



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ГЕОГРАФИЈУ, ТУРИЗАМ И
ХОТЕЛИЈЕРСТВО



MSc Зоран М. Перић

**ДЕТАЉНА ЛУМИНЕСЦЕНТНА ХРОНОЛОГИЈА
ПОСЛЕДЊА ДВА ГЛАЦИЈАЛНО-
ИНТЕРГЛАЦИЈАЛНА ЦИКЛУСА ТИТЕЛСКОГ
ЛЕСНОГ ПЛАТОА**

-докторска дисертација-

Нови Сад, 2017

*"Praeterita mutare non possumus,
sed futura providere debemus"*

Cicero

*„Не можемо променити прошлост,
али морамо предвидети будућност“*

Цицерон

САДРЖАЈ

1. УВОД	10
1.1. ГЕОЛОШКИ КОНЦЕПТ ВРЕМЕНА	10
2. ГЕОХРОНОЛОГИЈА	19
2.1. РАЗЛИКА ИЗМЕЂУ ВРЕМЕНСКИХ И ВРЕМЕНСКО СТЕНСКИХ ЈЕДИНИЦА	25
2.2. ПРЕДЛОЗИ ЗА УПОТРЕБУ ХРОНОСТРАТИГРАФСКИХ И ГЕОХРОНОЛОШКИХ ТЕРМИНА	27
2.3. ГЕОХРОНОЛОШКЕ МЕТОДЕ	28
2.3.1. РАДИОМЕТРИЈСКО ДАТИРАЊЕ	28
2.3.1.1. МЕТОДА РАДИОАКТИВНОГ УГЉЕНИКА (¹⁴ C)	28
2.3.1.2. УРАН-ОЛОВО ДАТИРАЊЕ	30
2.3.1.3. УРАН-ТОРИЈУМ ДАТИРАЊЕ	30
2.3.1.4. КАЛИЈУМ-АРГОН ДАТИРАЊЕ	31
2.3.1.5. ДАТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНСКОМ ПАРАМАГНЕТНОМ РЕЗОНАНЦИЈОМ	31
2.3.2. ДАТИРАЊЕ ФИСИОНОГ ТРАГА	33
2.3.3. ГЕОХРОНОЛОГИЈА КОСМОГЕНИХ НУКЛИДА	35
2.3.4. ИНКРЕМЕНТНО ДАТИРАЊЕ	36
2.3.4.1. ДЕНДРОХРОНОЛОГИЈА	36
2.3.4.2. АНАЛИЗА ВАРВИ	37
2.3.4.3. ДАТИРАЊЕ ЛЕДЕНИХ ЈЕЗГАРА	38
2.3.4.4. ЛИХЕНОМЕТРИЈА	40
2.3.5. ПАЛЕОМАГНЕТНО И АРХЕОМАГНЕТНО ДАТИРАЊЕ	41
2.3.6. ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ	44
3. КВАРТАР	45
3.1. СТАТУС КВАРТАРА	47
3.2. УЛОГЕ IUGS-a, ICS-a и SQS-a У ПРИЗНАВАЊУ СТРАТИГРАФСКИХ ЈЕДИНИЦА	48
3.3. СТАТУС КВАРТАРА У ГЕОЛОШКОЈ ВРЕМЕНСКОЈ СКАЛИ	49
3.4. БАЗА КВАРТАРА И ПЛЕИСТОЦЕНА	51
3.4.1. ФОРМАЛНИ ПРЕДЛОЗИ	54
4. ЛЕС	57
4.1. ГРАНУЛОМЕТРИЈА И МИНЕРАЛНИ САСТАВ ЛЕСА	58
4.2. ЛИТОЛОШКЕ И СТРУКТУРНЕ ОСОБИНЕ ЛЕСА	63
4.3. ЗЕМЉИШТА И ПАЛЕОЗЕМЉИШТА	64

4.4. ПАЛЕОЕКОЛОШКИ ЗНАЧАЈ ЛЕСНО-ПАЛЕОЗЕМЉИШНИХ СЕКВЕНЦИ..	66
4.5. ФАКТОРИ ТЕМПОРАЛНЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ СЕДИМЕНАТА	69
4.6. ДИСТРИБУЦИЈА ЛЕСНИХ НАСЛАГА У СВЕТУ	70
5. ЛЕС У ВОЈВОДИНИ	76
6. МЕТОДА ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА	85
6.1. ПОЈАМ ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈЕ	85
6.2. ПРИНЦИПИ ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА	86
6.3. ЗОНСКА ТЕОРИЈА	90
6.4. РАСТ СИГНАЛА И СТАБИЛНОСТ ЗАМКИ	94
6.5. НАЈЧЕШЋЕ КОРИШЋЕНИ МИНЕРАЛИ У ЛУМИНЕСЦЕНТНОМ ДАТИРАЊУ	97
6.5.1. <i>КВАРЦ</i>	98
6.5.2. <i>ФЕЛДСПАТ</i>	99
6.6. ПРЕГЛЕД МЕТОДА ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА	100
6.6.1. <i>ТЕРМАЛНО СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (TL)</i>	101
6.6.2. <i>ОПТИЧКИ СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (OSL)</i>	103
6.7. СТИМУЛАЦИЈА МИНЕРАЛА	105
6.7.1. <i>ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА СТИМУЛИСАНА ВИДЉИВОМ СВЕТЛОШЋУ</i>	107
6.7.2. <i>ИНФРАЦРВЕНО СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (IRSL)</i>	107
6.7.3. <i>ИНФРАЦРВЕНА РАДИОФЛУОРЕСЦЕНЦИЈА (IR-RF)</i>	108
6.7.4. <i>ЛИНЕАРНО МОДУЛОВАНА OSL (LM-OSL)</i>	110
6.7.5. <i>ПРОСТОРНО ОДРЕЂЕНА OSL (HR-OSL)</i>	112
6.7.6. <i>ТЕРМАЛНО ТРАНСФЕРИСАНА OSL (TT-OSL)</i>	113
6.8. ЛУМИНЕСЦЕНТНИ ЕМИСНИ СПЕКТАР	113
6.9. ПРОБЛЕМИ ПРИЛИКОМ УТВРЂИВАЊА ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ	116
6.9.1. <i>НЕПОТПУНО НУЛИРАЊЕ (РЕСЕТОВАЊЕ)</i>	116
6.9.2. <i>ТЕРМАЛНИ ТРАНСФЕР</i>	118
6.9.3. <i>АНОМАЛНО ГАШЕЊЕ</i>	119
6.9.4. <i>ПОСТ ДЕПОЗИЦИОНО МЕШАЊЕ</i>	122
6.10. УТВРЂИВАЊЕ ГОДИШЊЕ ДОЗЕ	122
6.10.1. <i>КОСМИЧКА РАДИЈАЦИЈА</i>	129
6.10.2. <i>УТИЦАЈ САДРЖАЈА ВОДЕ</i>	130
6.11. ТЕХНИКЕ ЗА УТВРЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ	131

6.11.1. ТЕХНИКЕ ВИШЕСТРУКИХ АЛИКВОТА	132
6.11.2. ТЕХНИКЕ ЈЕДИНАЧНИХ АЛИКВОТА	133
6.11.2.2. ТЕХНИКА РЕГЕНЕРАТИВНЕ ДОЗЕ ЈЕДИНАЧНОГ АЛИКВОТА – SAR	136
(The single-aliquot regenerative-dose technique – SAR)	136
6.11.3. ПРОТОКОЛАРНИ ТЕСТОВИ	140
6.11.3.1. ПРОВЕРА ЧИСТОЋЕ	141
6.11.3.2. ТЕСТ РЕКУПЕРАЦИЈЕ И ОДНОСА РЕЦИКЛОВАЊА	142
6.11.3.3. ДВОСТРУКИ SAR ПРОТОКОЛ	145
6.11.3.4. ТЕСТ ДОЗНЕ ОБНОВЕ	145
6.11.3.5. ТЕСТ ПЛАТОА ПРЕДГРЕВАЊА	146
6.11.3.6. КАЛИБРАЦИЈА БЕТА ИЗВОРА	147
6.12. ПРЕГЛЕД МЕТОДА ЗА ДЕТЕРМИНАЦИЈУ ГОДИШЊЕ ДОЗНЕ СТОПЕ	148
6.12.1. ИНДИРЕКТНА ДЕТЕРМИНАЦИЈА	149
6.12.1.1. БРОЈАЊЕ α -, β - и γ -ЗРАКА	149
6.12.2. ДИРЕКТНА ДЕТЕРМИНАЦИЈА	151
6.13. ИНСТРУМЕНТИ ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ	152
6.13.1. РАЗВОЈ TL/OSL ЧИТАЧА	153
6.13.2. АУТОМАТИЗОВАНА TL АПАРАТУРА	153
6.13.3. САВРЕМЕНИ RISØ TL/OSL ЧИТАЧИ	155
6.13.3.1. СВЕЛОСНИ ДЕТЕКЦИОНИ СИСТЕМ RISØ ЧИТАЧА	157
6.13.3.2. ТЕРМАЛНИ СТИМУЛАЦИОНИ СИСТЕМ	157
6.13.3.3. ОПТИЧКИ СТИМУЛАЦИОНИ СИСТЕМ	158
6.13.3.4. ПУЛСНА СТИМУЛАЦИЈА И ВРЕМЕНСКИ ДЕТЕРМИНИСАНА OSL	160
6.13.4. ИРАДИЈАЦИЈА (ОЗРАЧИВАЊЕ)	160
6.13.4.1. БЕТА ИРАДИЈАЦИЈА	160
6.13.4.2. АЛФА ИРАДИЈАЦИЈА	161
6.13.4.3. ИРАДИЈАЦИЈА X-ЗРАЦИМА	162
6.13.4.4. ФОКУСИРАНИ ЛАСЕРСКИ OSL СИСТЕМ ЗА ЈЕДИНАЧНА ЗРНА	162
6.13.5. ГАМА СПЕКТРОМЕТАР	163
6.13.5.1. ДЕТЕКЦИОНИ СИСТЕМ	166
6.14. СОФТВЕР	167
6.14.1. УПРАВЉАЧКИ СОФТВЕР	167
6.14.2. АНАЛИТИЧКИ СОФТВЕР	168
6.15. ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ	170
6.15.1. ТЕРЕНСКО ПРИКУПЉАЊЕ УЗОРАКА	170

6.15.1.1. УЗОРЦИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ	171
6.15.1.1.1. Метода седиментних секција	172
6.15.1.1.2. Метода језгровања.....	173
6.15.1.3. УЗИМАЊЕ УЗОРАКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ САДРЖАЈА ВЛАГЕ	176
6.15.2. ХЕМИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЕКВИВАЛЕНТНУ ДОЗУ	177
6.15.3. ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ДОЗНЕ СТОПЕ.....	179
7. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА	182
7.1. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ТИТЕЛСКОГ ЛЕСНОГ ПЛАТОА	182
7.2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ФЕНОМЕНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈЕ И ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА	188
7.3. ДОСАДАШЊА ЛУМИНЕСЦЕНТНА ДАТИРАЊА ЛЕСНИХ ПРОФИЛА У ВОЈВОДИНИ	191
8. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	193
8.1. ОПИС ЛОКАЛИТЕТА.....	193
8.3. ЛАБОРАТОРИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЕКВИВАЛЕНТНУ ДОЗУ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕТАЉИ.....	199
8.3.1. ЛАБОРАТОРИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ДОЗНУ СТОПУ	200
8.3.2. ДЕТАЉИ ПРОТОКОЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ.....	201
9. РЕЗУЛТАТИ	206
9.1. ЛИТОЛОГИЈА	206
9.2. ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КВАРЦА	208
9.2.1. ТЕСТ ПРОВЕРЕ ЧИСТОЋЕ	208
9.2.2. ТЕСТ ПЛАТОА ПРЕДГРЕВАЊА	216
9.2.3. ТЕСТ ДОЗНЕ ОБНОВЕ.....	218
9.3. РЕЗУЛТАТИ ПРОТОКОЛАРНИХ ТЕСТОВА ФЕЛДСПАТА.....	220
9.4. РЕЗУЛТАТИ De МЕРЕЊА	222
9.5. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ДОЗНЕ СТОПЕ.....	225
9.6. ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ СТАРОСТИ	233
10. ДИСКУСИЈА	239
10.1. ИЗБОР НАЈАДЕКВАТНИЈЕГ ПРОТОКОЛА И МАТЕРИЈАЛА ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ	239
10.2. ПРВА ДЕТАЉНА СТАРОСНА СКАЛА ЗА ЛЕС У ЕВРОПИ ЗА ПОСЛЕДЊА ДВА ГЛАЦИЈАЛНО-ИНТЕРГЛАЦИЈАЛНА ЦИКЛУСА И ПОРЕЂЕЊЕ СА СЛИЧНИМ ПАРЦИЈАЛНИМ ЛЕСНИМ СТАРОСНИМ СКАЛАМА.....	243

10.3. СЕДИМЕНТАЦИОНЕ СТОПЕ: ИНДИКАТОРИ ПРОМЕНЕ ИНТЕНЗИТЕТА ФОРМИРАЊА ЛЕСНИХ НАСЛАГА	254
10.4. НОВИ СТРАТИГРАФСКИ ДОМЕТИ: L1/S1 ГРАНИЦА У НАШЕМ И КИНЕСКОМ ЛЕСУ	260
<i>10.4.1. ГЕОГРАФСКИ ПОЛОЖАЈ И ОПИС ЛИНГТАИ СЕКЦИЈЕ</i>	<i>260</i>
<i>10.4.2. УЗОРКОВАЊЕ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕТАЉИ И ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛИНГТАИ УЗОРАКА</i>	<i>263</i>
<i>10.4.3. СТАРОСНО-ДУБИНСКИ МОДЕЛИ И МАСЕНО АКУМУЛАЦИОНЕ СТОПЕ (MAR).....</i>	<i>268</i>
11. ЗАКЉУЧАК	273
12. ЛИТЕРАТУРА	276
13. ДОДАЦИ	326

ПРЕДГОВОР

На крају овог невероватног периода, током кога се нешто изгубило, али много тога и добило, имао сам прилике да упознам изузетне људе без чије помоћи и подршке успешан завршетак овог рада не би био могућ.

Највећу захвалност дугујем свом ментору, академику Слободану Марковићу, за безрезервну моралну, интелектуалну и материјалну подршку током свих година докторских студија. Захваљујући њему, који је упркос свему веровао у мене чак и када многи то нису, имао сам прилике да учим и радим са најбољима.

Професору Миливоју Гаврилову, дугујем посебну захвалност за корисне савете, моралну подршку и доста издвојеног времена у финалној припреми овог рада.

Професору Улриху Хамбаху (Ulrich Hambach), се захваљујем на гостопримству и саветима током мог боравка на Универзитету у Бајројту. Свом пријатељу Кристијану Лагу (Christian Laag), дугујем посебну захвалност, јер је поред својих бројних факултетских обавеза, некада до касно у ноћ неуморно помагао у издвајању узорака из Тителског језгра.

Тому Стивенсу (Thomas Stevens) се захваљујем на указаном поверењу, моралној подршци и помоћи током писања првог рада који је проистекао из овог пројекта.

Током боравка у Данској, у Нордијској лабораторији за луминесцентно датирање, где су обављена сва мерења за потребе ове дисертације, имао сам прилике да стекнем јединствена знања и искуства која данас сматрам веома драгоценим. Ово не би било могуће без изузетних људи и научника из Рисо лабораторија који су ми пружили свесрдну помоћ и подршку током периода који сам тамо провео.

На првом месту се захваљујем Јану-Питеру Бујлерту (Jan-Pieter Buylaert) који је поред свих обавеза у лабораторији налазио времена да одговори на моја многобројна питања и недоумице. Такође му се захваљујем на пријатељству које је показао и ван радног времена и умногоме ми олакшао боравак у Данској.

Ендију Мареју (Andrew Murray), захваљујем на многобројним корисним саветима и дискусијама због којих је некада остајао у лабораторији и дуго након радног времена. Луизи Хелстед (Louise Maria Helsted) и Вики Хансен (Vicki Hansen), захваљујем на изузетном пријатељству и љубазности. Захваљујући њима је овај пројекат окончан пре предвиђеног рока јер су много пута моје узорке третирале HF-киселином прекореда.

Такође не могу а да не поменем Резу Сохбатија (Reza Sohbati), чије су ми савети и пријатељство много помогли током овог напорног периода. Захваљујем и Мајанку Јаину (Mayank Jain), на професионалној помоћи и обезбеђеним трошковима смештаја током

рада на пројекту. Без његове помоћи, успешно спровођење ове студије би сигурно било доведено у питање.

Неизмерно се захваљујем својој породици, нарочито мајци, без чије подршке све ово не би било могуће.

Хвала свима на невероватном путовању.

1. УВОД

Вероватно да не постоји човек који бар једном није замислио како би било када би постојала могућност путовања кроз време. Неки од нас су замишљали путовање у прошлост, вођени жељом сведочења историјским догађајима који су имали пресудан утицај на наше друштво и природно окружење. Други пак сањају о путу у будућност, радознали да виде технолошки напредак (или назадовање) човечанства, промене које су се десиле на нашој планети и да ли је људска врста уопште преживела миленијуме који се налазе пред нама, да би се на крају вратили у садашњост са знањем шта ће се десити сутра.

Концепт путовања кроз време у свом физичком смислу још увек није остварив, међутим, постоје могућности како реконструкције прошлости, тако и предвиђања будућих догађаја, бар на нивоу природних планетарних промена. Како се највећи део овог рада бави реконструкцијом палеоклиматске и палеоеколошке прошлости, где геолошко време игра пресудну улогу, у уводу ће бити представљени различити концепти овог феномена.

1.1. ГЕОЛОШКИ КОНЦЕПТ ВРЕМЕНА

Климатске промене, било да су антропогеног карактера или не, имају пресудан утицај како на планету Земљу, тако и на њен живи свет. Разумевање и предвиђање климатских промена захтева детаљно познавање главних фактора који су те промене изазвали.

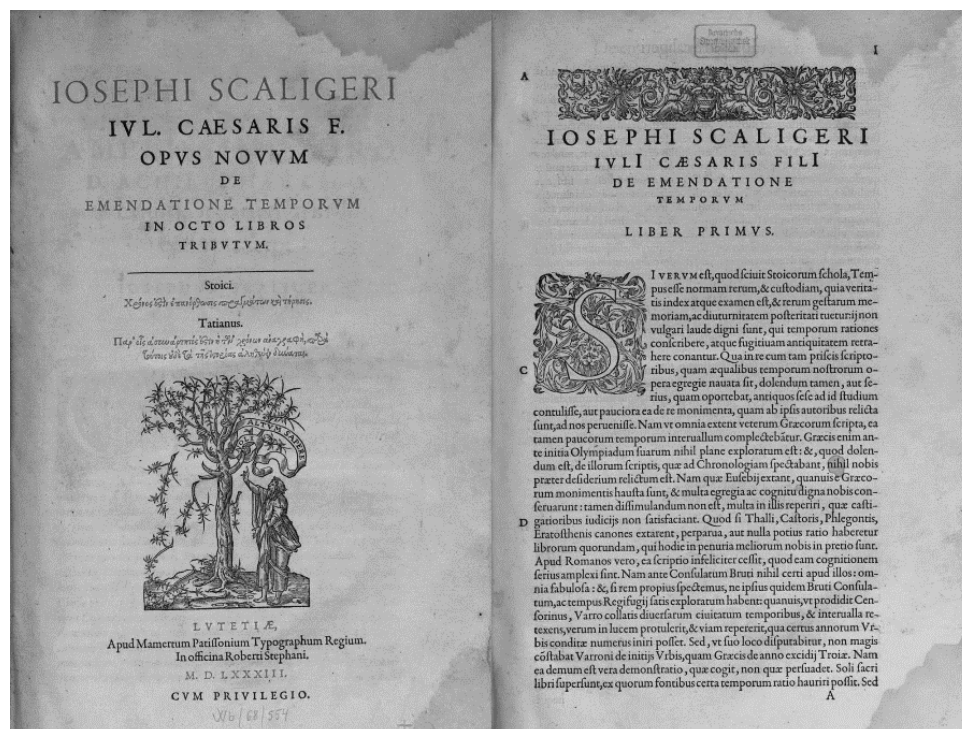
Покушаји да се завири у будућност су интензивирали студије о блиској геолошкој прошлости, посебно квартарног периода. Реконструкција квартарног климата је од пресудног значаја за развој климатских модела који омогућавају боље разумевање прошлих, садашњих и предвиђање будућих климатских варијација.

У данашње време, расте забринутост да сагоревање фосилних горива у протеклих 200 година као и скорија интензивна експлоатација тропских шума могу пореметити равнотежу између соларне радијације која доспева на Земљу и терестричне радијације, на начин који је тешко потпуно предвидети, али који највероватније знатно убрзава глобално загревање. Један од незаобилазних фактора у реконструкцији прошлих и предвиђању будућих климатских промена као и установљавања фактора који условљавају ове промене, је разумевање концепта геолошког времена. Геолошко време је почело да се

истражује још пре нове ере, а као и у случају многих других природних наука, почетак развоја ове дисциплине налазимо у античкој Грчкој.

У шестом веку п.н.е. грчки филозоф Талес из Милета је сматрао да су геолошки процеси резултат природних догађаја а не резултат натприродних интервенција, док је Демокрит тврдио да је сва материја састављена од атома чиме је поставио основу за боље разумевање геолошких феномена. Током четвртог века п.н.е., Аристотел је утврдио да су фосилизоване шкољке веома сличне живим морским шкољкама. Тада је на основу фосила које је налазио свуда на копну, закључио да се релативан положај копна и мора мењао у прошлости. Такође је мислио да је за промене које су се догодиле, био потребан дуг временски период. Аристотелов ученик Теофраст је касније написао прву књигу о минералогии под насловом „О камену“ (Ledra, 2010).

Скоро до самог краја средњег века, сматрано се да је Земља веома млада, и да није старија од 6.000 година. Ово је закључено на основу тврдње из Библије о шестодневном стварању Света и Христових речи: „Један дан је са Господом као хиљаду година, а хиљаду година као један дан“. На основу тога је Беда Поштовани (Beda Venerabilis, 672 – 735) израчунао да се стварање Земље догодило 3952. године п.н.е. Након њега је Јосиф Јустус Скалигер (Joseph Justus Scaliger, 1540 – 1609), 1583. године објавио своје дело „*De emendatione temporum*“ у коме је тврдио, да је Земља настала 4713. године п.н.е.



Прилог 1. Скалигерово дело „*De emendatione temporum*“.

Један од првих покушаја утврђивања старости Земље на основу библијске хронологије, начинио је Сир Џон Лајтфут (Sir John Lightfoot, 1602 – 1675). Он је на основу библијских референци установио да је Земља настала у 9 сати ујутру, 26. октобра 3926. године п.н.е. Недуго затим је Џејмс Ашер (James Ussher, 1581 – 1656), англикански надбискуп Армага, такође израчунао старост Земље помоћу Библије. Ашер је покушао да по први пут организује растућу количину информација и знања о Земљи у повезану причу и временски оквир. Ашеров прорачун који је базирао на детаљном истраживању Старог завета, тврдио је да је Земља настала у уторак 23. октобра 4004. године п.н.е. у 12 сати у подне. Након својих истраживачких путовања, Сир Волтер Роли (Sir Walter Raleigh, 1552 – 1618) је био мишљења да је Земља знатно старија него што црква тврди. Због овога је често оптуживан за атеизам и јерес, иако у свом делу „Историја Света“ нигде није изнео ово мишљење.

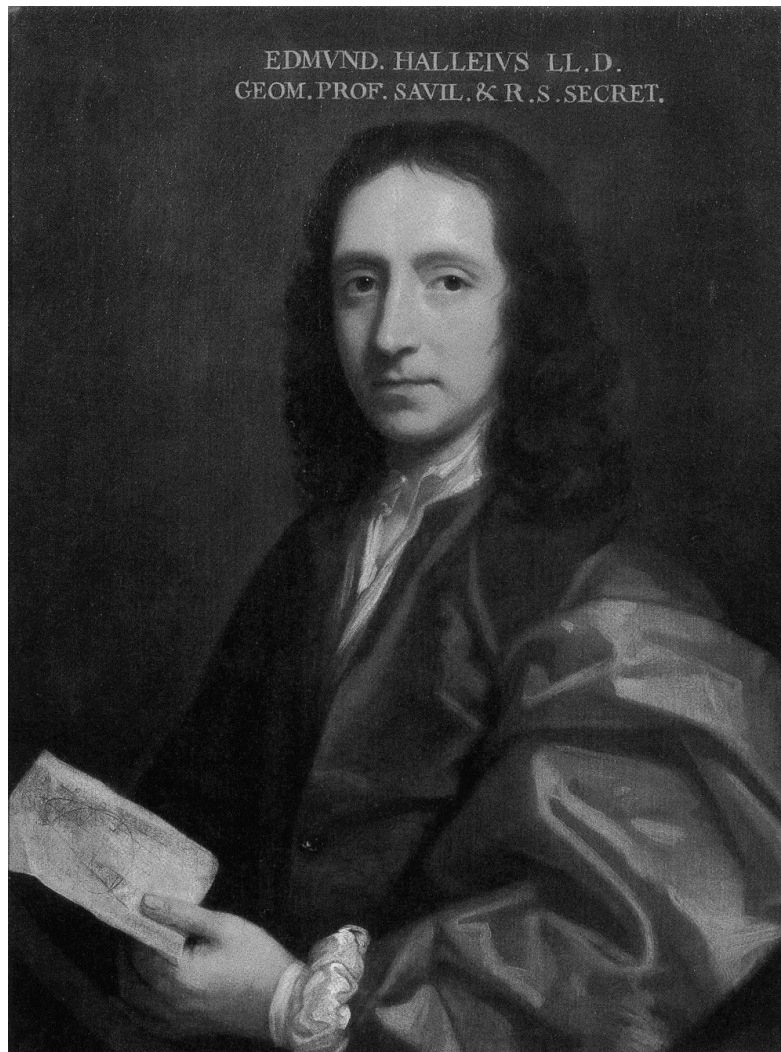


*Прилог 2. Надбискуп Џејмс Ашер
(The National Portrait Gallery, London).*

Почетком 17. века, са популаризацијом природних наука, многи знатижељници су почели да истражују стене и фосиле. Већина њих је објашњавала настанак стена као

последницу Библијског потопа, која је следила библијску верзију историје и подразумевала да Земља не може бити много стара. Поред тога, појединци, као што је на пример физичар Роберт Хук (Robert Hooke, 1635 – 1703), нису веровали да су седиментне стене резултат потопа, нити у временску лествицу коју је предложио Ашер.

Поред Хука, значајну улогу у постављању неких од најзначајнијих принципа геологије, имао је дански природњак, анатом и лекар Николас Стено (Nicolaus Steno, 1638 – 1686). Он је користио своје знање о фосилима и стратиграфији како би утврдио геолошку прошлост Тоскане. Посматрањем стена у околини Фиренце, утврдио је да је ова област била плављена два пута. Током прве поплаве, депоновани су старији слојеви. Ови слојеви су након тога нагнути а друга поплава је депоновала још седимената преко првих слојева. На основу ових налаза, закључио је да се прва поплава десила током другог дана стварања света по библијском предању.



Прилог 3. Едмунд Халеј
(Thomas Murray; Royal Society, London).

Исак Њутн је израчунао да је старост Земље 6.000 година на основу Библије и других извора које је сматрао поузданим. Енглески астроном, физичар, математичар и метеоролог Едмунд Халеј (Edmond Halley, 1656 – 1742) је 1715. године предложио да се старост Земље може израчунати проучавањем салинитета океана.

Он је сматрао да је, уколико се утврди салинитет мора и поново измери након одређеног времена, могуће израчунати промену салинитета са временом. Халеј је мислио да ће на основу очекиваног пораста салинитета, моћи да израчуна количину времена која је потребна да слатка вода достигне садашњи салинитет мора. На жалост, није остало забележено да ли је заиста спровео овај експеримент, али је своју теорију публиковао.

Беноа Де Маилет (Benoit De Maillet, 1656 – 1738) је током боравка у Египту на дужности француског конзула написао књигу о поплавама реке Нил на основу личних посматрања и истраживања египатских записа о поплавама. Он је закључио да је Земља древне старости од најмање 2 милиона година. Како би избегао црквену цензуру, ово истраживање је представио у тексту под називом „Телиамед: или разговори између индијског филозофа и француског мисионара о умањењу мора“. Телиамед, име индијског филозофа и главног протагонисте књиге, је у ствари представљало ананим имена Де Маилет. Ипак, ово дело је публиковано тек 10 година након његове смрти.

Жорж Луј Леклерк де Буфон (George Louis Leclerc, 1707 – 1788), чувар Краљевских зоолошких вртова у Паризу и присталица Њутнових научних идеја прихватио је Де Маилетову хипотезу. Леклерк је провео 10 година прикупљајући и каталогизирајући збирке музеја природне историје. Његов напор је резултирао енциклопедијом природне историје од 36 томова која је објављена између 1749. и 1789. године.

Ово је било прво природно представљање историје Земље и геолошке историје које нису биле засноване на Библији. Још једно од његових значајних дела које је објавио 1778. године, представљала је публикација „Природне епохе“, где је предложио теорију настанка планета. По овој теорији, комета је ударила у Сунце, што је узроковало одвајање 1/650 дела његове масе, од чега су формиране планете. Такође је тврдио да се цела историја Земље може поделити на седам епоха. Леклерк је на основу експеримената које је спровео загревањем и хлађењем кугли од мешавине гвожђа и неметаличних минерала, израчунао да је Земља стара 74.000 година, што је у оно време изазвало велики скандал. Теолози Сорбоне су га због тога осуђивали што га је натерало да повуче своје мишљење, додуше неискрено.



Прилог 4. Жорж Луј Леклерк де Буфон
(Egerton, 2007).

Џејмс Хатон (James Hutton, 1726 – 1797) шкотски природњак и геолог је 1785. године објавио рад у коме је представио нову теорију о Земљи. Ову теорију је оштро критиковао Ричард Кирван (Richard Kirwan, 1733 – 1812), ирски правник и хемичар. То је навело Хатона да напише опширније дело под називом „Теорија Земље“ које је објавио 1795. године. У овом делу је Хатон тврдио да је Земља знатно старија него што се претходно мислило. Хатон ће остати упамћен због формулисања униформитаризма и Плутонистичке школе мишљења. Данас се Хатон сматра родоначелником модерне геологије.



Прилог 5. Џејмс Хатон
(*Sir Henry Raeburn, 1776.; National Galleries of Scotland.*)

Деветнаести век се сматра херојским периодом геологије. До 1840. године литолошки стуб или секвенцијални поредак стена у облику каквим га знамо данас је био комплетиран, што је омогућило да свакој стени на Земљиној површини буде одређена релативна временска позиција у секвенци. Ово је навело људе да схвате да стенске секвенце у ствари показују историјски развој Земље.

Чарлс Лајл (Charles Lyell, 1797 – 1875), један од најпознатијих светских геолога, је 1830. године објавио први том свог дела „Принципи геологије“ користећи сазнања о литолошком стубу. Лајл је 1867. године покушао да израчуна дужину геолошког времена од ордовицијске периоде на основу процене да би требало 20 милиона година за потпуну физичку промену мекушаца (*molluscan*). Он је на основу тога проценио да би за развој Земље било потребно око 240 милиона година. Лајлов прорачун се испоставио као погрешан али је представљао једну од првих процена које су говориле у временским оквирима од стотине милиона године. Године 1850., физичар Херман Фон Хелмхолц (Hermann Von Helmholtz, 1821 – 1894) је био мишљења да је Земља формирана колапсом материјала у њеном средишту, што је конвертовало гравитациону енергију у светлост и топлоту. Користећи овај процес као основ, Хелмхолц је проценио да је Земља стара између 20 и 40 милиона година. Ирски геолог Самјуел Хотон (Samuel Haughton, 1821 – 1897) је 1878. године представио идеју да се старост геолошких записа може проценити сабирањем дебљине свих познатих слојева. Ово је била најпопуларнија метода процене старости Земље преко 50 година.



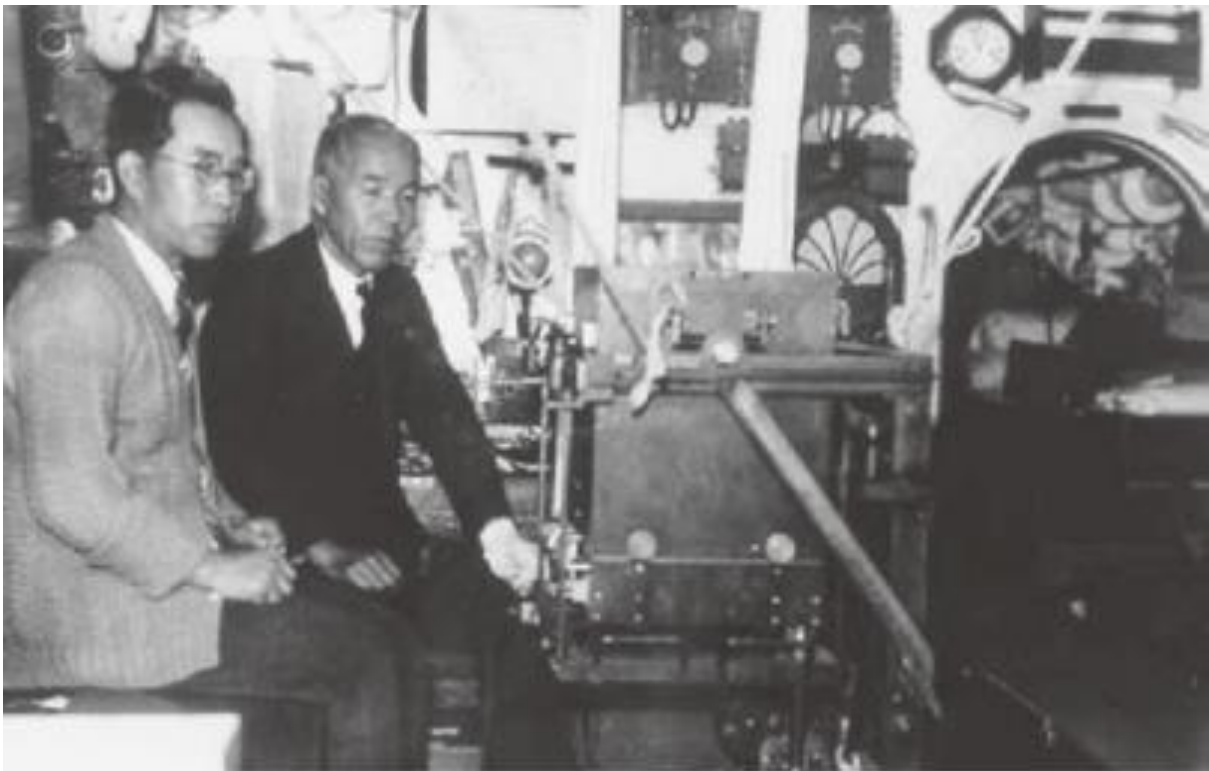
Прилог 6. Чарлс Лајл
(Craig, 1840).

Са схватањем Вилијема Гилберта (William Gilbert, 1544 – 1603) да Земља поседује магнетно поље, које је математички описао Карл Фридрих Гаус (Carl Friedrich Gauss, 1777 – 1855) и открићем реманентног магнетизма у стенама од стране Александра фон Хумболта (Alexander von Humboldt, 1769–1859), магнетизам постаје значајан за геолошко датирање.



Прилог 7. Александар фон Хумболт
(Karl Josef Stieler, 1843).

Бернхард Бринс (Bernard Brunhes, 1867 – 1910) је први приметио да геомагнетно поље мења поларитет. Бринс је 1906. године открио старе токове лаве које су имале магнетни поларитет супротан млађим и старијим стенама. Он је тада закључио да је магнетно поље Земље морало бити преокренуто за време екструзије. Мотонори Матујама (Motonori Matuyama, 1884 – 1958) је потврдио Брунсове резултате. У свом раду „О правцу магнетизације базалта“, Матујама је доказао да поларитет реманентног магнетизма у појединим вулканским стенама плио-плеистоцене старости, зависи од старости стене и закључио да је Земљино магнетно поље морало пролазити кроз периодичне промене (реверзије поларитета) (Tomoda, 2010).



Прилог 8. Професор Мотонори Матујама (десно) и асистент Наоичи Кумагаи. (Tomoda, 2010).

Откриће промене поларитета Земљиног магнетног поља и његова фосилизација у стенама је у комбинацији са радиометријским и палеоентолошким датирањем, довела до новог средства за апсолутно датирање, што означава почетак модерне геохронолошке науке.

2. ГЕОХРОНОЛОГИЈА

Геологија је природна наука која се бави проучавањем Земље, материјала од којих је начињена, структуре тих материјала и процеса који на њих делују. У геолошкој науци време има централну улогу. Проток времена, разни догађаји и временски интервали су забележени у Земљиним стенама, посебно у стратиграфским јединицама и различитим литолошким, палеолошким, магнетним и хемијским сигналимa у њима. Истраживање ових стена је допринело одређивању старости Земље. У међувремену је ова студија проширена и на друге планете Сунчевог система. Подаци добијени путем радиометријског датирања указују да је старост планете Земље ~4,5 милијарди година.

Стратиграфија је средство анализе и уређивања ових феномена где се хроностратиграфија и геохронологија баве искључиво релацијама стена и времена. Основно полазиште за било које истраживање о палеоклиматским променама као и примарно средство приказивања геолошких временских информација представља геолошка временска скала или GTS (Geological Time Scale) и њених јединица (<http://geology.com>). GTS је систем који повезује геолошку стратиграфију са временом и употребљава се за опис временског оквира и узрочно-последичних веза догађаја који су се дешавали током Земљине историје. Геолошка скала је подељена у различите јединице према догађајима који су се дешавали у сваком од одређених периода. Означавање разних временских распона на геолошкој скали обично одговарају променама у композицији стратиграфије и указују на значајне геолошке или палеоеколошке догађаје као што су, на пример, масовна изумирања појединих животињских или биљних врста и геолошке или астрономске катастрофе. Најдужа идентификована временска јединица/интервал је супереон кога чине краћи временски интервали, познати као еони. Еони се деле на још краће интервале или периоде, који су даље подељени на још краће периоде/јединице или епохе, а ове су подељене на најкраће интервале или доба.

Геолошке јединице из одређеног времена али различитих делова Земље, веома често изгледају доста другачије и садрже различите фосиле. Због тога је честа појава да су истим периодима давани различити називи у зависности од тога у ком крају света се геолошке јединице налазе. На пример, у Северној Америци, доњи камбријум се назива Ваукобан (Waucoban). Ова серија је даље подељена на зоне на основу смене трилобита. У

источној Азији и Сибиру, иста јединица је подељена на Алексијан, Атдбаниан и Ботомиан.

Многе од ових јединица су најпре биле постављене као релативне стенско-временске јединице. Оне се обично односе на последњих ~500.000 година, где се могу наћи очувани фосили који су главни фактор у дефиницији, препознавању и корелацији ових јединица-стратотипова (Hilgen et al., 2004).

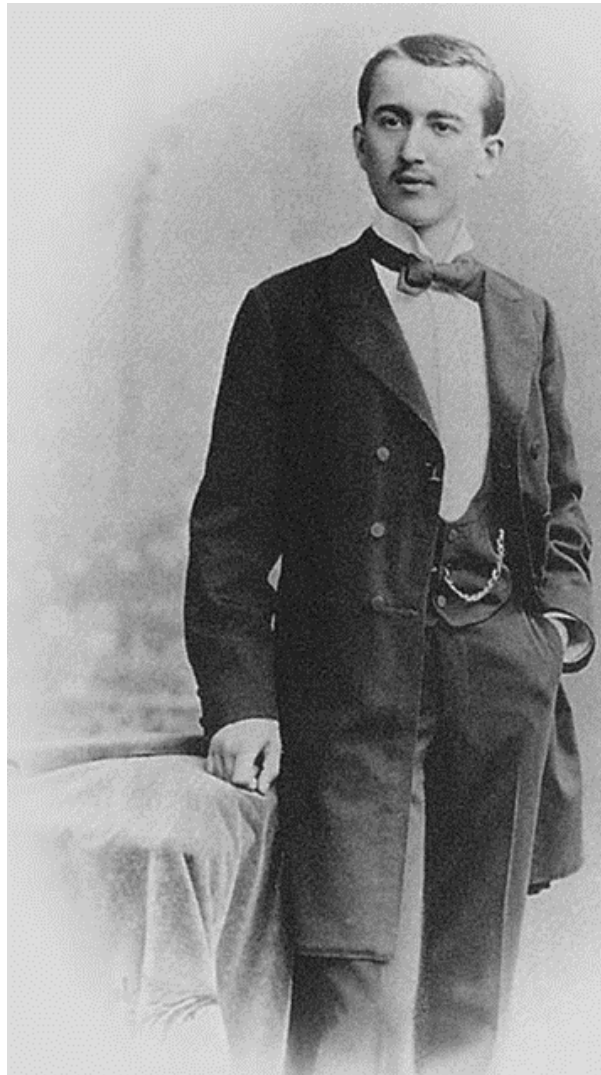
Геохронологија је наука која се бави одређивањем старости стена, фосила и седимената служећи се карактеристичним записима који се налазе у самим стенама. Апсолутна геохронологија може бити постигнута помоћу радиоактивних изотопа док релативна геохронологија претпоставља употребу техника као што су палеомагнетизам и коефицијенат стабилних изотопа. Комбиновањем више геохронолошких индикатора, прецизност добијене старости се може унапредити.

Хроностратиграфија је дисциплина која настоји да обезбеди апсолутне старости за све фосилне скупине и одреди геолошку историју планете Земље као и тела ванземаљског порекла. У том процесу, као примарно средство користи геохронологију која обезбеђује нумеричке старости познатих и добро дефинисаних стенских јединица, као и фосилних скупина. Хроностратиграфија, као грана стратиграфије, истражује аспекте геологије који се баве временом и темпоралним односом између седимената, ледених језгара и других геолошких структура. Најпознатије од ових јединица су геолошке периоде геохронологије, или тачније времена (јура, камбриј) и одговарајући системи хроностратиграфије, то јест односа време-стена на основу кога су засновани.

Историјски, ови системи су изграђени од, или подељени у серије и фазе. Периоде, епохе и доба су затим коришћене за означавање временских интервала у којима су слојеви депоновани. Према томе, концептуално, увек је постојала дуална и паралелна хијерархија хроностратиграфских јединица за означавање стенских тела која су формирана истовремено и геохронолошких јединица за означавање интервала у којима су формирана или током којих су се десили одређени догађаји (еволуција, изумирање врста, деформација, трансгресија, регресија и тако даље). Многе од ових јединица су најпре биле постављене као релативне стенско-временске јединице. Ове јединице су обично из последњих 500 милиона година (еон фанерозоик) где постоје релативно добро очуване фосилне скупине, које представљају кључни елемент њиховог дефинисања, препознавања и корелације. Већина прекамбријских јединица GTS-а, којима већином недостају фосилне скупине, још увек нису идентификоване „глобалном стратотипском граничном секцијом и

тачком“ (GSSP – Global Boundary Stratotype Section and Point). Архајско-протерозојска граница је на пример постављена пре 2500 милиона година. Међутим, едијакаријумски систем/периода је дефинисана GSSP-ом 2004 године (Knoll et al., 2006) и едукаријска и криогенијска подкомисија разматрају GSSP за криогениј и потподелу едукарија посредством GSSP-а. Чак шта више, ICS подкомисија за прекамбријску стратиграфију је иницирала напоре за дефинисање GSSP-а за потподелу архаика и протерозоика посредством њихових стенских записа (e.g., Bleeker, 2004) што би било реалније него произвољно одређивање нумеричких старости. Ови пројекти ће највероватније произвести прекамбријску временску лествицу које је доста другачија од садашње.

Са друге стране, признавање дубокоморских изотопских фаза (MIS – Marine isotope stages), које су се поклапале са Миланковићевим циклусима, довело је до оживљавања концепта јединица-стратотип у оквиру геолошке временске скале (Hilgen et al., 2006).



Прилог 9. Милутин Миланковић као студент у Бечу.
(Извор: <http://www.sanu.ac.rs>).

