distur-

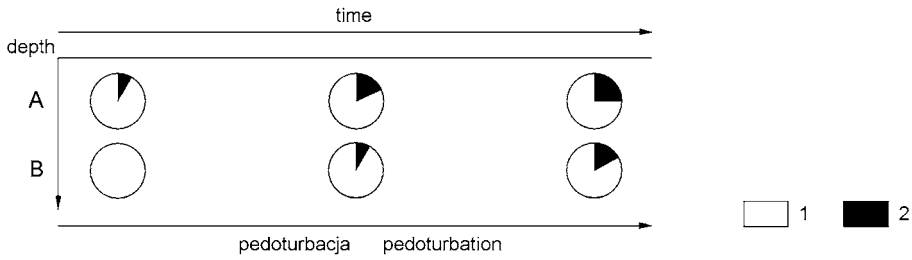


Fig. 7. Model of the influence of duration of pedoturbation on OSL age variations. 1 — grains with age inherited from sedimentation before pedogenesis, 2 — grains rejuvenated as a result of pedoturbation
Ryc. 7. Schemat wpływu długości czasu pedoturbacji na zmiany wieku OSL. 1 — ziarna o wieku odziedziczonym po sedymentacji przed pedogenezą; 2 — ziarna odmłodzone podczas pedoturbacji

bance. Deforestation and cultivation resulted in exposure of quartz grains to solar radiation. Systematic anthropogenic mixing increased the amount of exposed grains annually. With the exposure of the mineral components on the surface of the slope used for farming, the rate of slope wash processes (especially during rainfall and rapid thawing of snow cover) rapidly increased. The greatest slope wash occurred during heavy, large-dropped rainfall, while frequent torrential rain prevented longer exposure of grains on the slopes. Grains on the slopes were best exposed during the long intervals between torrential rain, when they were moved by in short stages and over short distances.

When interpreting effective zeroing during transport on a short slope, the comments made by M. Kirkby should be taken into consideration — he remarked that on occasion what was formerly attributed to sheetwash could have been caused by rainsplash, and this type of transport is not dependent on the distance of the watershed (after Klimaszewski 1978, 258)

During torrential rains, grains from: a) rainsplash, b) sheetwash and c) rill wash are mixed, further complicating the OSL record in colluvial sediments. The following processes should be considered:

a. Recent studies of downpours indicate that bombardment by rain drops causes splitting of aggregates on the surface, and effectively exposes individual grains of quartz to light. The results indicate a greater concentration of quartz grains in rainsplash products in relation to the parent material. The content of SiO_2 on the surface of the soil due to rainsplash increases from 80% before rainfall to 88–90% after precipitation (Dwucet, Śnieszko 1997).

b. During sheetwash the material from the soil surface, previously well-exposed during mechanical disturbance, is transported, and further zeroed by rainsplash.

c. During rill wash, poorly exposed material reaches the foot of the slopes. In the case of outwash from deep fissures, this is often the material retaining the Pleistocene OSL age (Fig. 8).

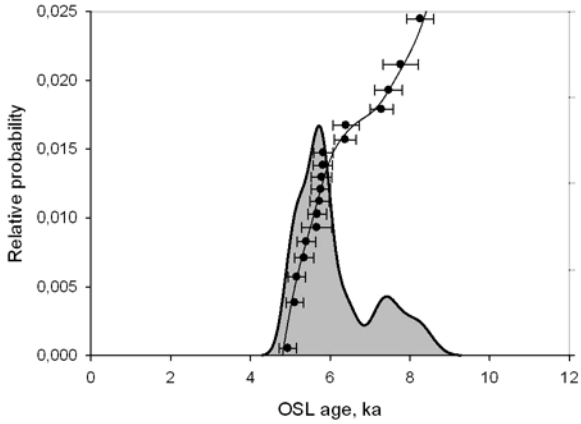


Fig. 8. Date distribution for small portions of samples accumulated during water transport of loess over a distance of 50 m in 2011 at Szyszczyce
Ryc. 8. Rozkład dat małych porcji próbki akumulowanej podczas spływu linijnego na odległość 50 m w 2011 roku w Szyszczycach

In each of the processes described above, exposure of quartz dust to water erosion depends on the stability of the aggregates that shield individual grains against the sun. The tendency of fine-grained soil sediments to aggregation affects the "aging" of the luminescence age of samples.

When analyzing the long-term phenomena of exposure of quartz grains on a slope under cultivation in the past, the following variables in potential processes should be considered:

1. mechanical mixing and multiple transport over very short distances on the slope over many years, during inefficient rill wash — effective exposure on the slope (good material for OSL dating, narrow, single-modal distribution of age results for small portions);

2. many years of ploughing and frequent rill wash associated with torrential rainfall — limited exposure on the slopes;

3. incidental ploughing and frequent rill wash associated with torrential rainfall — very bad exposure on the slope (material not suitable for dating — stretched, multi-modal distribution of the age results for small portions).

These limitations can be addressed through detailed analysis examining the OSL age distributions of single grains (Duller *et al.* 2000), but this is very time consuming and requires specialist equipment, and therefore remains relatively unpopular.

When grains of quartz in the humic horizons of slopes are consistently exposed to sunlight, the exposure of the humic horizons at the foot of the slopes is interrupted by covering with colluvial sediments. The next phase of erosion removes the "younger" material from the slope and, therefore, the OSL age of samples of colluvial sediments found higher in the

profiles is always younger than the age of deeper samples. The OSL age of the first quartz grains transported by soil erosion on the slope, and preserved in the colluvial sediments profiles should be close to the OSL age of quartz from the surface of the Holocene fossil soil underlying the colluvial sediments.

RESULTS OF OSL TESTING IN BIEDRZYKOWICE AND ŚWIERKLANY

As discussed above, the OSL dating of a colluvial sediment sample can be determined with an average from the age measurement of small portions. However, a better method is the presentation of the distribution or date ranges for the small portions. For obvious reasons, many users may prefer the presentation of a single "date". However, one test result, presented as an average, wrongly suggests that the dating result is highly reliable. As has been shown this is not the case. Assessments of the age of a sample based on the age of the youngest portion are also known, but in the case of soil colluvial sediments this method is also not accurate. In this paper, the authors will report results specifying the average, and also showing the distributions and age ranges for the small portions.

Only the narrow, single-modal distributions of the age of small portions can support determination of the approximate age of sediment. Multi-modal and "diffused" distributions pose serious problems in chrono-stratigraphic research. At this stage, when we are not using the OSL method for dating individual grains, such results from small portions should be rejected as unsuitable for the purposes of chrono-stratigraphy.

In both sites, the OSL age distributions of small portions of the samples are for the most part single-modal and "sharp"; differences in the results of dating of individual small portions are thus not large (Fig. 9)

Biedrzykowice

The Biedrzykowice exposure is located in the side of a gully off the side of the flat bottom in the upper reaches of a dry valley. The gully is covered entirely with a mixed forest of uneven aged trees (pine, oak, larch). The profile is located approximately 6 km (in a straight line) from the Neolithic settlement at Bronocice, and has already been published on several occasions (Śnieszko 1985; 1995; Kruk *et al.* 1996). The studied profile of 5 m thickness consists of several horizons, including sediments and soil from the late Vistulian and Holocene. The lower horizon is made of late Vistulian sediments (probably colluvial sediments) with a gleyed brown soil at the top, covered with a network of drying cracks. This horizon is overlaid by a dark grey humic horizon of grassland soil, covered with slightly lighter humic colluvial sediments. The middle horizon is composed of Holocene colluvial sediments, the original structure of which has been obliterated by brown soil processes in

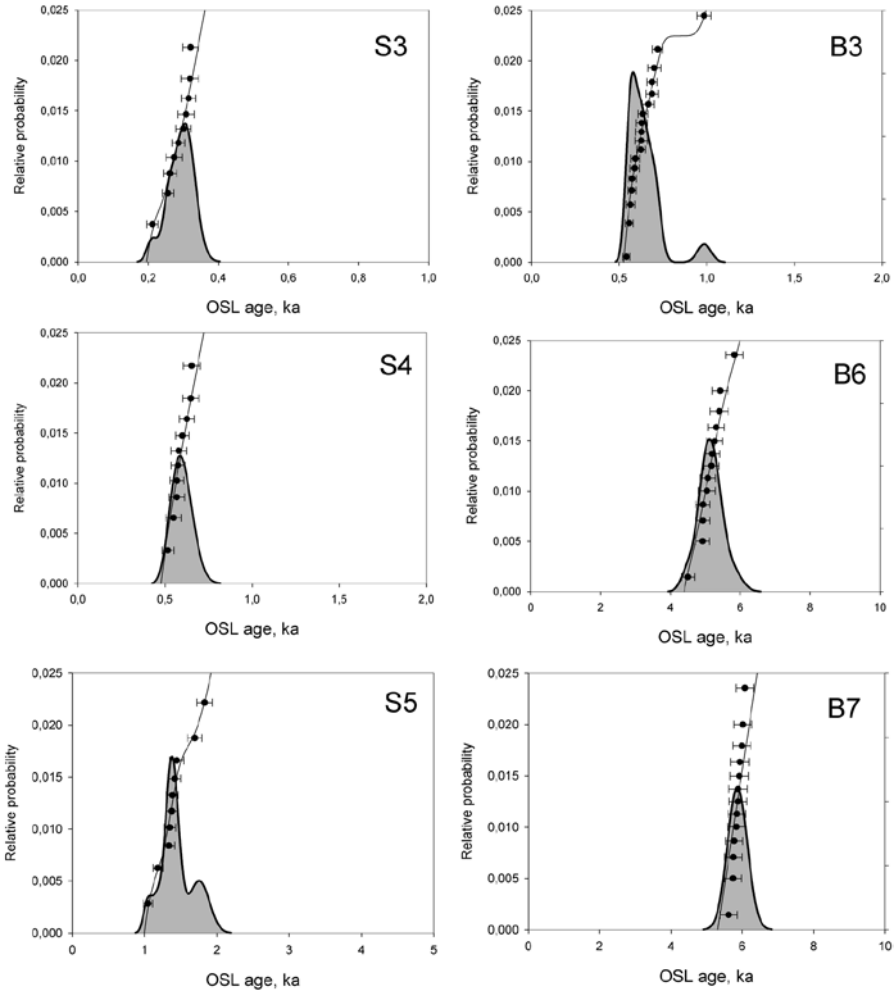


Fig. 9. OSL dates distribution for small portions of samples from the Biedrzykowice and Świerklany profiles
Ryc. 9. Rozkłady dat OSL małych porcji z wybranych próbek w Biedrzykowicach (B) i Świerklanach (S)