На пример, неогени катови (занклински и пјачентин) са горњим и доњим границама дефинисаним GSSP-ом у истим секцијама, унутар њих самих, имају све значајне биостратиграфске и магнетостратиграфске сигнале за обухваћено време и нумеричке старости које су интегрисане и прецизно датирани при високим резолуцијама посредством астрономског подешавања. Недавно је холоцен, који је до тада био дефинисан искључиво нумерички, редефинисан са GSSP-ом у Гренландском леденом језгру (Walker et al., 2009). Овде су геолошки догађаји посматрани, бележени и датирани онако како су се дешавали током календарског времена (године, месеци, дани, сати). Суперпозиције у анализираним депозицијама при тако високим временским резолуцијама веома често могу бити поремећене. На пример, то се дешава појавом биотурбације (Zalasiewicz et al., 2007), што компликује примену хроностратиграфије. Ране конструсане верзије GTS-а су веома ефективно функционисале пре појаве радиометријског датирања (Jukes-Brown, 1902). У данашње време се улаже значајан напор у калибрацији геолошке временске скале нумеричким старостима. Поред тога, чешћа је пракса изражавања информација геолошког времена у облику GTS јединица, него употребом календарског времена. Разлог за ово делом лежи у наслеђеној пракси, а делом због лакшег и кориснијег успостављања релативне корелације.

Иако је недвосмислено да традиционалне стратиграфске јединице представљају стенске слојеве а геохронолошке јединице представљају временске распоне, покренута је дебата о неопходности задржавања дуалне и паралелне временске лествице са идентичним формалним називима. Овај сукоб је довео до односа где на пример „јура“ има два значења: као нематеријална јединица времена и као физичка стенска јединица. Поједини аутори (e.g., Zalasiewicz et al., 2004a, 2004b, 2007; Gong et al., 2004; Odin et al., 2004; Carter, 2007; Jensen, 2004) су се залагали за уједињење геохронолошких и хроностратиграфских хијерархија, док су се други (e.g., Heckert and Lucas, 2004; Bassett et al., 2004; Narkiewicz, 2004; Walsh, 2004; Aubry, 2007; Hilgen et al., 2006) залагали за задржавање устаљене дуалне хијерархије. Ова дебата представља дискретне али ипак различите перспективе о стратиграфским записима. Ово питање је опширно расправљано на GSA Пенроуз конференцији „Хроностратиграфија: изван GSSP-а“ (GSA Penrose Conference “Chronostratigraphy: Beyond the GSSP”) у Грацу, 2006. године као и током радионице Међународне комисије за стратиграфију (ICS – International Commission on Stratigraphy) у Прагу, 2010. године. Након радионице је формалним гласањем, чланство

ICS-а са правом гласа, већински одлучило да се задржи дуална хијерархија. Чак шта више, термини „геохронологија“ и хроностратиграфија“ су добили читав низ ширих значења.

Хроностратиграфија, у смислу у коме се данас користи, представља утврђивање временских односа у стратификованим стенама. Овај термин је обично ограничен на процесе везане за депозицију у којима су присутна суперпозициона својства, услед чега су доступни детаљни историјски записи. Хроностратиграфија подразумева примену дисциплина као што су биостратиграфија, магнетостратиграфија, хемотратиграфија, циклостратиграфија, секвенцна стратиграфија и нумеричко датирање како би се омогућила интерпретација темпоралних корелација. Поред тога, укључује развој формално именованих и дефинисаних хроностратиграфских јединица и хијерархија које ICS обухвата, као и регионалних хроностратиграфских класификација. На нашој планети, хроностратиграфија започиње у архаику, када се јављају стратални записи.

Геохронологија означава временске релације у свим стенама, нарочито када су формиране и да ли су стратификоване или не. Такође означава време процеса када су стене не само формиране већ и еродирани и разарани. Користи се за одређивање времена догађаја током целе Земљине историје а интерпретирају се помоћу стенских записа (климатских, биотичких, тектонских и океанографских). Геохролошке јединице почевши од едијакаријума па до квартара, су интервали у времену током којих су депоновани кореспондујући слојеви. Услед тога, границе хроностратиграфских јединица које обухватају GSSP, изабране због свог потенцијала за прецизну глобалну корелацију, означавају почетке и крајеве одговарајућих геохролошких јединица. Поред свега, геохронологија се такође често користи за назначивање употребе радиометријског датирања (термин геохронометрија се користи да би се засебно означио процес нумеричког датирања, мада није опште прихваћен). Самим тим, геохронологија се може изразити у облику нумеричких старости и трајања, премда се датирање геолошких догађаја и интервала најчешће изражава у смислу геохролошких јединица. Редослед глобалних геохролошких јединица, еквивалентан јединицама Међународне хроностратиграфске табеле (ICC – International Chronostratigraphic Chart), чине GSSP, а калибрисане су нумеричким старостима. У појединим случајевима, слојеви пепела који су доведени у везу са секцијама GSSP-а, обезбедили су старости за граничне нивое које су биле високе прецизности (e.g., Brack et al., 2005). Астрономска калибрација, континуалних, неогених и кварталних секција које укључују GSSP, пружају веома прецизне старости за границе као и за затворене страталне јединице унутар секција.

Већини GSSP-а недостају овакви слојеви пепела и морају бити калибрисане нумеричким старостима (које су и саме предмет ревизија и подешавања) са других локација. Из ових разлога, границе хроностратиграфских јединица нису дефинисане нумеричким старостима већ GSSP-овима изабраних унутар интервала са стратиграфским сигналом који пружа најпоузданију и најраспрострањенију временску корелацију. Старост GSSP-а се процењује на основу радиоизотопског одређивања старости у њиховом стратиграфском суседству. Насупрот томе, архаик и протерозоик нису дефинисани и подељени у геохронолошке јединице на основу прекамбријских стенских записа, већ на основу нумеричких старости у облику великих, заокружених бројева (3600 Ма, 2500 Ма, 1200 Ма). У складу са тим, формална хроностратиграфска јединица представља материјално стратално тело, за које је протумачено да је депоновано истовремено и са дефинисаном доњом и горњом границом путем GSSP-а, који пружа најпоузданији стратиграфски сигнал за њихову темпоралну корелацију

Табела 1. Пример хроностратиграфских и геохронолошких јединица

Хроностратиграфија (време-стена)	Геохронологија (време)
Еонотем (Фанерозоик)	Еон (Фанерозоик)
Ератем (Палеозоик)	Ера (Палеозоик)
Систем (Јура)	Периода (Јура)
Серија (горња Јура)	Епоха (касна Јура)
Кат (Титон)	Доба (Титон)

Извор: *Zalasiewicz, 2012.*

Формална геохронолошка јединица је континуални временски интервал између депозиције најнижих и највиших слојева унутар јединице. У случају нестратификованих стена, стенско тело се означава у погледу времена у коме је формирано. Ово не значи да је стена део временске јединице, пошто су стена и време одвојени и различити феномени, већ једноставно означава доминантан догађај у формацији гранита (кристализација минералних компоненти) који се десио током одређене временске јединице, који је утврђен, на пример, посредством радиометријског датирања (Zalasiewicz, 2012). Границе временске јединице у овом примеру, периода млађе креде (еквивалентна серија доње креде), су утврђене помоћу хроностратиграфских метода на GSSP секцијама и нумерички

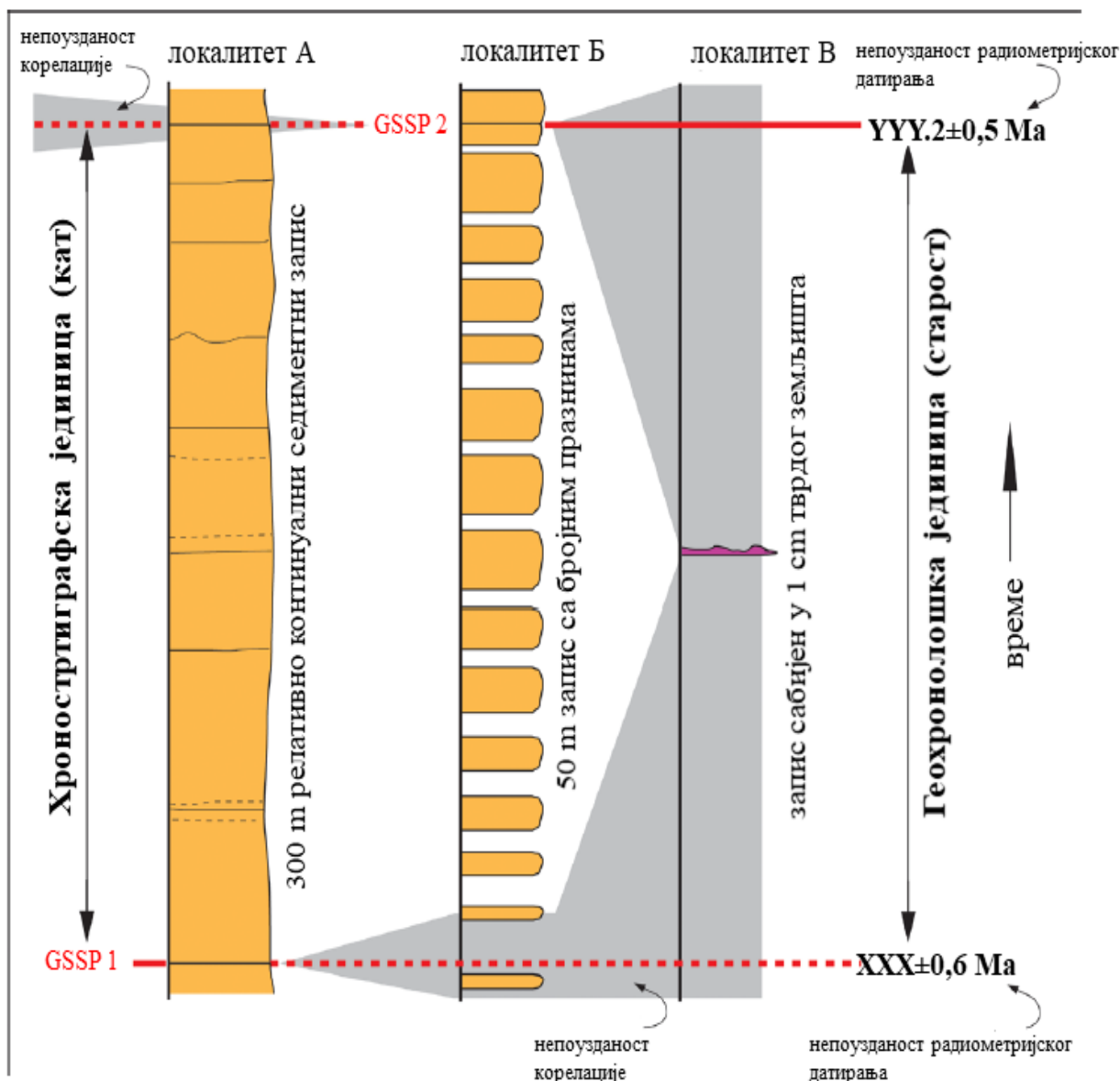
калибрисане, на пример, радиометријским датирањем слојева вулканског пепела унутар фосилизованих, корелативних сукцесија. Самим тим, детаљна анализа и корелација страталних записа утврђује како хроностратиграфски оквир тако и еквивалентне геохронолошке јединице, док су геохронолошке јединице тренутно дефинисане од стране GSSA (Глобална стандардна стратиграфска старост – Global Standard Stratigraphic Age).

Серије више система су формално именоване тако што су им додати придеви „млађи“, „средњи“ и „старији“ (у употреби је такође „рани“, „средњи“ и „касни“) када се мисли на временску димензију и „доњи“, „средњи“, и „горњи“ када се говори о слојевима стена који одговарају овим периодима геолошког времена Земљине историје (International Commission on Stratigraphy. "Chronostratigraphic Units." International Stratigraphic Guide. Accessed 14 December 2009). У случају појединих система/периода (камбрија, силур, перм, палеоген, неоген и квартар), серије/епохе су формално означене без додавања придева имену система/периоде (Zalasiewicz, 2012).

2.1. РАЗЛИКА ИЗМЕЂУ ВРЕМЕНСКИХ И ВРЕМЕНСКО СТЕНСКИХ ЈЕДИНИЦА

Постоји очигледна и изразита разлика између геолошких временских јединица и кореспондујућих страталних сукцесија, то јест, између геохронолошких и хроностратиграфских јединица, на пример између ценоманског доба и ценоманског ката касне-средње креде (Прилог 10). Самим тим, почетак и база ових јединица је утврђена GSSP-ом на типској секцији, док је врх или крај утврђен GSSP-ом горњим туронским добом/катом, који се обично налази на другој локацији, а веома често на другом континенту од базе/почетка. На било ком месту, седиментни запис ценоманског доба је увек непотпун јер ће празнине у извесном степену редовно бити присутне. Штавише, многе GSSP се налазе унутар кратких стратиграфских секција и представљају веома мали део глобалног стратиграфског редоследа јединице. Додатно, другде на свету и далеко од ових типично географски раздвојених GSSP-а, признавање ценоманског ката зависи од непоузданости у корелацији. У данашњој пракси, корелација се обавља палеонтолошким средствима, јер еволуција фосила у суштини има једносмерну путању, али обично укључује непоузданост знатног дела од милион година. Према томе, постоји непотпуност која је свеprisутна у седиментним записима ценоманског времена на било којој локацији, и непрецизност у идентификацији ценоманских догађаја у стенама. Међутим, распон геолошког времена обухваћен ценоманским добом, по дефиницији остаје исти свуда на

Земљи. Ова одлика важи било да се слој класификује у хроностратиграфском, било у геохронолошком смислу (Zalasiewicz, 2012).



Прилог 10. Дијаграм који приказује однос времена и стена. Локалитет А приказује скоро континуалну сукцесију која укључује једну GSSP близу базе. Локалитет Б приказује сукцесију са спорадичним празнинама који укључује GSSP наредне временске јединице близу врха. Свака од GSSP-а је прецизно лоцирана код своје типске секције, али постоји непоузданост (сива површина) у лоцирању GSSP-а даље од своје одговарајуће типске секције. Локалитет В приказује високо сабијену наслагу која је стратиграфски лоше ограничена, иако је најбоље позиционирана унутар ката дефинисаним GSSP-ом 1 и 2. Радиометријско датирање је обезбедило нумеричке старосне процене за ове две GSSP-те и временског интервала који дефинишу. Уколико се узме део који је у непосредној близини својој одговарајућој GSSP, непоузданост повезујемо са нивоом добијене аналитичке прецизности, међутим, уколико се узме негде другде, онда се непоузданост у корелацији са GSSP-ом додаје аналитичкој непоузданости.

2.2. ПРЕДЛОЗИ ЗА УПОТРЕБУ ХРОНОСТРАТИГРАФСКИХ И ГЕОХРОНОЛОШКИХ ТЕРМИНА

Временом је долазило до неколико предлога промене и усклађивања употребе термина хроностратиграфија и геохронологија. Већина метода је предложена у сврху конзистентније и ефективније употребе јединица приликом писања научних радова са геолошком тематиком. Један од метода, предложио је Јан Заласиевич (Jan Zalasiewicz) 2013. године. Термин хроностратиграфска јединица се користи у случајевима када се говори о стратификованим стенама, док се назив геохронолошка јединица користи када се позивамо на време и феномен повезан са нестратификованим стенама. Заласиевич наглашава да ово не представља проблем у случају када се већина јединица користе као придеви (хирнантијска глацијација, хирнантијски слојеви и тако даље) или у реченици у којој се исправно користи име али не и ранг. Проблематичније јединице по Заласиевичу су оне са суперпозиционим или временским модификаторима као делом формалног назива или када се користе неформално.

Називе/термине доњи и горњи (доњи палеозоик, доњи силур) треба користити када се говори о стенама и позицијама унутар стратиграфског редоследа (на пример: „доњи ордовициј Северне Америке се примарно састоји од карбонатних слојева“; „дигресија изотопа је забележена у узорцима доњег ордовиција из Скандинавије“; „реверзија магнетног поларитета се јавља у доњем делу серије горњег ордовиција или доњем делу карадоксог ката“). Називи/термини млађи и старији (рани и касни) се користе када се говори о времену догађаја и процеса (на пример: „средња до старија ордовицијска таконска орогенеза“; „ова врста се развила у млађој креди“). Међутим, о стенама се може говорити и у односу на време током кога су формиране, али термине суперпозиција и време не би требало мешати у истој групи модификатора, реченици или параграфу (због тога су изрази „млађи калабријски кат“, „нижа еоценска епоха“ и „млађа горња ордовицијска стратиграфија“ неисправни). Уколико постоји недоумица за правилну употребу термина за јединицу или ранг, онда се уместо ранга може користити „стена“ или „време“ (на пример: ова врста се развила у јури или током времена јуре). Иако је значење најчешће јасно из самог контекста, правилна употреба хроностратиграфских и геохронолошких јединица може помоћи да се, на пример, концизно изрази разлика између података и посматрања и интерпретација (Zalasiewicz, 2012).

2.3. ГЕОХРОНОЛОШКЕ МЕТОДЕ

У овом поглављу ће бити представљене методе које се најчешће примењују у геохронолошкој науци. Избор метода у конкретном случају зависи од много фактора, као што су потребна прецизност, временски распон од интереса, материјал који се датира, као и трошкови датирања и расположивост инструментализације.

2.3.1. РАДИОМЕТРИЈСКО ДАТИРАЊЕ

Радиометријско датирање представља процес одређивања старости стена мерењем износа радиоактивног распада њихових радиоактивних елемената са познатим трајањем полураспада. Ова техника је у употреби још од педесетих година двадесетог века и за то време, развијено је више од 40 метода од којих свака користи други радиоактивни елемент или начин његовог мерења у зависности од тога у коју сврху се користи.

Изотопи који се распадају спорије су кориснији за дуже временске периоде међутим, прецизност је мања у одређивању апсолутне старости узорака. Са изузетком метода радиоактивног угљеника, већина техника се базира на мерењу заступљености продуката радиоактивног распадања почетног радиоактивног изотопа (Dickin 1996, Faure, 2005). Већина радиометријских метода је примењива искључиво за геолошка доба, међутим, поједине, као што је метода радиоактивног угљеника и метода датирања $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, могу бити коришћене за датирање узорака из времена раних хомосапиенса или најраније људске забележене историје (Renne, 1997).

2.3.1.1. МЕТОДА РАДИОАКТИВНОГ УГЉЕНИКА (^{14}C)

Методу радиоактивног угљеника развио је амерички физичар Вилард Ф. Либи (Willard F. Libby) 1946 године. Ова техника се показала веома свестраном пошто је њоме могуће датирање како фосила тако и археолошких узорака од 500 до 50.000 година старости. Метода радиоактивног угљеника ^{14}C је техника датирања која зависи од распада радиоактивног угљеника у нитроген.

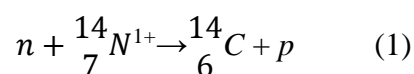
Радиоактивни угљеник ^{14}C је један од три изотопа угљеника, поред ^{12}C и ^{13}C . Најзаступљенији је ^{12}C који обухвата 98,9% свих угљеника који се јављају у природи, док је ^{13}C заступљен са 1,1%. Најређи у природи је ^{14}C који се јавља као нестабилан

радиоактивни изотоп а његова заступљеност је тек 1 део на 1×10^{12} делова или $10^{-10}\%$. Другим речима, само око један у милион милиона атома угљеника је ^{14}C .



Прилог 11. Лабораторија за датирање радиоактивним угљеником Архус Универзитета, Данска.
(Фото: Перић, 2016)

Атоми ^{14}C се формирају константно у доњим слојевима стратосфере и горњим слојевима тропосфере, на висинама 9 km до 15 km изнад површине Земље, путем интеракције космичког неутронског зрачења (које на Земљу доспева из дубоког свемира) и азота. Док се ^{12}C и ^{13}C у природи јављају као стабилни изотопи, као што је већ напоменуто, ^{14}C је нестабилан и распада се у стабилан облик азота ^{14}N преко бета распада (β). Активност је око 14 распада у минути по граму угљеника-14. Изотоп ^{14}C настаје према реакцији:



где је n - неутрон, и p - протон.

Када се произведе путем (1), ^{14}C се веома брзо спаја са кисеоником из атмосфере да би настао угљен-диоксид (CO_2). Овако настали угљен-диоксид се дифузира у атмосфери, раствара у океану, а биљке га користе у процесу фотосинтезе. Животиње се хране биљкама, па се тако преко ланца исхране радиоугљеник дистрибуира кроз готово целу биосферу.

Међутим, једном када организам угине, престаје да апсорбује ^{14}C , тако да се количина радиоактивног угљеника у његовом ткиву постепено смањује. Време полураспада радиоактивног угљеника износи 5.730 ± 40 година што значи да ће половина количине радиоактивних изотопа присутних у било ком тренутку проћи кроз процес дезинтеграције у следећих 5370 година. Пошто се ^{14}C распада по овој константној стопи, процена времена када је организам угинуо се може остварити мерењем количине остатка радиоактивног угљеника у његовом ткиву (Bowman, 1995). Лабораторија за датирање радиоактивним угљеником је приказана у прилогу 11.

2.3.1.2. УРАН-ОЛОВО ДАТИРАЊЕ

Ова метода датирања заснива се на мерењу односа два изотопа олова (^{206}Pb и ^{207}Pb) и количине урана у минералу стене. Веома често се примењује у проналажењу минерала циркона у магматским стенама и један је од најчешће коришћених метода у геолошком датирању.

Монацитна геохронологија је једна од техника U-Pb датирања, али се углавном примењује за одређивање старости метаморфних стена. Ова техника као временски репер користи радиоактивне процесе који се одигравају у минералу монациту. Веома је корисна у проучавању комплексног порекла метаморфних, магматских, седиментних и хидротермалних стена (Williams, M. L., & Jercinovic, M. J., 2002). Уран-олово датирање се употребљава за одређивање старости узорака изнад милион година.

2.3.1.3. УРАН-ТОРИЈУМ ДАТИРАЊЕ

Метода уран-торијум, такође позната као торијум-230 датирање, је базирана на детекцији продуката распада путем масене спектрометрије како почетног елемента ^{234}U тако и његовог производа ^{230}Th , кроз емисију алфа честице. Распад урана ^{234}U у торијум ^{230}Th је део много дужег ланца распада који почиње са ^{238}U а завршава се са ^{206}Pb . У случају

уран-торијум датирања, почетни однос елемената $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ у време формирања узорка мора бити познат или израчунат (Augustinus, 1997). Временом, торијум 230 бива акумулиран у узорку путем радиометријског распада. Старост узорка се базира на разлици између почетног односа елемената ^{230}Th и ^{234}U и односа у узорку који је потребно датирати. Ова метода полази од претпоставке да узорак не размењује ^{230}Th или ^{234}U са природним окружењем, то јест да је систем размене затвореног типа. Овај метод се најчешће користи за узорке који могу задржати уран и торијум као што су карбонатни седименти, кости и зуби. Распон могућег одређивања старости путем ове методе се креће од 1000 до 300.000 година. (Schwarcz, 1989).

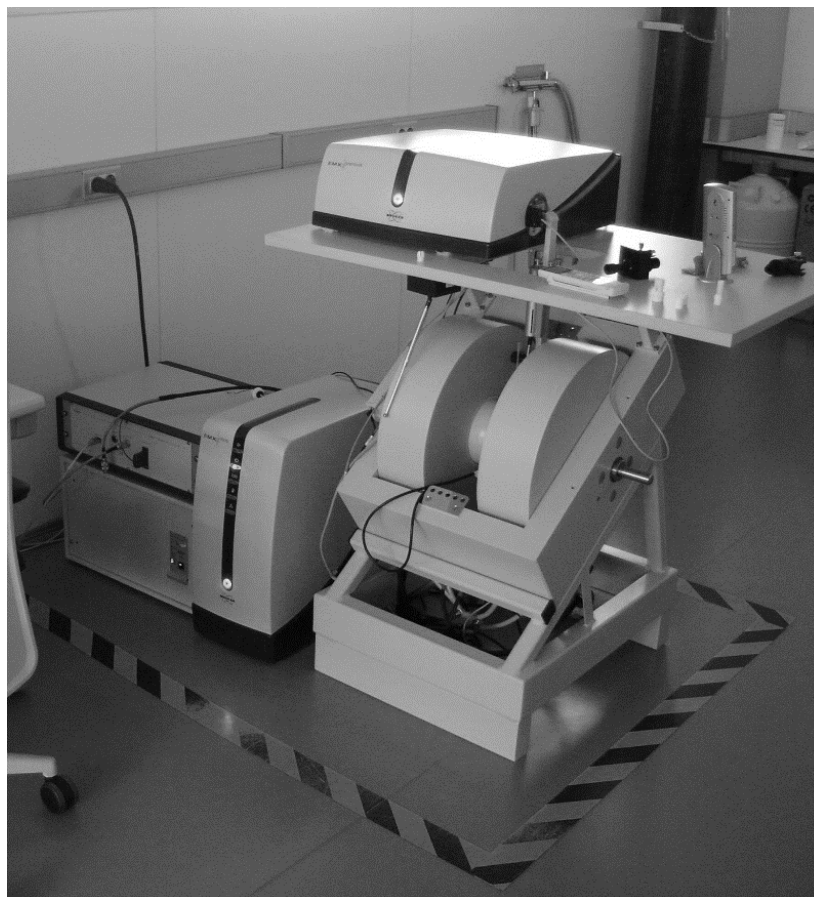
2.3.1.4. КАЛИЈУМ-АРГОН ДАТИРАЊЕ

Калијум-аргон или К-Аг датирање, се заснива на мерењу продуката радиоактивног распада једног изотопа калијума (К) у аргон (Аг). Калијум је чест елемент који се може пронаћи у многим материјалима као што су на пример микашисти, минерали глине, тефра и евапорати. У овим материјалима, производ распада ^{40}Ar је у стању да напусти течну, истопљену стеноу али почиње са акумулацијом у тренутку рекристализације стене. Количина сублимације аргона која се јавља је између осталог функција чистоће узорка, композиције изворног материјала као и великог броја других фактора. Ови фактори одређују горње и доње границе грешака датирања, тако да је коначно одређивање старости стене зависно од фактора природног окружења током њеног формирања, топљења и изложености смањеном притиску или ваздуху на површини. Време које је протекло од тренутка кристализације се израчунава мерењем односа акумулиране количине ^{40}Ar и остатка количине ^{40}K . Дуго време полураспада ^{40}K ограничава доњу границу за одређивање апсолутне старости узорака на неколико хиљада година (McDougall, I., Harrison, T. M. 1999).

2.3.1.5. ДАТИРАЊЕ ЕЛЕКТРОНСКОМ ПАРАМАГНЕТНОМ РЕЗОНАНЦИЈОМ

Датирање електронском парамагнетном резонанцијом (ESR – Electron spin resonance dating) се користи за одређивање старости материјала као што су кварц, кремен, карбонатни кристали и фосилни остаци. Ова техника базира на чињеници да поједини кристали имају особине природних дозиметара. У пракси ово значи да електрони и

електронске јаме бивају акумулирани током времена у кристалној решетки посредством радијације присутне у окружењу. Старост се добија израчунавањем примљене дозе и поређењем са дозном стопом генерисаном од стране природног окружења, и то углавном изотопа калијума, урана и торијума.



Прилог 12. X band Bruker Electron Spin Resonance (ESR) спектрометар
(www.cenieh.es/en/laboratories/electron-spin-resonance)

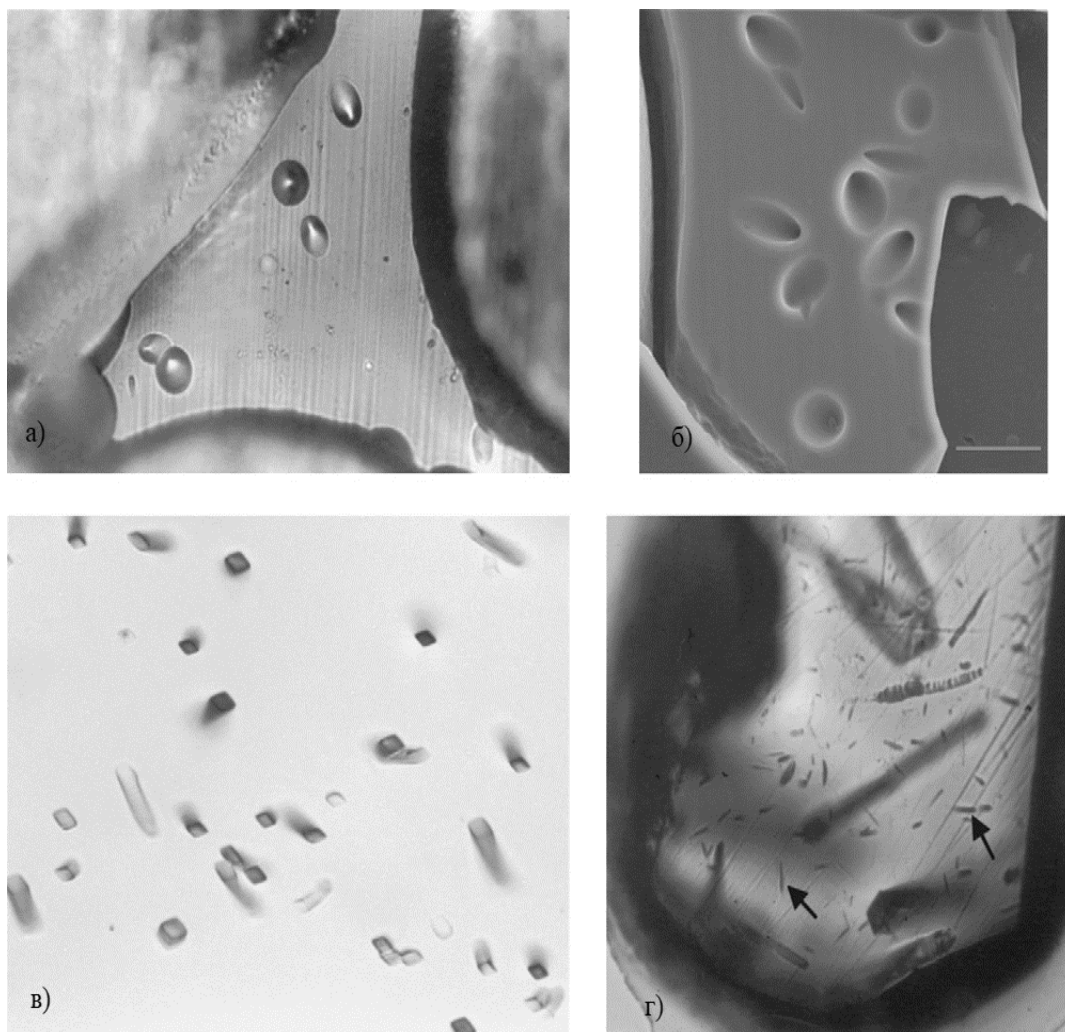
Граница датирања зависи од природе и стања конзервације узорка као и природног окружења али се углавном креће од неколико хиљада до неколико милиона година (Grün, 1989). Датирање електронском парамагнетном резонанцијом се најчешће користи у пољима радијационе хемије, биохемије, геологије, археологије и антропологије (Икеуа, 1993). ESR датирање се употребљава уместо датирања радиоактивним угљеником јер се помоћу ESR датирања може одредити старост новоформираних материјала или загреваног камена (Rink, 1997). Датирање закопаних зуба је послужило као основа за одређивање старости људских остатака (Grün, 1991). Новија употреба датирања електронском парамагнетном резонанцијом укључује датирање земљотреса, вулканских ерупција и

тектонске активности дуж обалских линија (Rink, 1997). Типичан ESR спектрометар је приказан у прилогу 12.

2.3.2. ДАТИРАЊЕ ФИСИОНОГ ТРАГА

Датирање фисионог трага представља релативно једноставну методу радиометријског датирања која је имала значајан утицај на разумевање термалне прошлости континенталне коре, времена вулканских ерупција као и извора и старости великог броја археолошких налаза (Fleischer et al., 1975). Ова метода датирања користи оштећене зоне у кристалима то јест трагове који су настали током спонтане фисије урана-238 како би се одредило време хлађења стена испод температуре затварања. У ове потребе се у принципу могу користити сви минерали са садржајем урана, међутим најчешће се употребљавају апатит и циркон (Gallagher et al., 1998). Фисиони трагови су осетљиви на топлоту и зато је ова техника корисна за процес утврђивања термалне еволуције стена и минерала. У овој врсти радиоактивног распада, језгро јединачног родитељског атома урана се цепа на два дела сличне масе, таквом силом да после тога остаје траг кристалног оштећења у минералу. Потапање минерала у јак киселински раствор увећава и претвара фисиони траг у цевасте отворе, довољно велике да буду видљиви помоћу микроскопа. Број трагова који је присутан може се искористити за израчунавање старости узорка уколико је познат садржај урана.

За одређивање садржаја урана, користи се неколико метода. Једна је ирадијацијом неутрона где се узорак озрачује термалним неутронима у нуклеарном реактору, помоћу екстерног детектора као што је лискун, причвршћеног на површину зрна. Неутронска ирадијација проузрокује фисију урана-235 у узорку а резултирајући индуковани трагови се затим користе за одређивање садржаја урана у узорку јер је однос $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ добро познат и сматран константним у природи. Како би се утврдио број индукованих фисионих догађаја који су се десили за време неутронске ирадијације, на узорке се причвршћује екстерни детектор па се затим и узорак и детектор симултано озрачују термалним неутронима (Gallagher et al., 1998). Као екстерни детектор обично се користи љуспица лискуна са ниским садржајем урана (Прилог 13). Резултујућа индукована фисија урана 235 у узорку ствара индуковане трагове у екстерном детектору изнад, који се касније откривају хемијском киселином. Однос спонтаног и индукованог трага је управо пропорционалан старости.



Прилог 13. Фисиони трагови у комадићима стакла, лискуну и циркону. (а) Фисиони трагови (6–8 μm ширине) у комадићима стакла посматрани кроз оптички микроскоп; (б) SEM (Scanning electron microscope) слика фисионих трагова у комадићима стакла (тамније површине представљају дубље делове коникалних јама); (в) фисиони трагови у лискуну (~5 μm ширине); (г) игличасти фисиони трагови у циркону Бишоп туфа (Bishop Tuff), Калифорнија (кристал је ширине ~0,2 μm). Дужина трагова пружа информације о брзини хлађења стене. Дуги трагови индицирају нагло хлађење, кратки трагови споро хлађење (Westgate et al., 2013).

Старост узорка, O , се одређује по једначини:

$$O = N \times (D_s/D_i) \times 6 \times 10^{-8}, \quad (2)$$

где су:

N - укупан број неутрона по cm^2 ;

D_s - посматрана густина трагова за спонтану фисију, и

D_i - посматрана густина трагова за индуковану фисију (Naeser et al., 1979).

2.3.3. ГЕОХРОНОЛОГИЈА КОСМОГЕНИХ НУКЛИДА

Овај метод чини низ повезаних техника које имају за циљ одређивање времена настанка одређеног геоморфолошког облика (датирање експозиције) или времена када је некадашњи површински материјал прекривен. Датирање експозиције користи концентрацију ретких нуклида као што су берилијум (^{10}Be), алуминијум (^{26}Al), хлор (^{36}Cl). Ове нуклиде производе космички зраци у интеракцији са материјалима на Земљи а ова техника датирања их користи као прокси записе за утврђивање времена настанка одређене површине.

Земља је константно бомбардована примарним космичким зрацима-високоенергетским честицама, и то углавном протонима и алфа честицама. Ове честице интерагују са појединим атомима у атмосферским гасовима где производе каскаду секундарних честица које могу опет интераговати и умањити своју енергију током различитих реакција приликом проласка кроз атмосферу. До тренутка када каскада космичких зрака доспе на Земљину површину, углавном ће се састојати од неутрона (Dunai, 2010). Када једна од ових честица удари у атом, може се десити да избаци један или више фотона и/или неутрона из атома, чиме ће произвести елемент или изотоп другачији од изворног елемента. У стенама и другим материјалаима сличне густине, већи део флукса космичких зрака бива апсорбован унутар првог метра изложеног материјала у реакцијама које производе нове изотопе који се називају космогени нуклиди.

На Земљиној површини, већина ових нуклида настаје спалацијом неутрона. Уз помоћ појединих космогених радионуклида, могуће је установити дужину времена изложености одређене површине, дужину времена прекривености одређеног материјала или брзину ерозије неке локације или речног слива (Vanacker et al., 2010). Главни принцип је тај, да ови се радионуклиди производе и распадају по познатој стопи (Dunai, 2010).

У складу са тим, мерењем концентрације ових космогених нуклида у узорцима стена и узимањем у обзир флукс космичких зрака и дужину полураспада нуклида, могуће је проценити дужину изложености узорка космичким зрацима. Кумулативни флукс космичких зрака на одређеној локацији може бити под утицајем више фактора укључујући надморску висину, геомагнетну ширину, промењиви интензитет Земљиног магнетног поља, соларним ветровима и атмосферским штитом услед варијација у притиску ваздуха.

Табела 2. Космогени радионуклиди

Радионуклид (потомак)	Полувреме распада (година)	*Детекциона граница (10^{-15})
^{10}Be (^{10}B)	1.500.000	5
^{14}C (^{14}N)	5.730	3
^{26}Al	730.000	5
^{36}Cl	301.000	1
^{41}Ca	100.000	5
^{129}I	16.000.000	20

*Детекциона граница представља вредност за атомски однос радионуклид/стабилни нуклид мерено за „празан“ узорак који садржи безначајну количину радионуклида

Стопе продукције нуклида се морају проценити како би било могуће датирати стенски узорак. Ове стопе се обично процењују емпиријски, поређењем концентрације нуклида произведене у узорцима којима је старост већ установљена другим средствима, као што су метод радиоактивног угљеника, термолуминесценцијом или оптички стимулисаном луминесценцијом (Nishiizumi et al., 1993).

2.3.4. ИНКРЕМЕНТНО ДАТИРАЊЕ

Технике инкрементног датирања омогућавају конструкцију годишње хронологије „годину по годину“. Ова метода се заснива на појави редовног прираста материјала органској материји или седиментним секвенцама. Овако коструисана хронологија може бити временски фиксирана (повезана са садашњим временом/календаром или звезданим временом) или флукутирајућа.

2.3.4.1. ДЕНДРОХРОНОЛОГИЈА

Дендрохронологија је научна метода датирања година (прстенова раста) дрвећа до тачне године када су формирано како би се омогућила анализа атмосферских услова

током разних историјских периода. Дендрохронологија се веома често користи за утврђивање времена одређених догађаја и стопа промена у природном окружењу, првенствено климатских а такође се примењује у археологији, уметности и архитектури.

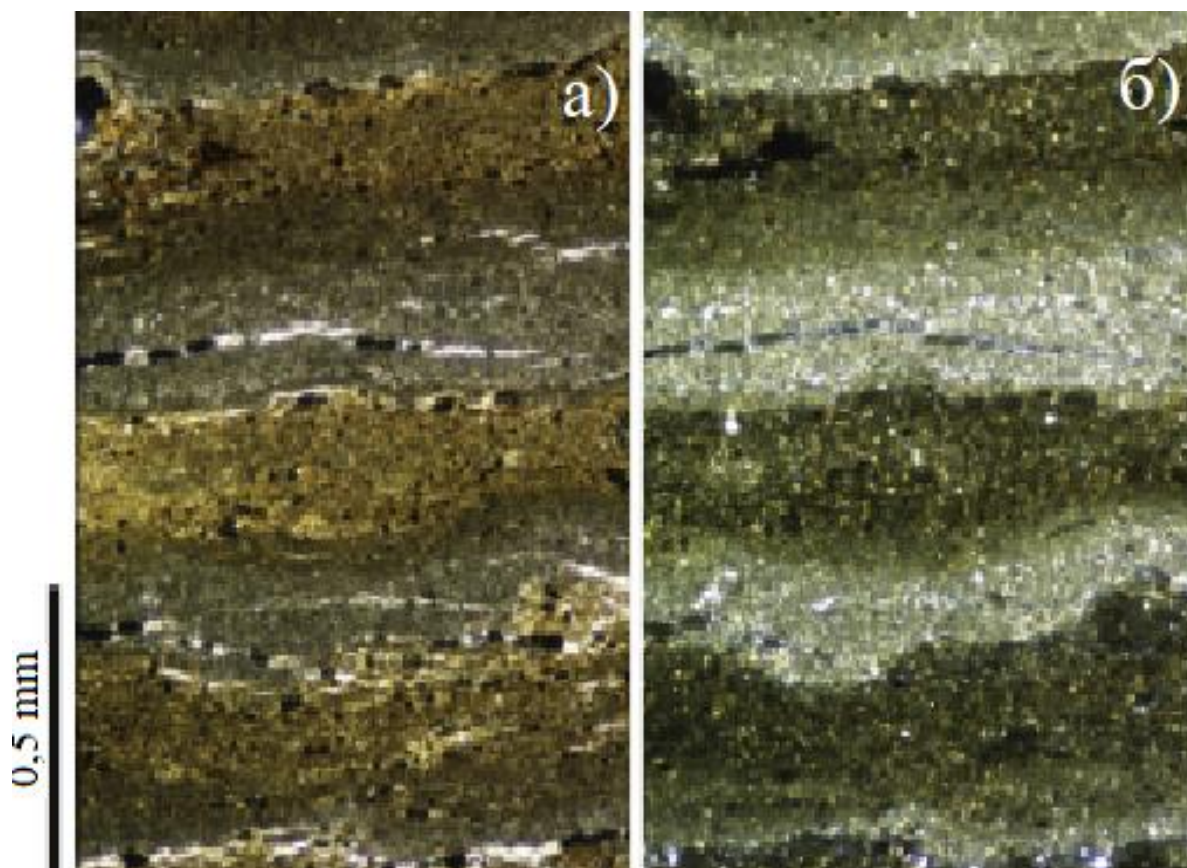
Користи се такође у методи датирања радиоактивним угљеником за калибрацију старости (Grissino Mayer, 2016). Нови раст се у дрвећу јавља у слојевима ћелија близу коре. Стопа раста дрвета се мења по предвидљивим обрасцима током године као реакција на сезоналне климатске промене што резултира новим годовима. Сваки год обележава пун сезонски циклус, или једну годину живота дрвета (Grissino-Mayer, 2016). Размак између година је већи када је дрво старије, то јест мањи када је дрво на почетку животног века. Ова техника је корисна до ~9.000 година, нарочито уколико је могуће извршити поређење година мртвог и живог дрвета.

2.3.4.2 АНАЛИЗА ВАРВИ

Варве представљају годишњи слој седимента и седиментне стене. Сама реч варве потиче од Шведске речи „варв“ (varv) чије значење укључује: револуција, у слојевима и круг. Најпре се термин варв односио на одвојене компоненте годишњих слојева у глацијалним језерским седиментима, али је на Геолошком конгресу 1910. године, шведски геолог Џерард Де Гер (Gerard De Geer) предложио нову дефиницију где се термин „варве“ односи на сваки годишњи седиментни слој (De Geer, 1912). Варве спадају у догађаје најмањих размера признатим у стратиграфији. Годишњи слој може бити јако добро видљив јер су честице које су спране у слојеве током пролећа када водени токови имају већу снагу много грубље него оне депоноване током каснијег дела године (Прилог 14). На овај начин долази до формирања парних слојева: једног са грубљим честицама и једног са финијим од којих сваки обележава један циклус у години.

Варве бивају формиране само у слаткој или бочастој води јер висок ниво салинитета у нормалној морској води коагулише глину у грубља зрна. Пошто слане воде остављају за собом грубе честице током читаве године, готово је немогуће разликовати поједине слојеве у морској води (Mörner, 2014). Земљина орбитална кретања (нагиб Земљине осе ротације у односу на равну орбиту, прецесија и промена ексцентричности Земљине орбите) остављају трагове видљиве у геолошким записима. Ове промене обезбеђују дугорочне секвенце климатских догађаја, забележене као промене у дебљини

седиментних слојева, како је температура условила промене у односу изотопа за изотопе кисеоника у седиментима и присутним фосилима.