the younger fossil soil developed on their surface. The upper horizon is made up of further colluvial sediments. Therefore, in Biedrzykowice we see Late Vistulian-Holocene colluvial sediments, the accumulation of which was repeatedly interrupted by long stages of pedogenesis, blurring the original characteristics of sediments.

OSL results were obtained for 10 samples, taken from the late Pleistocene fossil soil (B10 dp. 425–430 cm), the lower part of the A-horizon of the Holocene grassland fossil soil (B9 dp. 402–410 cm), the upper part of the A-horizon of the Holocene grassland fossil soil (B8 dp. 385–390 cm), the oldest humic colluvial sediments (B7 dp. 360–365 cm), the lower

part of the oldest mineral colluvial sediments (B6 dp. 290–300 cm), the middle part of mineral colluvial sediments modified by processes of browning (B5 dp. 195–200 cm), the humic horizon on the surface of the colluvial sediments (B4 depth 150–155 cm), the colluvial sediments over the humic layer (B3 dp. 115–120 cm), the surface of the colluvial sediments overlying the level A fossil soil (B2 dp. 25–30 cm , B1 dp. 10–15 cm)

Samples B7, B6, B4 come from profiles where previously humus had been dated using C^{14}.

Samples B 10-B6 were collected from the Pleistocene-early Holocene soil and lithological complex, and are oldest colluvial sediments.

— B10. Humic horizon of the oldest fossil soil. Age of small portions within the range of 11 400–10 000 years BP (age from the model — 10 700 BP)

(^{14}C dating of humus -10 130 BP; 12550–11200 cal BP).

— B9. Lower part of the humic horizon of grassland fossil soil. Age of aliquot within the range 9300–8240 years BP (age from the model 8760 BP)

(^{14}C dating of humus 8600 BP; 9940–9400 cal BP)

— B8. Upper part of the humic horizon of grassland fossil soil. Age of small portions within the range of 7770–7020 years BP (age from the model — 7320 cal BP)

— B7. Oldest humic colluvial sediments. Age of small portions within the range of 6320–5850 years BP (age from the model — 6100 BP). ^{14}C dating — 8620 BP; 10150–9400 cal BP.

— B6. Lower part of oldest mineral colluvial sediments. Age of small portions within the range of 6080–4700 years BP (age from the model 5370 cal BP)

The OSL dates range of small portions of quartz grains from B10 fit with the results of ^{14} C dating of humus preserved in it. OSL dates and calibrated radiocarbon date indicate the late-Vistulian date of the mineral material on which the soil developed.

A clear correspondence of dating results from ^{14}C and OSL is observed for the base of the humic horizon of the grassland fossil soil, both placing it in the early Holocene. OSL dating of the upper part of the humic horizon suggest its rejuvenation by pedoturbation in the Holocene.

A significant discrepancy exists between the OSL and the ^{14}C dates of the humic colluvial sediments. This is due to B7 being a re-deposited humic horizon of soil on the slope of the same paleocatena as the grassland fossil soil (sample B9-B8). The OSL age dates the beginning of soil erosion on the slope of the early Holocene paleocatena to between 6000 and 5000 years ago, while the ^{14}C dates (10 150–9400 cal BP) fall within the period of the oldest humification on the slope before its erosion. For this reason, the ^{14}C dates for the grassland fossil soil humus and the colluvial sediments of soil washed from the slopes are identical. Their different OSL age is a result of rejuvenation of quartz grains by pedoturbation and by mechanical mixing due to farming activities, before slope wash of the early Holocene humic horizons to the foot of the slope. Today, no remnants of that horizon have survived on the slope. The difference between the OSL age of the oldest humic colluvial

sediments (B7) and the age of the oldest mineral colluvial sediments (B6) from the deeper levels of the early Holocene eroded soil on the slope is not great. Consequently, the processes of zeroing of the grains of quartz exposed to sunlight during the earliest phases of soil erosion kept pace with the removal of material from the slope as a result of slope washing.

The dates B9-B6 indicate the possibility of assessing the duration of formation of the grassland fossil soil. The OSL dates span the time from the beginning of soil processes until the soil was covered by colluvial sediments, and indicate that the soil formed over a period of 4 000 years, probably between 10 and 6 ka BP.

Samples B 5-B3 were collected from the upper part of the Neolithic colluvial sediments, and the colluvial sediments overlying it.

B5 — B horizon of brown soil. OSL age of small portions falls within the range 2220–3130 BP (date from the model — 2570 BP).

B4 — A horizon of brown soil. OSL age of small portions falls within the range 850–1190 BP (date from the model — 1020 BP).

B3 — Oldest colluvial sediments overlaying brown fossil soil. OSL age of small portions falls within the range 540–990 BP (date from the model — 638 BP).

The thickness of the Neolithic colluvial sediments in the Biedrzykowice profile (samples B7-B4) is 2.1 m. There is a well developed brown soil on their surface (B5-B4), indicating a break in the soil erosion processes on the slopes.

OSL dating of samples taken from the upper part of the Neolithic colluvial sediments transformed by pedogenesis indicates an important role played by pedoturbation in rejuvenating the original age record. OSL age of small portions of samples taken from the humic horizon of fossil soil and colluvial sediments overlying it suggests that there was about a 2 000 year break during which soils formed after the Neolithic erosion. This resulted in a zeroing of the part of older OSL record of samples B5 and B 4 by pedoturbation. A series of B5-B3 dates indicates the beginning of the next phase of soil erosion in the Middle Ages.

Samples B2, B1 were collected from the upper part of the youngest colluvial sediments in the profile.

B2 — Age of small portions within the range of 560–1240 BP (date from the model — 596 BP)

B1 — Age of small portions within the range of 430–1220 BP (date from the model — 444 BP).

If we analyze the results taking into account the age ranges of small portions, the research conducted on the Biedrzykowice profile is consistent with previous conclusions from comprehensive palaeogeographical and archaeological studies in the middle Nidzica basin (Kruk *et al.* 1996). Currently Biedrzykowice is the first site in Poland where the existence of Neolithic colluvial sediments is confirmed using direct dating.

The OSL results demonstrate the coincidence of the beginnings of soil erosion in the area of the profile with the documented KPL settlement in the Bronocice micro-region, indicating that landscape changes extended beyond the immediate environment of the settlement to the periphery of the micro-region as well. The dramatic decline in settlement density about 5 000 BP marks the end date of the Neolithic agricultural pressure in the vicinity of the Bronocice site (Kruk 2008, 160). Unfortunately, the soil cover changes that occurred after the accumulation of Neolithic colluvial sediments in the Biedrzykowice profile do not allow for confirmation with the OSL method. Dating of colluvial sediments overlying soil developed after the collapse of KPL agriculture gives a range of 430–1240 BP, indicating that the break in sediment accumulation that followed the collapse of Neolithic agriculture could have lasted until the Middle Ages in that location. The lack of colluvial sediments younger than 400 years in the test profile is puzzling, and the reason for this should be sought in the history of the gullies in the area. According to research on the southern Poland loess areas, the phase of severe gully erosion which produced the modern gullies probably began in the Middle Ages (Maruszczak 1973; 1988; Śnieszko 1995 and others). When these landforms and their edges were excluded from agricultural use, colluvial sediments no longer reached the gully, a situation that began at least 400 years ago at the site.

Świerklany

In Świerklany four profiles were examined. The average OSL results for small portions are as follows:

— the Pleistocene substrate on which the Holocene fossil soils developed (C horizons) — average dates in the range 14 700–10 840 BP.

— B horizons of fossil soils under colluvial sediments — average dates between 10 460–6890 BP.

— A horizons of fossil soils under colluvial sediments — average dates between 1450–1580 BP

— Base of colluvial sediments — average dates between 490–620 BP.

— Samples from the level containing ^{137}Cs (not older than 50 years) — OSL dates between 25–75 years.

The age of the small portions in the profile are located in the centre of the valley floor (Fig. 4), where stratigraphy of sediments and soils is the most developed, falls within the range of:

S 6. — B horizon of fossil soil under the colluvial sediments. Age of small portion within the range 10780–8940 BP (date from the model 10460 BP)

S 5. — A horizon on the surface of the same soil. Age of small portion within the range 1730–990 BP (date from the model 1450 BP).