Прилог 14. Кластично-биогене варве са језера Алиманиен Савијерви (*Alimtainen Savijärvi*) у Финској датирани пре 8150 година (Ojala et al., 2000). База годишњег циклуса је формирана алохтоном минеролошком материјом из преосталом након пролећног отапања снега Аутохтона органска материја је акумулирана током остатка године. Фотографија а): органска материја у смеђим нијансама под нормалним светлом. Фотографија б) органска материја потамњује под поларизованим светлом (Zolitschka, 2015; фото: Antti Ojala)

Пошто је у овом случају могућа поуздана калибрација за временски период од 40 милиона година, анализа варви пружа алтернативну верификацију радиометријском датирању у случајевима када постоји довољно записа који безбеђују поуздани траг (Ramsey, 2008).

2.3.4.3. ДАТИРАЊЕ ЛЕДЕНИХ ЈЕЗГАРА

Ледено језгро представља узорак који се обично узима из ледника, најчешће из поларних ледених капа Антарктика, Гренланда или из планинских ледника. Ледена језгра садрже мноштво климатских информација. Инклузије у снегу из сваке године као што су

еолска прашина, пепео, полен, мехури атмосферских гасова и радиоактивне материје остају и бивају сачуване у леду. Разноврсност климатских проксија је већа него у било ком другом природном климатском архиву.

Климатски проксији укључују температуру, обим океана, падавине, хемијски и гасни састав доњих делова атмосфере, вулканске ерупције, соларну варијабилност, продуктивност морске површине, ширење пустиња и шумске пожаре. Дужина записа зависи од дубине леденог језгра и варира од неколико година до 800.000 година.



Прилог 15. Ледено језгровање. а) Постављање бушилице. б) Ледено језгро у бургији непосредно пре извлачења. в) Екстраховано ледено језгро (Centre for Ice and Climate: www.iceandclimate.dk).

Временска резолуција зависи од годишње количине снежних падавина и смањује се упоредо са дубином како је лед све компактнији услед тежине горњих акумулираних

слојева. Како лед бива формиран инкрементним прирастом годишњих слојева снега, нижи слојеви су старији него горњи тако да ледено језгро садржи лед формиран током широког распона година. Ови слојеви могу бити видљиви и указивати на порекло леда или могу бити хемијски и указивати на диференцијални транспорт током различитих сезона. Такође могу бити и изотопски у ком случају одражавају годишњи температурни сигнал (на пример снег из хладнијих периода садржи мање тежих изотопа водоника и кисеоника). Особине леда и рекристализованих инклузија унутар њега се могу користити за реконструкцију климатских промена за све време старосног распона језгра, обично помоћу изотопске анализе. Ово омогућава реконструкцију локалних температурних записа као и историју атмосферског састава (British Antarctic Survey, 2004).

У дубљим деловима језгра, као што је већ речено, слојеви су тањи услед притока леда и високог притиска тако да се последично, индивидуалне године некада не могу препознати и издвојити. Могуће је идентификовати атмосферске радиоизотопске слојеве у горњим деловима језгра настале за време догађаја као што су тестирање нуклеарних бомби као и слојеве пепела настале за време вулканских ерупција. Вулканске ерупције могу бити идентификоване видљивим слојевима пепела, киселинском хемијом или променама у електричном отпору. Поједине промене у саставу могу бити утврђене скенирањем електричног отпора високом резолуцијом. У нижим деловима језгра, реконструкција старости се врши моделирањем варијација акумулационе стопе и притока леда (Bradley, 1999). Процес екстраховања леденог језгра приказан је у прилогу 15.

2.3.4.4. ЛИХЕНОМЕТРИЈА

Лихенометрија представља геоморфну методу геохронолошког датирања која користи раст лишајева за утврђивање старости изложених стена. Основна претпоставка ове технике је да се лишајеви који расту на површини стена или другим погодним субстратима могу употребити за утврђивање приближног времена депозиције те површине (Прилог 16). Уколико је познато време које је протекло између експозиције супстрата и његове колонизације лишајевима, и уколико је такође позната стопа раста одређене врсте лишајева, може се утврдити минимална старост мерењем обима (или друге особине повезане са величином) највећег лишаја на локацији.

Лихенометрија представља потенцијално веома корисну технику датирања у областима како изнад горње тако и испод доње шумске границе у арктичко-алпским

пределима а примену је нашла и у мноштву других природних окружења. Датирање може бити релативно или апсолутно. Релативна старост указује на то да се једна депозиција може разликовати у старости од друге док је апсолутним датирањем могуће квантификовати старосну разлику и добити прецизно време депозиције или експозиције супстрата. Дуговечност лишјајева у арктичко-алпском окружењу је такво да је у појединим случајевима могуће датирати депозиције до неколико хиљада година старости.



Прилог 16. Лишај талус (*thallus*) на горњој страни римског пута на Алпима (Hunt, 2015).

Међутим, ово представља веома редак пример. Најчешће је лихонometriја, као техника апсолутног датирања корисна до ~500 година. Како је ово често период током кога су друге технике датирања (као на пример метод радиоактивног угљеника) неефикасне, ова метода може имати значајну вредност (Innes, 1985).

2.3.5. ПАЛЕОМАГНЕТНО И АРХЕОМАГНЕТНО ДАТИРАЊЕ

Магнетизам се јавља сваки пут када су честице са електричним набојем у покрету. Кроз Земљино течно језгро непрестано теку електрична струјања. Како Земља ротира, ове

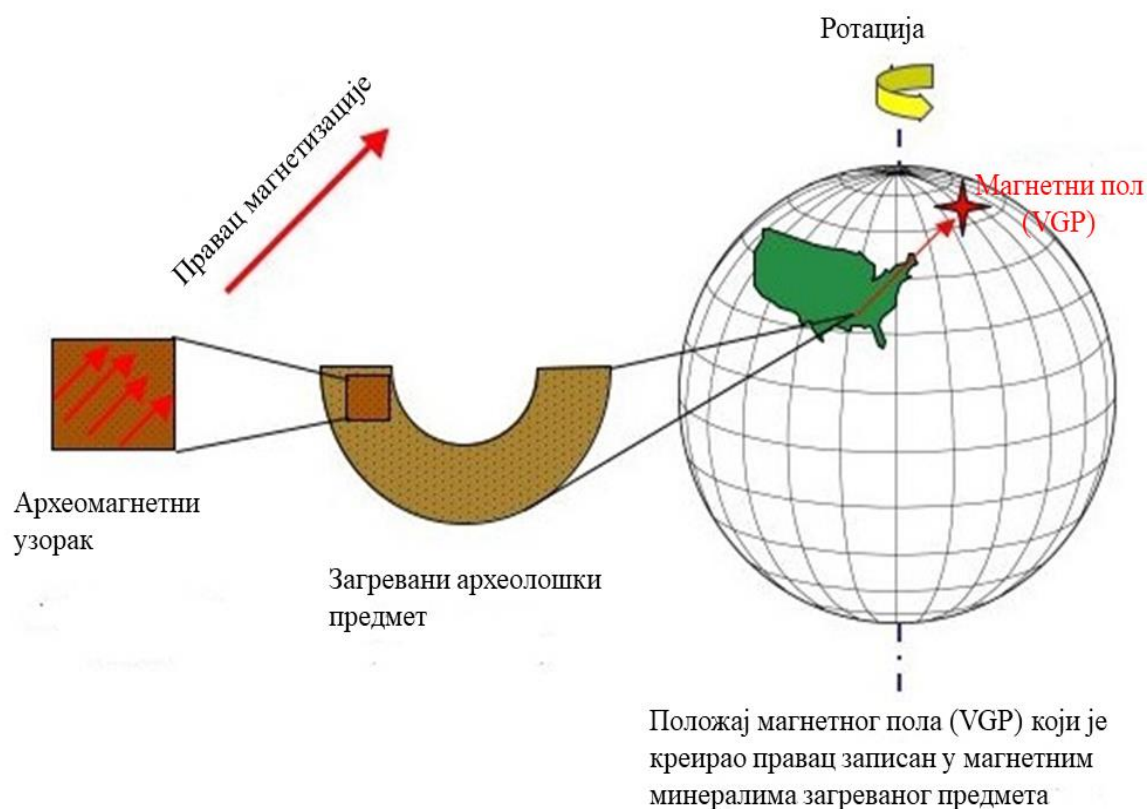
електричне струје производе магнетно поље које се простире до споља у свемир. Овај процес у коме ротација планете са гвозденим језгром производи магнетно поље називамо динамо ефекат. Земљино магнетно језгро је обично нагнуто под углом од 11° од Земљине осе ротације. Због тога се магнетни северни пол налази на приближном углу од 11° од географског северног пола. Земљин магнетни северни пол може током времена променити оријентацију - са севера на југ и са југа на север, што је много пута у историји планете био случај (поларна реверзија). Термин који означава промене у Земљиним магнетним пољима је палеомагнетизам. Свака промена која се догоди у магнетном пољу, догодиће се на целој планети. Ове промене се могу искористити за корелацију стратиграфских стубова са различитих локација. Сам процес корелације се назива магнетостратиграфија (Butler, 1992). Лава, глина, језерски и морски седименти садрже микроскопске честице гвожђа. Када се лава и глина загреју, или се језерски и морски седименти слегну кроз воду, тада добијају магнетну паралелу са Земљиним магнетним пољем. Након хлађења или слегања, поменути материјали задржавају ову намагнетисаност, осим уколико не буду поново загрејани или поремећени. Овај процес се назива термоманентна магнетизација у случају лаве и глине, и депозициона реманентна магнетизација у случају језерских и морских седимената. Поред промене у оријентацији, магнетни северни пол такође „лута“ око географског северног пола. Археомагнетно датирање мери ово кретање или лутање магнетног пола (Eighmy and Sternberg, 1990).

Палеомагнетизам и археомагнетизам се ослањају на реманентни магнетизам у процесу датирања. Као што је већ поменуто, када глина буде загрејана, микроскопске честице гвожђа добијају реманентну магнетизацију паралелну Земљиним магнетним пољима.

Честице гвожђа такође могу бити усмерене ка локацији у близини географског северног пола где се магнетно поље налазило у том тренутку током свог кретања. Када се глина охлади, честице задржавају ту магнетизацију до тренутка евентуалног поновног загревања. Коришћењем другог метода датирања (метода радиоактивног угљеника, дендрохронологија) за утврђивање апсолутне старости одређене археолошке појаве, и мерењем смера магнетизма и кретања у глини данас, могуће је установити положај магнетног северног пола у време када је ова глина била загрејана последњи пут. Ово називамо виртуелни геомагнетни пол или VGP (Eighmy, 1980).

Секвенца палеомагнетног пола којој је већ одређена старост, представља очигледну поларну путању кретања или „лутања“ (APWP – apparent polar wander path). Оваква

путања се коструише за велике континенталне блокове. APWP за различите континенте се може користити као референца за новооткривене полове стена непознате старости. За потребе палеомагнетног датирања, предложено је коришћење APWP за датирање полова добијених из стена или седимената непознате старости повезивањем палеополова са најближом тачком на APWP. Графички приказ технике археомагнетног датирања представљен је у прилогу 17.



Прилог 17. Шематски приказ технике археомагнетног датирања.

Две методе су предложене за палеомагнетно датирање:

1. Угаони метод, и
2. Ротациони метод.

Први метод се користи за палеомагнетно датирање стена унутар истих континенталних блокова. Ротациона метода се користи за набрана подручја где су тектонске ротације могуће (Hnatyshin and Kravchinsky, 2014).

Поларна реверзија Земљиног магнетног поља се такође може користити за утврђивање геолошког времена. Периодичне реверзије магнетног поља остављају магнетни сигнал у вулканским и седиментним стенама. Овај сигнал је могуће детектовати и снимити секвенце и у случају вулканских стена повезати са радиометријским старостима.

2.3.6. ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ

Технике луминесцентног датирања посматрају светлост коју емитују материјали као што су кварц, дијамант, фелдспат и калцит. У геологији се примењује више типова луминесцентних техника укључујући оптички стимулисану луминесценцију (OSL optically stimulated luminescence), катодолуминесценцију (CL – cathodoluminescence), и термолуминесценцију (TL – thermoluminescence).

Међу свим квартарним техникама одређивања старости узорака, луминесцентно датирање представља вероватно најпримењивију методу јер утврђује време које је протекло од када су минерална зрна последњи пут била изложена сунчевој светлости (Aitken, 1998). У случају седиментних наслага, ово време се углавном поклапа са временом депозиције. Ова техника може да покрије потенцијално велики временски опсег – од неколико година до неколико стотина хиљада година и примењива је на широк спектар седимената као што су еолски, марински, глацио-флувијални и глацијални (Roberts, 2008; Singhvi and Porat, 2008; Jacobs, 2008; Sugisaki et al., 2010; Rittenour, 2008; Fuchs and Owen, 2008; Lüthgens et al., 2010). Како луминесцентно датирање представља централну методу коришћену у овом раду, детаљан приказ ове технике ће бити представљен у посебном поглављу.

3. КВАРТАР

Квартар представља најскорију геолошку периоду која обухвата приближно последњих 2,6 милиона година Земљине историје и траје све до данас (Head et al., 2008; Gibbard et al., 2010). Заједно са терцијаром чини кенозоик, четврту по реду велику геолошку еру. У геолошкој временској скали, периоде су подељене у епохе а квартар чине два формално одређена интервала са статусом епохе: плеистоцен („најскорији“ или „недавни“) који се завршио пре отприлике 12.700 година, и холоцен („потпуно недавни“) који представља топли интервал у коме се тренутно налазимо. Ипак, како у овом тренутку не постоје физички докази који би указивали на то да је тренутни температурни период просто само последњи у низу топлих епизода које чине дугорочни климатски циклус, последњих 12.700 година се могу сматрати делом плеистоцене епохе, због чега се може извести закључак да плеистоцен траје и дан данас.

Термин квартар је дуго времена коришћен као синоним за ледена доба. Једна од најизразитијих одлика квартара је свакако била периодична ледничка активност током хладних периода. Током ових периода, долазило је до формирања најзначајнијих континенталних ледника као и експанзије планинских ледника у многим деловима света. Ове хладне, ледничке фазе, биле су прекидане топлим периодима које носе назив интергласијали, током којих су температуре у областима средњих и виших географских ширина, повремено биле чак више него данас. Ипак, оно што је највише својствено квартару, није проста појава понављања топлих или хладних периода, пошто су флукуације глобалне климе очигледне и доказане током читаве ере кенозоика (Raymo & Ruddiman, 1992). Оно што је највише карактеристично за квартар је комбинација високих амплитуда и учесталих климатских осцилација, у комбинацији са интензитетом хладнијих периода. У појединим деловима планете, температура је флукуирала и више од 15°C између топлих и хладних периода. Ове флукуације температуре су веома често биле рапидне и током последњих 800.000 година, биле су узрок најмање десет потпуних гласијално-интергласијалних циклуса.

Тачан број квартарних климатских циклуса још увек није утврђен, али докази из дубокоморских седиментних записа указују на то да је током трајања квартара дошло до најмање педесет хладних или гласијалних фаза и једнаког броја интергласијалних периода (Shackleton et al., 1990).

Ефекти кварталних климатских промена су били драматични. У средњим и вишим географским ширинама континентални и долињски ледници су константно напредовали и повлачили се, а области под утицајем периглацијалних процеса су се шириле и скупљале. У областима нижих географских ширина, границе пустиња и савана су се померале по неколико степена услед смењивања сушних и фаза са повећаном количином падавина. Широм планете, стопа атмосферских утицаја и педогенетских процеса је варијала упоредо са променама температуре и количине падавина. Речни режими су значајно флукутирали, морски ниво се мењао у распону од ~150 m, док су биљне и животињске популације биле принуђене да мигрирају и прилагоде се променама животне средине.

Репетитивне климатске промене које су се одвијале током овог последњег поглавља историје Земље, су омогућиле стварање богатих и веома комплексних архива рељефних облика, седимената, биолошких остатака као и огроман број људских артефаката. Помоћу овог наслеђа, могуће је реконструисати, често са знатном тачношћу, еколошке промене и повезану палеогеографију одређених интервала кварталне периоде.

У процесу палеоеколошке реконструкције, постоји неколико различитих фаза у које укључују:

- утврђивање стратиграфије на свакој локацији у сврху постављања геолошког оквира истраживања,
- анализа прокси записа ових стратиграфских секвенци како би се добиле основне палеоеколошке информације,
- утврђивање хронологије догађаја што подразумева развој оквира за датирање,
- повезивање индивидуалних секвенци са различитих локација путем корелације,
- интеграција различитих низова доказа чији би производ била општа палеоеколошка синтеза.

Свака од ових фаза са собом носи одређени број проблема и потешкоћа. Терестрични стратиграфски записи су веома често веома фрагментирани. У многим областима не постоји доказни материјал или га је недовољно, док су детаљне секвенце сачуване само на локалном нивоу. Поврх тога, циклични карактер климатских промена је произвео сличне услове природног окружења у различитим временским периодима. Због тога што многе записе није могуће прецизно датирати, процес корелације је веома често праћен многим препрекама. У само једној експозицији кварталних седимената, потпуна интерпретација посматраних геолошких промена веома често захтева комбиновану

експертизу стручњака из области геологије, геоморфологије, ботанике, зоологије и археологије.

Дубокоморска и ледена језгра се сматрају најконтинуалнијим кварталним записима те су зато и веома детаљно истраживана, у сврху реконструкције и глобалне корелације палеоклиматских услова (Lowe and Walker, 1997). Терестрични записи показују мању континуираност, међутим, и поред тога имају изузетно велику важност јер одражавају регионалне а понекада и локалне палеоклиматске услове. Како би примена и интерпретације квалитативних анализа била могућа, у сврху реконструкције палеоклиматских и палеоеколошких услова, неопходно је утврђивање поузданих хронологија. Међутим, упркос постојања мноштва кварталних техника датирања, утврђивање прецизног хронолошког оквира је праћено мноштвом потешкоћа. Метода датирања радиоактивног угљеника, која је најчешће коришћена у кварталним истраживањима, је ограничена на приближно 45.000 година и може се применити само за одређивање старости органског материјала (e.g. Walker, 2005). Техника уранске серије је техника датирања која се такође веома често примењује, мада је ограничена на карбонате и одређене органске материјале (Frechen et al., 2007). Постоји још мноштво кварталних техника датирања, међутим, већина је примењива само на одређене материјале или на ограничен временски распон (Walker, 2005).

3.1. СТАТУС КВАРТАРА

Упркос томе што је једна од најистраживанијих геолошких временских јединица, интервал познат као квартал је јединствен међу хроностратиграфским субдивизијама по томе што има најконтраверзнију дефиницију и статус. Замршена историја и различити концепти употребе термина квартал је додатно закомпликована великим бројем дебата и пристрасним ставовима од стране многих научника. На једном од раних Међународних Геолошких Конгреса (International Geological Congresses) из 1894. године, предложено је да се квартал „деградира“ у синоним за нејасно дефинисану епоху плеистоцена, док је на конгресу одржаном 1900. године разматрано да се термин квартал замени називом „модерни период“.

Термин квартал и плеистоцен се употребљавају у геонаукама више од 150 година, међутим увек су постојале дуготрајне а понекада и оштре дебате о њиховој позицији и статусу у геолошкој временској скали као и интервалима времена које представљају (e.g.

Berggren et al., 1995; Partridge, 1997; Gradstein and Ogg, 2002; Pillans, 2004, 2007; Gibbard and van Kolfschoten, 2005; Aubry et al., 2005, 2009). Током последњих година, Међународна комисија за стратиграфију (ICS – International Commission on Stratigraphy) то јест њена Подкомисија за кварталну стратиграфију, је у сарадњи са Међународном унијом за квартално истраживање (INQUA – International Union for Quaternary Research), покренула процес за осигуравање позиције квартара као формалног система/периоде у оквиру геолошке временске скале. У овај процес био је укључен и предлог за дефиницију квартара са препоруком прихватљиве стратиграфске границе која може служити као глобални маркер (Gibbard et al., 2005; Bowen and Gibbard, 2007; Head et al., 2008a; Ogg and Pillans, 2008). Ови напори су кулминирали предајом званичног „квартарног предлога“ ICS-у. Предлог је након тога одобрен и прослеђен извршном комитету за ратификацију Међународне уније геолошких наука (IUGS – International Union of Geological Sciences) (Gibbard and Head, 2009). Извршни комитет је прихватио предлог да дођу границу кварталног система/периоде, плеистоцене серије/епохе и геласијски кат/доба треба поставити на 2,58 милиона година. Ова ратификација је званично реарфирмисала ранг квартара као хроностратиграфске јединице система/периода, у исто време спуштајући почетну временску базу (као и ону плеистоцена) за 780.000 година (Gibbard et al., 2010).

3.2. УЛОГЕ IUGS-а, ICS-а и SQS-а У ПРИЗНАВАЊУ СТРАТИГРАФСКИХ ЈЕДИНИЦА

Организација одговорна за формалну поделу геолошког времена, а самим тим и за међународно одобрену геолошку временску скалу (GTS) је Међународна комисија за стратиграфију. ICS је конститутивна група Међународне уније геолошких наука, која надгледа све аспекте глобалне геонауке и која је подржана UNESCO фондацијом. Главна улога ICS-а је подподела, класификација и нумерисање геолошког времена то јест хроностратиграфија и геохронологија. ICS делује посредством подкомисија, од којих је свака повезана са одређеним временским периодом. Тако је на пример подкомисија за кварталну стратиграфију, одговорна за квартал. Подкомисије формулишу предлоге за формалну дефиницију и подподелу одговарајућих периода са циљем побољшавања резолуције глобалне корелације. Свака подела и потподела представља кључну временско-стратиграфску јединицу. Пажљивим прегледом доказа, базална граница ових јединица се дефинише одговарајућом референтном тачком у означеној седиментној

секвенци (Global Stratotype Section and Point – GSSP) а њена горња граница се дефинише основом наредне јединице. Предлози за формално признавање таквих јединица се достављају ICS-у на одобравање. Након тога следи гласање у коме сваки од 18 ICS званичника има један глас, и предлог који постигне одговарајућу већину (60% предатих гласова) се прослеђује IUGS извршном комитету на ратификацију. Уколико је извршни комитет задовољан исправношћу предлога, он се ратификује а детаљи се објављују (са најмање једним сажетком у издању часописа). Свака промена која проистекне из предлога се инкорпорира у геолошку временску скалу (www.stratigraphy.org). Једном када је IUGS ратификовао GSSP, примењује се мораторијум од 10 година на сваку примењену промену (Remane et al., 1996).

3.3. СТАТУС КВАРТАРА У ГЕОЛОШКОЈ ВРЕМЕНСКОЈ СКАЛИ

GTS је заснована на хијерархијском систему класификације у коме су временско-стенске секвенце (хроностратиграфија) и њихови кореспондујући временски интервали (геохронологија), представљени јединицама са прогресивно нижим рангом. Традиција и раширена употреба су доделили квартару статус система (хроностратиграфска јединица високог ранга) и периоде (еквивалентна геохролошка јединица високог ранга) у оквиру кенозојске ератеме/ере (Salvador, 2006a,b). Плеистоцен се традиционално ставља у оквиру квартара на следећој нижерангираној серији (хроностратиграфија) или епохи (геохронологија) исто као и холоцен (Bowen and Gibbard, 2007; Walker et al., 2009). Основа квартара обично дефинише горњу границу терцијара, претходне системске периоде која се протеже уназад до краја креде (Hedberg, 1976; Salvador, 1994; 2006a,b). Међутим, увек је било отпора и противника овој конвенционалној употреби. Стратиграфски комитет геолошког удружења Лондона је 1968. године препоручио да кенозоик неформално буде подељен на терцијарну и квартарну суб-еру, док би терцијар даље требало поделити на палеогене и неогене системе/периоде. Предлог је начињен на основу геолошке временске скале из 1982. и 1989. године (Harland et al., 1982, 1990), Табела 3 (а).

Ова потподела међутим, није била опште прихваћена; на пример, временска скала коју је усвојио Геолошки топографски институт САД (United States Geological Survey) и Геолошко удружење Америке (Geological Society of America), вратило је квартару и терцијару пуни статус система/периоде (Palmer, 1983; Salvador, 1994), Табела 3 (б).

Табела 3. Различите временске скале по ауторима.

а) Harland et al. (1982, 1990)				б) Palmer (1983)				в) Remane (2000)				г) Gradstein et al. (2004)			
КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА
Терцијар		Неоген	Квартар	Терцијар		Неоген	Квартар	Терцијар		Неоген	Квартар	Терцијар		Неоген	Квартар
Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен
Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен
Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен
		Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен
		Епоха	Епоха			Епоха	Епоха			Епоха	Епоха			Епоха	Епоха

д) Aubry et al. (2005)				ђ) Ogg & Pillans (2008)				е) Head et al. (2008a,b)				ж) IUGS (2009)			
КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА	КЕНОЗОИК		ЕРА	СУБ-ЕРА
Терцијар		Неоген	Квартар	Терцијар (неформално)		Неоген	Квартар	Терцијар		Неоген	Квартар	Терцијар		Неоген	Квартар
Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен	Палеоген		Олигоцен	Холоцен
Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен	Еоцен		Плеистоцен	Плеистоцен
Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен	Палеоцен		Миоцен	Плеистоцен
		Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен			Плиоцен	Холоцен
		Епоха	Епоха			Епоха	Епоха			Епоха	Епоха			Епоха	Епоха

Ова потешкоћа је још више увећана верзијом GTS-а из 2004. године (Gradstein et al., 2004) која је потпуно изоставила не само терцијар већ и квартар (Табела 3 (г)). Миоцен, плиоцен, плеистоцен и холоцен серије/епохе су уместо тога инкорпориране унутар неогене периоде која се протезала до данашњег дана (Gradstein et al., 2004, 2005). Иако временске скале Градштајна и сарадника нису одобрене ни од стране ICS-а ни IUGS-а, оне су обновили дебату о природи, трајању и хроностратиграфским позицијама како квартара и терцијара, тако и неогена (Pillans and Naish, 2004; Aubry et al., 2005; Gibbard et al., 2005; Walsh, 2006, 2008; Lourens, 2008). Интензивна дискусија између SQS-а и INQUA-е је на крају довела до реафирмације да квартар треба да остане хроностратиграфска/геохронолошка јединица са пуним статусом система/периоде и да свака компромисна позиција треба бити одбијена (Табела 3 (д)).

У мају 2007. године, ICS је гласао у корист резултујућег предлога а IUGS је касније истог месеца, једногласно ратификовао квартар као формални систем/периоду. Ова одлука је званично утврдила данашњи стратиграфски ранг квартара као система/периоде (Табела 3 (ж)). Парадоксално, квартар сада има исти ранг као што га је имао пре 32 године, са тиме што је његово трајање продужено за 780.000 година, што представља питање којим би се требало посебно позабавити (Gibbard et al., 2010).

3.4. БАЗА КВАРТАРА И ПЛЕИСТОЦЕНА

Потреба за стандардизацијом базалне границе за квартар, а самим тим и за плеистоцен, први пут је препозната још 1948. године на 18. Међународном геолошком конгресу одржаном у Лондону. Тада је одлучено да је неопходан објективан референтни стратотип и нови формални стратиграфски споразум. Прихваћено је да стратотипске границе терцијара, неогена и квартара треба да буду дефинисане у маринским слојевима. Међутим, тек је 1982. године, на 11. INQUA конгресу у Москви, формално предложена Врица (Vrica) секција у Калабрији у јужној Италији (Прилог 18), као гранични стратотип за плеистоцену епоху. Граница је дефинисана на основу литостратиграфских критеријума, где је референтна тачка била у бази глиновитог слоја који је складно покривао референтни хоризонт „e“, који се налази унутар олдувај субхрона нормалног поларитета (Aguirre and Pasini, 1985; Cita et al., 2008).



Прилог 18. Врица секција, Калабрија, јужна Италија
(<http://sgi1.isprambiente.it/geositiweb/gssp/lavrica.htm>).

Граница је најпре датирана на 1,64 милиона година, али је ово након тога ревидирано астрномском калибрацијом на 1,806 милиона година (Lourens et al., 2005). GSSP Врица је формално ратификована 1984. године од стране IUGS-а (Bassett, 1985). Ово је била контроверзна одлука, јер је чак и у то време постојало опште мишљење унутар INQUA-е и шире кварталне заједнице, да границу треба поставити у ранији геолошки запис у време много већих промена у климатском систему Земље. Већ дуго је било познато да је глобално захлађење започело током касног терцијара/неогена, са више главних фаза захлађења које су се догодиле између 2,8 и 2,4 милиона година (MIS G10 до MIS 96). Иако се ниједан самостални догађај није издвајао као окидач за ове промене, затварање Панамске превлаке се чинило као највероватнији катализатор (Sarnthein et al., 2009). Чак шта више, у односу на Врица секцију, утврђено је да су поједини хладнољубиви организми (најпознатији је мекушац *Arctica islandica*) који су коришћени као индикатори за захлађења на граници (Aguirre and Pasini, 1985), мигрирали на Медитеран раније него пре 1,8 милиона година (Aiello et al., 1996). Данас је више него јасно да су се главна захлађења у регији Медитерана догодила пре 2,8 и 2,5 милиона година (e.g. Versteegh, 1997; Monegatti and Raffi, 2001; Roveri and Taviani, 2003) што се

подудара са шире прихваћеним почетком квартара који је претходно поменут. Поред тога, иако је глобална стратотипска секцијска граница у Врици заиста утврђена унутар олдуваи периоде, она се налази 10 m испод врха субхрона и отприлике исто толико удаљена од базе (Cita et al., 2008). Упркос растућем незадовољству са Врица стратотипом, у многим деловима квартарне заједнице није начињен ниједан формалан предлог алтернативне глобалне стратотипске секцијске границе. Међутим, 1996. године, IUGS је ратификовала нови плиоцени стадијум геласиј и сместила га између доњег стадијума пјачентин и горње плеистоцене серије. База геласија је дефинисана на планини Свети Никола (Monte San Nicola) на јужној Сицилији (Прилог 19) и датирана је астрономским подешавањем на 2,588 милиона година, што кореспондира MIS 103.



Прилог 19. Секција Монте Сан Никола на јужној Сицилији. Црвена стрелица означава положај сапропелног слоја. Геласијско-плеистоцено-квартарна GSSP се налази у бази лапоровитог слоја који непосредно покрива сапропелни слој (Gibbard, 2009; Фото: E. Di Stefano/S. Bonomo).

Глобална стратотипска секцијска граница лежи само 1 m изнад Гаус-Матујама реверсног поларитета (Rio et al., 1998; Lourens, 2008). Овај развој је натерао ICS да оснује јединствену квартарно-неогену групу са задатком да преиспита позицију границе плиоцен-плеистоцен али резултујући предлог на крају није постигао потребну већину (само 60%) за препоруку (Remane and Michelsen, 1998). Као последицу овога IUGS је реафирмисала Врица глобалну стратотипску секцијску границу, као дефинишућу базу плеистоцена и чак шта више имплементирала десетогодишњи мораторијум што је онемогућило даље разматрање дефинисања квартара и релокације његове доње границе

као и оне плеистоцена. Међутим, ни INQUA ни SQS нису биле спремне да ово питање оставе по страни. На основу највеће анкете мишљења икада спроведене међу својим конститутивним члановима, INQUA је заједно са SQS-ом, у марту 2006. године затражила да ICS прихвати предлог да квартал буде званично установљен у ранг система/периоде са базом на глобалној стратотипској секцијској граници геласиј стадијума (2,6 милиона година), и да база плеистоцена такође буде спуштена са 1,8 милиона година како би се подударала са границом квартара. У мају 2007. године, ICS је гласала у корист SQS/INQUA предлога али је извршни комитет IUGS за време одобравања захтев ICS-а да се квартал прихвати као формални систем/периода, објавила да се база плеистоцена не може померати док не истекне десетогодишњи мораторијум (јануар 2009). Позиција квартара је додатно учвршћена након отвореног форума на 33. Међународном геолошком конгресу у Ослу у августу 2008. године где је осигурана преовлађујућа подршка да се квартал призна као пун систем/периода са трајањем од пре 2,6 милиона година до данас и да се база плеистоцена поравна са базом квартара како би се одржала стратиграфска хијерархија (Ogg and Pillans, 2008; Head et al., 2008a). Ипак, у неогеној заједници је још увек преовладавало мишљење да неогена периода треба да се протеже до данашњег дана, где квартал преклапа неоген на нижем или вишем рангу субсистема/субпериоде или суберате/субере (Aubry et al., 2009).

3.4.1. ФОРМАЛНИ ПРЕДЛОЗИ

Пратећи јавну дискусију на конгресу у Ослу, ICS је затражила од два конкурентна заговорника - подкомисије за кварталну стратиграфију (SQS) и подкомисије за неогену стратиграфију (SNS), да уруче формалне предлоге о којима ICS чланство са правом гласа може расправљати и на крају гласати. Обе подкомисије су предале своје предлоге на разматрање који су конципирани као што следи.:

Квартар/SQS предлог:

1. База кварталног система/периоде треба бити спуштена до глобалне стратотипске секцијске границе геласијског стадијума (тренутно највиши стадијум плиоцене серије) унутар MIS 103, који има калибрисину старост од 2,58 милиона година.
2. База плеистоцене серије/епохе треба бити спуштена како би се подударала са границом кварталног система (глобална стратотипска секцијска граница геласија).

3. Врица глобална стратотипска секцијска граница (садашња квартална и плеистоцена базална граница) треба бити задржана као база калбријског стадијума, другог стадијума ревидиране плестоцене серије.
4. Квартар, који је већ признат од стране IUGS-а, треба да задржи статус система/периоде и да следи неоген у GTS-у.

Неоген/SNS предлог:

1. Кенозојска ера треба да се састоји из палеогена и неогена где оба имају статус система/периоде, док квартал треба да представља субсистем/субпериоду са временским оквиром од последњих 2,6 милиона година.
2. Неогени систем/периоду треба проширити до даншњег дана.
3. Граница плиоцена/плеистоцена треба да остане на 1,8 милиона година као што је тренутно дефинисано али плеистоцену серију/епоху треба поделити на рани плиоцен и касни плиоцен. Ово би ефективно раздвојило квартал и плеистоцен у геолошкој временској скали.
4. Квартарни субсистем/субпериода треба да садржи плеистоцен и касни плиоцен серије/епохе.

Гласањем се одлучивало о прихватању једног од предлога. Оно је било засновано на премиси да уколико ниједан од предлога не добије већину од 60%, задржаће се *status quo*, то јест квартал ће остати систем/периода али ће његова база и даље бити недефинисана (мада не на глобалној стратотипској секцијској граници геласијског стадијума), а доња граница плеистоцена ће и даље бити дефинисана Врица GSSP-ом на 1,8 милиона година. Гласање је завршено огромном већинском подршком предлогу SQS-а. У крајњем исходу 89% чланова ICS-а са правом гласа, подржало је случај квартара. У мају 2009. године, ICS је проследио резултате извршном комитету IUGS-а, да би коначно ово тело 29. јуна 2009 године формално ратификовало предлог SQS-а. Ово је напослетку затворило дебату која је трајала више од шест деценија и, из кварталне перспективе исход је био потпуно задовољавајући. Додатно, са применом десетогодишњег мораторијума, овај предмет не може бити ревидиран пре 2019. године. У нацрту који је прихваћен од стране IUGS-а, квартални систем/периода, плеистоцена серија/епоха и геласијски стадијум/кат деле исту глобалну стратотипску секцијску границу у бази геласија, која се налази на планини Свети Никола на Сицилији и датирана је на 2,58 милиона година.

Табела 4. Званична IUGS (2009) временска скала за кенозоик.

Ера	Периода	Епоха & Субепоха	Кат	Старост (Ma)	GSSP	
КЕНОЗОИК	Квартар	Холоцен				
		Пленстоцен	Тарангнан	0,012	Врџца, Италија	
			Јоннан	0,126		
			Калабрнан	0,781		
			Желас	1,806		
	Неоген	Плиоцен	Пјачентин	2,588	Монте Сант Никола Италија	
			Занклински	3,600		
		Миоцен	Месиниан	5,332		
			Тортониан	7,246		
			Серавалиан	11,608		
			Лангиан	13,65		
			Бурдигалиан	15,97		
			Аквитаниан	20,43		
		Палеоген	Олигоцен	Чатнан		23,03
				Рупелнан		28,4
	Еоцен		Приабон	33,9		
			Бартон	37,2		
			Лутет	40,4		
	Палеоцен		Ипер	48,6		
			Танет	55,8	Ел Коф, Тунис	
Селанд	58,7					
	Дански	61,7				
			65,5			

(Извор: Head et al., 2008b)

Холоцен који је сада дефинисан са референцом на NGRIP (North Greenland Ice Core Project-Северногренландски пројекат леденог језгра) глобалну стратотипску секцијску границу леденог језгра (Walker et al., 2009), остаје у рангу серије/епохе одвојеној од плеистоцена. Консеквентно, оба термина квартар и плеистоцен су од суштинске и подједнаке важности. Ова рекласификација касне кенозојске ере испуњава све INQUA захтеве као и принципе хијерархије геолошке временске скале и поштује историјске преседане и успостављену употребу термина квартар (Gibbard et al., 2010).

4. ЛЕС

Термин лес потиче из немачког језика, највероватније од речи „Löss”, и први пут је употребљен у научној литератури од стране немачког пореског инспектора Карла Цезара од Леонарда (Karl Cäsar von Leonhard) који се у слободно време аматерски бавио и геологијом. Он је овај термин употребио како би описао растресите и неконсолидоване седиментне наслаге у долини реке Рајне у близини града Хајделберга (Kirchenheimer, 1969).



Прилог 20. Карл Цезар од Леонарда.
(Литографија Рудолфа Хофмана, 1857; Национална библиотека Аустрије, Беч).

Термин је у ширу употребу увео Чарлс Лајл средином 19. века, након својих путовања у долину Рајне и Мисисипија, где је приметио сличност између леса и лесних

деривата у обе регије дуж лесних одсека. Од тада је лес постао опште прихваћен термин у геонаукама за означавање еолских квартарних силтних наслага. Еолско порекло леса је прихваћено након радова Вирлета д'Ауста (Virlet d'Aoust) и Рихтхофенових (Ferdinand Freiherr Von Richthofen) запажања и интерпретације кинеског леса (Lyell, 1847; d'Aoust, 1857; von Richthofen, 1882; Russel, 1944).

Лес и лесу сличне насlage покривају ~10% површине Земље. Полуаридни и умерени климати представљају идеалне услове за формирање лесних наслага у низијама, платоима и дуж речних басена. Типични лес понекада није лако разликовати од лесу сличних седимената због чега је неопходно утврдити критеријуме неопходне за његову дефиницију.

4.1. ГРАНУЛОМЕТРИЈА И МИНЕРАЛНИ САСТАВ ЛЕСА

Лес се може дефинисати као седимент у чијем саставу доминирају честице силтне величине који је захваћен, транспортован и коначно депонован посредством ветра. За разлику од других климатских архива као што су ледена језгра и дубокоморски седименти, лесне насlage се јављају искључиво на копну као изразити седиментни геоморфолошки облици. Може се рећи да, када се говори о величини честица од којих се састоји, лес заузима средњу позицију у континууму еолских седимената. Просечна величина честица леса је мања од ветром депонованог песка (2,00–0,05 mm) али већа од прашине која је транспортована са великих удаљености (<10 μm).

Најчешће, лес чине 50–70% силтне честице пречника 10–50 μm , мања количина песка (>50 μm) и глина (<2 μm). Поједине лесне акумулације имају већи садржај песка, док су друге богатије глином али у свима доминирају честица величине силта. Оно што такође издваја лес од еолског песка и прашине је нешто мања правилна распоређеност честица сличне величине. Широки спектар просечне величине честица и релативно слаба сортираност могу бити резултат:

- различитих извора материјала,
- глиновите честице су транспортоване у облику силтних агрегата,
- лесни облици се простиру на знатној удаљености од извора материјала и
- варирање снаге ветра током времена.

Међутим, треба напоменути да у односу на лесу сличне седименте, типични лес карактерише доста правилнија сортираност честица (Sartori, 2000).

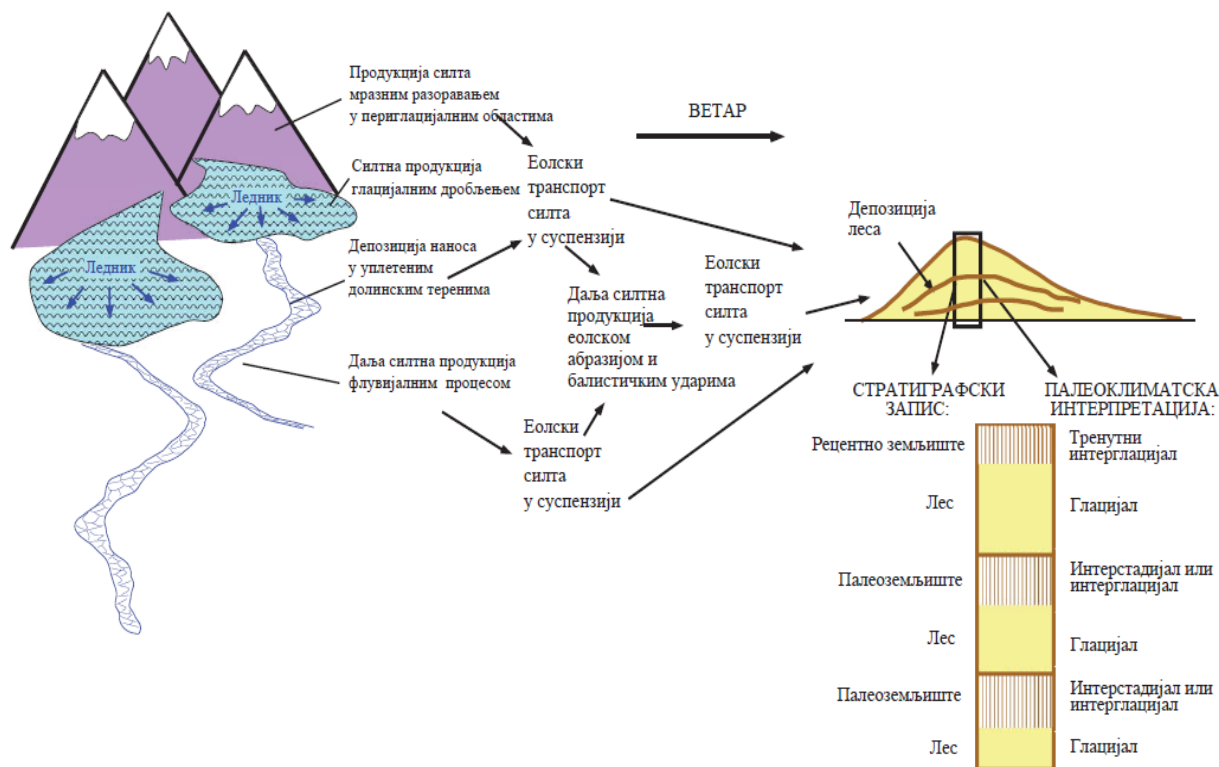
Моћност, то јест дебљина лесних наслага је јако промењива. Може се кретати од свега неколико центиметара до неколико стотине метара дебљине. Ова варијабилност у принципу представља једну од главних предности леса као палеоклиматског индикатора о чему ће бити више речи у наставку рада. Лесне насlage су најчешће депоноване преко већ постојећих геоморфолошких облика као покривачи где се најмоћније акумулације јављају у изолованим, ниским срединама, пространим низијским пределима или долинама док се најтање акумулације срећу на уским, благо брдовитим локалитетима.

Лесне акумулације могу бити интеркалисане различитим врстама других седимената као што је тефра у пределима где је постојао активни вулканизам. Обично је више лесних јединица одвојено палеоземљиштима која означавају периоде потпуног престанка или знатног умањења седиментационе стопе леса.

Лесне насlage обично обележава минералогичка која рефлектује различите изворе, међутим, већину леса чини материјал настао од стена из горњег дела Земљине коре. Изузетак чине поједине лесне насlage на Новом Зеланду и деловима Јужне Америке, где лес чини материјал настао од вулканских базичних стена. Свуда другде, на већини континената, лесне насlage се најчешће састоје од кварца, плагиокласа, К-фелдспата, лискуна, калцита, минерала глине (хлорита, каолинита, хидролискуна (илит), монморионита). Тешки минерали су веома често присутни али у веома малим количинама (1–6%). Обимне геохемијске анализе су показале да је најдоминантнији састојак леса силицијум диоксид (SiO_2) чији се садржај може кретати ~45–75% (обично 55–65%), што више него очигледно рефлектује доминантност кварца (Sartori, 2000).