The soil is overlain by three horizons of colluvial sediments with different characteristics. The boundaries between the layers are sharp, which may indicate their erosion by water runoff in the valley. Such erosion has already been detected in the studies on the Biała profile (Poręba *et al.* 2011).

S 4. Lower colluvium cover. Age of small portion within the range 620–490 BP (date from the model 590 BP)

S 3. Middle colluvium cover. Age of small portion within the range 310–200 BP (date from the model 290 BP)

S 2. Upper colluvium. Age of small portion within the range 370–180 BP (date from the model 195 BP)

S 1. Arable layer. Age of small portion within the range 20–80 years (date from the model 25 BP)

Dating in Świerklany is consistent with the results of archaeological research. The oldest colluvial sediments were accumulated there synchronously with medieval agricultural pressure. Historical documents dating the village and the OSL dates produce slightly different data. Historical references to the village begin in the thirteenth century, while the beginnings of soil erosion recorded in the dry valley are fourteenth century in date. This is understandable in light of the factors affecting the accuracy of the dating method and the uncertainty of information on early agricultural use of a particular area. Research in Świerklany supports the thesis of the significant influence of agrarian pedoturbation and farming activity on zeroing of quartz grains, which are in turn transported by slope wash (see OSL age difference for the "zeroed" humic levels and the deeper laying "not zeroed" B levels of the same fossil soils).

CONCLUSIONS

1. Dating of the youngest colluvial sediments by caesium, lead and OSL methods produce similar results, demonstrating that OSL can be effective for dating colluvial sediments even a few decades old, and should encourage attempts to date older Holocene colluvial sediments using the same method.

2. Previous studies have answered the question of why material that has only been transported a short distance by slope wash is well exposed. Long-term Holocene pedoturbation, followed by farming impact had a decisive influence on the effective exposure of quartz grains on the soil surface before transport. A major role in exposure was played by very slow transport by rainsplash in between downpours. The results of dating of some small portions of colluvial sediment samples were impacted by the mixing of well-exposed material close to the surface with the unexposed material transported by furrow erosion during rainstorms.

3. Preliminary OSL studies indicate that the oldest colluvial sediments deposited on the Holocene fossil soils found in different locations are not of equal age. In the Polish loess areas, historical colluvial sediments are very common. The age of older, rarely studied, sediments determined by OSL is in line with the results of archaeological exploration and indicates that the sediments were accumulated from the beginning of agricultural use of land in the vicinity of the profiles.

4. Testing with the OSL method confirmed that the Holocene accumulation of colluvial sediments in the loess areas of southern Poland began at the same time as the earliest ploughing activity. In Biedrzykowice and Świerklany, no colluvial sediments dated to the period prior to the beginnings of agriculture were found in the immediate vicinity of the profiles. This confirms the thesis that on the Holocene loess slopes covered with natural vegetation for thousands of years, the mineral material was subject to slope wash only to a very limited extent.

5. The results obtained at this stage of OSL testing are sufficient to determine the approximate age of colluvial sediments. Limitations of the method presented above require additional experimental studies and computer simulations to narrow the age range. Different forms of presentation of the results (date range for small portions and date from the model) show the significant impact of presentation of the dates on the subsequent chronostratigraphic analysis. The results of dating using this method should be presented by providing a date range from small portions rather than a single date calculated from the model.

6. The widespread introduction of single grain dating promises better results for the future, but will not permit such precise dating as are required to solve some problems of palaeogeography. It will be difficult to employ the method to study the specific order of integration of various parts of a particular landscape into agricultural use.

7. The OSL method is thus far the only method for dating fine-grained Holocene colluvial sediments. Although the results obtained currently are only an approximation, it is more effective than previous, vague and uncertain dating using ^{14}C and archaeological objects found in profiles.

8. The OSL method completely fails when faced with the determination of the duration of accumulation of mineral material that has been subject to thousands of years of post-sedimentation pedogenesis. This limits its use to date thin colluvial sediments, which can be entirely rejuvenated by pedoturbation processes.

9. In the future, OSL dating will permit us to obtain data based on the analysis of individual grains, permitting the settlement of disputes concerning the scale of prehistoric agricultural pressure at different times in any part of the studied landscape.

References

Bluszcz A., Poręba G. J. and Śnieszko Z. 2007. The basis of the study of the age of the Holocene deluvium on loess areas of Polish highlands. *Geochronometria* 28, 61–66.

Buckman- Nyle H. C. and Brady C. 1969. *The Nature and Properties of Soils. Seventh Edition*. New York: Macmillan [Polish ed. Buckman- Nyle H. C., Brady C. 1971. *Gleba i jej właściwości*. Warszawa: PWRi L].

Campbell I., Gary M., McAffe R. Jr. and Wolf C..L. 1972. *Golssary of geology*. Washington D.C.: American Geological Institute.

Dwucet K. and Śnieszko Z. 1997 . Zmiany fizykochemiczne cech lessów i gleb nalessowych po redepozycji spowodowanej gwałtowna ulewą. In L. Starkel (ed.), *Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku). (= Dokumentacja Geograficzna* 8). Wrocław: IGIPZ PAN, 76–86.

Galbraith R. F., Roberts R. G., Laslett G. M.,Yoshida H. and Olley J. M. 1999. Optical dating of single and multiple grains of quatz from Iinmimum rock shelter, Northen Australia; part 1, eksperimental design and statistical models. *Archaeometry* 41, 339–364.

Kaiser K., Schoh W. H. and Miehe G. 2007. Holocene paleosols and colluvial sediments in Northeast Tibet (Qinghai Province, China): Properties, dating and paleoenvironmental implications. *Catena* 69, 91–102.

Klimaszewski M. 1978. *Geomorfologia*. Warszawa: PWN.

Klimek K. 2003. Sediment transfer and storage linked to Neolithic and Early Medieval soil erosion In the Upper Odra Basin, southern Poland. In A. J. Howard, M. G . Macklin and D. G. Passmore (eds.), *Alluvial Archeology in Europe*. Lisse: Swets&Zeitlinger, 251–259.

Kruk J. 1973. *Studia osadnicze nad neolitem wyżyn lessowych*. Wrocław: Ossolineum.

Kruk J. 1980. *Gospodarka w Polsce południowo-wschodniej w V–III tysiącleciu p.n.e*. Ossolineum. Wrocław: Ossolineum.

Kruk J. 1993. Rozwój społeczno-gospodarczy i zmiany środowiska przyrodniczego wyżyn lessowych w neolicie (4800–1800 BC). *Sprawozdania Archeologiczne* 45, 7–17.

Kruk J. 2008. *Wzory przeszłości . Studia nad neolitem środkowym i późnym*. Kraków: Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk.

Kruk J., Milisauskas S., Alexandrowicz S. W. and Śnieszko Z. 1996. *Osadnictwo i zmiany środowiska naturalnego wyżyn lessowych*. Kraków: Instytut Archeologii i Etnologii PAN.

Kruk J. and Milisauskas S. 1999. *Rozkwit i upadek społeczeństw rolniczych neolitu*. Kraków: Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk.

Lai Z. P. 2010. Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luochuan section in the Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol. *Journal of Asian Earth Sciences* 37 2, 176–185.

Lu Y.C., Wang X.L. and Wintle A. G. 2007. A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130,000 yr. for the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research* 67(1), 152–160.

Maruszczak H. and Trębaczowski J. 1956. Geomorfologiczne skutki gwałtownej ulewy w Piaskach Szlacheckich koło Krasnegostawu. *Annales UMCS, Sec. B* 11(4), 129–151.

Maruszczak H. 1973. Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Zeszyty Problem. Post. Nauk Roln.* 151, 30.

Maruszczak H. 1988. Zmiany środowiska przyrodniczego kraju w czasach historycznych. In L. Starkel (Ed.), *Przemiany środowiska geograficznego Polski*. Wrocław: Ossolineum, 109–137.

Poręba G. 2006. *Zastosowanie 137 Cs do modelowania procesów erozji i akumulacji na obszarach lessowych*. Gliwice.

Poręba G., Śnieszko Z. and Moska P. 2011. Some aspects of age assessment of Holocene less colluvium; OSL and ^{137}Cs dating of sediment from Biała agricultural area, South Poland. *Quaternary International* 240(1–2). 44–51.

Poręba G. J., Śnieszko Z. and Moska P. In Press. Influence of pedon history and washing nature on luminescence dating of Holocene colluvium on the example of research on the Polish loess areas. *Quaternary International.*

Starkel L. (ed.) 1997. *Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995 roku)* (= *Dokumentacja Geograficzna* 8). Wrocław: IGIPZ PAN.

Śnieszko Z. 1985. *Paleogeografia holocenu w dolinie Sancygniówki* (= *Acta Geographica Lodziensia* 51). Łódź: ŁTN.

Śnieszko Z. 1995, *Ewolucja obszarów lessowych Wyżyn Polskich w czasie ostatnich 15 000 lat*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.

Grzegorz J. Poręba, Zbigniew Śnieszko, Piotr Moska

NOWE PERSPEKTYWY DATOWANIA PRADZIEJOWEJ EROZJI GLEB W OBSZARACH LESSOWYCH

WPROWADZENIE

Od kiedy rozpoczął się proces rolniczego użytkowania obszarów lessowych został zakłócony pierwotny obieg materii na stoku typowy dla naturalnych ekosystemów. Naruszenie w wyniku zabiegów agrotechnicznych naturalnej pokrywy roślinnej utrzymującej do tej pory mineralny materiał na stoku zwiększyło jego podatność na procesy przemieszczania w wyniku rozprysku, spłukiwania warstwowego i linijnego. Procesy spłukiwania gleboznawcy opisują używając pojęcia *wodna erozja gleb* a całość procesów prowadzących do redukcji miąższości profilu glebowego na stoku mianem *erozji gleb*. Dziś obszary lessowe Polski niemal w całości poddawane zabiegom agrotechnicznym objęte są powszechną wodną erozją gleb a u podnóży stoków gromadzą się osady odpowiadające temu procesowi. W języku polskim na określenie tych osadów często używany jest termin deluwia. Tego terminu autorzy będą używać w polskiej wersji niniejszego tekstu. W języku angielskim najbardziej zbliżonym do tego pojęcia jest określenie *colluvial sediments*. Może to być źródłem nieporozumień translacyjnych bowiem w języku polskim do opisu produktów ruchów masowych używane jest pojęcie koluwium. Odpowiada ono angielskiemu określeniu *colluvium*. W opracowaniach anglojęzycznych pojęcie *colluvium* może służyć do określenia zarówno okruchowego materiału nagromadzonego u podnóży stromych stoków w efekcie procesów grawitacyjnych jak również materiału pochodzącego ze spłukiwania po stoku (por. *Glossary of geology* 1972).

Całkowita masa gromadzących się u podnóży stoków produktów wodnej erozji gleb odpowiada różnicy między ilością materiału usuwanego ze stoku i ilością materiału odprowadzanego poza obręb zlewni. Najbardziej wydajne procesy spłukiwania są związane z wielkimi ulewami i gwałtownym topnieniem śnieżnej pokrywy. Podczas takich zdarzeń produkty erozji gleb gromadzą się tylko lokalnie a większość materiału jest wynoszona do dolin rzecznych (Maruszczak, Trembaczowski 1956; Starkel 1997 i inni). Między ulewami materiał glebowy jest powoli i systematycznie przemieszczany na niewielkie odległości przez procesy spłukiwania i mechaniczne zabiegi agrotechniczne. Proporcje między ilością materiału wyniesionego ze stoku a ilością akumulowanego u jego podnóży zależą od długości i geometrii stoku, sposobu jego użytkowania i warunków pogodowych. Długoletnie badania natężenia erozji gleb prowadzone systematycznie na poletkach doświadczalnych, a ostatnio także badania osadów zawierających izotopy ^{137}Cs (możliwe ustalenie wielkości spłukiwania podczas ostatnich 50 lat) i ^{210}Pb (możliwe ustalenie wielkości spłukiwania

podczas ostatnich 100 lat) wskazują, że podczas ostatniego stulecia u podnóży stoków na obszarach lessowych mogła nagromadzić się pokrywa osadów przekraczająca miąższość jednego metra. Z przeprowadzonej przez G. Porębę (Poręba 2006) analizy rozkładu ^{137}Cs na użytkowanym rolniczo stoku lessowym w Ujeździe wynika, że tylko w okresie ostatnich 50-ciu lat u jego podnóża nagromadziła się pokrywa deluwiów o miąższości jednego metra. Z powierzchni stoku w tym czasie była usuwana warstwa o średniej miąższości 2 mm/rok (lokalnie od 0,2 mm do 8,1 mm). Przeszło 50% materiału było wynoszone poza suchą dolinę.

Na obszarach lessowych Polski powszechnie występują doliny epizodycznie odwadniane („suche doliny"). To w ich dnach zachowały się holoceńskie deluwia o największej miąższości. W wielu badanych do tej pory profilach zalegają one na kopalnej glebie, która formowała się w naturalnych ekosystemach do momentu pojawienia się pierwszych skutków rolniczej antropopresji. Rzadziej osady te rozdzielone są młodszymi glebami kopalnymi. Holoceńskie deluwia odpowiadają fazom spłukiwania na użytkowanym rolniczo stoku a gleby kopalne fazom jego stabilizacji po zaniechaniu upraw. Budowa profilu kopalnych gleb zawiera pośrednią informację o typie roślinności wkraczającej na nieużytki.

Najstarsza rolnicza presja na obszarach lessowych w Polsce rozpoczęła się kiedy w neolicie człowiek zasiedlił powierzchnie położone wysoko ponad dnem dolin rzecznych (Kruk 1973; 1980; 1993; Kruk, Milisauskas 1999; Kruk *et al.*1996; Śnieszko 1985; 1995). Istnieją podstawy aby sądzić, że w wielu zbadanych przez archeologów neolitycznych regionach osadniczych na obszarach lessowych Polski przeobrażanie środowiska zachodziło wtedy na wielką skalę. Erozja gleb objęła jednak tylko obszary zasiedlone i użytkowane rolniczo. Nawet w mikroregionach osadniczych o dużej gęstości zaludnienia nadal zachowały się naturalne ekosystemy (por. ryc. Kruk 2008, 160–161).

Po upadku neolitycznego rolnictwa obszary lessowe w Polsce były wielokrotnie zasiedlane. Jeżeli przerwa między osadnictwem neolitycznym a późniejszą rolniczą okupacją była na tyle długa, że doszło do odnowienia naturalnej szaty roślinnej to temu okresowi w profilach geologicznych powinna odpowiadać gleba rozwinięta na neolitycznych deluwiach. Jeżeli przykrywa ją kolejna pokrywa deluwiów to jest ona związana z kolejną fazą rolniczego użytkowania. Należy mocno podkreślić fakt, że w zachowanych do dziś profilach holoceńskich deluwiów może zostać zapisana jedynie historia rolniczego użytkowania konkretnego stoku. Ponadto geologiczno-pedologiczny zapis podobnych zmian w środowisku jest różny nawet w sąsiednich profilach położonych w obrębie tej samej suchej doliny. Dokumentują to badania różnych sekwencji deluwiów w Białej gdzie w sąsiadujących ze sobą profilach położonych w tej samej suchej dolinie zapis wydarzeń związanych z historią erozji gleb był różny (Klimek 2003; Poręba *et al.* 2011).

Poważnym problemem w badaniach holoceńskich deluwiów jest brak w osadach diagnostycznych cech które pozwalałyby korelować konkretne pokrywy z ustalonymi na podstawie badań archeologicznych etapami rolniczego użytkowania stoku. W obszarach, w których w przeszłości następowały po sobie fazy wielokrotnego rolniczego użytkowania stoku ich

dokumentacja jedynie na podstawie cech deluwiów zachowanych w profilach jest praktycznie niemożliwa. Deluwia o podobnych cechach mogły nagromadzić się w różnym okresie jak też deluwia o różnych cechach mogły powstać w tym samym czasie. Często stosowaną procedurą przy orientacyjnej ocenie wieku produktów „wodnej erozji gleb" oprócz radiowęglowego datowania próbek z kopalnych gleb podścielających deluwia było także wykorzystywanie sporadycznie występujących w spągu deluwiów ułamków ceramiki. Datowanie metodą ^{14}C próchnicy gleb kopalnych (najczęściej huminy i kwasy huminowe) pozwalało jedynie orientacyjnie ocenić wiek gleb a było całkowicie nieprzydatne dla ustalenia wieku osadów je przykrywających (Bluszcz *et al.* 2007). Na tej podstawie można było jedynie zapewnić, że deluwia są młodsze od uzyskanych w laboratorium dat radiowęglowych próchnicy, ale o ile młodsze już nie było wiadomo. Podobne wnioski można było sformułować datując fragmenty ceramiki pradziejowej znajdowanej w spągu deluwiów. Tu także można było stwierdzić, że badane deluwia są młodsze od najmłodszych fragmentów ceramiki znalezionej w ich spągu.

Ocena skali pradziejowej erozji gleb opierała się zatem nie na wynikach badań jej bezpośrednich skutków na konkretnych stokach, ale na wynikach badań archeologicznych oraz badań geologicznych holoceńskich osadów dolin rzecznych w zasiedlonych przez rolników zlewniach. Informacje takie były podstawą do formułowania ogólnego schematu historii procesów erozji gleb, ale nie były przydatne do szczegółowych analiz zmian zachodzących w konkretnych miejscach.

Jedynym rozwiązaniem problemów chronostratygrafii holoceńskich deluwiów może być datowanie izotopowe próbek tych osadów. Wykorzystanie metody radiowęglowego datowania próchnicy w deluwiach jest niepewne, ponieważ duża jej część występuje na wtórnym złożu. Także założenie, że wiek sporadycznie znajdowanych w tych osadach organicznych makroszczątków (np. węgielków drzewnych) jest równoznaczny z wiekiem deluwiów, w których je znaleziono często jest błędne (Bluszcz *et al.* 2007; *Kaiser et al.* 2007). Autorzy proponują rozważenie zastosowania do chronostratygrafii holoceńskich deluwiów jednej z metod luminescencyjnego datowania ziaren kwarcu. Wybrana do tego celu metoda OSL pozwala ustalić wiek próbek pobranych z dowolnego miejsca profilu. W dalszej części tekstu zostaną zaprezentowane podstawy fizyczne oraz walory i ograniczenia tej metody.