Иако је веома мало научника који оповргава теорију еолског порекла леса, још увек се води значајна дебата о специфичним процесима који утичу на начин на који честице силта настају пре него што бивају суспендоване ветром. Најзначајније питање је да ли силтне честице леса могу настати искључиво путем глацијалних процеса (дробљењем) или је могуће да ове честице буду створене у довољним количинама неким другим механизмима (Pye 1995; Tsoar and Pye 1987; Smalley 1995; Livingstone and Warren 1996; Wright 2001a; Muhs and Bettis 2003; Muhs 2007, 2013b).

Глацијални лесни модел тврди да силтне честице настају углавном глацијалним дробљењем површинских стена, бивају депоноване, прерађене флувијалним процесима и коначно захваћене, транспортоване и депоноване путем ветра. Ледници представљају веома ефикасне произвођаче силта а блиска географска повезаност леса са глацијалним земљиштима подржава овај модел (Прилог 20).

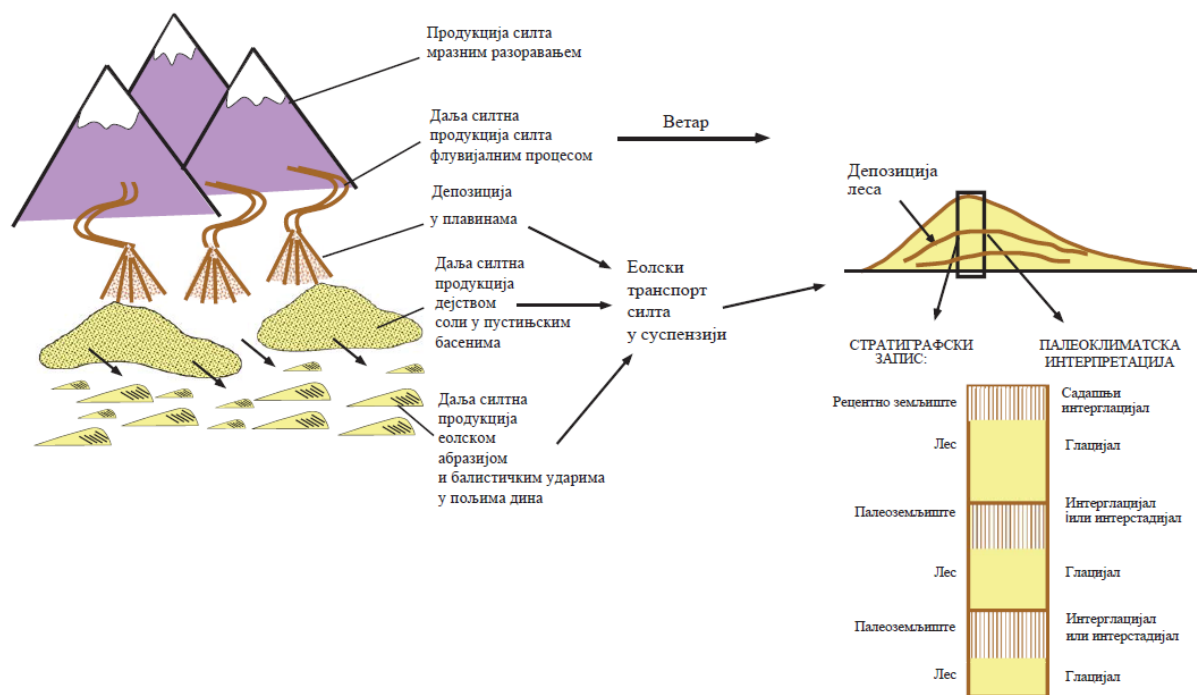


Прилог 21. Графичка представа глацијалног модела лесне формације. (Модификовано према Muhs and Bettis, 2003).

Упркос дугорочној подршци класичном глацијалном концепту формирања леса, одувек су постојала мишљења која су се противила овом моделу још од 50-их година 20. века. Ова дебата се води до данашњих дана и усмерена је на питање „глацијални лес наспрот пустињском лесу“ (Smalley, 1995; Wright, 2001; Muhs and Bettis, 2003).

Пустињски лес је термин који се користи за опис еолског силта који је настао у аридним и семиардним регијама где није било глацијације. Дебата „глацијални лес наспрот пустињском лесу“ је усресређена на питање да ли честице силтне величине могу настати путем других механизма осим глацијалног дробљења или прецизније, да ли могу настати у пустињама. У принципу, постоји велики број механизма који може произвести честице силтне величине у аридним регијама (Прилог 21). У ове механизме спадају мразно разоравање, флувијално уситњавање, хемијско распадање, разарање утицајем соли, еолска абразија и у ређим случајевима балистички удари (Muhs, 2007). Кина је регија која је веома често помињана као најбољи пример дугорочних и пространих неглацијалних лесних записа. Запажања која се представљају као доказ за пустињско порекло су

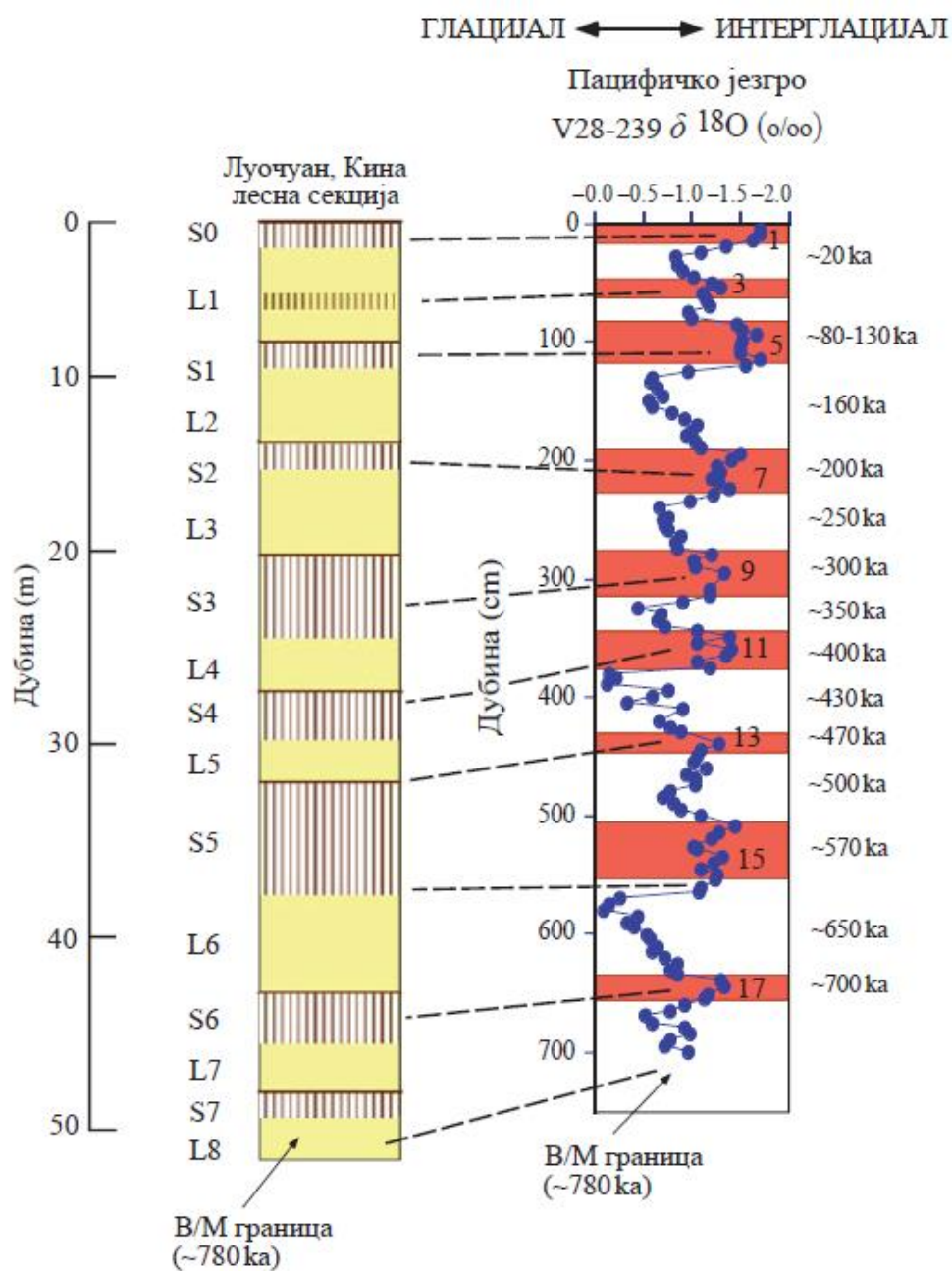
трендови дебљине леса и величине честица које показују пад вредности у правцу низ ветар од пустињског басена.



Прилог 22. Графичка представа пустињског модела лесне формације.
(Модификовано према Muhs and Bettis, 2003).

Додатно, савремене пешчане олује настају у истим пустињским басенима. Међутим, кинески лес може имати, као свој примарни извор, силт гласијалног порекла. На планинама које окружују највећи пустињски басен у Кини, и данас налазимо леднике који су у прошлости били много обимнији. Могуће је да је примарна продукција силта, између осталог, извршена путем ледничког дробљења у планинским пределима, а затим транспортован у басене, глациофлувијалним процесом (Smalley, 1995). Силт из пустињских басена даље бива транспортован путем ветра. Уколико је овај модел тачан, онда аридни басени представљају само резервоаре за складиштење честица и имају веома мало везе са самом продукцијом силта што представља концепт који подржавају геохемијски и изотопски подаци. (Sun, 2002). Упркос контроверзи о томе да ли је лес у Кини гласијалног или пустињског порекла (или оба) која и даље траје, ипак се чини да се главни периоди лесне седиментације у Кини подударују са гласијалним периодима, док периоди формирања земљишта кореспондују са интергласијалима или интерстадијалима (Kukla and An, 1989; Shen et al., 1992; Porter, 2001). Лесно-палеоземљишни записи у Кини

се заиста могу, у релативно доброј мери корелисати са дубокоморским изотопским записима глацијала и интерглацијала (Прилог 22).



Прилог 23. Лесна стратиграфија секције Луочуан, Кина (Kukla and An, 1989) и корелација са дубокоморским изотопским ($\delta^{18}\text{O}$) записом екваторијалног Тихоокеанског језгра V28-239 (Shackleton and Opdyke, 1976).

Неглацијални лес на Великим равницама у Северној Америци је такође датиран у време последњег глацијалног периода (Maat and Johnson, 1996; Aleinikoff et al., 1999; Muhs et al., 1999; Roberts et al., 2003). Ова запажања упућују на закључак да чак и у регијама где

не налазимо изобиље глацијалних седимената као лесни извор, глацијални периоди су ипак били најпогодније време за настанак еолског силта, захватање, транспорт и депозицију (Mahowald et al., 1999; Kohfeld and Harrison, 2000).

4.2. ЛИТОЛОШКЕ И СТРУКТУРНЕ ОСОБИНЕ ЛЕСА

Гранулометрија, садржај глине и карбоната као и порозност и кохезија у лесу, одређују литолошке особине лесних наслага. Типични лес је бледо жуте боје, углавном због садржаја лимонита ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) који је састављен од разних аморфних хидроксида гвожђа: гетит ($\alpha\text{-FeOOH}$), лепидокрокит ($\gamma\text{-FeOOH}$) и некрystalни гвожђе-хидроксид. Лимонит веома лако дехидрира у хематит (Fe_2O_3) који је тамно црвене боје (Mottana et al., 1982). Карактеристични еолски лес није стратификован то јест лесне честице немају усклађену оријентацију у одређеном хоризонту. Боја, величина зрна и интеркалација лесних наслага слојевима земљишта или песковитим лесом, одређују стратиграфске јединице у лесним секвенцама (Osipov and Sokolov, 1995). У погледу минералног састава, примећена је веза између вишег садржаја глине и смањења колапсибилности (урушавања) леса. Овде је од највећег значаја свакако микроструктура која је детерминисана примарним зрнастим глобулама и глиновито-прашинастим агрегатима. Зрнаста структура је типична за песковите лесове који имају високу колапсибилност. Са друге стране, пораст у садржају глине, смањује колапсибилност. Један од фактора који такође утиче на могућност урушавања леса је његова порозност. Постоје три главне врсте пора у лесу:

- макропоре (100–500 μm)
- интерзрнасте и интерагрегатне поре (8–100 μm)
- интраагрегатне поре (<8 μm)

Најзаступљеније су интерзрнасте и интерагрегатне поре са запремином од 15% до 28%, и интраагрегатне поре са запремином од 18% до 25%. Интерзрнасте и интерагрегатне поре представљају најбитнији фактор у колапсибилности леса (Osipov and Sokolov, 1995). Већи број чинилаца детерминише структуру пора у лесу. Најважнији су органска материја, карбонатни састав, старост хоризонта (порозност се временом повећава), падавине као и вештачко наводњавање.

Молекуларне, капиларне, јонско-електростатичне и хемијске силе или структурне везе су одговорне за кохезију лесних седимената (Osipov and Sokolov, 1995). Најбитнија је

јонско-електростатична веза која постоји унутар кристала алуминосиликата и обезбеђује снажну везу између негативно наелектрисаних структурних слојева кроз катјоне у међуслојевима. Ове силе могу такође деловати између засебних честица глине градећи јак јонско-електростатични контакт. Хемијске везе су такође изузетно снажне а њихово постојање омогућава присуство соли, углавном хлорит, гипс и калцит као и сесквиоксиди гвожђа и алуминијума. Садржај воде је такође од пресудне важности јер контролише чврстину структурне везе. Уколико се садржај воде повећа, јонско-електростатичне и молекуларне везе слабе брже од капиларних веза. Уколико се нормална сатурација водом премаши, капиларне везе бивају уништене што на крају узрокује урушавање леса. Уобичајени садржај воде у лесу се креће 14–22% и дефинисан је условима природног окружења, величином зрна и порозношћу (Derbyshire et al., 1995; Osipov and Sokolov, 1995; Derbyshire et al., 1991; Wang et al., 1987).

4.3. ЗЕМЉИШТА И ПАЛЕОЗЕМЉИШТА

Формирање лесних акумулација је тесно повезано са глацијалним циклусима у плеистоцену. Лесна прашина бива, као што је већ речено, транспортована путем ветра, углавном за време глацијалних периода, током којих пролази кроз више абразионих и депозиционих процеса, када полако добија своје изразите карактеристике.

Током топлијих, интерглацијалних периода, лес се налази под утицајем другачијих климатских услова: више температуре, повишених падавина, пораст хемијских и биолошких активности на површини, као и прогресивне педогенезе у дубини тла. Због ових фактора, лес може прогресивно бити трансформисан у земљиште (педогенеза) које у неком каснијем периоду поново може бити прекривено новом лесном наслагом. Наизменично смењивање лесних наслага и слојева земљишта, (Прилог 24), представљају смену са хладних и сувих ка топлим и влажним климатским условима. Ове слојеве земљишта називамо палеоземљишта (Ruhe, 1956). Током процеса педогенезе, физички и хемијски процеси узрокују карактеристичне промене у дистрибуцији величине честица и минералном саставу. Према дефиницији INQUA-е земљиште представља „тродимензионално тело на површини Земље, састављено од минерала и/или органских материјала, ваздуха и воде, формирано под утицајем природних фактора који делују на матични материјал током одређеног временског периода да би произвели редослед хоризоната (INQUA Commission 6, in Catt, 1995). Формација земљишта у

неконсолидованим седиментима је контролисано следећим процесима: хемијско деловање (декалцификација, формирање оксида или хидроксида услед ослобађања Fe и Al), излучивање растворљивих материјала, таложење растворљивих соли у хоризонтима близу површине услед евапорације у аридиним срединама, разлагање и инкорпорација органских материјала, поремећаји настали услед биолошке активности, елувијација глине и каснија илувијација подземних хоризоната као и претварање минерала гвожђа у једињења гвожђа, у влажним условима (Birkeland, 1984).



Прилог 24. Лесни профил Батајница (Фото: Перих, 2016)

Типови земљишта који се развијају углавном на лесном супстрату су на пример илимеризовано земљиште (лесивирано земљиште) у умереним климатима или чернозем у континенталним и аридним климатима. Илимеризовано земљиште карактерише мали хумусни хоризонт (A) на површини, праћен плитким хоризонтом (E) који садржи мање глине него нижи и дебљи, смеђи Bt хоризонт. Веома често је приметно формирање коре секундарног калцита на прелазу из Bt хоризонта у матични супстрат (C-хоризонт). Транслокација глине из E- у Bt-хоризонт је типична за ово земљиште. Тамно црна земљишта (чернозем) су карактеристична за већи део континенталне Европе – Хрватска, Мађарска, Србија, Русија, Украјина, док се на северноамеричком континенту јавља у

Канади. У Србији чернозем налазимо на подручју Војводине у Срему, Банату и Бачкој. Назив чернозем потиче из руског назива „чёрная земля“ – црна земља.

Чернозем поседује карактеристично дебљи (~1 m) А-хоризонт који лежи преко С-хоризонта. Ово земљиште веома често налазимо у степском окружењу са сувим, топлим летима и хладним зимама. Велике континенталне годишње температурне промене узрокују интензивну биотурбацију. Горњи хоризонт је обично поремећен и проширен јер се животиње које обитавају у земљишту крећу надоле да би избегле сушу током лета и хладноћу за време зиме. Због тога, органски материјал бива транспортован надоле, док се кречни материјал из С-хоризонта транспортује нагоре (Sticher, 1997). Недуго након затрпавања, палеоземљишта постају скоро затворени хемијски системи (Driese et al., 2000). Међутим, дијагенеза која се догађа током периода где је земљиште затрпано, може изменити његове особине оксидацијом органског угљеника, илинизацијом смектита, дехидратацијом и рекристализацијом оксихидроксида гвожђа и мангана, као и доломитизацијом педогенетског, секундарног калцита (Catt, 1995).

Смена глацијалне депозиције леса и инерглатијалног формирања земљишта, успешно је корелисано са MIS глацијално-интерглатијалних циклуса. Углавном, овај модел има своју оправданост, међутим, када се лесни записи детаљније анализирају, њихова стратиграфија је веома ретко тако једноставна. Можда би оправданије било овај систем сматрати као „такмичарским процесом“ између седиментације леса и формирања земљишта. Када су седиментационе стопе високе, педогенетски процеси не могу држати корак тако да је могућа акумулација релативно непромењеног седимента (Verosub et al. 1993; Muhs et al. 2004). Насупрот томе, када су седиментационе стопе ниске, педогенетски процеси могу продрети дубље у претходно депоноване лесне наслаге. Док се у случају језерских и морских седимената може говорити о релативно континуираној седиментацији, лесно-палеоземљишне секвенце представљају далеко сложеније системе и понекада је разлика између седимента и земљишта јако тешко уочљива.

4.4. ПАЛЕОЕКОЛОШКИ ЗНАЧАЈ ЛЕСНО-ПАЛЕОЗЕМЉИШНИХ СЕКВЕНЦИ

Постоји читав низ палеоеколошких и палеоклиматских информација које се могу добити анализом лесно-палеоземљишних секвенци. Сам лесни материјал, пошто се његове особине мењају у зависности од рељефа, може обезбедити важне индиције о палеоветровима који су га депоновали. Дебљина леса, величина честица и садржај

карбоната генерално опадају даље од извора (Smith, 1942; Ruhe, 1969; Liu, 1988; Porter, 2001; Mason, 2001; Bettis et al., 2003; Muhs and Bettis, 2003; Muhs et al., 2004). Опадање дебљине леса рефлектује редукцију количине седимента низ ветар од извора, смањивање средње величине честица рефлектује расипање грубог материјала, док опадање садржаја карбоната одражава синдепозиционо цурење низ ветар, где су депозиционе стопе ниже. Уколико би се лесни извор налазио у речној долини која се пружа правцем север – југ, смањивање дебљине леса и средње величине честица на истоку од реке би индицирало северозападне, западне или југозападне палеоветрове, барем током оних периода када су ветрови били довољно јаки да транспортују честице силтне величине. Лесу недостају многи квартарни палеоеколошки индикатори који се обично налазе у језерским или маринским седиментима, као што су полен, дијатоме, остракоде, радиоларије или фораминифере. Штавише, веома је ретко да се у лесу нађу очувани фосили сисара. Међутим, у лесу се веома често налазе очуване шкољке или копнени пужеви, а у изобиљу се могу наћи у Кини, Европи и Северној Америци. Већина ових пужева су екстантне врсте, и њихова савремена зоогеографија је релативно добро утврђена. Услед тога је могуће претпоставити прошле климате током времена лесне депозиције идентификовањем оних врста које тренутно не настајују локалитете где се налазе њихови фосили. У Северној Америци, горњи део последњег глацијалног леса централних Великих равница, садржи екстралимиталне бореалне врсте пужева. Присуство ових врста које настајују северне и планинске шуме, указује на глацијалну климу доста хладнију од тренутне, са шумском вегетацијом, насупрот данашњим умереним травнатим регијама (Rousseau and Kukla, 1994). Док седиментолошки и палеонтолошки подаци у лесу пружају информације о глацијалним периодима, палеоземљишта унутар лесних наслага обезбеђују информације о интерглацијалним или интерстадијалним периодима. Најчешћа метода која је примењивана на лесна палеоземљишта од почетка 80-их година 20. века је била мерење магнетног суцептибилитета и других минерално-магнетних особина (Kukla and An, 1989; Verosub et al., 1993; Maher et al., 1994; Porter, 2001; Porter et al., 2001). Магнетна суцептибилност је у принципу мерење заступљености магнетних минерала као што су магнетит (примарни минерал који учествује у формирању стене) и магемит, секундарни педогенетски минерал. Други минерали, као што је хематит, имају веома ниску али ипак мерљиву магнетну суцептибилност коју је могуће разликовати од магнетита и магемита. Мерење ових особина је брзо, јефтино и веома репродуцибилно. Велики број студија је показао да кинески лес има релативно ниску магнетну суцептибилност док

интеркалисана палеоземљишта имају високу суцептибилност. Све ово чини ову технику високо вреднованим корелационим средством (Kukla and An, 1989) и многи истраживачи су проширили примену ове методе на корелацију са дубокоморским изотопским записима. Поједини истраживачи су покушали да развију трансферне функције, то јест, корелацију магнетне суцептибилности у рецентном земљишту са климатским параметрима као што су просек годишње количине падавина (Maher et al., 1994). Уколико су претпоставке у овом приступу тачне, онда би у принципу било могуће претпоставити прошле климате на основу магнетне суцептибилности палеоземљишта у лесу. Међутим, у овом методу се такође јављају одређени проблеми. Један од њих је да магнетна суцептибилност у рецентним земљиштима лесног порекла у Кини једним делом представља функцију величине честица и стопе акумулације седимената као и климата. Оба ова фактора су просторно варијабилна али високо повезана један са другим широм Кинеског лесног платоа (Porter et al., 2001). Још један проблем је тај што трансферне функције магнетне суцептибилности и климе претпостављају да земљишта брзо достижу стабилно стање у погледу продукције педогенетских магнетних минерала. Студије земљишних хроносеквенци међутим показују да магнетна суцептибилност у земљиштима наставља да расте током времена (Singer et al., 1992). Коначно, у појединим регијама, трендови магнетне суцептибилности су супротни онима у Кини. У Сибиру и Аљасци на пример, суцептибилитет је највиши у лесу а најнижи у палеоземљиштима услед лесних извора са високим садржајем магнетита и мало или никакве продукције магемита у земљиштима (Bege't et al., 1990; Chlachula, 2003). Несумњиво, коришћење магнетне суцептибилности приликом истраживања леса и палеоземљишта је веома привлачно делом јер је релативно брзо, једноставно као и због ниских трошкова анализе. Ипак, битно је напоменути да поред ових проблема, магнетни минерали чине веома мали део минералног састава леса и његових палеоземљишта.

Приликом истраживања палеоземљишта лесног порекла, такође су коришћене и контроверзне методе, међутим, не тако обимно као магнетна суцептибилност. У долини реке Мисисипи, у држави Илиној, морфологија земљишта, величина честица и минеролошки и геохемијски подаци показују да се палеоземљишта разликују у висини развоја и хемијском распадању кроз које су прошла (Grimley et al., 2003). На пример, Сангамон геоземљиште (Sangamon Geosol) и једно од старијих палеоземљишта (Јармут палеоземљиште) су црвенија и богатија глином од Фармдејл геоземљишта (Farmdale Geosol) или рецентног земљишта. Проксији за деплацију плагиокласа ($\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$), апатита

(P_2O_5/TiO_2) и силикатних минерала (SiO_2/Al_2O_3) генерално показују да је Јармутско геоземљиште било више изложено атмосферским утицајима него Фармдејл геоземљиште или рецентно земљиште. Ови подаци могу упућивати на то да су прошли интергласијали били топлији и влажнији него садашњи, са повишеним хемијским распадањем у земљиштима. Алтернативно тумачење је да су прошли интергласијали трајали дуже него садашњи, или да су прошли интергласијали били топлији, влажнији и дужи него интергласијал у коме се тренутно налазимо (Muhs, 2007).

4.5. ФАКТОРИ ТЕМПОРАЛНЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ СЕДИМЕНАТА

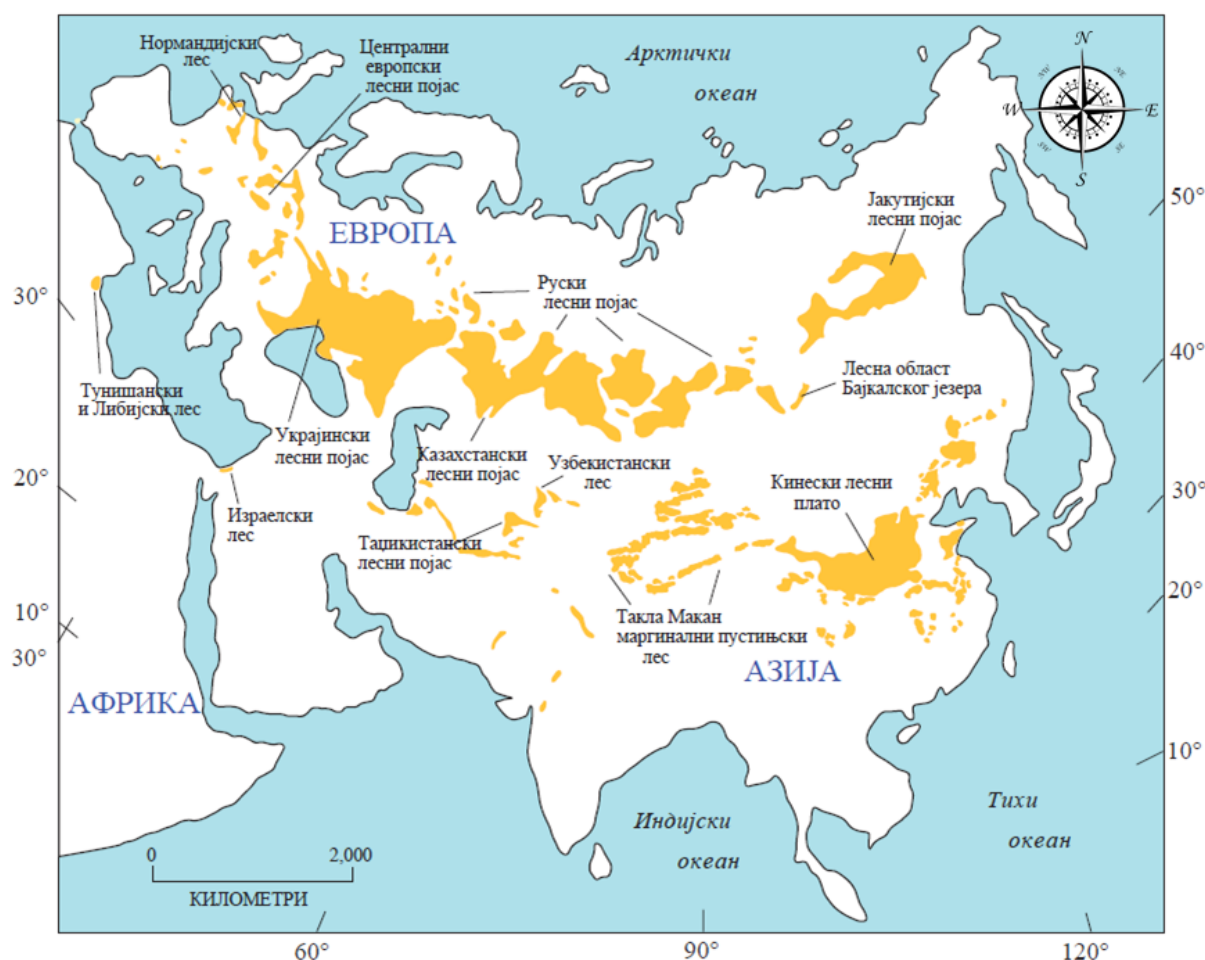
Постоји читав низ фактора који утичу на то да ли ће одређена седиментна секвенца бити подобна за истраживање и палеоклиматску реконструкцију. За потребе прецизне палеоклиматске реконструкције, процес акумулације седимената би требало да се одвијао континуирано и по константној стопи током периода који је од интереса. Континуирано депоноване седиментне секвенце са мало или ниједним темпоралним прекидом услед ерозије, прекида седиментационог процеса или оба, пружају најкомплетније записе палеоеколошких промена током одређеног геолошког интервала. Иако се овакви идеализовани случајеви скоро никада не срећу у природи, континуирана седиментација је један од водећих принципа за одабир локације која ће бити истраживана у сврху палеоеколошке и палеоклиматске реконструкције.

Један од најбитнијих фактора је свакако и стопа по којој седименти акумулирају. Овај фактор одређује темпоралну резолуцију прокси записа изведених из одређене седиментне секвенце.

Још један од битних фактора који утиче на темпоралну резолуцију седиментних записа је биотурбација, то јест активност организама који живе на површини или у унутрашњости седиментних акумулација. Биотурбација доводи до мешања седимената из различитих хоризоната и самим тим утиче на прецизност и јасноћу темпоралне резолуције палеозаписа. Промене на седиментима услед биолошких активности, такође могу отежати и идентификацију индивидуалних слојева што у појединим случајевима одређену секвенцу може учинити потпуно неадекватном за потребе палеоклиматске реконструкције. Ритмичност је општи термин који се користи за појаву типично депонованих седиментних секвенци састављених од два или више типова седимената који се наизменично смењују.

4.6. ДИСТРИБУЦИЈА ЛЕСНИХ НАСЛАГА У СВЕТУ

Лесне насlage представљају најраспрострањенији седимент на Земљиној површини. Због своје широке дистрибуције, повољне текстуре и минеролошког састава, лес спада у један од најбитнијих типова пољопривредних земљишта на свету. Седиментација леса се најчешће дешава у умереним зонам и на ободима полу-аридних пустиња уздуж такозваног „светског житног појаса“ (Liu et al., 1985). На источној хемисфери, лес је веома честа појава на већем делу Евроазијског континента.

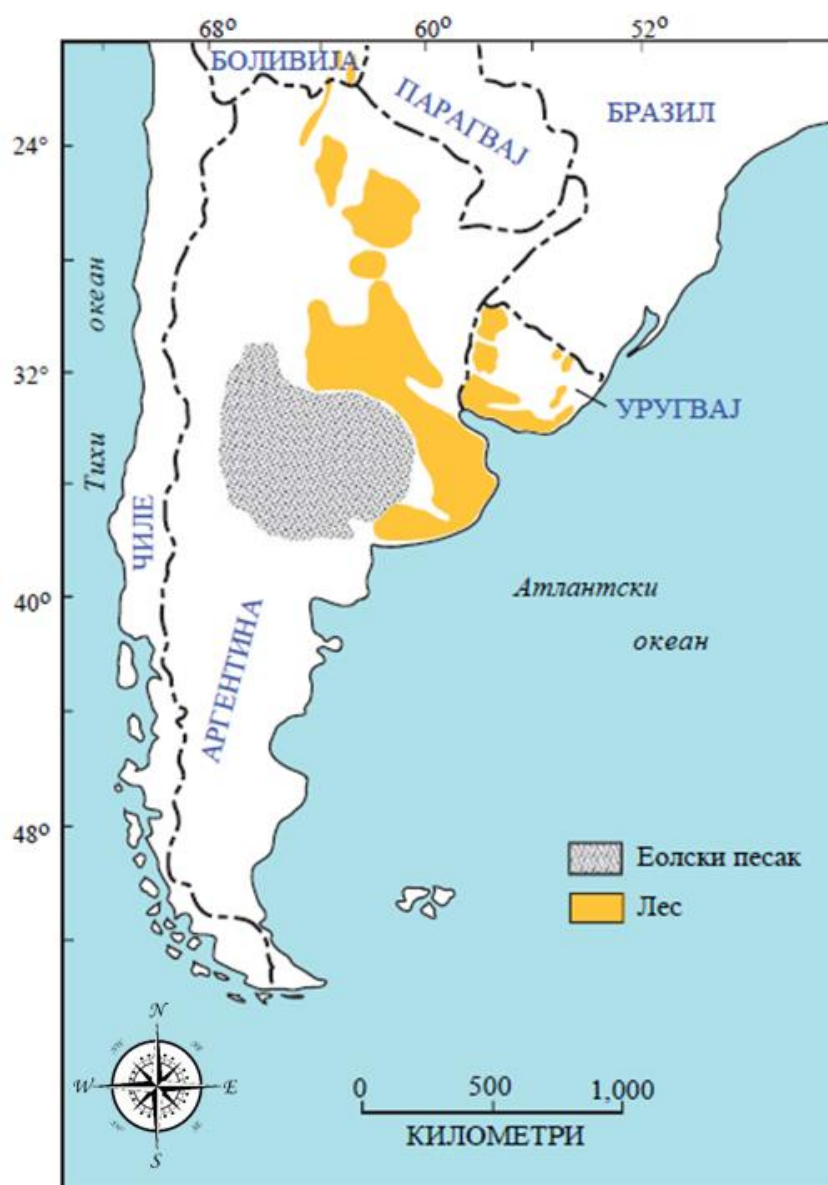


Карта 1. Дистрибуција лесних седимената на Евроазијском континенту (Модификовано према Muhs, 2007).

Највећу распрострањеност леса у Евроазији налазимо у појасу од 40°N до 60°N географске ширине где покрива области јужно од границе планинских ледника квартарне старости у западној, средњој и источној Европи, Русији и средњој Азији (Руе, 1987;

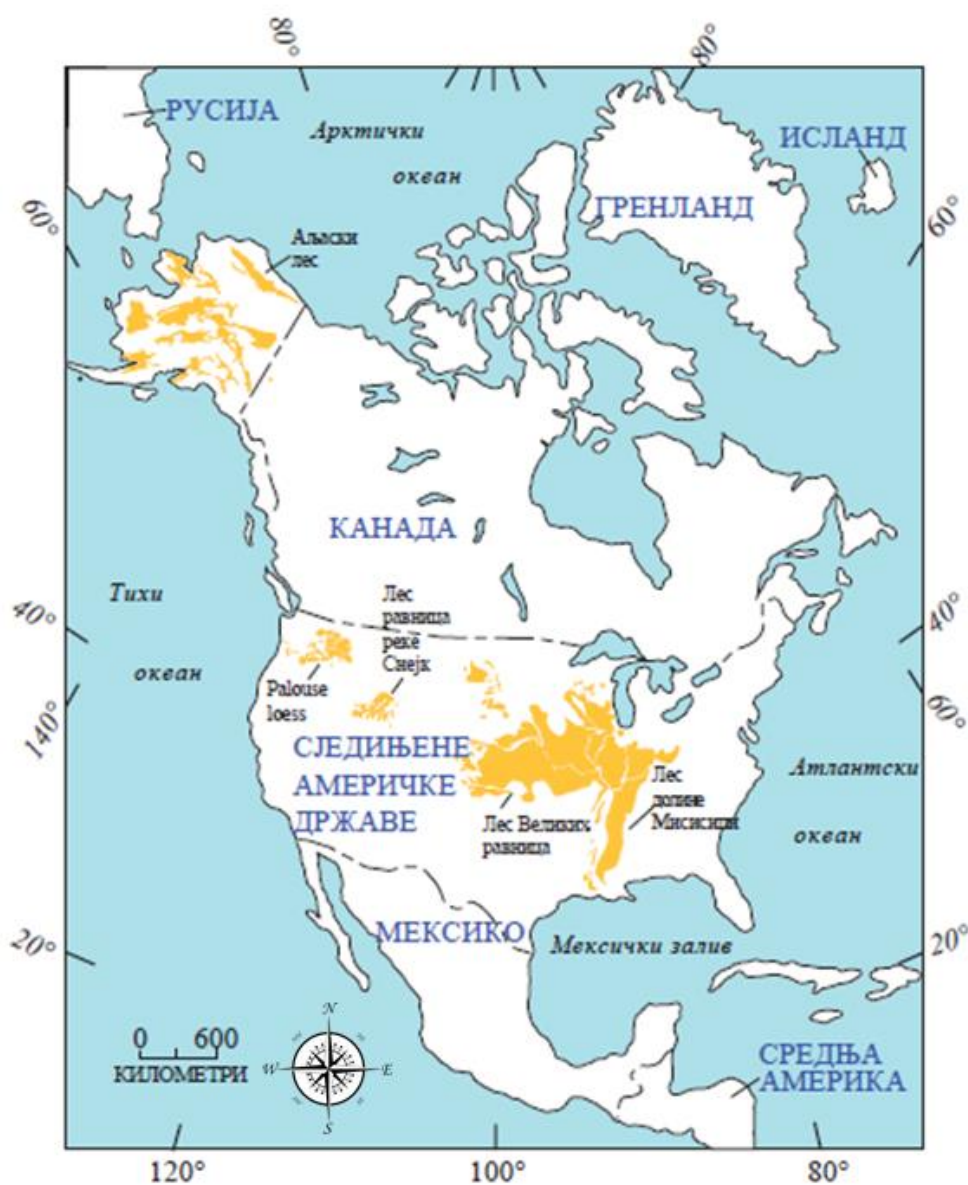
Rozuski, 1991; Frechen et al., 2003). Изузетак чине лесне секвенце у Кини, где лес покрива области на нижим географским ширинама које се не налазе у близини континенталних, планинских или долинских ледника.

У Кини, главну лесну наслугу представља централни лесни плато, у средњем току реке Хоангхо, где лес достиже дебљину >250 m. Изворни материјал који потиче од аридних басена у провинцији Ђингхаи (Qinghai) је транспортован јаким источним ветровима током плеистоцена. Кинески лесни плато представља континуалну лесну област од 440.000 km^2 (Liu et al., 1985). Уколико се у обзир узму све лесне формације, укупна површина покривена лесом у Кини износи око $1.000.000 \text{ km}^2$.



Карта 2. Дистрибуција лесних наслага у Јужној Америци (Модификовано према Zarate, 2003).

Површина под лесом одговара 10% укупне површине Кине или 20% обрадивог земљишта. Због тога лес игра веома битну улогу у пољопривредној економији Кине. Такође и културни развој Кине је тесно повезан са лесним платоом, што је потврђено проналасцима палеолитских и неолитских култура на овој територији (He, 1969, in Liu et al., 1985). Лесне наслаге у централној Азији, нарочито у Таџикистанској депресији достижу дебљину >200 m. Лес није присутан у субтропским и тропским географским ширинама Евроазије.



Карта 3. Дистрибуција лесних наслага у Северној Америци
(Модификовано према Muhs, 2007)

На западној хемисфери, лес налазимо како у јужној, тако и у северној Америци. У Јужној Америци налазимо два главна лесна појаса: лес у Пампасима у централној Аргентини и Чако лес у северној Аргентини. Одређене лесне акумулације се такође пронаћи у Боливији, Парагвају, Уругвају и Бразилу (Zaérate, 2003).

На територији Северне Америке, лес се јавља у Аљасци и суседној Јукон територији (Reéweé, 1975), Палус области у источном Вашингтону и суседном Орегону (Busacca et al., 2004), у низији реке Снејк и суседним висијама државе Ајдахо, у регијама Великих равница источно од Стеновитих планина као и у басену реке Мисисипи (Bettis et al., 2003).

Лес није честа појава у највећем делу Африке као ни у суседним субтропским деловима Средњег истока. Међутим, постоје веома добро документоване, мада географски ограничене лесне области у Тунису, Либији, Нигерији, Намибији, и Израелу. Лес је углавном ретка појава на Аустралијском континенту иако постоје одређени простори покривени ситнозрним еолским наслагама и индикаторима који указују на присутност ретког кварца у земљиштима (Hesse and McTainsh, 2003). Са друге стране, лес је честа појава на већем делу територије Новог Зеланда (Прилог 25) где је његова стратиграфија и дистрибуција веома детаљно проучена (Berryman, 1993; Eden and Hammond, 2003).



Прилог 25. Лесни профил на Јужном острву, Нови Зеланд
(www.teara.govt.nz/en/photograph/8394/loess).

Најразвијеније и најмоћније лесне формације Европе налазе се у Немачкој, Аустрији, Мађарској, Чешкој, Словачкој, Румунунији, Бугарској, Хрватској, Србији, Молдавији, и Украјини. У свим овим земљама лесне формације су углавном коцентрисане у басену Дунава и већина је детаљно истражена и описана. Највећи део описаних секција досеже до Матујама геомагнетног хрона (ера реверсног поларитета – пре ~781.000 година). На основу магнетостратиграфије, стратиграфије земљишта, палеоеколошких проксија и апсолутне и релативне хронологије, извршена је корелација лесних секција што је омогућило реконструкцију климатског развоја дунавског басена током касног горњег, средњег и доњег плеистоцена (Marković et al. 2014). У наслагама Црвеног брда (Cervený Korc) у Чешкој и код Кремса у Аустрији, Матујама-Брин граница је установљена испод педокомплекса 9 на дубини од 65 m (Kosi, 1990). Јарамило и Олдуваи субхрон су идентификовани у најнижих неколико метара ове две секције што указује на то да је седиментација леса у овој регији почела непосредно пре Олдуваи субхрона (пре (1,76 – 1,96 милиона година). Другачију интерпретацију су дали Форстер и сарадници (Forster et al., 1996) који су тврдили да две секције на Црвеном брду припадају два различита стратиграфска нивоа и да су у ствари синхрони. Према овој теорији, максимална старост ове секције би била ~800.000 година (Sartori, 2000). У средњем делу дунавског басена, лесне наслаге могу достићи више од 60 m дебљине. У мађарском Пакшу, Матујама-Брин геохрон је утврђен на дубини од ~44 m (Pécsi et al., 1995), у старом L5 лесу изнад палеоземљишта PD2 (Márton, 1979). У Дунафелдвару (Dunaföldvár) Матујама-Брин геохрон је установљен на ~42 m, на истој стратиграфској дубини као у Пакшу. Предложено је да је седиментација старог леса дуж Дунава започела непосредно након Јарамило субхрона то јест пре 0,915–1,01 милиона година. На лесној секцији у Новој Етулији (Etulia Nouă) у Молдавији, која достиже моћност од 24 m, Брин-Матујама граница је утврђена на дубини од 14,5 m, испод девет сукцесивних палеоземљишта (Faustoff et al., 1986; Spassov, 1998). У Роксолани, Украјина, лесно-палеоземљишне севенце које се налазе на VIII тераси реке Дњестар, достижу дебљину од ~50 m Матујама-Брин геохрон је утврђен на дубини од ~35 m, између педокомплекса РК6 и РК7 (Tsatskin et al., 1998). Лесно-палеоземљишне серије у брдима Прекавказке регије показују седиментационе стопе сличне онима у Централној Азији и Кинеским лесно-палеоземљишним серијама. Секција Отказној, у близини Зеленокумска (43,5° E, 44,2° N) је укупне моћности 140 m (Virina et al., 1990). Матујама-Брин граница је утврђена на дубини од 72 m. Брин епоху карактеришу шест лесних хоризоната унутар којих налазимо пет педокомплекса док

Матујама епоху представљају три лесна слоја са три земљишта. Јарамило субхрон који се налази на дубини између 94 m и 104 m, је идентификован као најстарија поларитетна зона у секвенци (Sartori, 2000).