WYBÓR MATERIAŁU DO BADAŃ. LOKALIZACJA PROFILI

Do prezentacji wyników badań OSL wybrano profile położone w okolicy Biedrzykowic (lessy miechowskie) i Świerklan (przy granicy lessów rybnickich; Ryc. 1). Przy wyborze stanowisk kierowano się dwoma kryteriami.

1. Do badań wybrano profile zlokalizowane w obszarze dobrze rozpoznanym pod względem archeologicznym.

Jeżeli przyjmiemy, że w konkretnym pradziejowym regionie osadniczym rolnicza presja obejmowała cały jego obszar i trwała przez dłuższy czas, to deluwia wiekowo odpowiadające tej presji powinny być tam powszechne. Jeżeli jednak rolnictwo obejmowało jedynie fragmenty zboczy, to deluwia gromadziły się tylko tam gdzie były ku temu warunki. Wtedy ich brak w konkretnym profilu nie dokumentuje istnienia luki osadniczej, a podstawą informacji o przestrzennym rozkładzie rolniczej antropopresji są wyniki badań archeologicznych.

2. Do badań wybrano odsłonięcia zlokalizowane w dnie suchych dolin.

Dotychczasowe badania wskazują, że najpełniej wykształcone profile holoceńskich deluwiów występują w dnach suchych dolin. Szansę na bezpośredni dostęp do odsłonięć dają pionowe ściany wąwozów rozcinających te doliny. Niestety ostatnia faza erozji wąwozowej usunęła większość starszych holoceńskich osadów. Dlatego do tej pory w ich ścianach znaleziono niewiele odsłonięć nadających się do badań (Śnieszko 1995). W dolinach, w których wąwozy nie występują dostęp do holoceńskich deluwiów jest możliwy przy zaawansowanych pracach ziemnych (Poręba *et al.* 2011; Klimek 2003).

W Biedrzykowicach bardzo dobrze udokumentowano rolniczą presję neolityczną. Bogata dokumentacja zebrana w neolitycznym stanowisku Bronocice i jego okolicy wskazuje na możliwości silnego oddziaływania rolników na pierwotny krajobraz w latach 3650–3100 BC (Ryc. 2). O ile nie ma wątpliwości, że oddziaływanie rolników w najbliższym otoczeniu osady Bronocice było duże to ustalenie zasięgu obszaru zmienianego przez neolityczne rolnictwo było do tej pory możliwe na podstawie oceny wielkości i rozmieszczenia populacji w regionie osadniczym oraz znajomości stosowanych wtedy technik użytkowania gruntów. Archeologiczne rozpoznanie samej osady oraz sąsiadującego z nią obszaru wskazuje na brak śladów późniejszej od neolitu rolniczej presji aż do czasów średniowiecza, kiedy powstawały osady w miejscu istniejących dziś wiosek. W miejscowości Biedrzykowice położonej 6 km od neolitycznej osady Bronocice wybrano profil deluwiów zachowanych w dnie suchej doliny uchodzącej do doliny Sancygniówki. Znaczenie tego profilu było już wcześniej sygnalizowane w literaturze (Śnieszko 1985; 1995; Kruk *et al.* 1999). Do tej pory znane były z tego stanowiska jedynie wyniki radiowęglowego datowania próchnicy kopalnych gleb leżących w spągu holoceńskich deluwiów. Daty te nie miały bezpośredniego przełożenia na ocenę wieku osadów leżących nad glebą. Ich pierwotna stratygraficzna interpretacja opierała się na wynikach badań archeologicznych i paleogeograficznej analizie holoceńskich pozakorytowych osadów rzecznych doliny Sancygniówki (Śnieszko 1985; Kruk *et al.* 1999). Do badań OSL w Biedrzykowicach pobrano próbki z datowanych metodą radiowęglową próchnicznych poziomów gleb kopalnych i z nadległych deluwiów. Ogółem datowano OSL 10 próbek z profilu o miąższości 5,0 m (Ryc. 3). W Świerklanach położonych przy granicy rybnickiego płata lessowego przeprowadzono ratownicze badania archeologiczne. W ich efekcie odsłonięto fragmenty zboczy suchych dolin na powierzchni 17 925 m^2. Na obszarze objętym rozpoznaniem archeologicznym nie stwierdzono śladów stałego pradziejowego osadnictwa. Najstarsza rolnicza antropopresja mogła rozpocząć się dopiero

w średniowieczu wraz z powstaniem osady Świerklany. Historyczne dokumenty poświadczają jej istnienie co najmniej od początków XIII wieku. Dzięki uprzejmości kierującego badaniami dr. D. Abłamowicza wykonano kilka głębszych wkopów w deluwiach. Badania wieku OSL przeprowadzono na próbkach pobranych w czterech wkopach (Poręba i inni w druku). W odsłonięciu wykonanym w osi jednej z suchych dolin leżących na badanym przez archeologów obszarze wydatowano 6 próbek pobranych z deluwiów i podścielających je gleb kopalnych (Ryc. 4).

BADANIA WIEKU DELUWIÓW METODĄ OSL

Ponieważ deluwia zawierają kwarc, który w geologii od lat 60-tych ubiegłego wieku jest wykorzystywany do geochronologicznych badań metodami luminescencyjnymi podjęto próby datowania tych osadów metodą OSL (Optycznie Stymulowanej Luminescencji).

W metodzie OSL wykorzystuje się fakt, że kwarc wykazuje właściwości dozymetryczne, czyli posiada zdolność do gromadzenia energii promieniowania jonizującego. W przypadku datowania osadów tą metodą wiek ustala się datując moment ostatniego kontaktu ziaren kwarcu ze światłem słonecznym. W czasie kontaktu ziaren kwarcu ze światłem (w tym światłem słonecznym) następuje usuwanie wcześniej zgromadzonej energii promieniowania jonizującego przez co następuje zerowanie starszego sygnału luminescencyjnego (kasowany jest zapis czasu odziedziczony po poprzednich etapach gromadzenia energii promieniowania jonizującego). Po odcięciu od światła kwarc gromadzi nową energię. Zaletą metody OSL jest fakt, że nawet krótka ekspozycja na światło w trakcie tworzenia się osadu powoduje istotną redukcję OSL ziaren. Jest to odmienne od zjawiska termoluminescencji, kiedy nawet po długiej ekspozycji na światło zachowuje się termoluminescencja resztkowa.

Termoluminescencja resztkowa TL może osiągać wartość nawet kilkunastu Gy, co znacznie utrudnia datowanie tą metodą młodych osadów.

Analiza OSL polega na porównaniu dawki, jaką otrzymało ziarno kwarcu od promieniowania jonizującego, którego źródłem są naturalne izotopy promieniotwórcze występujące w danym osadzie (głównie izotopy szeregu uranowego i torowego oraz izotop potasu-40) oraz promieniowanie kosmiczne, z mocą aktualnej dawki (w przypadku OSL moc aktualnej dawki można podawać przeliczając na rok lub na tysiąc lat (mGy/a lub Gy/ka). Moc dawki rocznej jest wyznaczana obecnie w laboratorium lub bezpośrednio w terenie. Aktywność promieniotwórczą w próbce wyznacza się za pomocą spektrometrii promieniowania gamma, spektrometrii promieniowania alfa, spektrometrii masowej lub metod dozymetrycznych. W przypadku polskich laboratoriów stosuje się metodę spektrometrii promieniowania gamma lub jej nowszą wersję opartą o półprzewodnikowe detektory promieniowania gamma. Wiek luminescencyjny jest równy stosunkowi dawki pochłoniętej od promieniowania jonizującego izotopów w osadzie i promieniowania kosmicznego do aktualnej mocy dawki w osadzie. Konieczne jest przy tym przyjęcie warunku, że moc dawki promieniowania

była stała przez cały okres zalegania osadu. Dawkę ekwiwalentną ziaren wyznacza się za pomocą specjalnych czytników ich luminescencji po stymulacji światłem o określonej długości fali.

Przed pomiarami luminescencji wykonuje się preparatykę chemiczną pozwalającą na otrzymanie czystego kwarcu o określonym przedziale średnicy ziaren (zazwyczaj 90–125 mikrometrów). Wszystkie etapy badań (w tym także pobór próbek) przeprowadza się bez dostępu światła białego.

Przy metodzie OSL dokonuje się pomiaru dawki pochłoniętej dla kilkunastu „małych porcji" osadu (kilkadziesiąt mg) a znacznie rzadziej dla pojedynczych ziaren. Problemem jest fakt, że tylko kilka procent ziaren w osadzie wykazuje się odpowiednią czułością luminescencyjną, czyli intensywnością sygnału luminescencyjnego

Metoda OSL jest stosowana z powodzeniem do datowania osadów (zwłaszcza eolicznych) nie starszych od 200 tys. lat. Ze względu na postęp metodyczny możliwe jest także datowanie OSL osadów akumulowanych podczas ostatnich dziesięcioleci. Daty OSL podawane są w latach kalendarzowych a czasem odniesienia jest rok pobrania próbki do badań.

Metoda oparta na zasadzie, że mierzona w laboratorium luminescencja ziaren jest funkcją czasu jaki upłynął od ich ostatniego kontaktu ze światłem słonecznym pozwala faktycznie ustalić moment odcięcia dopływu światła słonecznego po ich przykryciu przez kolejne warstwy osadów. Jedną z zalet metody OSL jest datowanie kilkunastu małych porcji pochodzących z tej samej próbki. Ponieważ badana próbka geologiczna w całości powstała w tym samym czasie teoretycznie wyniki obliczeń wieku każdej małej porcji powinny być podobne. Gdyby tak było umożliwiałoby to określenie wieku całej badanej próbki na podstawie średniej z mało różniących się od siebie dat małych porcji. Niestety bardzo często wyniki datowania małych porcji tej samej próbki różnią się dość istotnie. To ogranicza wiarygodność metody OSL w datowaniu niektórych osadów zawierających kwarc.

Różne wyniki pomiarów OSL małych porcji są skutkiem wpływu na ostateczne naświetlanie wielu czynników środowiskowych. Najlepsze dotąd rezultaty uzyskiwano datując metodą OSL próbki lessów chińskich (Lu *et al.* 2007; Lai 2010). O dobrym naświetlaniu ziaren kwarcu w lessach chińskich decydowała długa ekspozycja ziaren na promienie słoneczne podczas transportu.

Dużym zaskoczeniem jest fakt, że kwarc transportowany w wyniku spłukiwania z powierzchni gleby na krótkim stoku także jest bardzo dobrze „wyzerowany" w wyniku naświetlania słonecznego. Dokumentują to wyniki badania wieku OSL deluwiów, których czas powstania ustalono metodą ^{137}Cs na okres ostatnich 50 lat. Ziarna kwarcu wypłukane w tym czasie z gleb rozwiniętych na lessie mimo krótkiego transportu do podnóża stoku zawsze miały wiek OSL młodszy niż 200 lat (Poręba *et al.* w druku). Naświetlanie podczas jednorazowego transportu nawet na stoku o kilkusetmetrowej długości (np. podczas opadów nawalnych) nie byłoby w stanie wyzerować całej masy spłukiwanych ziaren a tylko nieliczne (zbyt krótki czas transportu). Dlatego autorzy są skłonni wiązać zerowanie ziaren na stoku jedynie podczas wielokrotnego i długotrwałego transportu na bardzo małe odległości podczas rozprysku.

Aby wyjaśnić fenomen dobrego naświetlania ziaren kwarcu budujących kolejne warstwy holoceńskich deluwiów w dalszej części tekstu przeanalizowano wpływ na ich naświetlanie innych procesów niż transport podczas spłukiwania.

OGRANICZENIA W INTERPRETACJI WIEKU DELUWIÓW DATOWANYCH METODĄ OSL

W wyniku spłukiwania powstają osady zbudowane głównie z produktów przemieszczenia wierzchnich warstw gleby (Ryc. 5). Na obszarach lessowych są to zazwyczaj odwapnione kwarcowe pyły, lub pyły ilaste zawierające próchnicę i związki żelaza. Trudnym do odtworzenia naturalnym ograniczeniem dokładności badań wieku OSL jest brak konkretnej wiedzy na temat zmian wilgotności przez cały czas zalegania badanych osadów. Wiemy, że występowały różnice sezonowe, roczne i wieloletnie. Ślady poglejowe w niektórych profilach glebowych mogą stanowić podstawę do wnioskowania o wieloletnich zmianach wilgotności, ale nie o długości czasu w którym próbka była bardziej lub mniej wilgotna. Problem ten staje się jednak mało istotny kiedy stwierdzamy fakt, że małe porcje tej samej próbki mają różny wiek OSL. Rozstrzygnięcie, której z dat małych porcji tej samej próbki odpowiada rzeczywisty wiek badanego osadu jest najpoważniejszym problemem interpretacyjnym. Dotychczas najczęściej wiek ustalano licząc średnie z dat małych porcji. Istnieją także inne sposoby ustalania wieku osadu przy wykorzystaniu odpowiednich modeli (Galbraith *et al.* 1999). Wpływ różnych czynników na zróżnicowany wiek OSL małych porcji deluwiów przedstawia poniższy schemat (Ryc. 6).

Ustalono że:

1. Naświetlanie ziaren kwarcu przy stropie plejstoceńskiego lessu odbywało się od początku procesów pedoturbacji, jakie zachodziły podczas formowania gleby po zakończeniu akumulacji eolicznej (Ryc. 7).

Przez długi czas (co najmniej kilka tysięcy lat) starsze plejstoceńskie ziarna docierały w efekcie powolnej i stałej holoceńskiej zooturbacji na powierzchnię gleby. Część ziaren naświetlanych przy powierzchni dostawała się kanałami zoogenicznymi i fitogenicznymi w głębsze partie gleby. Procesy te dopiero po dłuższym czasie skutecznie homogenizowały sygnał OSL w strefie pedoturbacji i „odmładzały" wiek głównie w poziomach próchnicznych, ale także w endopedonach. Na obszarach pokrytych naturalną roślinnością przez tysiące lat holocenu tylko pedoturbacja była odpowiedzialna za odmładzanie „plejstoceńskiego wieku OSL". W tym samym czasie spłukiwanie materiału mineralnego po stoku było ograniczone do minimum (prawie zerowe).

Od pierwszych zabiegów agrotechnicznych rozpoczęło się dodatkowe naświetlanie ziaren kwarcu przy stropie gleby (wcześniej zerowanej przez naturalne procesy) podczas jej mechanicznego spulchniania. Systematyczne zabiegi antropogenicznego mieszania zwiększały corocznie ilość naświetlanych ziaren. Wraz z odsłonięciem mineralnych składników

na użytkowanej przez rolników powierzchni stoku gwałtownie wzrastała wydajność procesów spłukiwania (szczególnie podczas opadów grubokroplowych i gwałtownego tajania pokrywy śnieżnej). Najbardziej wydajne było spłukiwanie związane z opadami nawalnymi. Często występujące ulewy uniemożliwiały jednak dłuższe naświetlanie ziaren na stoku podczas zabiegów agrotechnicznych. Najbardziej skuteczne naświetlanie odbywało się podczas długich przerw między opadami ulewnymi, kiedy ziarna kwarcu były przemieszczane jedynie w wyniku wieloetapowego transportu na bardzo krótkich odcinkach. Przy interpretowaniu skutecznego zerowania podczas transportu po krótkim stoku należy uwzględnić uwagi M. Kirkby'ego który pisał: „...to co dawniej przypisywano spłukiwaniu warstwowemu (*sheetwash)* jest powodowane przez rozprysk (*rainsplash*), a ten rodzaj przemieszczania nie jest uzależniony od odległości działu wodnego" (za Klimaszewski 1978, 258).

2. Podczas opadów nawalnych mieszają się ziarna pochodzące z: a) rozprysku, b) spłukiwania warstwowego i c) spłukiwania liniowego komplikując zapis OSL w deluwiach.

a. Badania skutków współcześnie obserwowanych ulew wskazują, że bombardowanie przez krople deszczu powoduje rozbijanie agregatów na spłukiwanej powierzchni i skutecznie eksponuje na światło pojedyncze ziarna kwarcu. Wyniki badań wskazują na większą koncentrację ziaren kwarcu w produktach rozprysku w stosunku do materiału wyjściowego. Zawartość SiO_2 na powierzchni gleby na skutek bombardowania przez krople deszczu wzrasta od 80% przed opadem do 88–90% po opadzie (Dwucet, Śnieszko 1997);

b. podczas spłukiwania warstwowego transportowany jest materiał z wcześniej dobrze naświetlonej podczas mechanicznej turbacji powierzchni gleby i dodatkowo wyzerowany przez towarzyszący opadom rozprysk;

c. podczas spłukiwania linijnego do podnóży stoków dociera materiał słabo naświetlony (Ryc. 8).

W każdym z opisanych w punktach a–c procesów naświetlanie kwarcu podlegającego wodnej erozji zależy od trwałości agregatów skutecznie wpływających na osłonę pojedynczych ziaren przed promieniami słonecznymi. Skłonność do agregatyzacji lądowych drobnoziarnistych osadów może wpływać na „postarzanie" luminescencyjnego wieku badanych próbek.

Analizując długoletnie zjawiska naświetlania ziaren kwarcu na użytkowanym rolniczo stoku w przeszłości należy uwzględnić następujące warianty:

1. wieloletnie mechaniczne mieszanie i wielokrotne przemieszczanie na bardzo krótkich odcinkach stoku podczas mało wydajnego spłukiwania warstwowego — skuteczne naświetlanie na stoku, (dobry materiał do datowań OSL — wąskie jednomodalne rozkłady dat małych porcji);

2. wieloletnia orka i częste spłukiwanie związane z opadami nawalnymi — ograniczone naświetlanie na stoku;

3. incydentalna orka i częste spłukiwanie liniowe związane z opadami nawalnymi — bardzo złe naświetlanie na stoku (materiał nie nadający się do datowań — rozciągnięte wielomodalne rozkłady wyników wieku małych porcji).

Wymienione ograniczenia można będzie w przyszłych badaniach poddać dokładnej analizie badając rozkłady wieku OSL pojedynczych ziaren. Takie analizy są już na świecie prowadzone (Duller *et al.* 2000). Ponieważ są czasochłonne i wymagają odpowiedniej aparatury na razie są mało popularne.

Kiedy ziarna kwarcu w poziomach próchnicznych na stoku były stale naświetlane to w poziomach próchnicznych u ich podnóży przestawały być naświetlane po przykryciu kolejnymi deluwiami. Kolejna faza erozji zabierała ze stoku coraz to „młodszy" materiał i dlatego wiek OSL próbek deluwiów wyżej leżących dziś w profilach jest zawsze młodszy od wieku próbek leżących głębiej.