5. ЛЕС У ВОЈВОДИНИ

Војводина се налази у јужном делу панонског басена (познатом и као карпатски басен), између динарских планина на западу, Карпата на истоку, док је са запада, севера и истока ограничена државним границама са Хрватском, Мађарском и Румунијом. На југу административну границу највећим делом представљају реке Сава и Дунав. Више од 60% површине Војводине је покривено лесом и лесу сличним седиментима. Акумулација еолског материјала на овом простору отпочела је током касног доњег плеистоцена, а врхунац је достигла током горњег плеистоцена. (Marković et al., 2003, 2008, 2011). Комплексни рељеф Војводине одредио је услове депозиције лесног силта као и пост-депозиционе процесе. Генерално, сингенетски или типични лесни варијетети су сачувани у лесним платоима, док су седименти лесних деривата депоновани у речним долинама, на падинама и суб-акватским локалитетима (Pecsi, 1990). Типични лес налазимо на шест дисконтинуираних платоа између алувијалних равни Дунава, Тисе, Саве и Тамиша. Ови платои представљају најрепрезентативније лесне секвенце регионалне палеоекологије и садрже углавном непоремећене палеоклиматске записе.

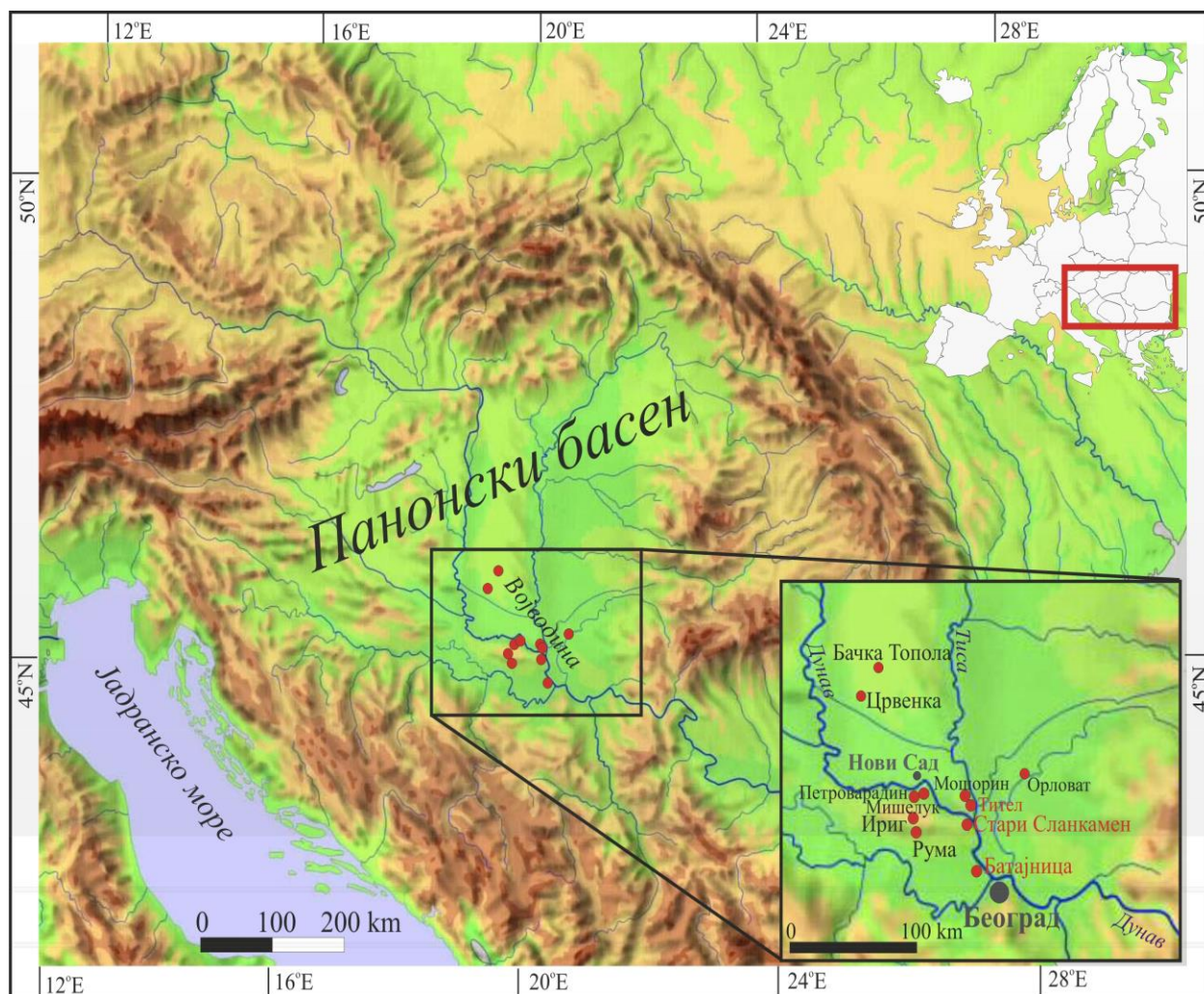
До почетка плиоцена, готово читав басен Панонског језера био је испуњен седиментима, што је резултат у постојању знатне разлике између износа термалног спуштања коре и стопе акумулације материјала (Јовановић, 2012). Акваторија Панонског језера је до пре око 4,5 милиона година била редукована на простор северне Србије и североисточне Хрватске, односно на Славонско или Палудинско језеро (Gábris and Nádor, 2007). Формирање речних мрежа Драве, Дунава и Тисе започела је редукцијом језерских акваторија, по дну Панонског басена, да би се затим засипањем басена Палудинског језера проширила на простор северне Србије. Транзиција од палудинских седимената језерског карактера, ка речно-језерским и полицикличним седиментима одвијала се на граници плиоцена и доњег плеистоцена (Јовановић, 2012). Снажно тектонско спуштање централног дела Панонског басена од краја плиоцена и током доњег и средњег плеистоцена, контролисало је развој речне мреже (Nador et al., 2007) и праћено је испуњавањем седиментима које су доносили Дунав и Тиса (Kasse et al., 2010). Формирањем речне мреже у крајњем југоисточном делу Панонског басена и таложењем флувијалних седимената, створена је изворишна област за формирање лесних седимената (e.g. Јовановић, 2012).

На основу спроведених геохемијских анализа Бугл и сарадници (Buggle et al., 2008) износе мишљење да највероватнији извор материјала од којег су формиране лесне наслаге на простору Војводине представљају Карпатске планине, дрениране Тисом и мањим притокама Дунава, као и Аустроалпска навлака, дренирана Дравом. Марковић и сарадници (2004) истичу да акумулација лесних наноса и еолских пескова представља кулминацију изразитог палеоклиматског тренда аридизације и захлађења који се одвијао током плеистоцена у југоисточном делу Панонског басена. Сукцесија палеоеколошког окружења на истраживаном простору током последњих приближно 2,6 милиона година указује на егзистирање пет најзначајнијих палеогеографских етапа: језерске (рани плеистоцен), језерско-речне (доњи плеистоцен), језерско-барске (средњи плеистоцен), старије речне (горњи плеистоцен) и млађе речне (холоцен) (Лукић, 2015).

Депозиција лесних седимената започела је пре приближно милион година на гребену Фрушке горе. Ова чињеница је недавно утврђена палеомагнетним истраживањима лесног профила „Чот” код Старог Сланкамена. У доњем делу профила констатовано је више изразитих промена палеомагнетног поларитета. Најпре је у лесном хоризонту V-L9 утврђен јасан интервал реверсног поларитета који одговара Матујама, најмлађој реверсној палеомагнетској епохи (Marković et al., 2011). Промена од Бринес нормалног ка Матујама реверсном поларитету десила се пре приближно 780.000 година (Cande and Kent, 1995). Други значајан магнетостратиграфски репер је поновна појава интервала нормалног палеомагнетског поларитета у најстаријем делу лесно-палеоземљишног профила „Чот” у Старом Сланкамену који највероватније одговара Јарамиљо нормалној палеомагнетној епизоди (Marković et al., 2011). Ова епизода је трајала од пре 990.000 до 1.070.000 година (Cande and Kent, 1995).

Акумулација лесних наноса на вишим теренима југоисточног обода Панонског басена одвијала се паралелно са формирањем полицикличних седимената на нижим просторима, са тим да је било потребно да прође још око 300.000 до 400.000 док акумулација лесне прашине у низијским подручјима Војводине није надвладала образовање полицикличних и флувијалних седимената. Тада су почели да се формирају најстарији слојеви Сремске лесне заравни у околини Батајнице, као и у основи Тителског лесног платоа (Јовановић, 2012). Најстарији откривени педокомплекс средњеплеистоцене старости у низијском делу Панонског басена налази се у основи профила Батајница-Дунав и указује на вишеструку смену акумулативних и ерозивних фаза током одвијања флувијалног процеса по дну Панонског басена (Лукић, 2015).

Простор југоисточне Бачке као и сам Тителски лесни плато граде седименти квартарне старости, који су се формирали за време глобалних палеоклиматских промена током средњег и горњег плеистоцена. У подини Тителског брега откривена је седиментна серија различитих седиментолошких и литолошких карактеристика. Приликом истраживања ових седимената утврђено је присуство шкољке *Corbicula fluminalis* (Марковић, 2000) што указује да су речно-барске насlage на простору Војводине таложене од позног плиоцена до средњег плеистоцена (Gaudenyi et al., 2015).



Карта 4. Положај најважнијих лесних профила на простору Војводине (Према Marković et al., 2008).

Лесни хоризонти формирану су еолском акумулацијом прашине коју су ветрови депоновали у периглацијалним областима. Прекиди у акумулацији леса наступали су за време топле и влажне интергласијалне климе. У таквим условима формирана су фосилна земљишта. Применом седиментолошких, педостратиграфских и метода луминесцентног

датирања и релативне аминокиселинске геохронологије дошло се до закључка да је пет јасно уочљивих палеопедолошких хоризоната формирано током топлих, интерглатијалних периода који одговарају MIS 5, 7, 9, 11, 13, 14 и 15 (Marković et al., 2012; Басарин 2009).

Простор Војводине представља најтоплији и најариднији део Карпатског (Панонског) басена, који показује сличан климатолошки градијент који је егзистовао и током горњег плеистоцена. Реконструкција вегетационих и климатских услова током Емијана (рис-вирм) указује на значајно изражен тренд аридизације на овом простору (Zech et al., 2013). Климатске промене током горњег плеистоцена које су забележене у лесно-палеоземљишним секвенцама на простору Бачког, Тителског и Сремског лесног платоа указују на варирање од умерених, влажних и топлих интерглатијалних услова до аридних, умерених и хладних глатијалних услова. Ово је генерална карактеристика последњег глатијално-интерглатијалног циклуса који указује на присутне палеоклиматске карактеристике током последњих 130.000 (Marković et al., 2008; Stevens et al., 2011). Такође, треба истаћи да анализа фауне пужева очуваних у лесним наносима који су навејани током последњег глатијала показује значајне локалне разлике у палеоеколошким условима на северним, односно јужним падинама Фрушке горе. Палеоклиматски градијенти условили су значајне разлике у саставу малако фауне. Северна подгорина је била рефугијум за палеоилиријску фауну која преферира влажне и не тако хладне климатске услове, а истовремено на јужним падинама су биле присутне ксерофилне, топлољубиве и умерене врсте копнених пужева упркос неповољним глатијалним климатским условима. Тако је Фрушка гора током последњег глатијала представљала својеврсно биогеографско „острво” чије су супротне падине током последњег глатијалног периода представљале рефугијална станишта за различите малакофаунистичке асоцијације (Marković et al., 2004a,b, 2006, 2007).

Истраживања лесно-палеоземљишних секвенце у нашој земљи, нарочито она спроведена почетком 20. века су потврдила да овдашњи архиви, због високих акумулационих стопа и екстензивне појаве, представљају један од најпотпунијих и најосетљивијих европских копнених записа климатских и еколошких промена од периода касног доњег плестоцена. Релативна потпуност као и образац сачуваних палеоклиматских маркера указују на чињеницу да се ове војвођанске лесно-палеоземљишне секвенце могу директно довести у везу преко евроазијског лесног појаса са лесним записима источне Азије (e.g. Marković et al., 2008, 2009b, 2011; Stevens et al., 2011). По први пут откако су начињена значајна побољшања у старосним моделима за лесно-палеоземљишне секвенце,

подаци са подручја Војводине су директно поређени са кинеским лесним записима средњег и горњег плеистоцена. Ово поређење наглашава старост лесно-палеоземљишних секвенци Војводине и показује значај детаљних и релативно комплетних палеоклиматских записа које оне садрже као и природу разлика и сличности међу овим записима.

Марковић и сарадници (2003, 2004а, 2006) су одредили називе лесно-палеоземљишним јединицама на простору северне Србије на основу кинеског лесно-стратиграфског система (e.g. Liu, 1985; Kukla, 1987; Kukla & An, 1989) али са уметањем префикса „SL“ позивајући се на Стари Сланкамен, као стандардни тип профила. Међутим како би се избегла конфузија услед непотпуности у најмлађим деловима лесно-палеоземљишних секвенци касног и средњег плеистоцена сачуваних у Старом Сланкамену, префикс „V“ се сада користи да би се означила стандардна плеистоцена лесно-палеоземљишна стратиграфија у Војводини (Marković et al., 2006; 2009b). Шема стога дозвољава укључивање информација из претпоследњег интергласијала на основу других секција (e.g. Ruma and Batajnica; Marković et al., 2006; 2009b).

Табела 5. Стратиграфска номенклатура лесно-палеоземљишних секвенци (Marković et. al., 2008)- лево, и нова стратиграфска номенклатура лесно-палеоземљишних секвенци у Војводини (Marković et. al., 2015)- десно

Стратиграфска јединица	Стратиграфска подјединица	Стратиграфска јединица	Стратиграфска подјединица
V S1 палеоземљиште	V S1 SS1	V S1 палеоземљиште	S1SS1
	V S1 LL1		V S LL1
V L1 лес	V L1 SS1	V L1 лес	V L1SS1
	V L1 LL1		V L1LL1

Претходни стратиграфски опис и магнетностратиграфска интерпретација лесно-палеоземљишних секвенци Руме, Батајнице, Старог Сланкамена и Тителског лесног платоа презентовали су Марковић и сарадници (2004а, 2006, 2009b, 2011) и Хамбах и сарадници (Hambach et al., 2011). Ове интерпретације су указале на бројне сличности између истраживаних секција као и еколошких услова на подручју целог региона. Палеопедолошка интерпретација углавном је указивала на постепену климатску транзицију од суптропске ка степској интергласијалној средини указујући на прогресивни тренд ка сувљим и континенталнијим интергласијалима (Marković et al., 2011).

Нови мегнетостратиграфски и аминостратиграфски временски модели коришћени на лесно-палеоземљишним секвенцама у северној Србији покривају временски период од последњих милион година (Marković et al., 2011). Два независна хроностратиграфска приступа су довољно осетљива за препознавање прекида у очуваности лесно-палеоземљишних секвенци. На пример, MC и докази добијени рацемизацијом аминокиселина гастропода указују на недостатак педокомплекса претпоследњег интергласијала V-S2 на профилу Стари Сланкамен, карактерисаног изразитим слојем шљунка који лежи преко еродираног тла. Упркос овој несагласности, нови резултати Марковића и сарадника (2011) показују да је запис на Старом Сланкамену један од најстаријих и најкомплетнијих у региону. Дужина и потпуност је неуобичајена и као таква ова секција пружа ретку прилику детаљних истраживања дугорочних климатских промена касног доњег и средњег плеистоцена. Најнижих 11 m секције Стари Сланкамен, од палеоземљишта V-S6 до базног педокомплекса, садржи најбоље сачувано, до сада познато лесно-палеоземљишно наслеђе раног средњег и доњег плеистоцена у Европи (Marković et al., 2011). Најстарија истраживана лесна јединица на профилу Батајница је вероватно еквивалент лесном хоризонту V-L7. Међутим, најнижи део профила је у великој мери под утицајем интензивних пост-депозиционих хидроморфних функција што ремети примарне морфолошке и хидроморфне особине. Због тога подаци добијени са лесно-палеоземљишне секције Батајница старији од V-S5, тренутно нису довољно поуздани за корелацију са стратиграфијом маринских изотопа и еквивалентним регионалним лесним записима (Marković et al., 2009b). Палеоземљишта V-S4, V-S3 и V-S1 су веома слична њиховим могућим стратиграфским еквивалентима на секцији Стари Сланкамен. Са укупном дебљином од 50 m, секција на тителском лесном платоу садржи најпотпуније европске лесне записе у задњих 650.000 година. Сложена лесно-палеоземљишна секвенца Мошорин, представља веома прецизан запис последњих 5 гласијално-интергласијалних циклуса од базног педокомплекса V-S5 до рецентног земљишта V-S0 (Hambach et al., 2011). Палеопедолошке карактеристике педокомплекса од V-S5 до V-S1 су скоро идентичне онима на секцији Батајница. Неколико макроскопски видљивих слојева тефре сачуваних на секцији тителског лесног платоа могу послужити као значајни регионални хоризонтски маркери. Коначно, секција Рума обухвата лесно-палеоземљишне секвенце за последња 3 гласијално-интергласијална циклуса. Највиши делови секције Рума се разликују од осталих истраживаних профила у Војводини. Палеоземљишта V-L1S1 и V-S1 су слабо развијена, нарочито последњи интергласијални педокомплекс. Ипак, у неколико

палеодепресија ова фосилна земљишта су много веће дебљине и развијености. Претпоследњи интергласијални педокомплекс V-S2 је веома сличан онима сачуваним у Батајници и тителском лесном платоу док се јако развијено базични лувисолни педокомплекс V-S3 приметно разликује од V-S3 педокомплекса на осталим истраживаним секцијама (Marković et al., 2006). Детаљно тумачење зоналности палеомагнетног поларитета забележеног на лесно-палеоземљишној секвенци Стари Сланкамен изнели су Хамбах (2009) и Марковић и сарадници (2011). Подаци добијени након АФ демагнетизације главне секције показују присуство реверсног поларитета испод дубине профила од 36 m, што упућује на постојање Матујама геохрона у доњем делу најнижег лесног хоризонта V-L9. Нормални поларитет Брин хрона је пронађен искључиво у палеоземљиштима V-S6, V-S7 и VS8, као и у лесним јединицама V-L7 и V-L8. Сложени образац мешовитог поларитета започиње у горњем делу лесне јединице V-L9 око 5 m наниже, са прелазом у пуни реверсни поларитет Матујама хрона у V-L10, непосредно испод V-S9. Промена у потпуни реверсни поларитет почиње у средини фосилног земљишта V-S9 (Marković et al., 2011). Ова сложеност је највероватније резултат узајамног дејства између хемијске и детритичне реманентне магнетизације (e.g. Spassov et al., 2003; Liu et al., 2008). Овај Матујама-Брунс палеомагнетни гранични (МВВ; 0.78 Ма према Cande and Kent, 1995) интервал представља једну од кључних контролних тачака у хроностратиграфској подподели секвенце Стари Сланкамен. Интервал дебљине 2 m од центра V-S9 до врха базног педокомплекса показује скоро потпуни реверсни поларитет. Најнижи метар секције, унутар базног педокомплекса показује интервал нормалног поларитета, и потенцијално указује на Харамилџо субхрон. Шта више при врху V-S6 два индивидуална узорка показала су тренд реверсног поларитета током прогресивне АФ демагнетизације (Hambach et al., 2009).

Прво термолуминесцентно (TL) апсолутно датирање лесно-палеоземљишних секвенци у Војводини обавили су Сингнви и сарадници (Singnvi et al., 1989) и Битрим и сарадници (Butrym et al., 1991). Данас је познато да је мало вероватно да се уз помоћ ових ТЛ методолошких приступа може доћи до прецизних резултата (e.g. Murray and Wintle, 2006) али су у оно време објављени резултати условили значајне накнадне ревизије претходних стратиграфских модела (e.g. Bronger, 2003). У последње време је широко коришћена техника инфрацрвено стимулисане луминесценце (IRSL) у сврху њене примене на последњу гласијалну лесну хронологију лесних секвенци у Војводини (Marković et al., 2007, 2008; Fuchs et al., 2008; Antoine et al., 2009; Bokhorst et al., 2009,

2011). Ипак, остаје питање до које мере ефекти сигналне нестабилности фелдспата утичу на ове резултате (Roberts, 2008). Недавно су Шмит и сарадници (Schmidt et al., 2010) и Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) применили кварцну оптички стимулисану луминесценцу (OSL) и полиминералне пост-IR IRSL технике датирања како би превазишли ова питања и утврдили прецизнију хронологију последња два глацијална циклуса. Амино ацидно рацемизациона (AAR) геохронологија је успешно примењена на фосилне гастроподне шкољке сакупљене са најразличитијих регија у свету (Oches and McCooy, 2001). Ова техника је омогућила корелацију лесних секвенци широм Европе док је интензивна примена ових метода на лес у Војводини у последњих неколико година условио значајна стратиграфска побољшања (Marković et al., 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011). Бугл и сарадници (Buggle et al., 2009) на основу мерења магнетног суцептибилитета извршили су стратиграфска истраживања у Батајници и Старом Сланкамену заједно са другим профилима- Мирче Вода у Румунији и Стари Кајдаки у Украјини, што је омогућило корелацију са лесно-палеоземљишним секвенцама у Кини и дубокоморским седиментима ODP 677. Стопе седиментације за поменуте профиле су такође израчунате коришћењем различитих временских модела. Израчунате су и количине палеопадавина на основу односа вредности магнетног суцептибилитета и количине падавина. На основу добијених резултата закључено је да је количина падавина била већа у старијим интерглацијалним периодима што упућује на постепену аридизацију овог дела европског копна (Лукић, 2015).

Мерења магнетног суцептибилитета, такође је интензивно вршено на лесним профилима у Војводини што је допринело бољем разумевању климатских варијација у овом делу Европе, нарочито у за време плеистоцена. На основу ових истраживања, закључено је да МС варијације забележене у лесно-палеоземљишним секвенцама у Србији, чини се да одражавају палеоклиматске флукуације средњег и касног плеистоцена, посебно промене у влажности (Marković et al., 2009b, 2011; Stevens et al., 2011). Цикличне промене високих и ниских МС вредности између палеоземљишта и лесних јединица уједно илуструју разлике у степену педогенезе за време глацијалних и интерглацијалних климатских услова (e.g. Marković et al., 2009b, 2011). Неколико наглих повећања МС вредности се подудара са могућим очуваним слојевима тефре. На пример, најизразитије високе МС вредности су повезане са слојевима код којих се претпоставља да су макроскопски видљиви слојеви тефре у претпоследњем лесном хоризонту V-L2 у Батајници, Сурдуку, тителском платоу и секцији Рума, или при бази V-L4 лесног

хоризонта на тителском лесном платоу. Услед блиске повезаности различитих МС записа, након пажљиве корелације лесно-палеоземљишних јединица, могуће је идентификовати прекиде у одређеним секвенцама. Непотпуна очуваност лесног записа у горњем делу лесно-палеоземљишне секвенце Стари Сланкамен је претпостављена корелацијом МС записа са подацима из Батајнице (Marković et al., 2009) и Руме (Marković et al., 2006) у Војводини као и профила у близини дунавског басена укључујући и Пакс у Мађарској (Sartori et al., 1999), Коритен у северозападној Бугарској (Jordanova & Petersen, 1999), Виатово у североисточној Бугарској (Jordanova et al., 2007, 2008) и Мостистеа у југоисточној Румунији (Panaiotu et al., 2001). У свим наведеним секцијама, други педокомплекс од врха профила показује изразити образац варијације МС записа (два дискретна врха) као што је случај код профила у Кини. Међутим, ово није случај са МС записима у Старом Сланкамену. Јединица која недостаје се поклапа са појавом шљунковитог слоја приближне дебљине 20 cm у лесу испод палеоземљишта V-L2S1. Ваљаност овог тумачења је недавно потврђена коришћењем аминостратиграфског приступа (Marković et al., 2011).

6. МЕТОДА ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА

У току истраживања и прикупљања литературе за израду овог рада, постао је очигледан недостатак, како научне грађе, тако и адекватне терминологије о луминесцентном датирању на нашем језику. Иако се ова метода у свету интензивно примењује већ више деценија, у нашим научним круговима су детаљи о различитим техникама, инструментализацији као и самом процесу луминесцентног датирања још увек мало познати. Због тога сматрамо за сходно, да се ова проблематика детаљније представи и обради у посебном поглављу.

6.1. ПОЈАМ ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈЕ

Луминесценција (од латинске речи *lumen, luminis* = светлост) је општи термин који се користи за електромагнетну радијацију која је емитована као последица атомске или молекуларне нетермалне ексцитације. Услед тога је луминесценција често описивана као хладно светло да би је разликовали од инкандесцентне (топлотне) емисије светлости (Thomsen, 2004). Назив луминесценција је у научне сврхе први пут употребио немачки физичар Еилхард Видерман 1888. године (Wiedemann, 1888). Луминесцентни материјали имају способност апсорбовања енергије, складиштења једног њеног дела и њеног конвертовања у светлост и најчешће поседују кристалну структуру.

Луминесценција се шире може поделити у две категорије: флуоресценција и фосфоресценција. Ова два типа луминесценције се разликују по атомским механизмима којима светлост бива емитована.

У случају флуоресценције, до емисије светлости долази услед релаксације електрона из побуђеног стања у основно стање. Задршка између резултирајуће апсорпције енергије у побуђеном стању и емисије је детерминисано животним веком побуђеног стања. Животни век може бити дужине од неколико пикосекунди до, у посебним случајевима, неколико милисекунди.

У зависности од начина побуђивања (фотони, електрони, хемијска енергија, биохемијска енергија, механичка енергија), у флуоресцентне процесе спадају:

- фотолуминесценција,
- катодолуминесценција,
- хемолуминесценција,

- биолуминесценција,
- кристалолуминесценција,
- тритолуминецценција,
- електролуминесценција,
- термолуминесценција и
- сонолуминисценција.

Код фосфоресценције, релаксација назад у основно стање бива одложена транзицијом из побуђеног стања у метастабилно стање из кога релаксација у основно стање није дозвољена. Ова метастабилна стања делују као електронске замке па енергија мора бити обезбеђена да би електрон био ослобођен и враћен у основно стање (McKinlay, 1981). Повратак у основно стање је према томе одложен на ограничен временски период који зависи од животног века електрона у метастабилном стању. У фосфоресценцији, енергетска разлика између побуђеног и метастабилног стања је обично толико мала да се ослобађање електрона из замки догађа вибрацијама кристалне решетке на собној температури без потребе за икаквим екстерним извором енергије. Међутим, и у термолуминесценцији и у оптички стимулисаној луминесценцији, енергетска разлика између побуђеног стања и метастабилног стања је толико велика да је неопходна екстерна енергија како би се електрони ослободили из замки. У термолуминесценцији емисија се убрзава термалном стимулацијом, док се у оптички стимулисаној луминесценцији емисија убрзава оптичком стимулацијом.

6.2. ПРИНЦИПИ ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА

Луминесцентно датирање представља хронолошки метод који се обимно користи у археологији и геонаукама. Основни принцип је базиран на емисији светлости (луминесценције) минерала који се најчешће јављају у природи, пре свега кварц и фелдспат. Ова метода се може применити на широк спектар материјала који садрже кварц или сличне минерале.

Луминесцентно датирање спада у такозване радијационо-дозиметријске методе датирања. Ове методе се заснивају на временско зависној акумулацији радијационих оштећења у минералима. Радијациона оштећења настају као резултат изложености минерала јонизирајућој радијацији ниског интензитета која је свеprisутна у природи. Што је дужи временски период изложености одређених минерала току радијације, већа су

радијациона оштећења у његовој кристалној решетки. Интензитет радијационог оштећења сада постаје мерило тоталне дозе апсорбованог јонизирајућег зрачења коју је минерал примио током одређеног временског периода. У случају луминесцентног датирања, интензитет радијационог оштећења се детектује у облику мале количине светлости коју називамо луминесценција (Vandenberge, 2004). Приликом излагања светлу или топлоти, радијационо оштећење а самим тим и луминесцентни сигнал у зрнима се „брише“ (оптички или термално се поништава) све док се потпуно не изгуби (Preusser, 2008). Потпуно брисање, то јест губитак луминесцентног сигнала из минералних зрна познато је као „нутирање“ (zeroing), „изблеђивање“ (bleaching) или ресетовање. Нутирање сигнала могуће је остварити излагањем минерала топлоти или светлости. У случају примене луминесцентног датирања у археологији, на пример у одређивању старости грнчарије, паљеног кремена или нагорелог камена, догађај који се датира је последње загревање ових предмета тако да се сигнал нутира излагањем узорака топлоти. Други начин је излагање минерала дневној светлости што се дешава приликом ерозије, транспортовања или депоновања седимената. Оба ова процеса ће ослободити постојећу ускладиштену енергију и ресетовати „часовник“ на нулу (Duller, 2008). У тренутку када чинилац који је изазвао ресетовање више не делује на минерална зрна, дакле, када она буду поново изолована од дневне светлости у природном окружењу где влада нормална температура, луминесцентни сигнал изнова почиње са акумулацијом коју изазива природна радиоактивност. Догађај од интереса, то јест догађај који се датира, у луминесценцији представља управо ово ресетовање, било загревањем, било излагањем светлости.

Латентни луминесцентни сигнал се може ослободити и у лабораторијским условима. Тада се користе исти агенси као у природи: температура или светло. Међутим у лабораторијским условима је емитовани луминесцентни сигнал могуће забележити и анализирати посредством TL/OSL инструментализације. Уколико је ослобођени сигнал подстакнут загревањем минералних зрна изнад 300°C, резултована луминесценција се назива термолуминесценција (TL). Уколико је међутим сигнал ослобођен путем излагања минералних зрна зраку светлости, емитовану луминесценцију називамо оптички стимулисана луминесценција (OSL). Луминесцентни сигнал измерен у лабораторији је управо сразмеран дози коју је минерал примио од последњег ресетовања сигнала. Уколико је утврђена и стопа по којој је радијациона доза апсорбована, то јест стопа по којој је настало радијационо оштећење, онда је могуће израчунавање старости узорака. Старост узорка у случају луминесцентног датирања је време које је протекло од тренутка

депоновања седимента до тренутка када је вршено прикупљање узорка за анализу (Прилог 26) (Vanderberghe, 2004).



Прилог 26. Шематски приказ датирањог догађаја у методи луминесцентног датирања. Луминесцентна старост која се утврђује је време које је протекло од тренутка ресетовања и затрпавања минералних зрна до мерења природног луминесцентног сигнала у лабораторији (Модификовано према Risø, 2017).

За потребе датирања, количина апсорбоване енергије по маси минерала ($1 \text{ J kg}^{-1} = 1 \text{ Gy}$ (Gray)) посредством природне радијације од тренутка нулирања – познатом по називу палеодоза (Preusser, 2008) – одређује се упоређивањем природног луминесцентног сигнала узорка са сигналом индукованим вештачком, лабораториском ирадијацијом (еквивалентна доза). Један греј (Gy) је апсорпција једног џула радијације енергије од стране једног килограма материје.

На овом месту треба напоменути да се израз „палеодоза“ односи на количину апсорбоване радијације у природи док се термин „еквивалентна доза“ користи за исту

количину радијације која је репродукована у лабораторији. Међутим, у пракси, у Рисо лабораторијама (Risø) где је рађена комплетна хемијска припрема и датирање узорака, стандардни термин је еквивалентна доза и користи се и као синоним за палеодозу, тако да ће се у наставку овог рада користити искључиво овај назив.

Током времена развијено је више различитих лабораторијских техника у сврху постизања неопходне стимулације и бележења слабе али мерљиве луминесценције коју емитују минерали. Време које је протекло од последње експозиције сунчевој светлости или загревања на високој температури, израчунава се деобом еквивалентне дозе дозном стопом. Дозна стопа представља количину енергије која је депонована по маси минерала услед изложености радијацији која је деловала на узорак током одређеног временског периода

Ова релација се може представити формулом:

$$\text{Луминесцентна старост (a)} = \frac{\text{Еквивалентна доза (Gy)}}{\text{Дозна стопа (Gy a}^{-1}\text{)} (1)} \cdot \quad (3)$$

Луминесцентно датирање има веома широку примену у кварталним истраживањима, као што су палеоклиматологија, еволуција геоморфолошких облика, геоазарди, георхеологија итд. Једна од првих публикација са темом коришћења феномена термолуминесценције у сврху датирања узорака објавили су Денијелс и сарадници (Daniels et al., 1953). Неколико година касније ова техника је први пут била употребљена за датирање керамике (Grögler et al., 1958; Aitken, 1998).

Данас је веома уобичајена апликација овог метода за датирање седимената, где се датира догађај који је омогућио последњ излагање минералних зрна сунчевој светлости. Опсег старости на који је ова метода примењива креће се од приближно једног века или мање до преко 100.000 година.

Једна од првих апликација луминесцентног датирања је развијена 60-их година двадесетог века. Од тог времена остварен је огроман напредак у разумевању феномена луминесценције у природним минералима, метода који се користе у процесу мерења луминесценције као и спектра материјала које је могуће анализирати.

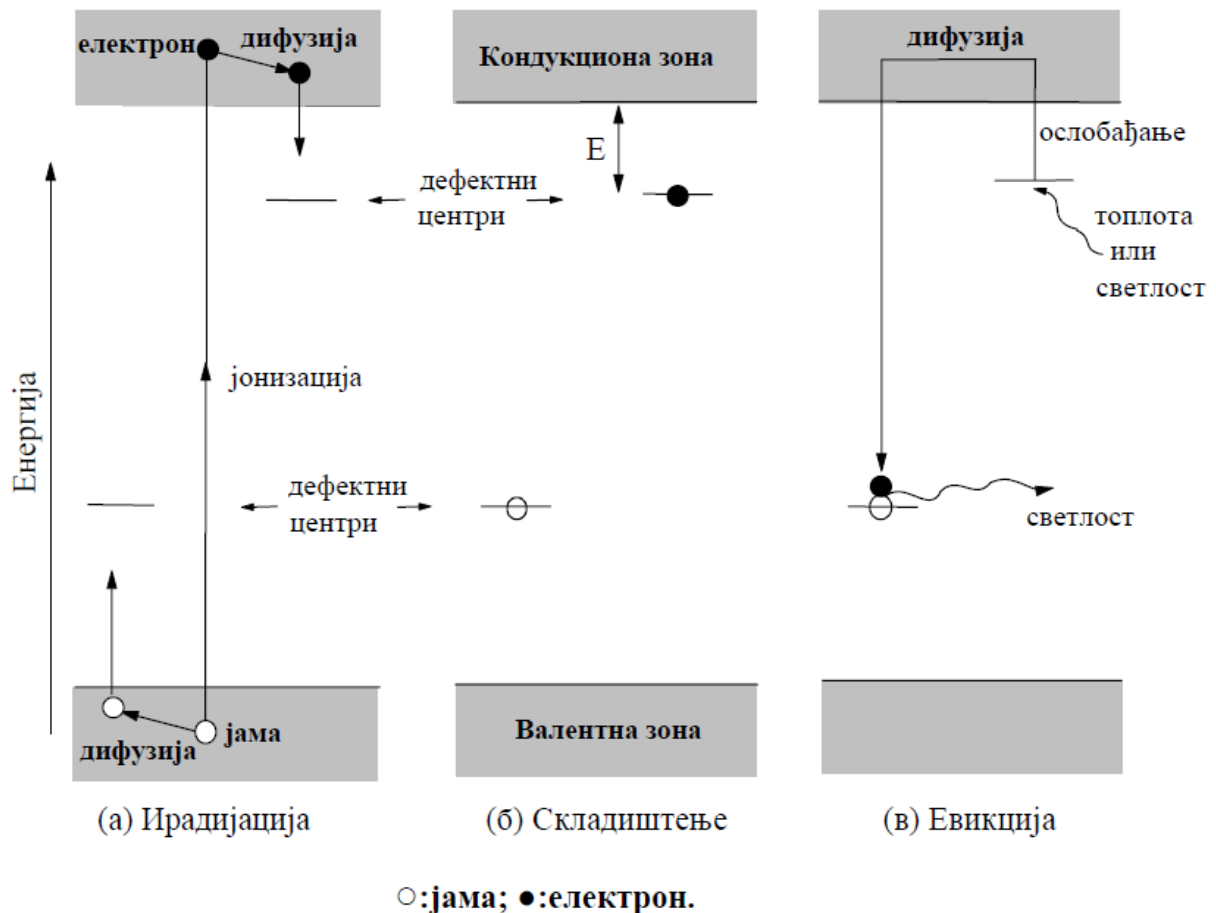
6.3. ЗОНСКА ТЕОРИЈА

Поред обимне употребе луминесцентних метода у процесу датирања, главни процеси који узрокују појаву луминесценције су до данас недовољно схваћени и објашњени. Међутим основни принципи су добро познати и могу најбоље бити приказани дијаграмом енергетских нивоа за непроводљиве јонизирајуће кристалне материје (Прилог 27) (Aitken, 1998). Електрону који кружи око језгра атома је дозвољено да резидира само на одређеним дискретним енергетским нивоима. Енергетске вредности између ових нивоа су „забрањене“ за електрон у слободном атому. Атоми повезани у чврстим телима имају знатан међусобни утицај. Силе које везују атоме један за други, знатно модификују понашање других електрона. Једна од последица непосредне близине атома је та што узрокује да се индивидуални енергетски нивои атома разбијају и формирају зоне дозвољених енергетских стања. Ове енергетске зоне у чврстим телима су раздвојене енергетским зонама забрањеним за електроне.

У странијој литератури, уобичајени назив за ове енергетске зоне или нивое је трака или врпца (band). Сматра се да је израз зона исувише широк и да не може адекватно изразити ограниченост енергетског нивоа. Међутим у нашем језику стандардни термин је зона тако да ће се у раду користити искључиво овај термин.

Најнижа енергетска зона назива се валентна зона. Означава се са E_v и представља највише енергетско стање у валентној зони. У овој највишој енергетској зони сви енергетски нивои су скоро потпуно испуњени електронима пошто они увек теже да најпре попуне најнижа расположива енергетска стања. Кондукциона или проводна зона је највиша позната енергетска зона. Обележава се са E_c што представља најниже могуће енергетско стање унутар ове зоне. Електрони у кондукционој зони нису везани ни за један атом и стога се могу слободно кретати унутар кристала без утицаја било каквог спољног електричног поља (Thomsen, 2004). Енергија међупростора (забрањене зоне) између валентне и кондукционе зоне ($E_g = E_c - E_v$) представља енергију која је потребна за прекид везе у кристалу. Када дође до прекида везе, електрон је апсорбовао довољно енергије да напусти валентну зону и пређе у кондукциону зону. Кристалне материје се могу класификовати на основу ширине међупростора између зона. Уколико је ширина међупростора велика ($>3 \text{ eV} - 10 \text{ eV}$) материја се класификује као изолатор то јест материјал са слабом проводном моћи. Међутим, уколико је ширина међупростора веома мала или чак непостојећа, материјал класификујемо као проводник (Thomsen, 2004).

Полупроводнички материјали поседују особине како проводника тако и изолатора. Које ће карактеристике бити више изражене, углавном зависи од услова у којима се материјал налази као и од примеса у њему. Тако на пример, изолатор као што је силицијум диоксид (SiO_2) поседује кондукциону зону у којој се налази веома мали број електрона, пошто је термална енергија појединачног електрона недовољна да би могао прећи из валентне у кондукциону зону.



Прилог 27. Приказ енергетских нивоа у процесу луминесценције
(Модификовано према Aitken, 1998).

Луминесцентни материјали су класификовани као изолатори. У кристалном силицијум диоксиду као што је кварц, ширина међупростора је ~ 9 eV што га чини одличним изолатором (Thomsen, 2004). Међупростор или процеп, који раздваја кондукциону и валентну зону, или дозвољена енергетска стања, представља такозвана „забрањена“ зона. У идеалном кристалу, ниједан електрон не може заузети позицију у овој зони (Vanderberghe, 2004). Како ипак сваки природан материјал у својој структури

исказује извесне несавршености, тако се и код кристала јављају дефекти унутар уређене кристалне структуре.

Док се кондукциона и валентна зона простиру кроз цео кристал, дефектна стања су повезана са самим дефектима те се због тога називају локализовани енергетски нивои. Ови локализовани енергетски нивои су кључ луминесцентног феномена јер управо они представљају носиоце записа изложености минерала нуклеарној радијацији. (Vanderberghe, 2004). Закључак је да је основни предуслов појаве луминесценције, постојање дефеката унутар кристалне решетке минерала. У случају кристала, неправилности се могу манифестовати као нечистоће и примесе других елемената или у неким случајевима може се јавити недостатак атома. Ови дефекти омогућавају присуство енергетских нивоа унутар забрањене зоне. Различити типови дефеката могу бити класификоване као унутрашњи – интринсични, и спољни – екстринсични.

- Интринсични дефекти представљају ненастањене локације и настањене локације које би у савршеном кристалу биле ненастањене (интерститиали).
- Екстринсични дефекти су нечистоће на локацијама које би у савршеном кристалу биле настањене (субституционалне нечистоће) или ненастањене (интерститијалне нечистоће).

Нечистоће се односе на насумично позиционирање страних атома унутар кристала. Тачкасти дефекти се могу проширити преко неколико атомских размака. Постојање дефеката резултира стварањем дозвољених енергетских стања у иначе забрањеном зонском процепу. Кристални дефект се сматра центром замки ако је дефект у стању да зароби носиоца набоја (електрон или јаму) и реemitује га натраг у зону из које је дошао. Кристални дефект где носиоци набоја супротног знака (плус и минус и супротно) могу бити заробљени, резултирајући рекомбинацијом електрон-јама, се класификује као рекомбинациони центар (Larsen, 1999).

Структурни дефекти у кристалној решетки стварају локализоване дефиците у набоју који су у стању да привремено заробе електрон из кондукционе зоне који покушава да се врати у валентну зону. Заробљени електрон остаје заглављен у дефекту E_t све док год термална екситација не врати електрон у кондукциону зону. Вероватноћа p по јединици времена да електрон напусти своје заробљено стање је дата Болцмановим фактором (Boltzmann factor):

$$p = s \exp(-\Delta E/kT), \quad (5)$$

где је

$$-\Delta E = E_c - E_t. \quad (6).$$

У (5) и (6), $-\Delta E$ је енергетска дубина замке у поређењу са кондукционом зоном, E_c је енергија кондукционе зоне, E_t је енергија замке, k је Болцманова константа, T апсолутна температура а s је фреквенцијски фактор који је производ осцилацијске фреквенције електрона и коефицијента реакције (Becker, 1973).

Време које електрон проведе заробљен зависи од енергетске дубине замке у поређењу са кондукционом зоном ΔE , температуре T и фреквенцијског фактора s . Према томе, за одређени тип замке (константа s) и константну температуру, стабилност дате замке је већа што је удаљенија од најнижег енергетског стања кондукционе зоне у којој се налази. Да би одређена замка била од дозиметријске вредности, мора је карактерисати адекватна дубина како не би дошло до ослобађања електрона услед вибрација кристалне решетке. Ово практично значи да полуживот електрона заглављених у замци мора бити дужине од најмање неколико седмица.

У савршеној кристалној решетки изолационог кристала, као што је већ поменуто, могућност преласка електрона из валентне у кондукциону зону је занемарљива уколико не постоји утицај неке екстерне силе. У случају када се јонизирајућа радијација налази у интеракцији са материјом, енергија бива депонована. Ова депонована енергија може обезбедити електрону довољну количину енергије ($\geq E_g$) за транзицију из валентне у кондукциону зону (Thomsen, 2004).