WYNIKI BADAŃ OSL W BIEDRZYKOWICACH I ŚWIERKLANACH

Jak wspomniano wcześniej wyniki pomiaru wieku OSL dowolnej próbki deluwiów można przedstawić podając średnią z pomiarów wieku małych porcji. Lepszym sposobem jest jednak prezentacja rozkładów wyników lub przedziałów dat. Ze zrozumiałych powodów odbiorcy preferują pierwszy ze sposobów. Tylko wtedy uzyskuje się jedną „datę". Przedstawiony w postaci średniej jeden wynik pomiaru sprawia jednak mylne wrażenie pewności datowania. Jak wykazano pewności takiej nie ma. Znane są także ustalenia wieku badanej próbki na podstawie wieku najmłodszej porcji. W niniejszym tekście zostanie podana wielkość średnia i przedziały, w jakich mieszczą się uzyskane daty małych porcji.

Jedynie wąskie jednomodalne rozkłady datowań małych porcji mogą być podstawą do określania przybliżonego wieku osadów. Rozkłady wielomodalne, „rozciągnięte" stwarzają poważne problemy w badaniach chronostratygraficznych. Na obecnym etapie, kiedy nie datujemy metodą OSL pojedynczych ziaren, takie wyniki z pomiaru małych porcji powinno się odrzucać jako nieprzydatne dla celów chronostratygraficznych.

W obu stanowiskach rozkłady wieku OSL małych porcji w próbkach są w większości jednomodalne i „ostre". Różnice wyników datowania pojedynczych małych porcji nie są zatem duże (Ryc. 9).

Biedrzykowice

Odsłonięcie Biedrzykowice znajduje się w ścianie wąwozu rozcinającego płaskie dno górnego odcinka suchej doliny. Wąwóz w całości porasta las mieszany z udziałem różnowiekowego drzewostanu (sosna, dąb, modrzew). Profil położony jest w prostej linii ok. 6 km od neolitycznej osady Bronocice. Cechy występujących tam osadów były już wielokrotnie opisywane (Śnieszko 1985; 1995; Kruk *et al.* 1996). Badany profil o miąższości 5,0 metrów składa się z kilku ogniw obejmujących osady i gleby z późnego vistulianu i holocenu. Dolne ogniwo budują osady (prawdopodobnie deluwia) późnovistuliańskie z rozwiniętą

w stropie oglejoną i porozcinaną siecią szczelin dehydratacyjnych glebą brunatnoziemną. Na niej zalega ciemnoszary poziom próchniczny gleby łąkowej przykryty nieco jaśniejszymi próchnicznymi deluwiami. Ogniwo środkowe zbudowane jest z holoceńskich deluwiów, których pierwotna struktura została zatarta przez brunatnoziemne procesy glebowe związane z rozwiniętą w ich stropie młodszą glebą kopalną. Ogniwo górne budują kolejne deluwia zmienione w stropie przez procesy brunatnienia. W Biedrzykowicach występują zatem deluwia plejstoceńsko-holoceńskie których akumulacja była przerywana długimi etapami pedogenezy zacierającymi pierwotne cechy osadów.

Analizie OSL poddano10 próbek pobranych z poziomu A późnovistuliańskiej gleby kopalnej (B10 gł. 425–430 cm), spągu poziomu A holoceńskiej kopalnej gleby łąkowej (B9 gł. 402–410 cm), stropowej części poziomu A tej samej gleby (B8 gł. 385–390 cm), najstarszych deluwiów próchnicznych (B7 gł360–365 cm), spągu najstarszych deluwiów mineralnych, (B6 gł. 290–300 cm), środkowej części deluwiów mineralnych objętych procesami brunatnienia (B5 gł.195–200 cm), poziomu próchnicznego rozwiniętego w stropie deluwiów (B4 gł. 150–155 cm), spągu najmłodszych deluwiów nad poziomem próchnicznym (B3 gł. 115–120 cm), stropu deluwiów (B2 gł. 25–30 cm, B1 gł. 10–15 cm).

Próbki B7, B6, B4 pochodzą z miejsc w których wcześniej metodą ^{14}C datowano próchnicę.

Próbki B 10-B6 pobrano z plejstoceńsko -wczesno holoceńskiego kompleksu litologiczno glebowego i najstarszych holoceńskich deluwiów.

Wyniki datowań OSL:

Próbka B 10 — pobrana z poziomu akumulacji próchnicy najstarszej gleby kopalnej. Wiek małych porcji w przedziale 11 400–10 000 lat BP (wiek z modelu 10 700 BP)

(datowanie C^{14} próchnicy —10 130 BP; 12550–11200 calBP).

Próbka B 9 — pobrana ze spągu poziomu akumulacji próchnicy kopalnej gleby łąkowej. Wiek małych porcji w przedziale 9300–8240 lat BP (wiek z modelu 8760 BP)

(datowanie C^{14} próchnicy 8600 BP; 9940–9400 calBP)

Próbka B 8 — pobrana ze stropu poziomu akumulacji próchnicy kopalnej gleby łąkowej. Wiek małych porcji w przedziale 7770–7020 lat BP (wiek z modelu 7320 BP)

Próbka B7 — pobrana z najstarszych deluwiów próchnicznych. Wiek małych porcji w przedziale 6320–5850 lat BP (datowanie C^{14} — 8620 BP; 10150–9400 calBP; wiek z modelu 6100 BP)

Próbka B6- pobrana ze spągu najstarszych deluwiów mineralnych. Wiek małych porcji w przedziale 6080–4700 lat BP (wiek z modelu 5370 BP)

W przedziale dat OSL małych porcji ziaren kwarcu z poziomu B10 mieści się wynik datowania ^{14}C zachowanej w nim próchnicy. Zbieżność dat C^{14} i OSL uzyskano także datując spąg poziomu próchnicznego gleby łąkowej (B 9). Datowania OSL wskazują, że wiek substratu mineralnego, w którym uformował się poziom próchniczny gleby łąkowej jest bliski dolnej granicy holocenu a datowania radiowęglowe próchnicy potwierdzają podobny

czas początku procesów glebowych. Daty OSL stropowej części poziomu próchnicznego (B8) wskazują na jego odmładzanie w wyniku procesów pedoturbacji w holocenie.

Wyraźna rozbieżność występuje między wynikami datowania OSL a datą ^{14}C próchnicznych deluwiów. Jest ona efektem tego, że B7 jest redeponowanym poziomem próchnicznym gleby tej samej paleokateny, do której należała niegdyś kopalna gleba łąkowa (próbki B9–B8). Wiek OSL próbki B7 określa początek erozji gleb na stoku wczesnoholoceńskiej paleokateny na okres między 6 a 5,7 tysięcy lat temu. Wiek ^{14}C (10 150–9400 cal BP) próchnicy w tych deluwiach odpowiada natomiast okresowi formowania gleby na stoku przed jego erozją. Dlatego daty ^{14}C próchnicy z kopalnej gleby łąkowej i z deluwiów gleby zmytej ze stoku są identyczne. Inny wiek OSL próbki 7 jest skutkiem odmładzania ziaren kwarcu przez procesy pedoturbacji i mechanicznego mieszania przez zabiegi agrarne przed początkiem spłukiwania. Różnica między wiekiem OSL najstarszych deluwiów próchnicznych (B 7) a wiekiem najstarszych deluwiów mineralnych (B 6) pochodzących z głębszych poziomów erodowanej wczesnoholoceńskiej gleby na stoku nie jest duża. Oznacza to, że procesy zerowania ziaren kwarcu eksponowanych na światło słoneczne podczas najstarszej fazy erozji gleby nadążały za procesami usuwania materiału ze stoku w wyniku spłukiwania.

Daty OSL próbek B10- B 6 pozwalają także ocenić czas formowania kopalnej gleby łąkowej. Gleba ta formowała się przez okres 4 tyś. lat prawdopodobnie między 10 a 6 ka BP.

Próbki B 5-B3 pobrano ze stropowej części kompleksu litologiczno glebowego rozwiniętego na neolitycznych deluwiach oraz z przykrywających ją deluwiów.

Próbka B5 — pobrana z poziomu B brunatnoziemu — wiek małych porcji OSL mieści się w przedziale 3130– 2220 BP (data z modelu 2570 BP).

Próbka B4- pobrana z poziomu A brunatnoziemu. Wiek małych porcji mieści się w przedziale 1190–850 lat BP (data z modelu 1020 BP).

Próbka B 3- pobrana z najstarszych deluwiów przykrywających kopalny brunatnoziem. Wiek małych porcji mieści się w przedziale 990– 540 lat BP (data z modelu 638 BP).

Datowania OSL próbek pobranych z neolitycznych deluwiów zmienionych przez procesy pedogenezy wskazują na istotną rolę pedoturbacji w ich odmładzaniu. Miąższość neolitycznych deluwiów w profilu Biedrzykowice (próbki B7-B 4) wynosi 2,1 m.

Wiek OSL małych porcji próbek pobranych z poziomu próchnicznego gleby kopalnej i przykrywających ją deluwiów wskazuje, że przerwa na procesy pedogenezy po neolitycznej erozji na stoku trwała około 2 tysiące lat. Spowodowało to skuteczne zerowanie części starszego zapisu OSL próbek B5 i B 4 przez postsedymentacyjne procesy pedoturbacji. Seria dat B5-B3 wskazuje, że początek kolejnej fazy erozji gleb rozpoczął się dopiero w średniowieczu.

Probki B2, B1 pobrano ze stropu najmłodszych deluwiów w profilu.

Próbka B2 — wiek małych porcji w przedziale 560–1240 lat BP (data z modelu 596 BP).

Próbka B1 — wiek małych porcji w przedziale 430–1220 lat BP (data z modelu 444 BP).

Jeżeli przeanalizujemy wyniki datowań OSL uwzględniając przedziały wieku małych porcji to badania w profilu Biedrzykowice są zbieżne z wcześniej formułowanymi wnioskami wynikającymi z kompleksowych badań paleogeograficznych i badań archeologicznych w dorzeczu środkowej Nidzicy (Kruk *et al.* 1996). Obecnie jest to pierwsze w Polsce stanowisko, w którym przy pomocy metody bezpośredniego datowania izotopowego potwierdzono istnienie neolitycznych deluwiów.

Uzyskane wyniki OSL wskazują na zbieżność początków erozji gleb w okolicy badanego profilu z udokumentowaną rolniczą presją na środowisko osadnictwa KPL w mikroregionie Bronocice. Oznacza to także, że zmiany krajobrazu obejmowały nie tylko najbliższe otoczenie osady w Bronocicach, ale także dotknęły obrzeża mikroregionu osadniczego. Radykalny spadek gęstości osadnictwa od około 5 tys. lat BP oznacza także koniec rolniczej presji neolitycznej w otoczeniu stanowiska Bronocice (Kruk 2008, 160). Niestety zmiany glebowe jakie objęły neolityczne deluwia w profilu Biedrzykowice nie pozwalają na potwierdzenie tego metodą OSL. Datowanie deluwiów zalegających na glebie rozwijającej się po upadku rolnictwa KPL na przedział czasu (1240± 430 BP) wskazuje, że przerwa w akumulacji produktów erozji gleb, jaka nastąpiła po upadku neolitycznego rolnictwa mogła w tym konkretnym miejscu trwać do średniowiecza. Zagadkowy wydaje się brak w badanym profilu deluwiów młodszych od 400 lat. Wytłumaczenia tego faktu należy szukać w historii wąwozów badanego obszaru. Jak wynika z badań prowadzonych na obszarach lessowych południowej Polski faza nasilonej erozji wąwozowej której efektem są zachowane do dziś wąwozy rozpoczęła się prawdopodobnie już w średniowieczu (Maruszczak 1973; 1988; Śnieszko 1995 i inni). Kiedy formy te i ich obrzeża zostały wyłączone z rolniczego użytkowania deluwia nie docierały już do krawędzi wąwozów. W badanym miejscu rozpoczęło się to co najmniej 400 lat temu.

Świerklany

W Świerklanach badano cztery profile a średnie wyniki OSL z małych porcji są następujące:

— plejstoceński substrat, na którym rozwinięte są kopalne gleby holoceńskie (poziom C) — średnie daty w przedziale 14 700– 10 840 lat BP;

— poziomy B gleb kopalnych pod deluwiami — średnie daty między 10 460–6890 BP;

— poziomy A gleb kopalnych pod deluwiami — średnie daty między 1450–1580 lat BP;

— spąg deluwiów — średnie daty między 490–620 lat BP;

— próbki z poziomu zawierającego ^{137}Cs (nie starsze od 50 lat) — daty OSL między 25–75 lat.

Wiek małych porcji profilu badanego w osi doliny (ryc. 4) gdzie stratygrafia osadów i gleb jest najbardziej rozbudowana waha się w przedziałach:

S 6 — Poziom B_{gley} gleby kopalnej pod deluwiami:

10780–8940 BP (data z modelu 10460 BP)

S 5 — Strop poziomu A gleby kopalnej pod deluwiami:

1730–990 BP (data z modelu 1450 BP)

Nad glebą zalegają trzy warstwy deluwiów o odmiennych cechach. Granice między warstwami są ostre co może wskazywać na okresy erozji w osi doliny. Podobne ostre granice stwierdzono wcześniej podczas badań profilu w Białej (Poręba i inni 2009)

S 4 — Dolna warstwa:

620–490 BP (data z modelu 590 BP)

S 3 — Warstwa środkowa:

310–200 BP (data z modelu 290 BP)

S 2 — Warstwa górna:

370–180 BP (data z modelu 195 BP)

S 1 — Warstwa orna:

20–80 lat (data z modelu 25)

Datowania w Świerklanach są zbieżne z wynikami badań archeologicznych. Najstarsze deluwia były tu akumulowane synchronicznie ze średniowieczną presją rolniczą. Dokumenty historyczne datujące początek lokacji wsi i daty OSL nieco się różnią. Historyczne wzmianki o początkach wsi pochodzą z XIII w. a ślady początków procesów erozji gleb zapisane w osi suchej doliny wskazują na użytkowanie badanego pola dopiero od XIV w. Jest to zrozumiałe po przestudiowaniu wszystkich uwarunkowań wpływających zarówno na precyzję samej metody datowania jak i niepewność co do zgodności historycznych dokumentów z początkami rolniczego użytkowania konkretnego badanego obszaru.

PODSUMOWANIE

1. Wyniki datowania najmłodszych deluwiów metodą cezową, ołowiową i OSL są zbieżne. To oznacza, że metoda OSL może być skuteczna przy datowaniu nawet kilkudziesięcioletnich deluwiów. Upoważnia to także do podjęcia prób „datowania" metodą OSL starszych holoceńskich deluwiów. Daty OSL podawane są w latach kalendarzowych od momentu pobrania próbki.

2. W trakcie dotychczasowych badań uzyskano odpowiedź na pytanie dlaczego mimo krótkiego dystansu podczas transportu na stoku materiał przemieszczany w procesie spłukiwania jest skutecznie naświetlany. Długotrwała holoceńska pedoturbacja a potem zabiegi agrarne w decydujący sposób wpływały na naświetlanie ziaren kwarcu przy stropie gleb

jeszcze przed rozpoczęciem ich transportu. Dużą rolę w naświetlaniu miało bardzo powolne przemieszczanie w wyniku rozprysku podczas opadów w okresach między wielkimi ulewami. Mieszanie materiału dobrze naświetlonego przy powierzchni z nienaświetlonym materiałem wypłukiwanym w wyniku erozji bruzdowej podczas wielkich ulew wpływa negatywnie na wiarygodność datowania niektórych próbek.

3. Wstępne badania OSL wskazują, że holoceńskie deluwia leżące na kopalnych glebach w różnych miejscach nie są jednowiekowe. Na lessowych obszarach Polski powszechne są historyczne deluwia. Wiek OSL badanych w Biedrzykowicach i Świerklanach starszych deluwiów jest zbieżny z wynikami eksploracji archeologicznej i wskazuje, że osady te były akumulowane dopiero od początku użytkowania gruntów w otoczeniu badanych profilów.

4. W Biedrzykowicach i Świerklanach nie stwierdzono deluwiów datowanych na okres poprzedzający początki rolnictwa w najbliższym otoczeniu badanych profili. Na holoceńskich lessowych stokach pokrytych naturalnymi zbiorowiskami roślinnymi przez tysiące lat materiał mineralny w bardzo ograniczonym stopniu podlegał spłukiwaniu.

5. Wyniki uzyskane na obecnym etapie badań OSL są wystarczające do określenia przybliżonego wieku deluwiów. Przedstawione w tekście ograniczenia metody wymagają przeprowadzenia w przyszłości dodatkowych badań eksperymentalnych i symulacji komputerowych umożliwiających zawężenie przedziału uzyskiwanych dat. Różne sposoby prezentacji wyników OSL (przedział dat małych porcji i data z modelu) wskazują na istotny wpływ sposobu informacji o wynikach na późniejszą analizę chronostratygraficzną. Wyniki badań wieku tą metodą powinno się prezentować raczej podając przedział dat z małych porcji niż pojedyncze daty obliczone z modelu.

6. Powszechne wprowadzenie metody badania wieku pojedynczych ziaren rokuje lepsze perspektywy choć nie umożliwi tak dokładnego datowania jakiego byśmy oczekiwali przy rozwiązywaniu niektórych problemów paleogeograficznych. Trudno będzie je wykorzystać do badania kolejności włączania do rolniczego użytkowania poszczególnych fragmentów konkretnego krajobrazu.

7. Metoda OSL jest na razie jedyną metodą pozwalającą na powszechne bezpośrednie datowania drobnoziarnistych holoceńskich deluwiów. Mimo, że uzyskujemy na razie wyniki przybliżone jest ona bardziej skuteczna od dotychczasowych orientacyjnych i niepewnych datowań z zastosowaniem metody ^{14}C i datowników archeologicznych.

8. Metoda OSL zawodzi przy ustalaniu czasu akumulacji materiału mineralnego pobranego z próbek objętych tysiącletnimi postsedymentacyjnymi procesami pedogenezy. Ogranicza to jej wykorzystanie do analizy wieku deluwiów o małej miąższości w całości objętych procesami odmładzania przez procesy glebotwórcze.

9. W przyszłości datowania OSL pozwolą po uzyskaniu wystarczającego materiału dokumentacyjnego (w tym także opartego na analizie wieku pojedynczych ziaren) na rozstrzygnięcie sporów dotyczących skali pradziejowej presji rolniczej w różnym czasie w dowolnym fragmencie badanego krajobrazu.