Када се електрон подигне то јест буде евиктован, у валентној зони се ствара празнина-јама на месту на коме се електрон налазио. Електрони у валентној зони су сада у могућности да се крећу и упадају у простор који су оставили евиктовани електрони. Евиктовани електрон ће најчешће резидирати искључиво у кондукционој зони и то око 10 ps колико му износи просечни животни век, пре него што изгуби енергију и буде враћен у валентну зону где ће се рекомбиновати са јамом (Thomsen, 2004). На овај начин, енергија нуклеарне радијације бива апсорбована. Ова енергија може бити поново ослобођена рекомбинацијом, и то најчешће у виду топлоте. Иако већина енергетских набоја врши рекомбинацију директним путем, постоји такође и могућност да електрон и јама буду заробљени у дефектним центрима. У овом случају, нуклеарна енергија бива привремено складиштена у кристалној решетки и тада се сматра да се систем налази у метастабилном стању (Прилог 27 (б)). Како би електрон могао бити уклоњен из замке и систем враћен у

стабилно стање, неопходна је енергија. Количина енергије која је потребна је детерминисана дубином E замке испод кондукционе зоне. Ова дубина замке последично одређује колико дуго ће електрон остати у њој. Да би се дубље замке испразниле, неопходна је већа количина енергија па су самим тим ове замке доста стабилније током дужег временског периода. За потребе датирања, од интереса су искључиво замке са дубином ($\sim 1,6$ eV или више) довољном за животни век од најмање неколико милиона година (Vanderberghe, 2004). Излагањем кристала топлоти или светлости, заробљени електрони могу апсорбовати довољно енергије да премосте баријеру према кондукционој зони. (Прилог 27 (в)). Подигнути, евиктовани, електрони могу поново бити заробљени у некој од замки или се могу рекомбиновати са јамама у такозваним рокомбинујућим центрима то јест дефектним локацијама које су нарочито атрактивне за електроне. Сама рекомбинација може резултовати или емисијом топлоте (рекомбинација без радиоактивности) или светлости (радиоактивна рекомбинација). Дефектне локације где долази до радиоактивне рекомбинације се називају луминесцентни центри а резултујућа светлост термолуминесценција или оптички стимулисана луминесценција, у зависности да ли је у сврху ослобађања електрона из замки коришћена топлота или светлост. Количина емитоване светлости је пропорционална количини електрона ускладиштеним у дефектима то јест количини енергије која је апсорбована од нуклеарне радијације. Како енергија бива апсорбована по одређеној стопи, интензитет је повезан са временом акумулације. Што је дуже времена материјал изложен радијацији, више сигнала се добија. Боја то јест таласна дужина емитоване луминесценције зависи од врсте луминесцентног центра у коме се догађа рекомбинација. Детаљи о процесу стварања луминесценције у различитим минералима тренутно нису најбоље познати. Ширу слику о овом процесу могуће је добити једино у случају вештачких кристала створених у строго контролисаним лабораторијским условима где су познати термички утицаји и садржај нечистоће и примеса. Ипак, главне карактеристике механизма који ствара луминесценцију као и начин на који се овај феномен може користити за потребе датирања, су добро познате и веома успешно се користе већ неколико деценија уназад (Vanderberghe, 2004).

6.4. РАСТ СИГНАЛА И СТАБИЛНОСТ ЗАМКИ

Како смо до сада већ утврдили, интензитет луминесцентног сигнала је управо пропорционалан броју електрона заробљеним у замкама. Што је дуже време ирадијације,

више ће електрона бити заробљено у замкама те ће због тога и интензитет луминесценције бити виши. Постоје међутим два ограничења. Прво је то, да је укупан број расположивих замки за складиштење набоја ограничен. Последично, услед континуиране ирадијације, расположиве замке бивају постепено попуњене и на крају долази до сатурације или засићења. Друго ограничење је да електрони понекада бивају спонтано избачени из својих замки. Овај процес називамо „термално гашење“ или „опадање“ (thermal fading). Овај појам ће детаљније бити објашњен у наставку рада. Уколико се оба ова ефекта узму у обзир, раст луминесцентног интензитета (I) као функција времена, може се изразити следећом формулом (Wagner, 1995)

$$I(t) = S \times \dot{D} \times \tau \times (1 - e^{-t/\tau}), \quad (7)$$

где S је сензитивитет или количина луминесценције по јединици дозе, \dot{D} је дозна стопа или примљена доза по јединици временааа, τ је средњи животни век, t је временски распон акумулације сигнала и e је основа природног логаритма.

У (7) израз $S \times \dot{D}$ се односи на увећање у луминесцентном интензитету услед попуњавања замки, док израз $\tau \times (1 - e^{-t/\tau})$ узима у обрачун сатурацију и ефекат термалног опадања. Једначина (7) се једноставније може приказати као:

$$I(t) = I_{max} \times (1 - e^{-t/\tau}), \quad (8)$$

где се максимални интензитет који може бити изграђен, може написати

$$I_{max} = S \times D \times \tau, \quad (9)$$

а средњи животни век има облик:

$$\tau = \frac{\tau_S \times \tau_T}{\tau_S + \tau_T}, \quad (10)$$

где је τ_S константа термалног опадања која узима у обзир да је број замки ограничен а τ_T представља средњи животни век, који је просек резиденцијалног времена (проведеног времена) електрона у одређеној врсти замке при температури T (Wagner, 1995; Vanraeynest, 1998).

После свега наведеног, јасно је да и карактеристике сатурације (τ_S) и дугорочна стабилност сигнала (τ_T) одређују највиши интензитет којим луминесцентни сигнал може

да расте те је због тога могуће одредити горњу границу до које се може извршити поуздано датирање узорака (Vandenberghe, 2004).

Сатурациона доза зависи пре свега од минерала који се користи за одређивање старости. Кварц на пример, сатурацију достиже при доста нижој дози у поређењу са фелдспатима. Обично се за кварц узима временска граница од 100.000 до 200.000 година док је фелдспат могуће датирати и до милион година под условом да не долази до појаве аномалног гашења (овај феномен је својствен минералима фелдспата и биће ближе објашњен у наставку рада). Ипак, уколико су кварцни минерали изложени веома ниском нивоу природне радиоактивности, замке ће се такође много спорије попуњавати што ће проширити временски распон употребљивости овог минерала за потребе датирања (Prescott and Robertson, 1997).

Поред ограничења која намеће сатурација сигнала, средњи животни век такође сужава временски распон коришћења луминесцентног сигнала за датирање. Луминесцентни сигнал који се користи мора бити довољно стабилан, што значи да би у процесу мерења требало употребљавати само оне замке из којих је губитак електрона током периода који се датира, био занемарљив. Обично се сматра да нестабилна луминесценција потиче из плитких замки док стабилна долази из дубоких замки. Могућност да електрон изађе из дубоке замке је веома мала тако да је животни век (τ_T) сразмерно дуг. Ипак, ова могућност постоји у случају када дође до неуобичајено великих енергетских вибрација кристалне решетке које могу изазвати евикцију електрона. При константној температури, број заробљених електрона n , експоненцијално опада са временом по формули:

$$n(t_2) = n(t_1) \times e^{-\frac{t_2 - t_1}{\tau_T}} \quad (11)$$

У случају датирања, временски интервал $t_2 - t_1$ од интереса је старост узорка. Међутим, када се израчунава део електрона који спонтано излазе током овог временског периода, мора се узети у обрачун да се у времену нула ($t_1 = 0$, $n(t_1) = 0$), ниједан електрон не налази у својој замци и да након тога бивају заробљени по јединственој стопи. За такве ситуације, може се веома поуздано рећи да је фракциони губитак луминесценције услед губитка, то јест изласка електрона из замки, током старосног распона узорка, ts ($=t_2-t_1$), дат је са $\frac{1}{2}(ts/\tau_T)$ док год ts не премаши једну трећину τ_T (Aitken, 1985). Ово практично значи да,

уколико се жели избећи потцењивање старости узорка од на пример 5%, животни век последично мора износити најмање 10 пута више од старости. Спонтани губитак сигнала током времена називамо термално гашење због зависности животног века од температуре током времена у коме је узорак био закопан.

Предвиђање животног века је корисно јер доприноси успостављању вероватног временског распона током кога ће одређени сигнал одређеног минерала бити употребљив. Још један разлог је што измерени OSL сигнал не садржи никакве суштинске информације које се тичу његове стабилности. OSL сигнал потиче од електрона евиктованих из свих замки које су осетљиве на светло које употребљавамо за стимулацију било да су ове замке дубоке (стабилне), или плитке (нестабилне) (Aitken, 1985; Van Craeynest, 1998). Поред физички оријентисаних мерења, доказ за сигнал који потиче из довољно стабилних замки може се добити и на практичан начин, датирањем материјала којима је старост позната. У природним условима је стопа попуњавања замки релативно ниска. Како плитке замке губе своје електроне доста брзо, то значи да ће луминесцентни сигнал измерен на природном узорку највероватније потицати из дубоких замки. Термално гашење ће постати видљиво и довести до умањења старости када је старост узорка значајна у поређењу са животним веком електрона у замкама које се узоркују током мерења природног луминесцентног сигнала. Такође је неопходно озрачити узорак у лабораторији и упоредити тако створени вештачки луминесцентни сигнал са природним сигналом. У лабораторији се узорку дају дозе по много вишој стопи него у природи. У овом случају, плитке замке се поново попуњавају и услед кратког временског периода у коме се експеримент врши, могу чинити значајан део вештачког сигнала. Због тога је неопходно уклонити ову нестабилну луминесценцију пражњењем плитких замки пре мерења сигнала. Ово пражњење се обично изводи загревањем узорка пре мерења (Vanderberghe, 2004). Овај третман се назива предгревање и биће ближе објашњено у наставку рада.

6.5. НАЈЧЕШЋЕ КОРИШЋЕНИ МИНЕРАЛИ У ЛУМИНЕСЦЕНТНОМ ДАТИРАЊУ

Минерали који имају најпогодније луминесцентне карактеристике и самим тим се најчешће користе у овој методи датирања су кварц и фелдспат. Избор минерала који ће се користити обично зависи од његовог учешћа у саставу узорка и старости самог седимента. Кварц на пример достиже засићење (сатурацију), при нижим дозама него фелдспат па је

самим тим његова предност у датирању старијих седимената очигледна. Док у случају крупнијих зрна песка (пречника $\sim 0,1$ mm) различите минералне фракције могу релативно лако бити раздвојене једне од других, у случају ситних зрна (пречника $\sim 0,01$ mm) то није случај. Код ситних честица се луминесцентна мерења изводе на финим полиминералним фракцијама које представљају мешавину различитих минерала са величином зрна у опсегу $4 \mu\text{m} - 11 \mu\text{m}$ (Vanderberghe, 2004).

Циркон и апатит такође емитују оптички стимулисану луминесценцију међутим постоји само неколико истраживања која се ближе баве подобношћу ових минерала за потребе датирања (Smith et al., 1986; Smith, 1988). Поред тога, у поређењу са кварцом и фелдспатом, ови минерали се у седиментима јављају у доста мањим количинама што додатно умањује њихову употребљивост (Vanderberghe, 2004). Треба напоменути да је код вулканског стакла такође утврђено присуство OSL сигнала (Berger and Huntley, 1994; Berger and Neil, 1999). Међутим, осим неколико иницијалних анализа, луминесцентне особине вулканског стакла нису ближе истраживане, тако да је његова пуна употребљивост у сврху OSL датирања до сада непозната.

6.5.1. КВАРЦ

Кварц тренутно представља минерал који већина научника сматра најпогоднијим за потребе луминесцентног датирања. Осим што се јавља у изобиљу у саставу већине седимената, његова отпорност на атмосферске утицаје и релативно добро истражене луминесцентне карактеристике, кварц није подложен ефекту аномалног гашења као што је то случај код неких фелдспата. Захваљујући овим предностима, већина истраживања током последњих неколико деценија су била усмерена на развој луминесцентног датирања кварца са посебним фокусом на развој процедура утврђивања еквивалентне дозе (Wintle & Murray, 2006). Ипак, постоји неколико околности у којима кварц не представља најпогоднији минерал за датирање. У прилог овој тврдњи говоре и резултати скоријих истраживања који су открили до сада непознате проблеме везане за кварц. Пре свега, постоје одређена геолошка окружења, мада јако ретка, где се кварц не јавља услед алкалног састава матичне стене. У другим областима, луминесцентни сигнал који дају инклузије фелдспата у кварцу, могу закомпликовати детекцију луминесценције која долази од самог кварца. Иако је развијено неколико процедура које се баве инклузијама фелдспата (Wallinga et al., 2002), ниједна се није доказала потпуно поузданом. Такође, за

кварц вулканског порекла је доказано да је подложен феномену аномалног гашења (Bonde et al., 2001; Tsukamoto et al., 2007) што је препрека која још увек није успешно превазиђена.



Прилог 28. Зрна кварца на носачу.
(Risø, 2017).

Додатни проблем је промена сензитивитета коју није могуће кориговати, који се углавном односи на млађе седименте (Preusser et al., 2006). У овом контексту је примећена и појава термалног трансфера електрона из светлосно несензитивних у светлосно сензитивне замке, који може узроковати прецењивање еквивалентне дозе (Rhodes, 2000). Ипак, најзначајнији недостатак кварца је тај што доза засићења, када су све замке попуњене електронима, умањује потенцијалну горњу старосну границу датирања у односу на фелдспат и до једног реда величине.

6.5.2. ФЕЛДСПАТ

Калијумом богати фелдспати се веома често користе у луминесцентном датирању. Натријумом богати фелдспат се показао као неподобан за луминесцентно датирање и јако мало истраживања се још увек бави овом проблематиком (Krause et al., 1997). Највећа предност фелдспата је што обично имају веома јасан, светао луминесцентни сигнал и вишу сатурациону дозу што омогућава датирање доста старијих седимената него што је то

случај са кварцом. Још једна од погодности је што знатан део дозне стопе потиче од ^{40}K унутар самог фелдспата, што умањује непоузданост из екстерне дозне стопе, посебно услед варијација у садржају воде који је узорак имао у прошлости. Недостатак који се често приписује фелдспату је тај да је његов оптички сигнал мање светлосно сензитиван у поређењу са кварцом (Godfrey-Smith et al., 1988; Wallinga, 2002) иако ова тврдња није подржана другим експерименталним доказима који су показали сличне карактеристике приликом ресетовања код обе врсте минерала (Klasen et al., 2006).



Прилог 29. Зрна фелдспата на носачу.
(Risø, 2017).

Један од највећих проблема у датирању фелдспата је губитак дела сигнала са временом. Овај феномен се назива „аномално гашење“ и погађа фелдспате који потичу из појединих геолошких окружења. Овај губитак сигнала узрокује потцењивање луминесцентне старости уколико не буде коригован (Wintle, 1973). Појава аномалног гашења ће детаљније бити објашњена у наставку рада.

6.6. ПРЕГЛЕД МЕТОДА ЛУМИНСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА

У овом поглављу ће бити представљени различите методе луминесцентног датирања које се најчешће користе за утврђивање старости минерала кварца и фелдспата.

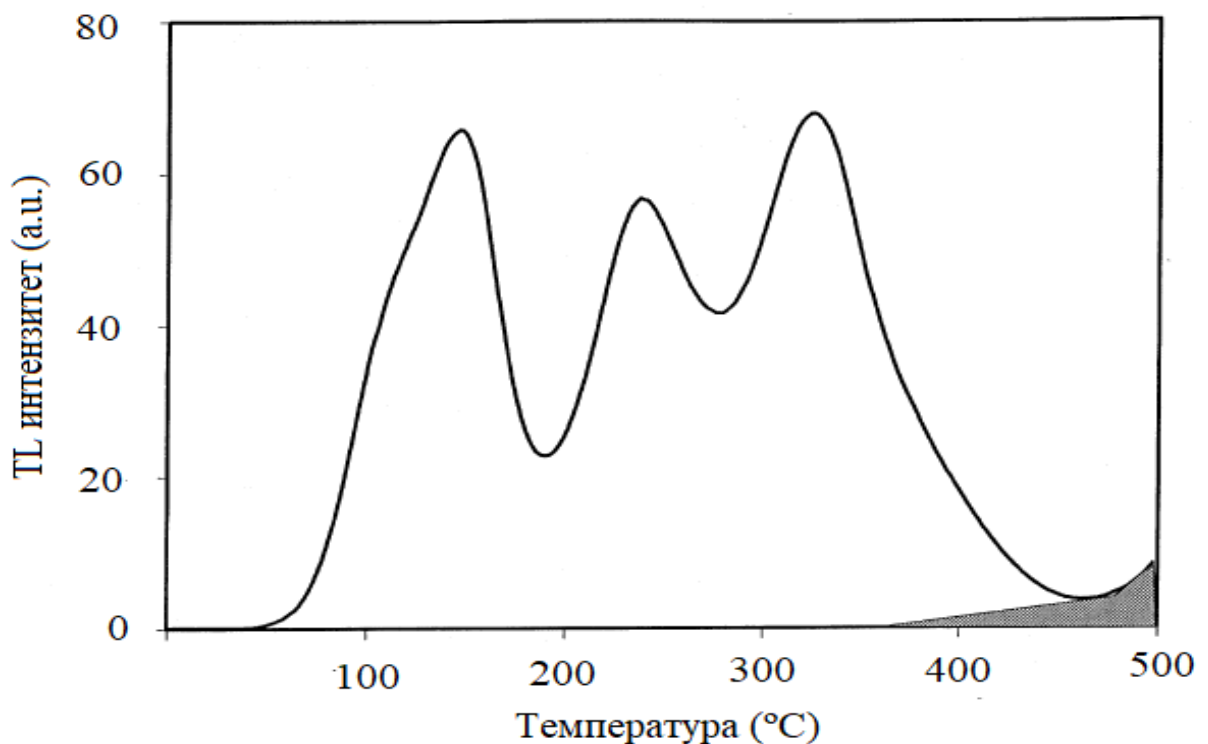
6.6.1. ТЕРМАЛНО СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (TL)

Термално стимулисана луминесценција или термолуминесценција, (TL) је у широкој употреби у сврху мерења дозе нуклеарне радијације још од педесетих година 20. века. Развој ове технике је у ствари пратио комерцијалну приступачност довољно осетљивих и поузданих фотомултипликаторских цеви (Photomultiplier tubes – PM) (Daniels et al, 1953). Термолуминесценција је након тога нашла примену у археолошком датирању током раних шездесетих година 20. века (Aitken et al, 1968) а у геолошком датирању две деценије касније (Wintle and Huntley, 1980). Термолуминесценција се обично може посматрати приликом загревања узорка константном температуром (на пример 500°C) где је забележена емитована луминесценција производ температуре.

Термолуминесцентни сигнал карактерише такозвана „крива исијавања“ (glow curve) са изразитим врховима који се јављају при различитим температурама, а повезују са са електронским замкама-траповима („traps“) присутним у узорку. Ове електронске замке су обично производ дефеката у структури кристалне решетке. Типичан дефекат може бити створен дислокацијом негативног јона што ствара упражњено место које делује као електронска замка. Електрон који је остао заробљен у дефекту, то јест замци, напоследку бива избачен термалним вибрацијама кристалне решетке. Са повишењем температуре, и вибрације бивају све јаче па је самим тим и вероватноћа избацивања у толикој мери увећана да унутар уског температурног опсега, заробљени електрони веома брзо бивају ослобођени (Vøtter-Jensen, 2000).

При индукцији мањих доза, број заробљених електрона је пропорционалан апсорбованој дози у материјалу. Према томе, уколико заробљени набој може бити ослобођен и резултирајућа рекомбинована светлост измерена, могућа је процена апсорбоване дозе. Повишењем температуре кристала, увећава се вероватноћа евикције електрона. При одређеним температурним опсезима, заробљени електрони у одређеним врстама замки добијају довољно енергије да премосте потенцијалну баријеру замке и они бивају избачени у кондукциону зону. Ослобођени електрони се шире (дифундују) унутар кристала а део њих налази пут до рекомбинационих центара где се врши рекомбинација са јамама. Време дифузије је веома кратко тако да се рекомбинација може сматрати готово тренутном (Aitken, 1998). Један део свих рекомбинационих догађаја се дешава без икакве емисије светла (рекомбинација без радиоактивности). Величина овог дела може варирати од 0 до 1 у зависности од фактора као што су температура кристала и врста нечистоће

(Horowitz, 1984). Уколико се интензитет емитоване луминесценције (рекомбинациона светлост) измери и и графички упореди са температуром, резултат се назива „крива исијавања“ (Прилог 30). Повишавањем температуре, вероватноћа ослобађања електрона из замки се такође увећава. Интензитет се испрва повећава, онда достиже своју максималну вредност како стопа ослобађања достиже свој врхунац, и на крају поново пада на нулу. Пад луминесцентног интензитета је узрокован „трошењем“ замки, то јест њиховим пражњењем. Како сваки реалан материјал садржи већи број различитих типова замки на разним енергентским нивоима, крива исијавања се може састојати од различитог броја врхова исијавања од којих сваки кореспондује са различитим нивоима на којима се замке налазе. Животни век електрона у дубљим замкама (ΔE дуги) је дужи него електрона у плитким замкама (ΔE кратки). Замке које узрокују криве исијавања при температурама $< 200^\circ\text{C}$, обично се сматрају нестабилним на собним температурама и зато немају дозиметријску вредност.



Прилог 30. Типичне криве исијавања седиментног узорка фелдспата. Узорку је дата доза од 8 Gy преко вредности природне дозе (~ 200 Gy). Врх на 150°C је настао услед примене бета дозе.

Осенчена површина представља посматрану радијацију тамног тела приликом поновног загревања узорка без употребе додатне радијације (Модификовано према Bøtter-Jensen, 1998).

Код кварца, врхови исијавања се најчешће јављају при температурама од 110°C, 160°C, 220°C, 325°C и 375°C. Врхови исијавања који се јављају при температури од 375°C су познати као „врхови рапидног блеђења“ (Rapid bleaching peak – RBP) док се они који се јављају при температури од 325°C називају „врхови спорог блеђења“ (Slowly bleaching peak – SBP) (Franklin and Hornyak, 1990). Проблем који се јавља у примени термално стимулисане луминесценције је „термално гашење“ (thermal quenching) (Wintle, 1975).

Овај феномен се може посматрати када се температура узорка повећа где онда често долази до пада луминесцентне ефикасности. У случају кварца, овај феномен се објашњава могућношћу увећања нерадиоактивне рекомбинације приликом повишења температуре (Mott and Gurney, 1948).

6.6.2. ОПТИЧКИ СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (OSL)

Оптички стимулисана луминесценција се заснива на истим основама као и термолуминесценција али се у случају OSL стимулациона енергија обезбеђује путем фотона светлости уместо топлоте. OSL сигнал потиче од рекомбинације набоја који су оптичким путем ослобођени из електронских замки у кристалу. Ове замке могу али не морају бити исте као оне повезане са TL врховима. Популација електрона у замкама представља резултат ирадијације материјала те је услед тога интензитет OSL повезан са апсорбованом радијационом дозом. За експерименталне потребе оптички стимулисана луминесценција емитована током рекомбинације ослобођених електрона се обично мери у спектралној регији различитој од оне коју имају побуђени фотони. Док се TL сигнал током загревања манифестује као крива (крива исијавања) са више температурних врхова који представљају различите нивое електронских замки, OSL сигнал током излагања стимулационом светлу опада до веома ниског нивоа како се заробљени набој троши (крива опадања). Физички принципи OSL и TL су самим тим тесно повезани. Ипак, мора се напоменути да је очигледна предност OSL над TL што се OSL обично мери на собној температури те је због тога максимално смањена могућност измене структуре кристала. OSL такође мери само ону компоненту заробљене популације електрона која је најосетљивија на светлост. Ово је нарочито битно у геолошком датирању јер је за ову компоненту највећа вероватноћа да је била ресетована током транспорта пре депозиције и закопавања (Bøter-Jensen, 2000). За разлику од TL-а, подаци добијени OSL-ом не показују из којих замки су електрони емитовани. Из тог разлога је пре почетка OSL мерења

потребно термално третирати узорак како би се осигурало да добијени сигнал потиче из групе замки од интереса (стабилне или „дубоке“ електронске замке).

Ово се постиже загревањем аликвота пре мерења како би се испразниле плитке замке чији су електрони нестабилни, приликом чега остају само електрони у дубоким, стабилним замкама. Ово загревање називамо „предгревање“ и детаљније је објашњено у поглављу 6.11.3.5.

Потенцијал оптички стимулисане луминесценције је први пут препознао Хантли са сарадницима (1985) који је користио зелено светло аргонског ласера (514 nm) за стимулацију луминесценције у кварцу у сврху датирања седимената. Ласерска истраживања су детаљније утврдила особине оптички стимулисане луминесценције са посебним циљем успостављања технике као средства за датирање и дозиметрију (Aitken and Smith, 1988; Aitken, 1990; Godfrey-Smith et al., 1988; Rhodes, 1988). Хут и сарадници (Hütt et al., 1988) су открили да се инфрацрвено светло (IR) такође може користити за стимулацију луминесценције у фелдспату да би затим Полтон и Баилиф (Poolton and Bailiff, 1989), Спунер и сарадници (Spooner et al., 1990) и Ботер-Јенсен и сарадници (Bøtter-Jensen et al., 1991) конструисали јединице за стимулацију на основу система малих IR светлећих диода. Емитери широког спектра као што су инкадесцентне или лучне сијалице у комбинацији са одређеним филтерима су се такође користиле за стварање како инфрацрвене тако и видљиве стимулисане луминесценције из узорака фелдспата и кварца (Hütt and Jaek, 1989; Spooner and Questiaux, 1990; Bøtter-Jensen and Duller, 1992; Pierson et al., 1994).

Код многих узорака, сматра се да 99% иницијалног OSL сигнала потиче из 325°C TL врхова у кварцу (Murray and Wintle, 1999). Још једна предност OSL над TL што се OSL обично мери на собној температури те је због тога максимално смањена могућност измене структуре кристала а такође се смањује могућност погоршавања термалног гашења услед загревања (Thomsen, 2004).

Оптички стимулисана луминесценција се углавном примењује у три поља дозиметрије:

1. персонална дозиметрија
2. еколошка дозиметрија;
3. ретроспективна дозиметрија.

Оптички стимулисана луминесценција се такође примењује приликом детекције вештачке радијације у прехрани (Sanderson et al., 1998) и тренутно се истражују и развијају технике

за примену у радијационој медицини где се користи влакнасти оптички OSL дозиметар за мерење дозе коју добијају пацијенти током радиотерапије или дијагностичке радиологије (Huston et al., 2002; Polf, 2002; Andersen et al., 2003).

6.7. СТИМУЛАЦИЈА МИНЕРАЛА

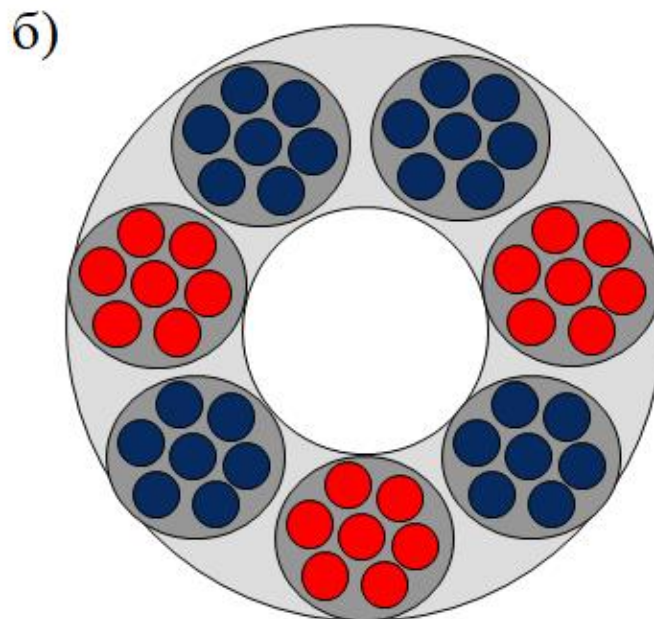
Најбитније откриће у луминесцентном датирању представља могућност коришћења оптичке стимулације. Светла која се користе за стимулацију минерала су ограничена на веома узак опсег таласних дужина како би се та иста светлост спречила да допре до осетљивог светлосног детектора (фотомултипликаторска цев) који се користи за мерење луминесцентног сигнала. Ово је из разлога што светлост коју емитује узорак, (луминесценција која се мери), мора бити посматрана при различитим таласним дужинама од стимулационе светлости (Duller, 2008).

Од почетка истраживања феномена луминесценције за потребе датирања па до данас, експериментисано је са великим бројем светлосних извора за стимулацију OSL-а из кварца. Најпре је коришћен аргонски јонски ласер са таласном дужином од 514,5 nm (Huntley et al., 1985). Како су током времена развијане нове технике и технологије, светлосни извори који су стабилнији, дуговечнији и исплативији, постали су доступни за употребу у OSL датирању.

Тако су се извесно време у сврху стимулације употребљавале халогене лампе са светлосним филтерима (Bøtter-Jensen and Duller, 1992; Bortolot, 1997), ксенонске лучне лампе (Bortolot, 1997), као и светлеће диоде које емитују зелено светло (Bortolot, 2000). У данашње време се најчешће у ову сврху користе плаве светлеће диоде (LED), које могу генерисати OSL сигнал како из кварца тако и из фелдспата. Алтернативна метода стимулације је употреба светлећих диода које емитују изван видљивог дела спектра, у инфрацрвено светло (IR) (Duller, 2008).

Заједнички назив за обе врсте луминесценције је фотолуминесценција или фотонски стимулирана луминесценција (PSL). Оптички стимулациони систем Risø TL/OSL читача приказан је у Прилогу 30. Предност било ког оптичког метода је што се стимулише само светлосно сензитивни део луминесцентног сигнала који у случају седиментних наслага знатно умањује проблем непотпуног ресетовања луминесцентног сигнала пре депозиције.

Без обзира која метода фотонске стимулације се користи, обавезна је употреба оптичких филтера који се постављају између узорка и светлосно сензитивне површине фотомултипликаторске цеви како би се минимизирала интеракција између светла из стимулационог извора и светла које емитује узорак.



Прилог 30. OSL систем за оптичку стимулацију: а) стимулациони извор са плавим светлећим диодама; б) шематски приказ распореда плавих и IR светлећих диода (Risø, 2017).

Када отпочне оптичка екситација, латентна луминесценција у минералу ће почети да опада, резултујући у такозваној кривој опадања коју бележи фотомултипликатор то јест фотонски детектор (Preusser et al., 2008).

6.7.1. ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА СТИМУЛИСАНА ВИДЉИВОМ СВЕТЛОШЋУ

Термин оптички стимулирана луминесценција или OSL се користи за процес стимулације видљивом светлошћу иако се у појединим литературним изворима користи као општи појам за све светлосне стимулације, укључујући и IR таласне дужине. Ширина екситационе таласне дужине је другачија за различите светлосне изворе али сви они се налазе у зеленом или плавом делу спектрума – између 420 nm и 550 nm. Како кварц тако и фелдспат реагују на стимулацију унутар ових таласних дужина мада се за потребе датирања принципијелно користи за OSL мерења кварца. Светлост дужих таласних дужина постаје све више неефикасна у стимулацији OSL кварца док таласне дужине близу инфрацрвеног спектра побуђује луминесценцију у фелдспату услед једне или више екситационих резонанци. Светлосна емисија за OSL из кварца се детектује у ултраљубичастом опсегу (Preusser et al., 2008). Као стимулациони извор за кварц, данас се у скоро свим модерним OSL читачима, стандардно користе плаве светлеће диоде високе снаге са таласном дужином од 470 nm (Bøtter-Jensen et al., 1999).

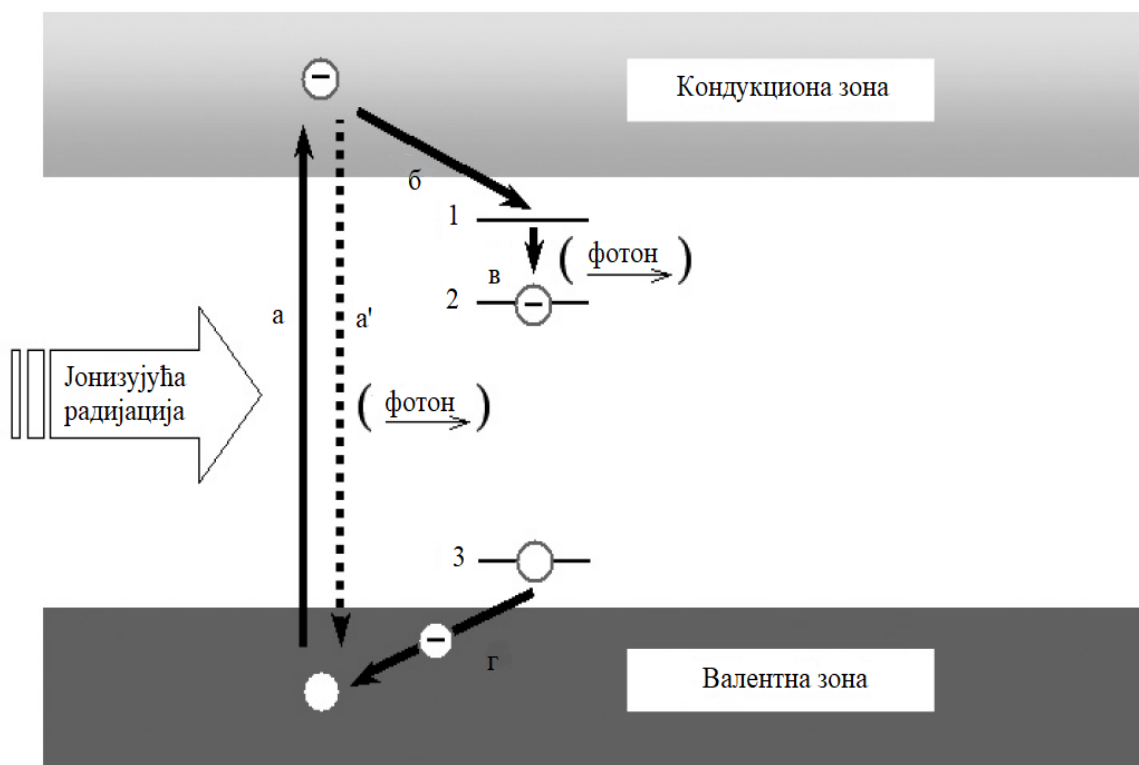
6.7.2. ИНФРАЦРВЕНО СТИМУЛИСАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈА (IRSL)

Утврђено је да се, насупрот видљивој светлости, нискоенергетски фотони из IR спектра, могу користити за стимулацију фелдспата али не и кварца (Hütt et al., 1988). Најчешћи термин за овај феномен је инфрацрвено стимулирана луминесценција (IRSL) мада поједини научници употребљавају и називе IR-OSL или IR-PSL. Као стимулациони извор се користи или IR ласер или IR диоде које су доста чешће у употреби. Чињеница да кварц не реагује на IR стимулацију се редовно користи за проверу котаминације сепарата кварца фелдспатом. Једна од предности стимулације фелдспата IR диодама је што дозвољава детекцију различитих рекомбинационих процеса у фелдспату са разним физичким особинама које су рефлектоване изразитом емисијом светлости у UV, плавим, жутиим и црвеним емисионим опсезима (Krbetschek et al., 1997). Потенцијал упоређивања различитих емисионих спектра, нарочито у контексту детекције и превазилажења ефекта аномалног гашења IRSL код фелдспата, још није довољно искоришћен и само је неколико истраживања вршило компарацију разних емисија код узорака (Krause et al., 1997; Preusser, 1999; Preusser et al., 2003). Поједина истраживања су се фокусирали на IRSL црвене емисије и очекивано је да очигледна стабилност IRSL сигнала у овом делу спектра

може превазићи проблеме везане за сигналну стабилност то јест оне тешкоће везане за аномално гашење и резултујуће потцењивање старости (Fattahi & Stokes, 2003). У луминесцентном датирању се у сврху стимулације фелдспата најчешће користе инфрацрвене светлосне диоде које су центриране на таласној дужини од 880nm.

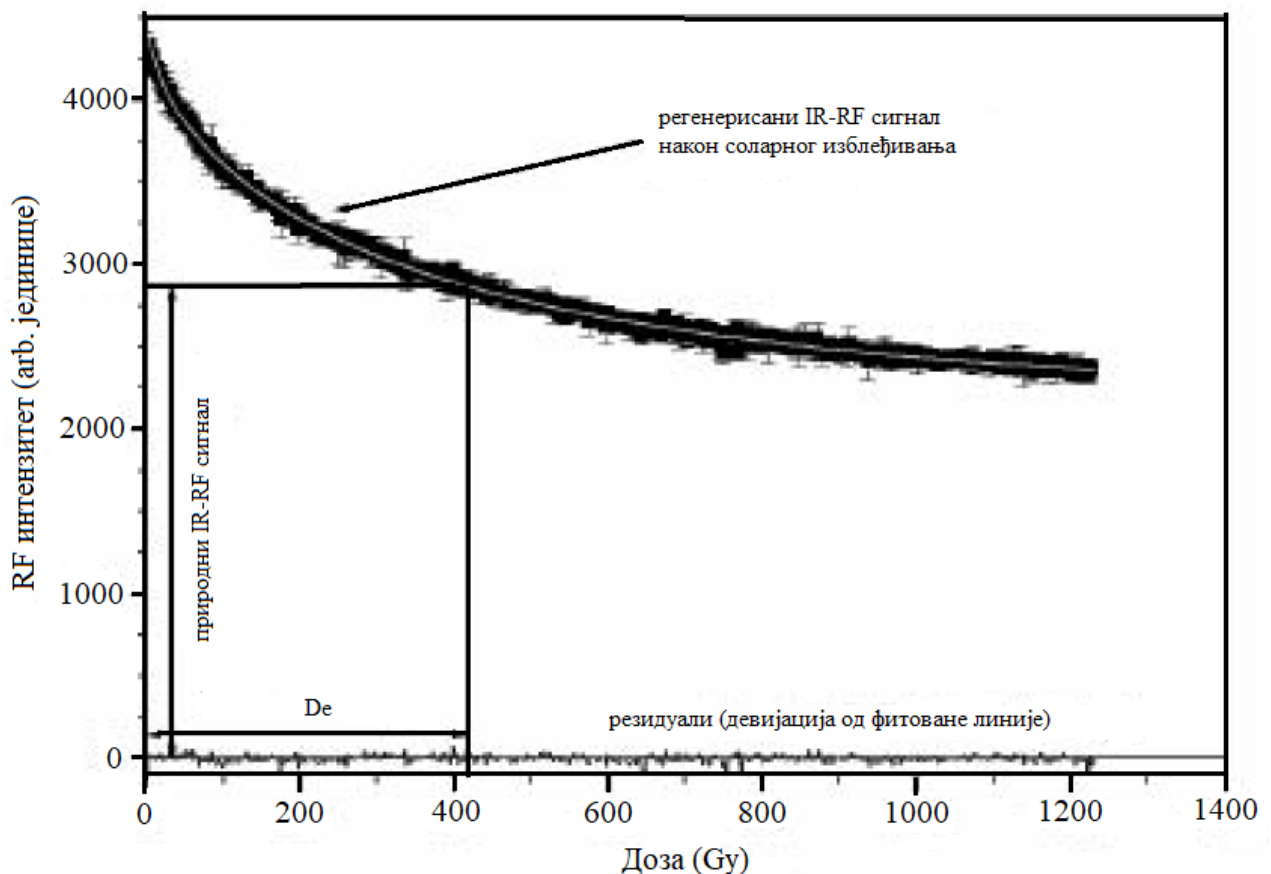
6.7.3. ИНФРАЦРВЕНА РАДИОФЛУОРЕСЦЕНЦИЈА (IR-RF)

Инфрацрвено радиофлуоресцентно датирање одређује еквивалентну дозу путем (IR емитујућег) флуоресцентног процеса или другим речима, брзом транзицијом радијативног набоја. Емисија при 865 nm током екситације изазване јонизирајућом радијацијом је уобичајена искључиво за калијум-фелдспат (ортоклас, микроклин) (Preusser et al., 2008). Инфрацрвена емисија може бити интерпретирана као транзиција електрона из кондукционе зоне у одређену врсту електронске замке. Током јонизујуће радијације, један број електрона стиже до кондукционе зоне из које се брзо рекомбинују са луминесцентним центрима и емитују видљиву (VIS) флуоресценцију или прелазе у ту електронску замку путем емисије IR блиске флуоресценције (Прилог 31).



Прилог 31. Шематски приказ рекомбинације електрона са луминесцентним центрима и емисија видљиве (VIS) флуоресценције (Модификовано према Preusser et al., 2008).

У поређењу са OSL и IRSL, IR-RF сигнал ресетује нешто спорије услед излагања светлости међутим знатно брже него TL. Како су RF дозне карактеристике кварца далеко комплексније и варијабилније него у случају фелдспата (Krbetschek & Trautmann, 2000), већина истраживања је концентрисана искључиво на фелдспат (Preusser et al., 2008). Одређивање еквивалентне дозе на основу IR-RF феномена фелдспата има више предности у односу на TL, OSL и IRSL. Најпре, то је директна мера густине електрона у замци која се не ослања на конвенционалне луминесцентне центре. Ово такође објашњава зашто IR-RF криве дозног одзива опадају са повећањем дозе. Уколико је електронска замка празна, број прелаза у замке је висок, уколико се замка попуњава, сигнал опада услед опадања броја слободних замки (Прилог 32). Још једна од предности ове методе је да се луминесцентна стимулација и дозна акумулација примењују истовремено. Ово дозвољава континуална мерења и бележења великог броја дозних тачака и прати стриктну развучену јединачну експоненцијалну криву опадања за физички дефинисане разлоге.



Прилог 32. IR-RF одзивна регенеративна дозна крива јединачног аликвота флувијалног узорка из средње Немачке коришћена за утврђивање еквивалентне дозе (Модификовано према Preusser et al., 2008).

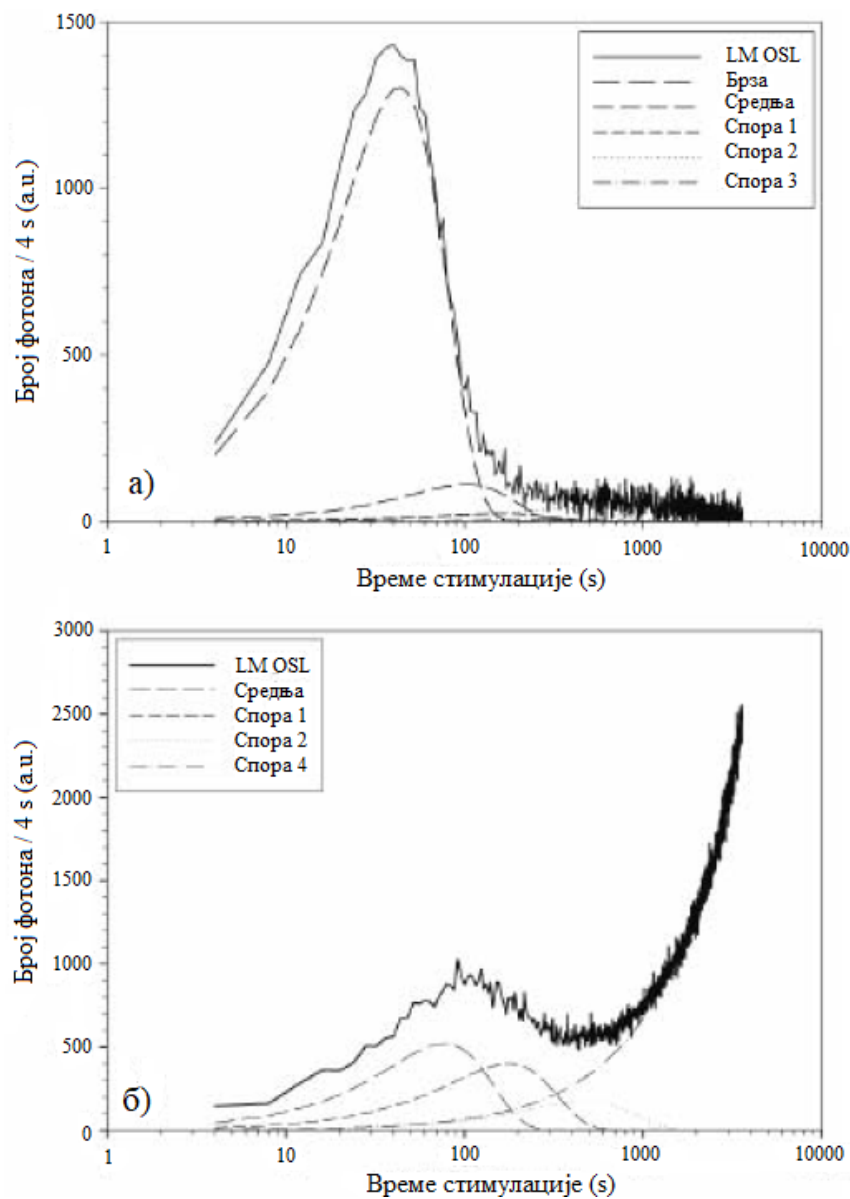
Ова метода такође користи SAR процедуре за одређивање дозе што доприноси високој прецизности у утврђивању еквивалентне дозе (Erfurt & Krbetschek, 2003). Међутим, примена ове методе, захтева посебне процедуре мерења и механизације, што веома ограничава њену употребну вредност. Недоступност механизације је и један од разлога што, иако је IR-RF метода опште прихваћена, за сада се примењује само у луминесцентној лабораторији у Фрајбургу у Немачкој. Опсег датирања ове технике износи од 20.000 до око 350.000 година, али је при нижим дозним стопама могуће одредити старост узорака и до 500.000 година (Erfurt et al., 2003; Degering & Krbetschek, 2007).

6.7.4. ЛИНЕАРНО МОДУЛОВАНА OSL (LM-OSL)

Насупрот конвенционалним оптичким стимулацијама где се енергија стимулационог извора држи на константном нивоу, у линеарно модулованој OSL (LM-OSL), стимулациона снага из LED-ова се повишава полако (обично 10³ до 10⁴ s) и линеарно, почевши од нуле па све до одређене вредности (Vulur et al., 2000). Исход овог спорог повишавања стимулационог интензитета је да се заробљени електрони у кварцу ослобађају најпре из плитких а затим из дубоких замки. Резултат ове процедуре су преклапајући врхови луминесцентне емисије које повезујемо са различитим замкама. Услед преклапања различитих компоненти, неопходно је применити математичку деконволуцију на LM-OSL податке, како би се омогућило разликовање различитих компоненти (Choi et al., 2006). Резултат ових подешавања даје информацију о присуству различитих OSL компоненти у одређеном узорку која су груписана по времену у коме се појављују током LM-OSL (Прилог 33).

Идентификоване су брзе, средње и споре компоненте где се споре састоје од до пет индивидуалних подкомпоненти (Jain et al., 2003) од којих свака поседује различит светлосни сензитивитет (Bailey et al., 1997). Прва међу њима је најбржа емисија што имплицира да се најлакше оптички ресетује у природном седиментном окружењу. Да ли ове различите компоненте потичу из исте или из различитих замки са оптичким набојем, још увек није потпуно разјашњено. Битно је напоменути да у кварцу различитог геолошког порекла, нису присутне све компоненте и да веза између особина узорака и разних електронских популација у замкама остаје нејасна. Чак шта више, услед

несигурности математичке деконволуције, LM-OSL се веома ретко користи за потребе директног датирања.



Прилог 33. Деконволусана LM-OSL крива за (а) Аустралијски кварц са добрим особинама (б) кварц из Баварске, Немачка. Брза компонента која доминира сигнал у узорку (а) није присутна у узорку (б), где је доминантна нестабилна средња компонента (Модификовано према Preusser et al., 2008).

Ипак, и поред свих ограничења, LM-OSL представља веома корисно средство за карактеризацију особина индивидуалних узорака и може се користити за детектовање неподобног кварца у раној фази процеса датирања. Међутим, најважнија примена ове методе је употреба брзе компоненте у процесу превазилажења проблема непотпуног ресетовања минерала (Preusser et al., 2008).

6.7.5. ПРОСТОРНО ОДРЕЂЕНА OSL (HR-OSL)

Метода просторно одређене OSL (Spatially-resolved luminescence/High resolution detection technique – HR-OSL) представља релативан новитет у луминесцентном датирању и углавном се користи за одређивање старости стена. Слично као код датирања седимената, циљ је одређивање времена када је површина камена последњи пут била изложена дневном светлу. На пример, горња и доња површина гранитног блока, који служи као темељ за одређени историјски споменик ће након постављања бити заштићена од утицаја дневне светлости. Датирањем последње експозиције минералних зрна унутар конструкције се самим тим може одредити старост објекта.

Осим на пољу археологије, овај приступ је употребљив и у геолошке сврхе пошто седименти веома често садрже шљунак и камење. Оптичко датирање камених површина захтева потпуно нов приступ у припреми узорака, мерењу еквивалентне дозе и одређивању дозне стопе. Насупрот стандардном луминесцентном датирању, камене површине се чувају нетакнуте како би се осигурало да се анализирају само она зрна која су била изложена дневној светлости током изградње објекта. Пошто узорак остаје неоштећен, ова метода има ту предност да све информације на микро-дозиметријском пољу бивају сачуване, што у случају традиционалне припреме узорака није могуће. Аликвоти се припремају бушењем и извлачењем малих језгара (пречника ~10 mm) из стенске површине и затим се секу у танке листове (дебљине ~2 mm). Овако припремљени узорци се затим смештају у посебне металне држаче да би се након тога вршило луминесцентно мерење следећи SAR протокол, (види поглавље 6.9.2.2.) по у основи истом принципу као у случају седимената. Међутим, мерење природног луминесцентног сигнала конвенционалним начином помоћу фотомултипликаторске цеви није прикладно за камене површине које у свом саставу имају различите минерале и и величине зрна. У овом случају се детекција луминесцентног сигнала постиже помоћу чипа у уређају са спрегнутим набојем или CCD уређаја. Он дозвољава ниску просторну резолуцију до 25 μm x 25 μm . Ово производи велику количину података па је за обраду и анализу неопходан посебан софтверски програм (Greilich et al., 2006). Овај софтвер омогућава продукцију вредности еквивалентних доза за сваки од многобројних сликовних елемената, филтрирање података и статистичку анализу која може бити просторно одређена са сваки пиксел и на крају хистограмски приказ података. Потребна је иста просторна резолуција за одређивање дозне стопе као за калкулацију еквивалентне дозе. Ово се постиже

коришћењем енергетски дисперзивног детектора за анализу X-зрака који се поставља на скенирајући електронски микроскоп (SEM – EDX) за одређивање садржаја калијума у зрнима фелдспата. За одређивање дозне стопе из урана и торијума, користи се посебна варијанта анализе фисионог трага која утврђује трагове које су произвели брзи неутрони (Wagner et al., 2005). На основу података за просторно одређену еквивалентне дозу и дозну стопу, луминесцентне старости се могу израчунати за свако анализирано зрно узорака добијених из језгра камена. Време последњег излагања камене површине дневној светлости се израчунава комбиновањем података за више индивидуално избушених узорака (Preusser et al., 2008).

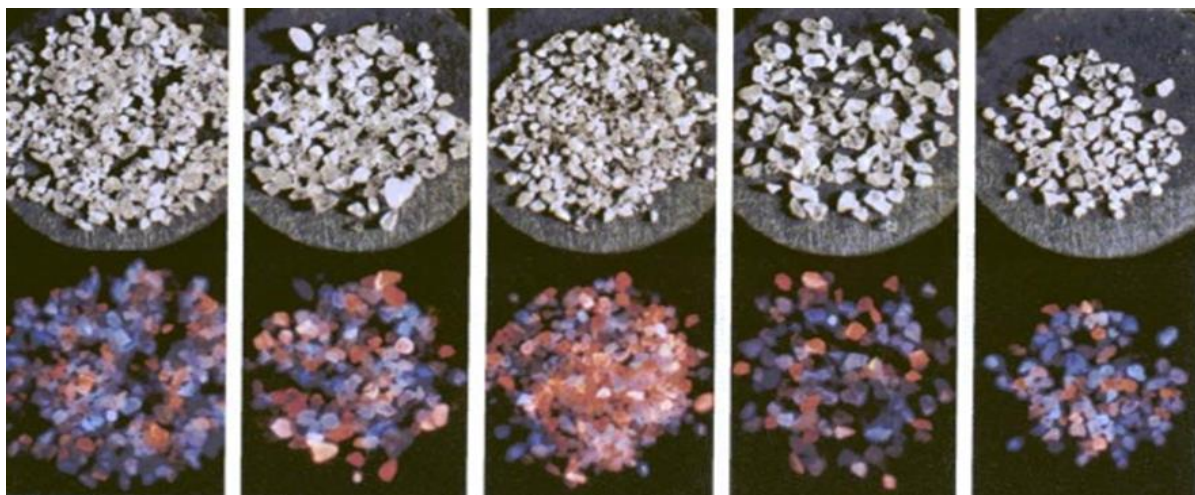
6.7.6. ТЕРМАЛНО ТРАНСФЕРИСАНА OSL (TT-OSL)

Ова метода у сврху датирања користи две компоненте термално трансферисаног OSL сигнала који се могу поделити у рекуперисани OSL сигнал и основни, трансферисани сигнал (Aitken, 1998). Рекуперисани OSL сигнал генеришу електрони који бивају трансферисани путем оптичке стимулације из OSL замки у термално нестабилне замке (такозване замке збегови или прибежишта) (Wang et al., 2006a). Након пражњења OSL замки путем излагања светлости, трансфер из замки збегова у OSL замке је генерисан путем термалног третмана. Излагање светлости које следи, производи рекуперисани OSL сигнал који је мање сензитиван у поређењу са OSL сигналом (Wang et al., 2006b) и верује се да има потенцијал који омогућава датирање узорака изнад нивоа сатурације брзе компоненте OSL сигнала који се користи у стандардној SAR процедури (Wang et al., 2007). Насупрот овоме, основни сигнал трансфера потиче од електрона заробљених у светлосно несензитивним замкама и ослабања се у светлосно сензитивне замке путем предгревања па је због тога неупотребљив у сврху датирања (Preusser et al., 2008).

6.8. ЛУМИНЕСЦЕНТНИ ЕМИСОНИ СПЕКТАР

Луминесценција коју емитују минерали може се јавити при великом броју различитих таласних дужина. У Прилогу 34 је приказана термално стимулисана луминесценција коју је емитовао већи број аликвота кварца од којих сваки садржи више стотина зрна обима $\sim 0,2\text{mm}$. Овај Прилог представља једну од првих фотографија које су реално приказале изглед кварчних зрна приликом термолуминесцентне стимулације.

Може се јасно видети да нека зрна емитују искључиво у плавом делу спектра док друга емитују у црвеном делу.



Прилог 34. Кварцна зрна са различитих пеичаних обала (горња фотографија) и њихови термолуминесцентни прикази (доња фотографија) (Hashimoto, 1986).

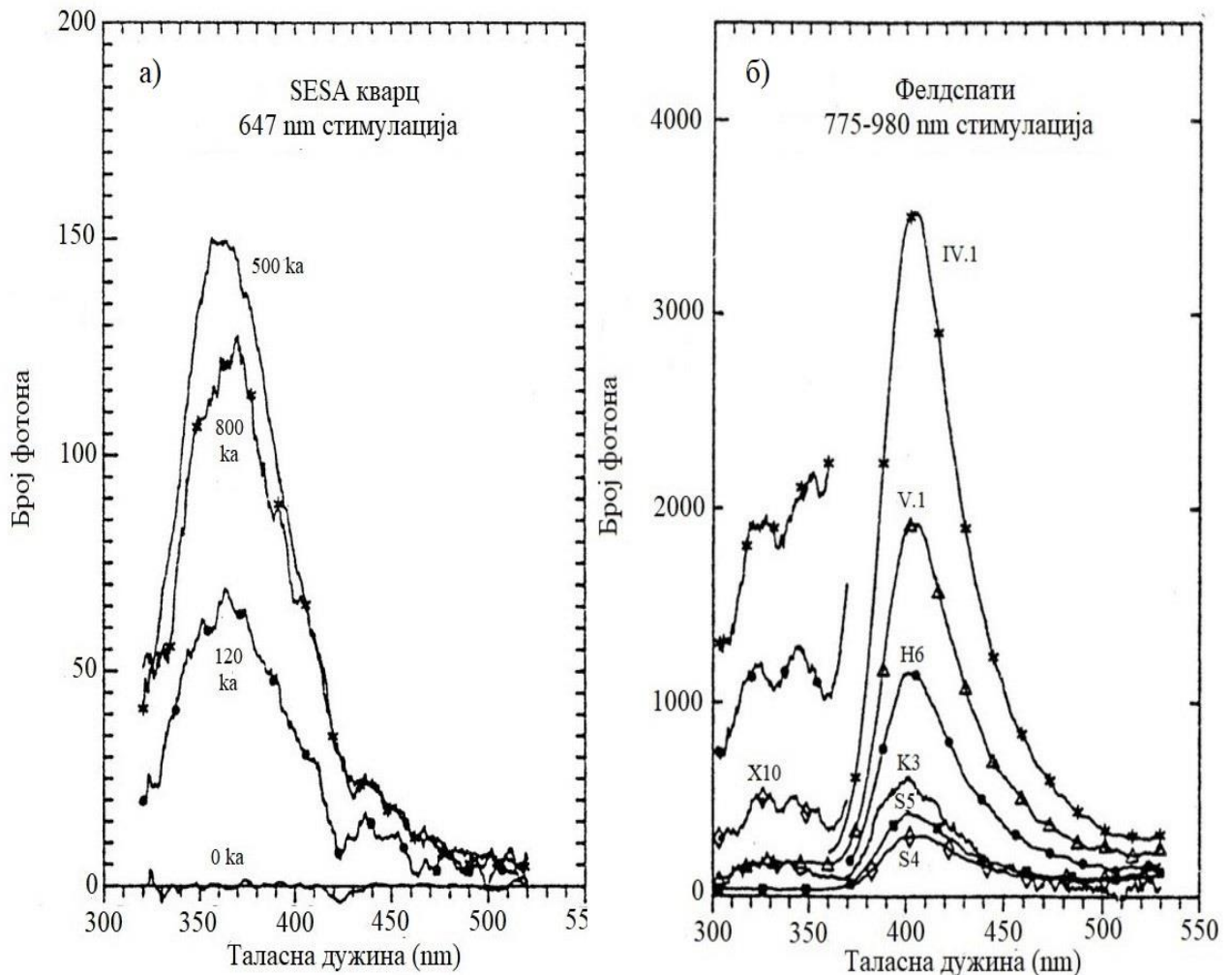
Детаљније спектралне анализе распона кварцних узорака су потврдиле да су ове две емисије (плави део спектра: 460 – 480nm; црвени део спектра: 610 – 630nm) заједно са серијом емисија у љубичастом делу спектра (360 – 420nm) уобичајене за многе врсте кварца (Прилог 35 (а)). Фелдспати покривају веома широк опсег хемијских састава. Њихов луминесцентни емисиони спектар је далеко сложенији него код кварца, па се луминесценција емитује при разним таласним дужинама широм спектра од ултраљубичасте до црвене и инфрацрвене (Прилог 35 (б)).

Табела 6. Приближне вредности таласних дужина видљивог дела спектра

Боја	Таласна дужина
Љубичаста и индиго	400–450 nm
Плава и аква	450–500 nm
Зелена	500–570 nm
Жута и наранџаста	570–610 nm
Црвена	610 – ~750 nm

*Напомена: Одређивање боје је субјективно и не постоји општа сагласност о граници таласних дужина за било коју боју.

Истраживања и примене у датирању су углавном биле усмерене на посматрање емисија минерала у плавом и ултраљубичастом делу спектра пошто је већина лабораторија опремљена инструментима који детектују искључиво у овим регијама таласних дужина.



Прилог 35. Емисиони спектри: а) кварца и б) фелдспата
(Модификовано према Huntley et al., 1991).

Како се у сврху оптичке стимулације најчешће користе плаве LED које емитују између 450nm и 490nm, стандардни филтер у употреби за одбијање стимулационе светлости носи ознаку Ноуа U-340. Овај филтер трансмитује емисије ~280nm to 380nm (близу ултраљубичастих), укључујући и емисију при 370nm, како би могла бити детектована путем мултипликаторске цеви.

6.9. ПРОБЛЕМИ ПРИЛИКОМ УТВРЂИВАЊА ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ

Приликом луминесцентног мерења може се јавити одређени број потешкоћа које ће директно или индиректно утицати на прецизност добијених података а самим тим и на луминесцентну старост. У већини случајева, ови проблеми се јављају услед физичких особина минерала који се датира или природног окружења у коме је минерал био закопан.

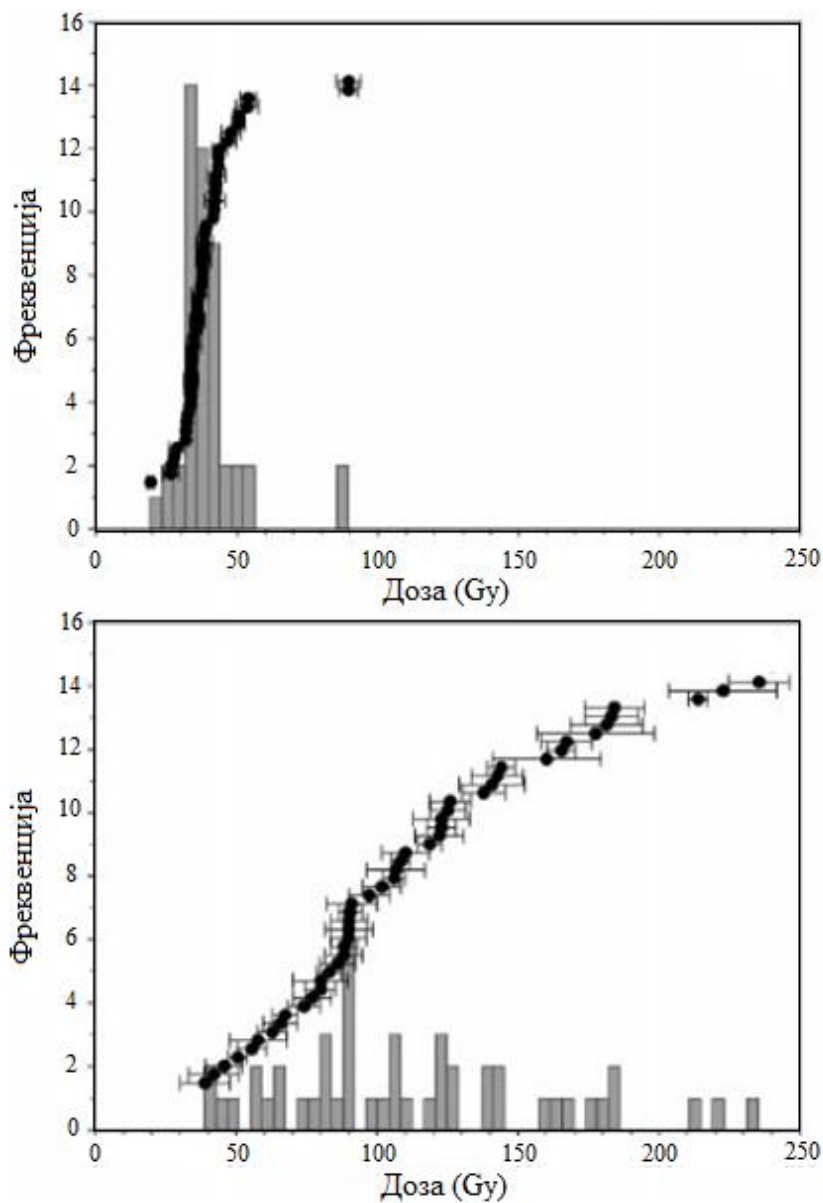
6.9.1. НЕПОТПУНО НУЛИРАЊЕ (РЕСЕТОВАЊЕ)

Један од највећих проблема у луминесцентном датирању је непотпуно ресетовање или нулирање латентног сигнала. У случају седимената, ово се може догодити када су минерална зрна изложена погодним светлосним условима исувише кратко и/или када су зрна транспортована и депонована путем водених токова. Непотпуно ресетовање је нарочито проблематично за седименте из глацијалних окружења као и поједине флувијалне и брдске депозиције. За све такве депозиције, обавезно је истражити да ли су узорци потпуно ресетовани пре таложења или не и у ту сврху развијено је неколико метода.

Један од приступа је плотовање еквивалентне дозе као функције времена оптичке стимулације (OSL или IRSL) или температура (TL). Основна идеја иза овог приступа је да је сигнал током иницијалне стимулације и ниже температуре, осетљивији на светлост од сигнала који се јављају након тога (Li, 1991; Singhvi & Lang, 1998). У овом случају, очекивано би било да се са временом стимулације (температуре) за непотпуно ресетоване узорке и равани плотовани светлосни плато за узорке који су потпуно ресетовани приликом депоновања. Овај приступ међутим никада није доказао своју потпуну делотворност у идентификовању непотпуног ресетовања те је због тога врло брзо напуштен.

Стандардни приступ који се користи у идентификовању непотпуно ресетованих узорака је базиран на претпоставци да седиментна зрна не само да нису потпуно, већ су ресетована у различитом степену пре депоновања. Ово значи да је луминесцентни сигнал у неким зрнима потпуно обрисан док су у осталим зрнима преостале различите количине резидуалног сигнала. Када се мери одређени број индивидуалних зрна из узорка, ниже вредности у дистрибуцији доза највероватније представљају зрна која су ресетована, док више вредности у дистрибуцији репрезентују зрна која су поседовала резидуалну луминесценцију приликом депоновања (Murray et al, 1995). Најчешће се очекује да потпуно ресетовани узорак формира Гаусову дистрибуцију, док непотпуно ресетовани

узорци показују позитивно искошену дистрибуцију приликом плотовања еквивалентних доза на графику (Прилог 36).



Прилог 36. Расипање поновљених мерења еквивалентне дозе за (а) релативно добро ресетоване (б) веома лоше ресетоване узорке. Узорак (а) показује симетричну дистрибуцију где само два аликвота имају знатно више дозе, док узорак (б) пказује знатно расипање у вредности палеодоза. (Модификовано према Preusser et al. 2007).

Иако је до сада много истраживања показало Гаусову дистрибуцију за узорке са истом радијационом дозом, недавне студије указују да у појединим случајевима Гаусова дистрибуција можда није довољан критеријум за идентификовање потпуно ресетованих узорака (Fuchs et al., 2007). Уколико је одређени узорак препознат као непотпуно

ресетован, старосна процена заснована на средњој вредности свих аликвота мора бити сматрана као максимална старост депоновања. Како би се одредила стварна еквивалентна доза од времена закопавања, потребно је даље истраживање дозне дистрибуције. У ту сврху је неопходно мерење најмање неколико десетина индивидуалних еквивалентних доза како би се остварила значајна статистичка база.

И поред своје широке употребе, ни овај приступ није доказао своју потпуну делотворност у идентификацији непотпуно ресетованих зрна. Због тога се мора узети у обзир да ни једна метода није доказала да може произвести недвосмислено тачне резултате када се врши поређење са независним старосним контролама. Резултати датирања за узорке пореклом из специфичних окружења (посебно периглацијалних), се због тога морају узети са резервом до тренутка развоја нових, прецизнијих метода. Како сваки узорак поседује јединствену седиментну прошлост, препоручљиво је датирати више узорака из истог седиментног слоја и упоредити резултате, што ће у већини случајева помоћи у процени да ли старост може бити сматрана поузданом или је треба узети са резервом (Preusser et al., 2008). Различите величине минералних зрна такође могу показати различите степене ресетовања, где се приликом луминесцентног датирања најчешће користе две фракције: фина зрна (4–11 μm) и груба зрна (90–200 μm). У случају алувијалних седимената, доказано је да су грубља зрна углавном боље ресетована од финијих фракција (Olley et al., 1998).

6.9.2. ТЕРМАЛНИ ТРАНСФЕР

Постоје две врсте термалног трансфера које се приликом луминесцентног датирања сматрају непожељним појавама – „базни трансфер“ и „рекулперација“ (Aitken, 1998). Ова два типа термалних трансфера се разликују по механизму којим оперишу. Треба поменути да је термин термални трансфер опште природе и да се односи на сваки трансфер набоја који је термално потпомогнут. Базни трансфер се јавља услед електрона који су већ били присутни у светлосно неосетљивим и термално стабилним замкама пре догађаја ресетовања. Ове замке последично не бивају испражњене током изблеђивања и довољне су дубине због чега је термално гашење скоро безначајно. Услед ових особина, врло је вероватно да су ове замке добро попуњене електронима. Иако су ове замке веома стабилне, предгревање је у стању да уклони део електрона из њих. Поједине фракције ових ослобођених електрона могу последично бити заробљене у OSL замци. Очигледно је

да количина трансфера зависи од стварне дубине замке. Могуће је да прво предгревање уклони сав заробљени набој, и уколико је замка стабилнија, само мала фракција бива трансферирана током сваког предгревања.

Рекулперација настаје услед електрона заробљених у самим OSL замкама. Током догађаја нулирања, неки од ових електрона бивају заробљени у релативно светлосно неосетљивим и термално стабилним замкама. Замке нису толико дубоке, међутим предгревање може узроковати да електрони буду трансферирани натраг у OSL замке. Уколико су замке довољно плитке, трансфер се може догодити и за време складиштења. Последишно, рекулперација у ствари представља двоструки трансферни ефекат. Први се дешава у облику фото трансфера током изблеђивања (ресетовања), праћен другим термалним трансфером током предгревања. Ефекат обе врсте нежељеног термалног трансфера је потпуно исти. Услед предгревања, узорак од нула година старости неће произвести нула луминесцентни сигнал. Другим речима, термални трансфер доводи до прецењивања еквивалентне дозе, и услед тога и старости (Madsen and Murray, 2009). Ефекат постаје битан када значајна пропорција укупне популације електрона у OSL, резултује из термалног трансфера.

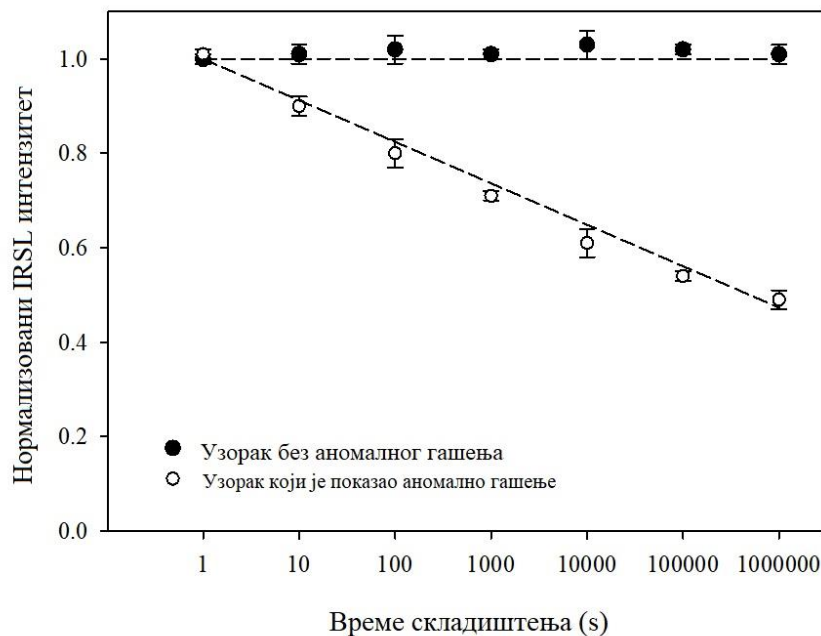
Појава термалног трансфера се често може запазити присуством платоа предгревања током мерења предгревања насупрот еквивалентној дози (preheat versus De measurement). Када предгревања премаше плато, термални трансфер почиње да утиче на прецизност датирања (Madsen and Murray, 2009). Због тога се мора изабрати предгревање у оквиру платоа. На млађим узорцима ефекат термалног трансфера ће имати већи ефекат него на старијим узорцима. Да би се избегао ефекат термалног трансфера, потребно је извести мерења De насупрот предгревању и то на најмлађим узорцима како би се изабрала адекватна температура предгревања.

6.9.3. АНОМАЛНО ГАШЕЊЕ

Феномен аномалног гашења је први пут примећен 1973. године приликом TL датирања пешчаних дина (Wintle, 1973) и углавном је карактеристичан за зрна фелдспата. Аномално гашење (anomalous fading) је губитак луминесцентног сигнала са временом што указује на то да су неки од електрона заробљених у електронским замкама нестабилни, и њихов животни век у замци нема дужину која карактерише остале електроне у тој замци. Крајњи ефекат у процесу датирања је да ће лабораторијски индуковани сигнал из

одређене замке потицати како од стабилног, тако и од нестабилног набоја, док ће природни сигнал из исте замке потицати само од стабилног набоја (Прилог 37). Иста лабораторијска радијациона доза ће произвести доста виши сигнал него онај који потиче од природне ирадијације и као последица, вредност еквивалентне дозе ће бити потцењена а самим тим и старост узорка (Preusser et al., 2008).

Предгревање узорака пре мерења обично уклања већину нестабилних електрона, међутим, више истраживања је показало да овај непожељни набој може остати у минералу чак и након ригорозних термалних пред-третмана. Један од механизма који је предложен као узрок аномалног гашења је тунеловање електрона (Visosekas, 1985), приликом чега набој „тунелира“ између замки и луминесцентних центара и не рекомбинује путем кондукционе зоне.



Прилог 37. У присуству аномалног гашења лабораторијска ирадијација ће произвести сигнал који опада (гаси се) током времена. Исти овај нестабилни сигнал није присутан у природним узорцима услед чега долази до потцењивања апсорбоване еквивалентне дозе, а самим тим и старости узорка (Модификован према Aitken, 1998).

Иако је феномен аномалног гашења специфичан за фелдспат, неколико студија је имплицирало да се јавља и код вулканског кварца (Bonde et al., 2001; Tsukamoto et al., 2007). У случају фелдспата међутим, и поред обимних истраживања, остаје нејасно да ли је разлог феномена аномалног гашења повезан са фелдспатом одређеног геолошког порекла или, макар једним делом, неадекватним лабораторијским процедурама. Што се

тиче лабораторијских процедура, два питања су од изузетне важности. Прво је, да термални третман мора бити примењен довољно дуго приликом чега температура мора бити довољно висока како би се уклониле термално нестабилне компоненте. Друго, истраживања су показала да су нестабилне компоненте у фелдспату повезане углавном са емисијом унутар ултраљубичастог (UV) спектра. Самим тим, закључак је да ове емисије светлости треба избегавати и примењивати оптичке филтере који блокирају кратке таласе (на пример Schott GG400) или интерферентне филтере који дозвољавају трансмисију емисија светлости у веома уском опсегу (Krbetschek et al., 1997). Студије које су имплементирале ове препоруке, веома често су добијале вредности доследне независним контролама старости (Clarke & Rendell, 2003; Preusser, 2003) међутим, истраживања које су употребљавала UV емисије, су показивале знатно потцењивање луминесцентних старости (Huntley & Lamothe, 2001). Ипак, чак и код новијих истраживања, и поред употребе ограничених детекционих прозора, и даље је долазило до појаве аномалног гашења фелдспата у узорцима (Walinga et al., 2007), што је можда повезано са мерењем фелдспата вулканског порекла који је показао доминантну појаву гашења. Ова појава се можда јавља услед неуређене кристалне решетке у вулканским минералима што је резултат наглог хлађења и кристализације (Spooner, 1994). Ово такође може представљати објашњење за аномално гашење посматрано у вулканском кварцу (Preusser et al., 2008). Тестови складиштења који се изводе или на собној или на повишеној температури, показују да ли је узорак под утицајем аномалног гашења (Aitken 1985; Spooner 1992), и представљају прикладан приступ пошто се очекује да компоненте гашења опадају по логаритмичкој скали (Visosekas, 1985; Spooner, 1994). У случајевима када се код узорака примети појава аномалног гашења, могуће је израчунати стопу гашења по деценији и искористити је за корекцију старости (Huntley & Lamothe, 2001; Auclair et al., 2003; Lamothe et al., 2003). Ламот и сарадници (Lamothe et al., 2003) су извршили корекцију термалног гашења дозне криве одзива и за геолошки старе седименте у области луминесцентне сатурације. Међутим, новије студије су показале да извршена корекција није била довољна да исправи разлику између луминесцентних старости кварца и фелдспата (Walinga et al., 2007). Резултати наведених студија наводе на закључак да су потребна обимна, додатна истраживања како би се искористио пуни потенцијал фелдспата у луминесцентном датирању, посебно његову вишу дозу сатурације и самим тим повишеног распона датирања (Preusser et al., 2008).

6.9.4. ПОСТ ДЕПОЗИЦИОНО МЕШАЊЕ

Ефекат који може знатно утицати на варијабилност еквивалентне дозе у узорку је мешање седиментних зрна различитих старости након депозиције. Могућност ове појаве су констатовали и о томе писали Робертс и сарадници 1998 године (Roberts et al., 1998) у својој студији оптичког датирања седиментних наслага са Јинмиум окапине у северној Аустралији. У овом случају, старост еолских депозита је прецењена услед контаминације старијим, нересетованим минералним зрнима која су еродована са једне од стена у повлати. Осим тога, утврђена је интрузија млађим зрнима из слојева у повлати, коју су изазвали процеси биотурбације. Овај процес могу изазвати подземне животиње (инсекти као што су осе, ровци и слично или сисари као што су зечеви или кртице) или људи, или флорална активност (раст подземног корења). Све ово може резултовати мешањем зрна из слојева различитих старости. Овај ефекат може бити мали, али са обзиром на побољшану прецизност која је постигнута употребом технике јединачног аликвота, ипак значајан. Осим неколико конференцијских презентација и студије коју су објавили Бејтмен и сарадници (Bateman et al., 2003), није урађено више истраживања на тему ове проблематике. Ефекти биотурбације могу у највећој бити искључени уколико је изворна седиментна структура очувана (Vandenberghe, 2004).

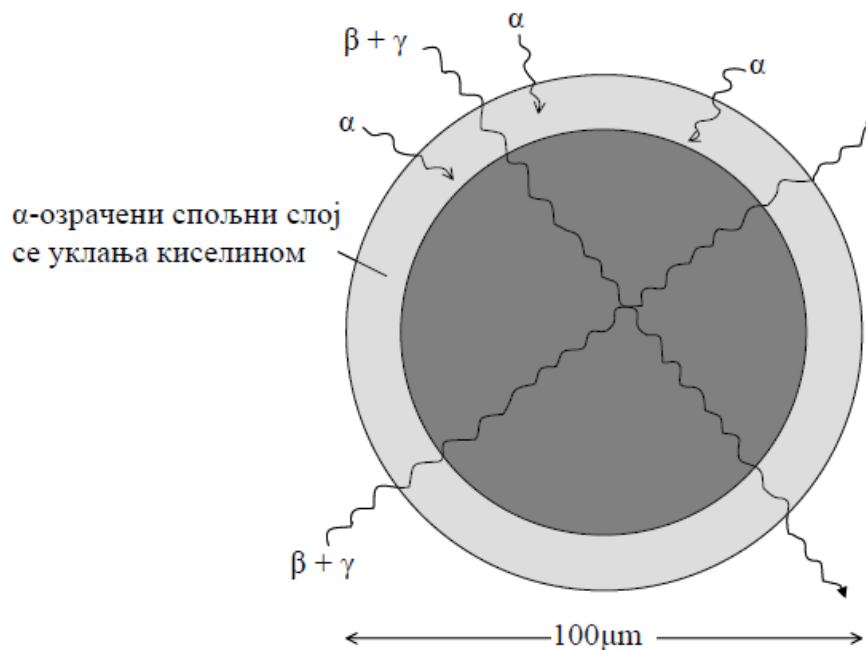
6.10. УТВРЂИВАЊЕ ГОДИШЊЕ ДОЗЕ

Примена луминесценције у сврху датирања геолошких или других узорака (на пример археолошких артефаката) ослања се на детерминацију две вредности. Прву вредност представља количина радијације коју је узорак апсорбовао током периода од када је био изолован од сунчеве светлости (догађај који се датира), а која се мери као D_e (еквивалентна доза). Да би се одредила старост узорка у годинама, D_e се мора поделити са радијационом дозом коју је узорак апсорбовао сваке године. Ову радијациону дозу називамо дозном стопом (Duller, 2008).

У технике за индиректно утврђивање годишње дозе спадају: анализа активације електрона (NAA), спектрометрија атомске апсорпције (AAS), пламена фотометрија, рентгенофлуоресцентна анализа, масена спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP-MS), алфа бројање, бета бројање и гама спектрометрија. Ове технике се сматрају индиректним из разлога што се годишња доза одређује из концентрације радионуклида (NAA, ICP-MS, гама спектрометрија). Ове вредности је потребно

конвертовати у апсорпционе стопе по јединици масе током времена (Gy/a). Конверзија се обично обавља помоћу нуклеарних табела (Adamiec and Aitken, 1998). Постоје четири врсте радијације у природном окружењу коју чине: алфа (α), бета (β), гама (γ) радијација и космички зраци (Aitken, 1985). Прве три потичу од природних елемената који се јављају у самом узорку као и његовом окружењу. Гама зраци поседују високу луминесцентну стимулациону ефикасност и велику моћ пенетрације а волуминозност доприноси радијацији γ зрака. Због тога је неопходно користити модел за процену доприноса узоркованог слоја и суседног слоја (Aitken, 1985). Мања волуминозност међутим доприноси β радијацији јер она има слабију моћ пенетрације али и поред тога такође поседује високу ефикасност луминесцентне стимулације.

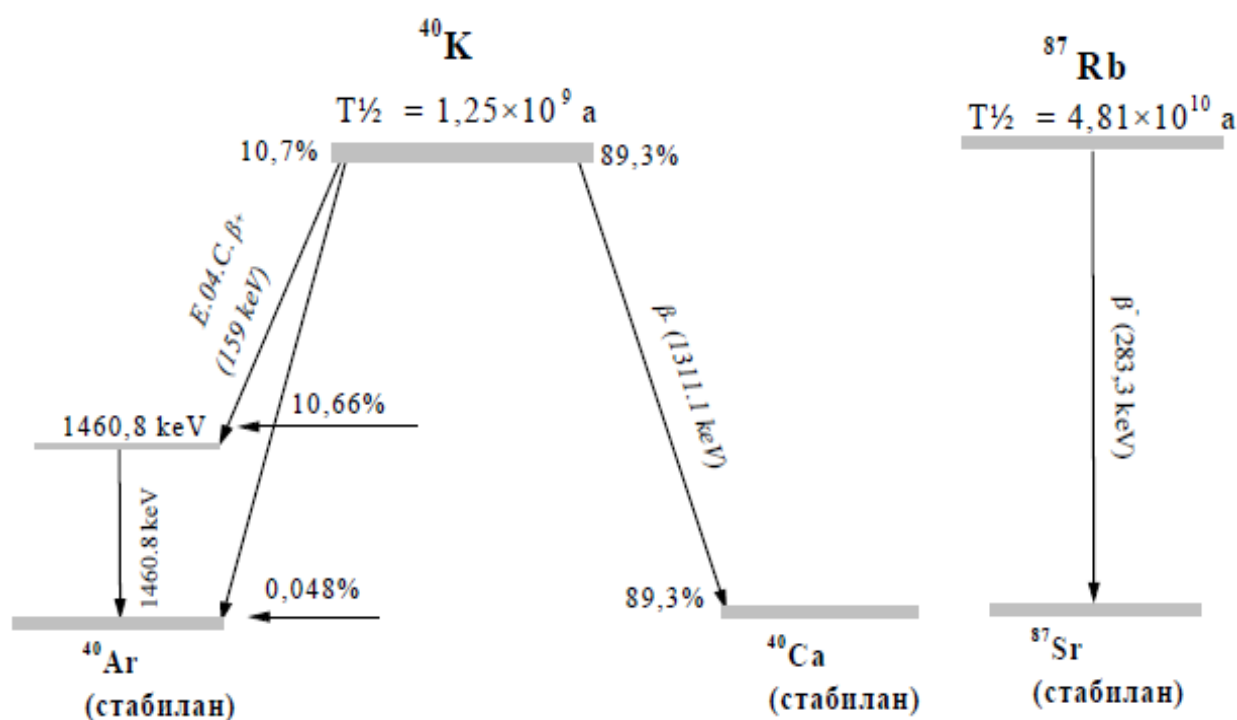
Алфа зраци поседују јако малу пенетрациону силу која у случају крупнијих кварцних зрна ($>100\mu\text{m}$) делује само на спољни слој. Услед свог јонизујућег карактера, α зраци имају веома ниску ефикасност луминесцентне стимулације. У случају крупнијих кварцних зрна, утицај α зрака је неопходно елиминисати што се чини уклањањем спољног слоја флуороводоничном киселином (HF) (Прилог 38).



Прилог 38. Шематски приказ зрна кварца од $\sim 100\mu\text{m}$. Претпоставка је да сам кварц не поседује радиоактивност. Због свог кратког домета, алфа честице дају своју дозу само спољном слоју зрна. Овај слој се може уклонити третманом са HF киселином (Модификовано према Vandenberghe, 2004).

Најважнији извори радијације су радиоактивни изотопи урана (U), торијума (Th) и калијума (K). Радиоактивни изотоп калијума је ^{40}K који се распада у ^{40}Ca (калцијум) или ^{40}Ar (аргон) услед емисије β честица и γ зрака (Прилог 39).

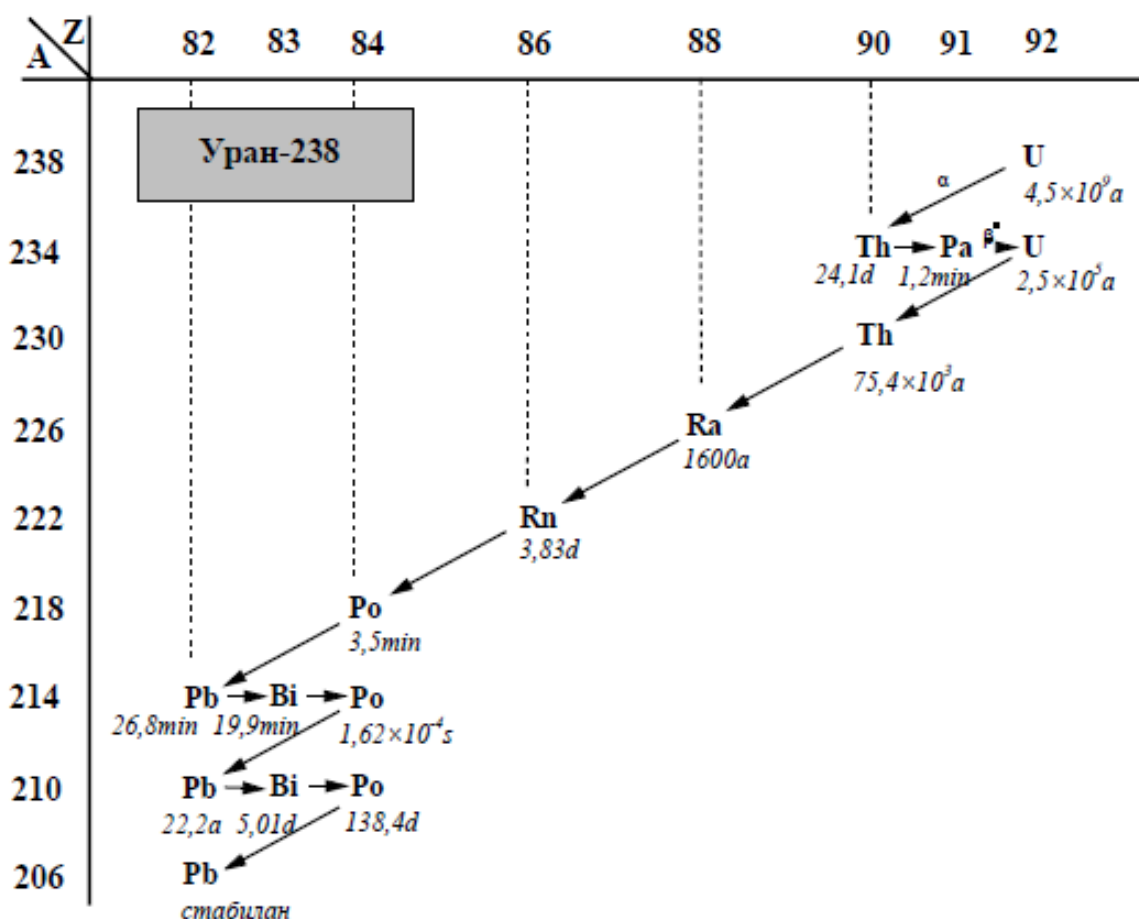
Изотопи ^{40}Ca и ^{40}Ar су оба стабилна. Уран и торијум су доста сложенији: ^{238}U распадом формира ^{234}Th који је и сам радиоактиван а даље се распада у протактинијум (^{234}Pa) (Прилог 40). Распадање се даље наставља, све док се не достигне стабилни изотоп олова (^{206}Pb). Овакав ланац изотопа назива се серија распада. Сличне серије распада постоје за ^{235}U и ^{232}Th (Прилози 41 и 42). Ланци распада уранијума и торијума емитују алфа, бета и гама радијацију и доприносе укупној радијацији коју је узорак апсорбовао.



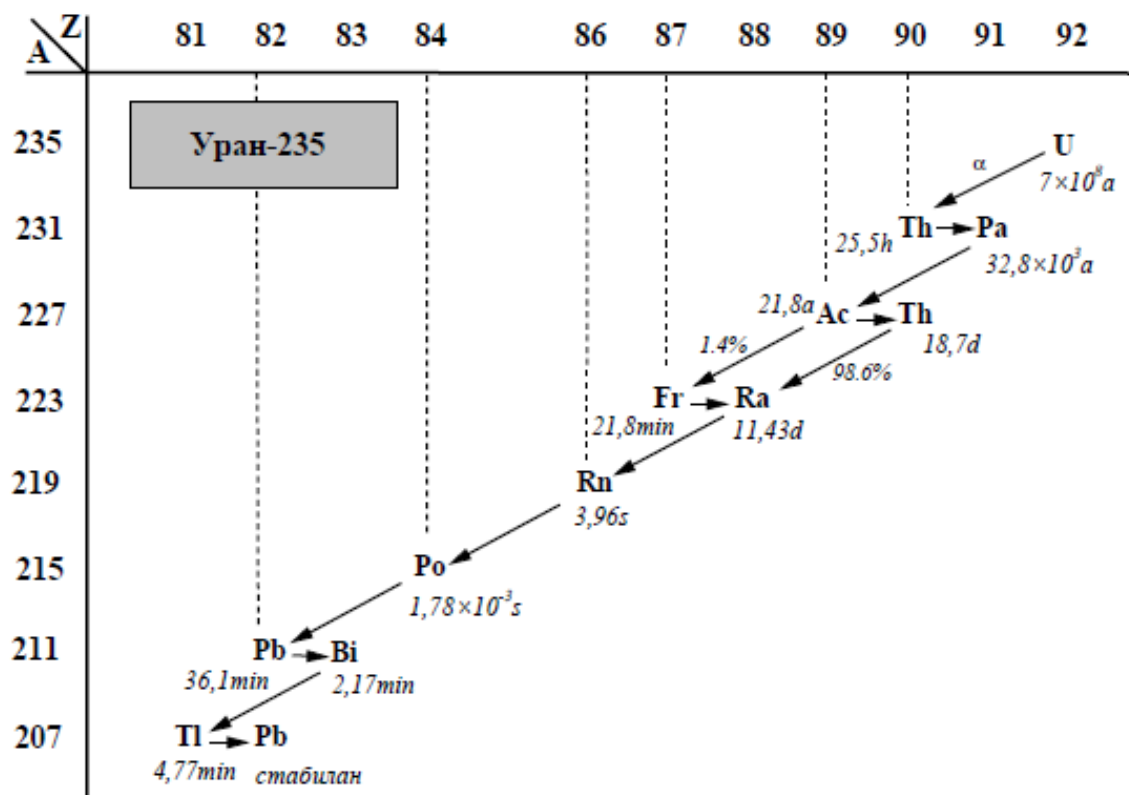
Прилог 39. Шематски приказ распада ^{40}K и ^{87}Rb
(ENSDF via Isotope Explorer; Chu et al., 1999).

Космички зраци потичу из извора дубоко у свемиру. Представљају врсту електромагнетне радијације сличне гама зрацима који потичу од U, Th и K али обично са доста вишим нивоом енергије. Земља је заштићена од утицаја већине космичких зрака својом атмосфером и Земљиним магнетним пољем. И поред тога, део космичких зрака успева да допре до Земљине површине и продре у седименте. Међутим, примљена радијациона доза космичких зрака веома брзо опада са дубином, а нарочито рапидно у првом метру површине.

Алфа, бета и гама радијација такође бива апсорбована и ослабљена од стране природног окружења. Сваки од ових типова радијације може прећи различите удаљености у одређеним материјалима. Алфа честице су у атомском смислу, већи објекти. Имају кинетичку енергију реда 5 MeV (~0,13% њихове укупне енергије која износи 110 TJ/kg) и брзину од 15.000 km/s (што одговара приближно 5% од брзине светлости). Упркос томе, алфа честице се у ваздуху заустављају на путањи од неколико сантиметара док кроз седимент могу путовати тек неколико стотих делова милиметра. Као што је већ речено, за мерење годишње радијационе дозе коју је узорак примио од радиоактивних елемената у окружењу, могу се применити два приступа. Први је мерење концентрације U,Th и K после чега се измерена концентрација користи за израчунавање радијационе дозе коју је узорак апсорбовао.

Прилог 40. Ланац распада ^{238}U .

Други приступ је директно бројање радијационе емисије. Избор прикладније методе зависи од врсте узорка који се датира као и његовој приступачности. Различите раздаљине које преваљују алфа, бета и гама радијација, директно утиче на запремину околу узорка који је потребно мерити (Duller, 2008). Постоји читав низ геохемијских метода за мерење концентрације кључних елемената који чине радијациону дозу – U,Th и K. У случају седиментних узорака, дозна стопа из окружења се може измерити из фино уситњеног суб-узорка самог седимента. Од три елемента који се мере у поступку одређивања годишње дозе, K се јавља у највећим концентрацијама, обично 0.5% до 3% по маси. За мерење концентрације K најчешће коришћене методе су спектрометрија атомске апсорпције (AAS), пламена фотометрија, рентгенофлуоресцентна анализа и масена спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP–MS). У сваком случају, девијација мора бити 5% или мање. Уран и торијум се јављају у далеко мањим концентрацијама, обично у опсегу од 1ppm до 10ppm. У овом случају, избор метода за мерење је веома ограничен али укључује ICP–MS и анализу активације електрона (NAA).



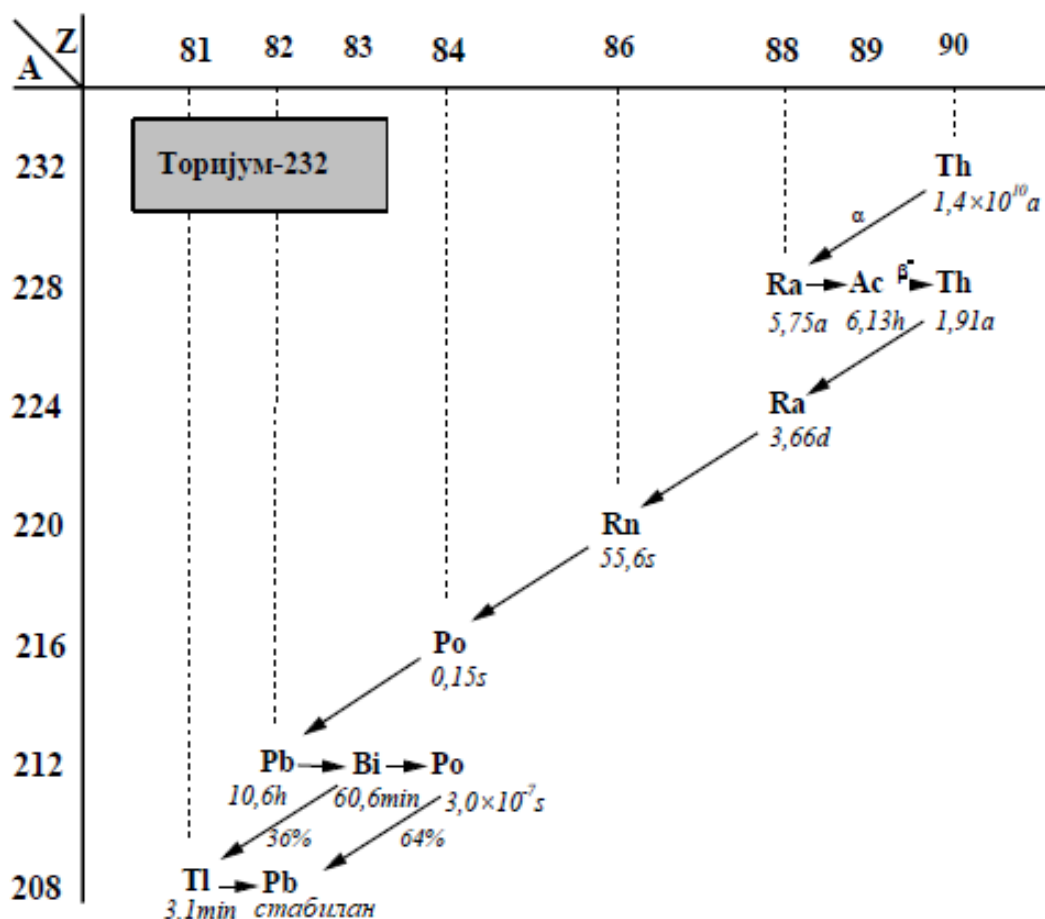
Прилог 41. Ланац распада ^{235}U .

Три битне препреке се могу јавити приликом примене ових метода:

1. Концентрација мерених елемената може бити близу границе могућности детекције појединих аналитичких установа.
2. Припрема узорака: ICP–MS и многе друге методе се ослањају на растварање узорака у јаким киселинама како би произвеле раствор који може бити анализиран. Међутим, U и Th се могу повезати са високо отпорним минералима и ако они не буду потпуно растворени, у поступку анализе, измерене вредности ће бити потцењене.
3. Ова мерења се врше на суб-узорцима тежине од неколико милиграма и у случају овако малог узорка, може се десити да нису довољно репрезентативни за узорак који се датира.

Када је концентрација ова три елемента позната, конверзиони фактори омогућавају израчунавање радијационе дозне стопе (Adamiec and Aitken 1998). На пример, 1% калијума у седименту, производи дозну стопу гама зрачења од 0,243Gy на хиљаду година (Gy/ka), док бета дозна стопа износи 0,782Gy/ka. У овом случају нема алфа дозне стопе јер распад ^{40}K не резултује емисијом α честица. Сабирањем алфа, бета и гама дозних стопа, добија се укупна радијациона дозна стопа.

Употреба овог приступа подразумева и један број претпоставки. Већина радиоактивности потиче од распада уранијума (U) и торијума (Th). Ови елементи имају веома дуго време полураспада те је услед тога и радијација ефективно константна. Код радионуклида са дугим временом полураспада, еквилибријум се достиже после одређеног временског периода. Ово значи да је стопа продукције радиоизотопа потомака распадом изотопа родитеља, једнак стопи распада изотопа потомка. Радиоактивност тада остаје константна. Услов за добијање адекватне годишње дозе је затворен систем што у пракси значи да не постоји губитак радиоизотопа потомака или родитеља, који би нарушио еквилибријум. У ланцу радиоактивног распада урана (^{238}U), радон (^{222}Rn) је гасовит и склон ослобађању. Други изотопи који нарушавају еквилибријум су радијум (^{226}Ra – због своје раствориљивости), уран (^{234}U – слабија везаност) и олово (^{210}Pb) које бива обогаћено у површинским слојевима услед распада ^{222}Rn који константно дотиче из дубљих слојева. Време полураспада мобилних радионуклида у ланцу радиоактивног распада ^{232}Th је кратко и зато је небитно за могуће нарушавање еквилибријума. Дисеквилибријуми у ланцу радиоактивног распада ^{235}U су безначајни због њиховог малог броја.

Прилог 42. Ланац распада ^{232}Th .

Када се одређује концентрација изотопа родитеља у сврху израчунавања годишње дозе, претпоставка је да је ланац радиоактивног распада одувек био у равнотежи. Још једна претпоставка је да је дозна стопа која се мери у садашњем времену, остајала константна током периода датирања. Мерење концентрације за ланце распада U и Th се врши на њиховим родитељским изотопима. Радијација бива емитована у свим фазама ланца али напред описане хемијске методе неће измерити концентрацију урана пошто обично не разликују између разних серија распада урана (^{238}U , ^{235}U) нити мере продукте распада. Конвенционална калкулација дозне стопе од 1 ppm урана претпоставља да је однос концентрација ^{238}U до ^{235}U приближно 400 и да се сви продукти распада налазе у стању секундарног еквилибријума са својим изотопима родитељима (Prescott and Hutton, 1994; Prescott and Hutton, 1988).

У луминесцентном датирању, секундарни еквилибријум се обично увек подразумева, међутим, у одређеним геохемијским ситуацијама, ова претпоставка може бити погрешна (Olley et al 1996). На пример, када се вода исфилтрира кроз седимент, може

том приликом селективно одстранити уран (обично ^{238}U и ^{234}U) док мање покретне изотопе потомке као што су ^{230}Th , оставља за собом. У сезонски навлаженим окружењима као што су мочваре, мобилност радијума (Ra) је од посебног значаја и мора се узети у обзир. Тамо где долази до губитка или стицања одређених делова ланца распада у овим процесима, за ланац распада се обично сматра да је у стању дисеквилибријума, што значи да се дозна стопа мења током времена и чини израчунавање луминесцентне старости доста сложеније. После одређеног временског периода стопа по којој се различити изотопи формирају и распадају ће достићи стање равнотеже и у тој фази, те се тада сматра да је узорак у еквилибријуму. У пракси, тешкоће повезане са дисеквилибријумом се могу избећи избором узорака из геохемијског окружења где се торијум који је нерастворљив, и уран који је високо растворљив, не крећу различито. Посебно би требало избегавати узорке који се налазе унутар 0,3 m (домет гама зрака) удаљености од тресета или других органских седимената. Седименте са садржајем гвожђа, нарочито где постоје докази за значајно кретање подземних вода и узорке са траговима таложена калцита такође не би требало узимати у обзир. Ипак, када се ради са кречњачким материјалима, овакви проблеми су неизбежни. Тамо где постоји сумња у постојање дисеквилибријума, најадекватнија метода за утврђивање годишње фозне стопе је гама спектрометрија високе резолуције (Duller, 2008). У Нордијској лабораторији за луминесцентно истраживање, где су обављена сва мерења за потребе израде овог рада, стандардна метода за утврђивање годишње дозе је индиректна метода гама спектрометрије која ће детаљније бити представљена у посебном поглављу.

6.10.1. КОСМИЧКА РАДИЈАЦИЈА

Космички зраци престављају додатни извор радијације. Дозна стопа космичких зрака зависи од три параметра: географске дужине, надморске висине и дубине са које узорак потиче (Prescott and Hutton, 1994; Prescott and Hutton, 1988). Утврђивање примљене космичке радијације постаје комплексно јер она варира током времена и са дужином на којој је узорак био закопан. Срећом, удео космичке радијације је мали у случају када дозна стопа није сувише ниска.

Интензитет заштите од космичких зрака коју врши Земљино магнетно поље варира са географском ширином, те ће зато и дозна стопа бити виша близу полова где је магнетно поље најслабије. Међутим, овај ефекат је значајан само за географске ширине више од

60°N или 60°S. Заштита коју врши Земљина атмосфера зависи од њене дебљине па се због тога дозна стопа повећава упоредо са надморском висином. Стандардне калкулације за утврђивање космичке дозне стопе су примењиве само за узорке узете близу нивоа мора, на ~0 m надморске висине. У пракси, надморска висина се узима у обзир када су висине >500 m. Најзначајнији фактор представља дебљина седимената, стена или грађевинских објеката који покривају потенцијалне узорке. За локације близу нивоа мора у средњим географским ширинама, на дубини од 0,3 m, космичка дозна стопа је ~0,2 Gy/ka, док на дубини од 10 m може опасти на 0,07 Gy/ka. Утицај седимента у повлати или грађевинских објеката је могуће прецизно израчунати када је дебљина ових покривача позната. У многим случајевима, узорци су могли бити закопани релативно брзо после депозиције док је дебљина повлатног материјала остала ефективно константна. Међутим, ово не мора увек бити случај. У случају многих узорака, допринос космичких зрака чини мали део укупне дозе. Типични силтови и пескови имају комбиновану β и γ дозну стопу од ~2–3 Gy/ka и космичка дозна стопа ће бити ~0,1 до 0,2 Gy/ka, то јест мање од 10% укупне вредности. Израчунавање космичке дозне стопе је у случају већине узорака једноставно. Како космичко зрачење чини око 5% до 10% укупне дозе, свака грешка у вредности је релативно безначајна. Међутим, тамо где су концентрације U, Th и K ниске, космичка дозна стопа постаје пропорционално значајнија. И седиментима богатим карбонатима, β и γ дозне стопе могу бити близу вредности од 1 Gy/ka или мање. Код ових узорака космичка дозна стопа може износити чак 20% укупне вредности ли више. Ситуација је још компликованија уколико је дебљина повлатног материјала драматично варијала током времена чиме се увећавала изолованост узорака од изложености космичким зрацима. Уколико постоје индикације времена у коме су се ове промене догодиле, њихов утицај може бити моделован.

6.10.2. УТИЦАЈ САДРЖАЈА ВОДЕ

Корекција која се приликом израчунавања годишње дозе такође мора узети у обзир је сатурација то јест, засићеност узорка водом. Садржај воде у узорку умањује радиоактивност. У случају силиката, ефикасност умањења воде је 50% виша за α – радијацију, 25% виша за β радијацију и 14% виша за γ -радијацију (Zimmerman, 1971). Дозна стопа у влажном седименту је последично нижа него у сувом седименту. Уколико се овај ефекат не узме у обзир приликом утврђивања годишње дозе, долази до

потцењивања старости узорка. Најбитнији је просечан садржај воде током времена у коме је узорак био закопан а не само измерени садржај приликом узорковања. Садржај воде је промењив током времена због различитих процеса као што су варијација сатурације водом и умањење порозности услед компресије и цементације.

Влажна доза може бити утврђена помоћу суве дозе тако да је дозне стопе алфа ($D\alpha$), бета ($D\beta$) и гама ($D\gamma$) радијације могуће кориговати следећим формулама:

$$D\alpha = \frac{D\alpha \, dry}{1+1,50 \times W \times F}, \quad (12)$$

$$D\beta = \frac{D\beta \, dry}{1+1,25 \times W \times F}, \quad (13)$$

$$D\gamma = \frac{D\gamma \, dry}{1+1,14 \times W \times F}, \quad (14)$$

где су dry – сува дозна стопа, W – просечна порозност током времена у коме је узорак био закопан, и F – просечна фракција сатурације водом током времена у коме је узорак био закопан.

6.11. ТЕХНИКЕ ЗА УТВРЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ

Од времена од када је феномен луминесценције почео да се користи у сврхе датирања (одређивања старости геолошких узорака), дошло је до развоја већег броја метода за утврђивање еквивалентне дозе. Ове методе су обично пратиле развој електронских инструмената способних да детектују дискретну луминесцентну светлост коју стимулисана зрна минерала емитују.

Ипак, у ширем смислу, све технике можемо поделити на два основна типа: адитивна доза и регенеративна доза. У оба случаја неопходно је мерење OSL сигнала као и OSL сензитивности која карактерише раст природног OSL сигнала са дозом (Vandenberghе). Међутим, основни проблем који се јавио од почетка развоја савременије и осетљивије инструментализације је појава огромног броја различитих техника (нарочито

крајем 20. века), тако да није било могуће поуздано изабрати најадекватнију и најпрецизнију методу за утврђивање поуздане еквивалентне дозе у конкретном случају за одређену врсту седимената. Све ове технике имају своје предности и недостатке и многе од њих нису више у практичној употреби

У наредном поглављу ће укратко бити представљене неке од често коришћених техника за утврђивање еквивалентне дозе. За потребе овог рада, у сврху утврђивања еквивалентне дозе узорка, коришћен је протокол регенерације јединачног аликвота или SAR (SAR – Single aliquot regeneration protocol). Овај протокол који је стандардна техника у Рисо (Risø) лабораторијама, представља тренутно најпрецизнији метод за утврђивање еквивалентне дозе и детаљно ће бити објашњен у посебном поглављу.

6.11.1. ТЕХНИКЕ ВИШЕСТРУКИХ АЛИКВОТА

Протоколе који спадају у ову категорију карактерише употреба великог броја суб-узорака или аликвота. У принципу, ове технике су идентичне онима које се користе у термолуминесцентном датирању (Aitken, 1985).

Недостатак ових техника је неопходност употребе великог броја аликвота (што самим тим захтева знатан број узорака), и потреба за нормализацијом мерења како би се компензовала разлика у луминесцентном сензитивитету узмеђу аликвота. Такође, треба напоменути да употреба ове техника захтева дужи временски период, како за особље тако и у смислу инструменталног мерења.

Упркос овим недостацима и доступности прецизнијих и усавршенијих протокола, технике вишеструких аликвота се у појединим лабораторијама и даље користе за одређивање еквивалентне дозе (Quickert et al., 2003; Thomas et al., 2003; Van den Haute et al., 2003).

У нејчешће коришћене технике вишеструких аликвота спадају:

- Техника адитивне дозе вишеструких аликвота (Multiple-aliquot additive-dose technique – MAAD)
- Техника регенеративне дозе вишеструких аликвота (Multiple-aliquot regenerative-dose technique – MARD)
- „Аустралијска клизна“ техника (“Australian slide” technique)

- Техника регенерације и додатне дозе јединачног аликвота (Single-aliquot regeneration and added-dose technique – SARA).

Треба напоменути да иако SARA техника, има израз „јединачни аликвот“ у свом називу, овај протокол је у ствари протокол вишеструких аликвота, мада је временом нешто усавршен тако да га поједине лабораторије за луминесцентно датирање повремено и данас користе. Значај SARA технике се огледа у чињеници да је по први пут, развијена процедура мерења еквивалентне дозе која је у обзир узимала промену сензитивитета (Vandenberghе, 2004).

6.11.2. ТЕХНИКЕ ЈЕДИНАЧНИХ АЛИКВОТА

Технике јединачног аликвота се разликују од других чињеницом да се сва мерења, која су неопходна за утврђивање D_e , теоретски речено, врше на једном аликвоту. Самим тим ову технику карактерише велики број предности у поређење са пређашњим методама. У најбитније предности ове технике спадају:

- Потреба за мањим бројем узорака (у теорији је довољно једно зрно кварца);
- Нема потребе за нормализацијом сензитивитета између аликвота;
- Једна еквивалентна доза може бити утврђена са веома високом прецизношћу;
- Утврђивање еквивалентне дозе је релативно брзо и може бити потпуно аутоматизовано;
- Могуће је обавити више процена еквивалентне дозе и самим тим израчунати екстерне грешке (случајне грешке, анализом расипања у многобројним проценама еквивалентне дозе);
- Дозвољавају ефикасно истраживање утицаја разних протокола мерења као и понашање унутрашње (интринсичне) луминесценције (Vandenberghе, 2004).

6.11.2.1. ТЕХНИКА АДТИВНЕ ДОЗЕ ЈЕДИНАЧНОГ АЛИКВОТА

(Single aliquot additive dose – SAAD)

Када су Хантли и сарадници представили OSL датирање (Huntley et al., 1985), предложили су могућност понављања мерења на само једном аликвоту, која би била довољна за утврђивање вредности D_e . У ту сврху је Џефри Далер (Geoffrey Duller) 1991.

године развио методу јединачног аликвота за утврђивање D_e , давањем адитивних доза екстрактама К-фелдспата. Ова техника адитивне дозе јединачног аликвота (Single aliquot additive dose – SAAD), захтева корекцију промене сензитивности током читавања (Liritzis et al. 1997, 2001, 2002). У SAAD техници, мерења се врше на једном аликвоту са поновљеним давањима бета дозе и читања оптички стимулисане луминесценције из кратко светлећих диода на одређеним таласним дужинама. Раст сигнала се подешава прикладном функцијом. Секвенца мерења започиње предгревањем после чега се веома кратко врши стимулација аликвота (кратко светло (“short-shine”) од $\sim 0,1$ s)) како би се добио природни сигнал. Након тога, даје се доза, аликвот се предгрева а резултујући сигнал се поново мери помоћу кратке светлости. Поновљањем овог циклуса мерења, гради се крива раста адитивне дозе из које је могуће, екстраполацијом одредити до тада непознату дозу.

Табела 7. Секвенца мерења SAAD технике према Мареју и сарадницима.

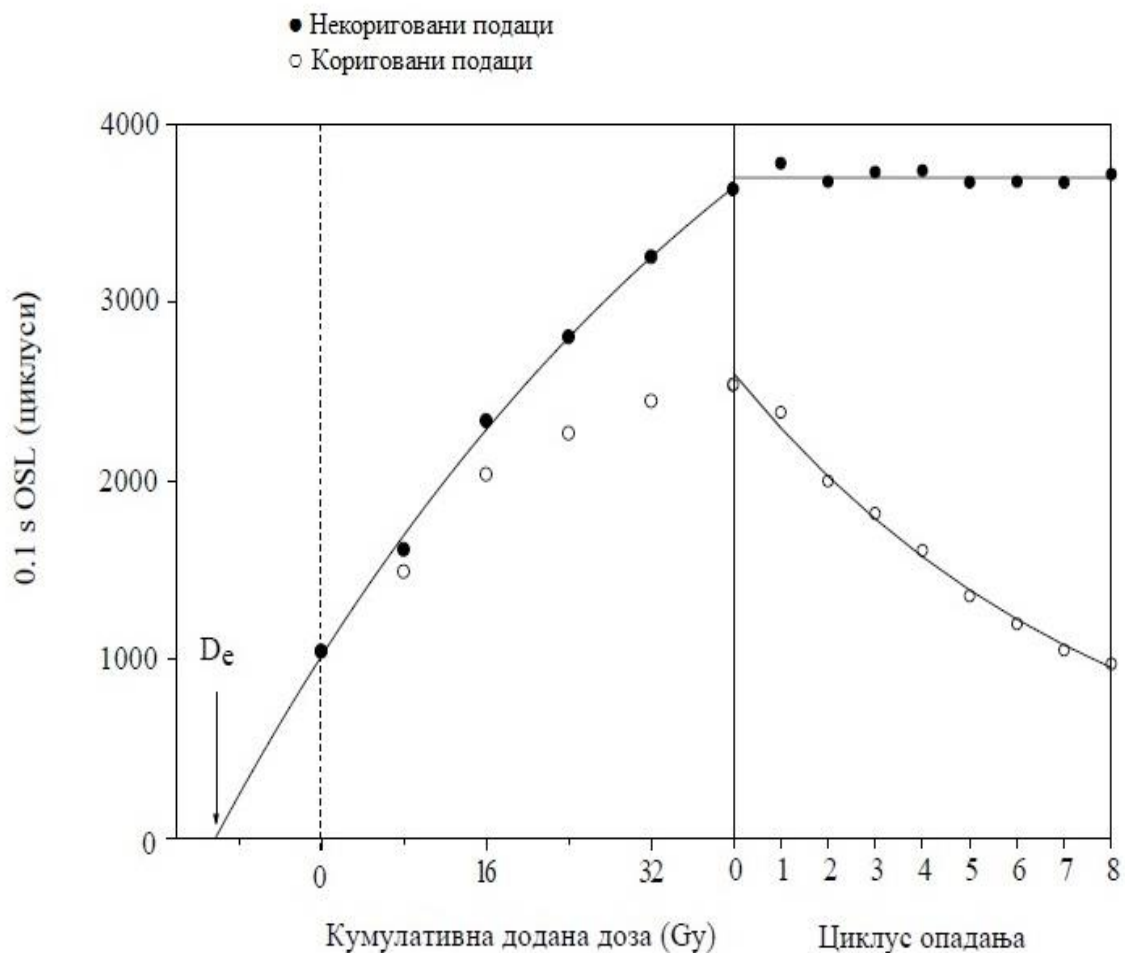
КОРАК	ТРЕТМАН	ПОСМАТРАНО
1	ДАВАЊЕ ДОЗЕ D_i	–
2	ПРЕДГРЕВАЊЕ (10 s при 160–300 °C)	–
3	СТИМУЛАЦИЈА (на прим. 10 s при 125 °C)	L_i
4	ПОВРАТАК НА КОРАК 1 ДОК НЕ БУДЕ ДОВОЉНО ТАЧАКА (ПОДАТАКА) КРИВЕ РАСТА	
5	ПРЕДГРЕВАЊЕ (10 s при 160–300 °C)	
6	СТИМУЛАЦИЈА (на прим. 10 s при 125 °C)	$L_{c,i}$
7	ПОВРАТАК НА КОРАК 1 ДОК НЕ БУДЕ ДОВОЉНО ТАЧАКА (ПОДАТАКА) КОРЕКЦИОНЕ КРИВЕ	

Кратка светла се користе како би се осигурало да акумулација сигнала не буде осиромашена у значајнијој мери. Према томе, дозирање у овој секвенци мерења је кумулативно, што значи мерени сигнал потиче од свих претходно даваних доза а не само од последње дозе која је додана (Vandenberghе, 2004). Међутим, не може се заобићи чињеница да предгревање и кратко светло ипак узрокују мали губитак сигнала. Далер (Duller, 1991) је проценио ове губитке користећи додатни природни аликвот који није примио никакву додатну дозу али је подвргнут поновљеним предгревањима и мерењима кратким светлом. Добијени подаци се коначно могу искористити за корекцију

необрађених луминесцентних података (Duller, 1991, 1994, 1995). Пошто су у овом протоколу коришћена минимално два аликуота, самим тим ова техника не може спадати у технике јединачног аликуота. Овај протокол је касније усавршен у праву технику јединачног аликуота, извођењем мерења које карактерише осиромашење сигнала на истом аликуоту, одмах након конструкције криве адитивне дозе. Такође је доказано да се крива опадања може изразити следећом математичком функцијом:

$$f(n) = 1 - a \ln(n) \quad (15)$$

где, $f(n)$ је део преосталог иницијалног сигнала, a је константа, а n је број мерних циклуса (Galloway (1996).



Прилог 43. Графички приказ SAAD технике
(Према Vandenberghe, 2004).

Ова техника је нудила неке предности у поређењу са претходним методама, међутим није обимније коришћена у практичном раду. Проналазак протокола јединачног аликвота примењив на седиментни кварц је коначно остварен од стране Марија и сарадника крајем 20. века (Murray et al., 1997). Разлика између овог протокола и усавршене SAAD технике је у томе што је овде пронађено да је опадање оптички стимулисане луминесценције током поновљених циклуса предгревања и кратког осветљавања, веома добро усклађено од стране експоненцијалног опадања, са константом опадања неосетљивом на дозу.

Ова запажања су на крају довела до представљања протокола адитивне дозе који је захтевао употребу само једног аликвота за процену еквивалентне дозе. Секвенца мерења према Мареју и сарадницима је приказана у табели 7. Током ове секвенце, у корацима 1–4 спроводе се сва мерења неопходна за карактеризацију раста сигнала упоредо са дозом. У корацима 5–7 ова мерења се понављају на истом аликвоту али без додавања додатних доза.

Подаци добијени овим мерењима се затим додају функцији експоненцијалног опадања, која производи константу опадања која се може употребити за корекцију необрађених сигнала адитивне дозе. Прецизност корекције је потврђена њеном применом на мерења која су вршена у сврху карактеризације опадања сигнала услед понављаних предгревања и кратких осветљавања (Прилог 43).

6.11.2.2. ТЕХНИКА РЕГЕНЕРАТИВНЕ ДОЗЕ ЈЕДИНАЧНОГ АЛИКВОТА – SAR

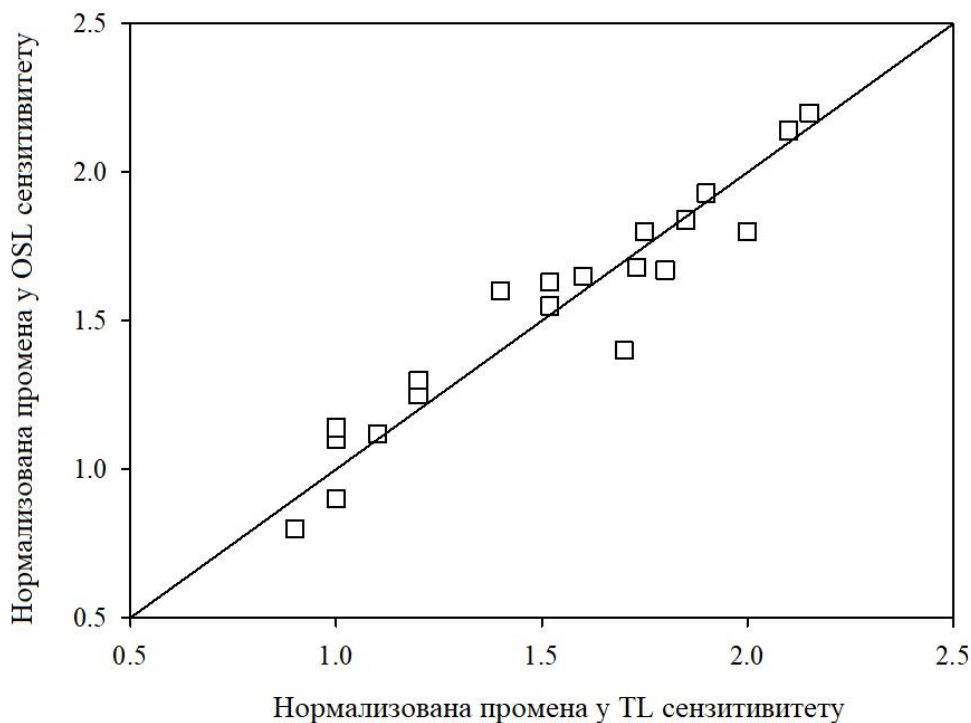
(The single-aliquot regenerative-dose technique – SAR)

Метода која се данас најчешће користи за утврђивање старости седимената (времена од последње изложености сунчевој светлости) је техника регенеративне дозе јединачног аликвота или SAR протокол. Ова унапређена верзија која се тренутно сматра најпрецизнијом и најадекватнијом техником за луминесцентно датирање седимената је само последње достигнуће у дугој серији усавршавања SAR протокола који су јој претходили

Чињеница да поједини узорци нису могли бити успешно датирани помоћу SAAD протокола (Murray et al., 1997) је навела Марија и Робертса да истраже могућности правог протокола регенеративне дозе јединачног аликвота. Полазиште за истраживања Марија и Робертса (Murray and Roberts, 1998) су била претходна запажања блиског односа између промене сензитивитета у OSL сигналу и 110°C TL врхова у кварцу. Ова корелација

је довела до открића да поменути однос омогућава потенцијалну методу за корекцију промене сензитивитета (Aitken and Smith, 1988; Stoneham and Stokes, 1991; Stokes, 1994; Wintle and Murray 1997, 1998) (Прилог 44).

Ова техника је за датирање кварца установљена од стране Винтла и Марија (Wintle and Murray, 2000), док су протокол за датирање фелдспата предложили Валинга и сарадници (Wallinga et al., 2000). Мари и Винтл су предложили да, пошто је неопходан само један регенеративни циклус за утврђивање везе између OSL тестне дозе и регенерисаног OSL сигнала, не постоје практичне препреке за понављање ових циклуса регенерације и мерења тестних доза уз употребу различитих регенеративних доза у сваком циклусу.



Прилог 44. Веза између промене у OSL и 110°C TL сензитивитета у кварцу (према Stoneham and Stokes, 1991).

Овим приступом, комплетни раст луминесцентног сигнала упоредо са дозом може бити утврђен и означен, док OSL одзиви на фиксну тестну дозу могу бити употребљени за корекцију промене сензитивитета. Како на овај начин, кориговане криве раста сензитивитета могу бити конструисане за широк дозни опсег, није потребно претходно знати вредност D_e . Секвенца мерења коју су предложили Мари и Винтл је представљена у табели 8 (Vandenberghe, 2008).

Процедура мерења се састоји од неколико серија циклуса. У првом циклусу врши се мерење природног OSL сигнала (обично се означава са L) након што је аликвот изложен предгревању ($D_{i=1} = 0$ Gy) (Vandenberghе, 2004). Овај сигнал потиче од радијационе дозе којој је узорак био изложен у природи (означава се са LN). У другом циклусу аликвот бива изложен вештачком извору радиоактивности у лабораторијским условима. Овај OSL сигнал бива мерен и представља први лабораторијски регенерисани сигнал који означавамо са L1. У следећим мерним циклусима аликвоту се дају друге регенеративне дозе као на пример 10 Gy, 20 Gy, 40 Gy па се ови мерени сигнали означавају одговарајућим ознакама – L2, L3, L4 респективно. Свим овим мерењима луминесценције претходи предгревање узорка на фиксној температури, обично између 160°C и 300°C и одржавање на истом нивоу одређено време, на пример 10 s или више (Duller, 2008).

Табела 8. Шема процедуре регенеративне дозе јединачног аликвота (Murray and Wintle, 2000).

КОРАК	ТРЕТМАН	ПОСМАТРАНО
1	Давање дозе D_i^a	-
2	Предгревање (10 s при 160–300°C)	-
3	OSL мерење при 125°C	L_x
4	Давање тестне дозе D_i^b	-
5	Предгревање 2 (Прекидно грејање – Cut heat) при 160–300°C	-
6	OSL мерење при 125°C	T_x
7	Повратак на корак 1	-

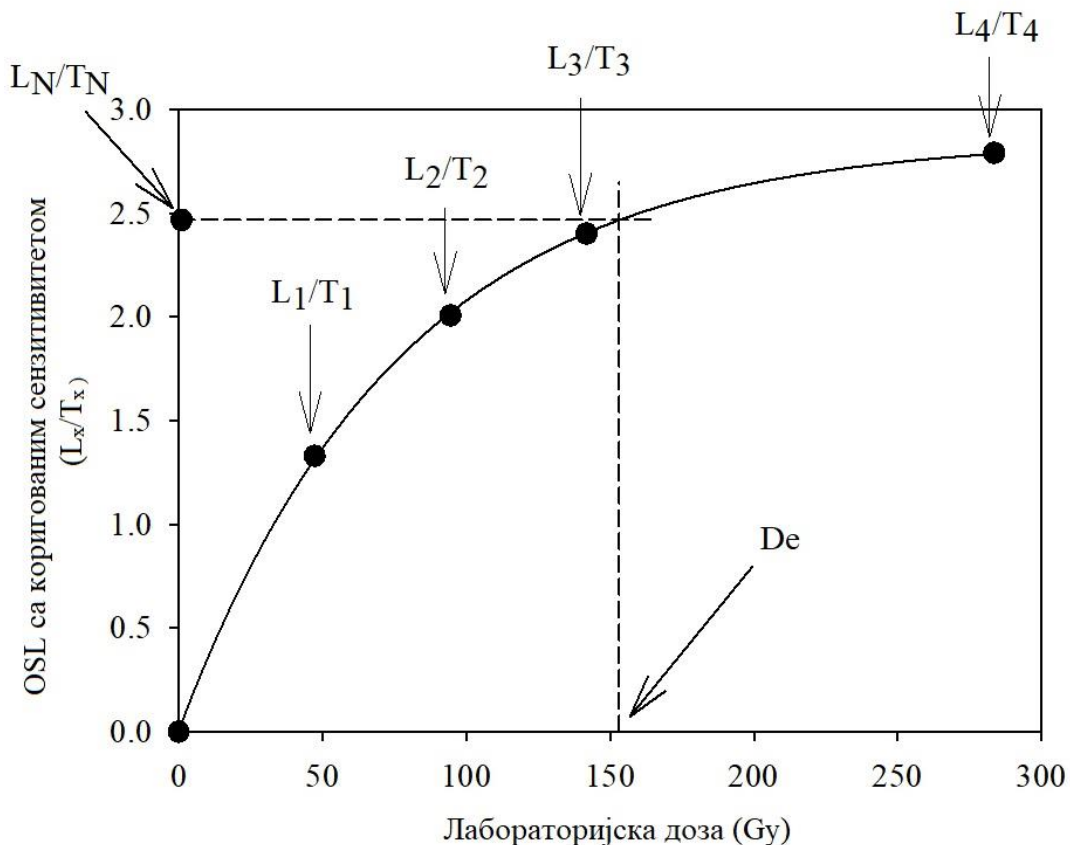
a D_0 = природна доза

b Фиксна тестна доза

Температура и време задржавања се одређује у зависности од особина минерала који се датира и резултата протоколарних тестова који ће детаљније бити представљени у наставку рада. Описана процедура предгревања уклања нестабилне електроне из плитких замки (на пример оних које повезујемо са 110°C TL врховима) како би били сигурни да измерени OSL сигнал потиче само од електрона који су били безбедно ускладиштени у дубоким замкама током читавог периода током кога су били закопани. У исто време одржава се на што је могуће нижој температури како не би дошло до додатних промена

сензитивитета. Јачина сјаја ових луминесцентних сигнала ($L_1, L_2, L_3...$) се може употребити за конструкцију криве дозног одзива (Прилог 45).

Међутим, луминесцентни сензитивитет аликвота то јест количина светлости коју емитује за сваку јединицу радијације којој је био изложен се мења у зависности од спроведених лабораторијских процедура (температура и трајање предгревања) и услова током времена у коме је био закопан. Друга половина сваког циклуса обрађује овај проблем мерењем луминесцентног сензитивитета. Уколико се промене сензитивитета не коригују, израчуната De вредност ће бити погрешна (Duller, 2008). Луминесцентни сензитивитет кварца се мери давањем фиксне радијационе дозе (тестна доза) у другој половини сваког циклуса и након тога се мери добијени OSL сигнал ($TN, T_1, T_2...$). Током експеримента се могу користити разне вредности регенеративне дозе али вредност тестне дозе мора бити константна.



Прилог 45. Крива дозног одзива за узорак 168121 са Тителског лесног платоа.

Ефекти било какве промене у сензитивитету се могу кориговати конструкцијом графикона, међутим, не луминесцентног сигнала (L_x) као функције регенеративне дозе, већ луминесцентног сигнала са коригованим сензитивитетом (L_x/T_x). Овом методом је могуће конструисати криве коригованог сензитивитета за веома широк дозни опсег, без претходног познавања еквивалентне дозе. Типична мерна секвенца је представљена у табели 8. Еквивалентна доза може затим бити израчуната на основу овог луминесцентног сигнала, коригована за сваку могућу промену сензитивитета (Duller, 2008).

Сврха понављања циклуса је успостава везе између OSL сензитивитета и TL сензитивитета како би се добила прихватљива коригована вредност оптички стимулисане луминесценције. Иако обично постоји линеарна веза између OSL и TL сензитивитета, подешена линија не мора увек пролазити кроз почетну тачку (почетна тачка или извориште – origin). Одабрана регенеративна доза би требало да се бира тако да буде што приближније вредности очекиване еквивалентне дозе како би се избегле грешке услед могуће нелинеарности у карактеристикама OSL дозног одзива. Уколико поклапање није довољно блиско, цео протокол се може поновити са новим, подешеним вредностима.

У пракси је обично потребно између пет и десет поновљених циклуса мерења. Додатни циклуси су неопходни како би се дефинисала крива дозног одзива употребљавајући разне регенеративне дозе и омогућио одређен број тестова који се користе да би се проверило понашање сваког појединачног аликвота (Wintle and Murray, 2006). Спровођење ових тестова је од кључног значаја пошто је веома добро познато да и поред тога што SAR протокол функционише на већини узорака кварца и фелдспата, ипак се ради о природном материјалу где је немогуће пронаћи два идентична специмена. На пример, поједини узорци могу бити мутни и самим тим непогодни за анализу путем SAR протокола, пошто ће им у том случају недостајати онај део OSL сигнала који даје рапидно опадање у сигналу посматран током иницијалног дела OSL мерења (Duller, 2008) .

6.11.3. ПРОТОКОЛАРНИ ТЕСТОВИ

Луминесцентне карактеристике и понашање материјала који се датирају (кварц и фелдспат) могу јако варирати чак и од зрна до зрна у једном минеролошком саставу. Како би се оствариле најпрецизније могуће процене старости узорака, пре самог процеса утврђивања еквивалентне дозе потребно је извршити низ тестова неопходних за креирање адекватног SAR протокола као и процене подобности материјала који се жели датирати. У

ову сврху могуће је извршити провере раличитих параметара од којих ће најбитнији бити представљени у овом поглављу.

6.11.3.1. ПРОВЕРА ЧИСТОЋЕ

Тест провере чистоће (Purity check/ Purity test/ irsl depletion ratio) се врши како би се утврдило да ли постоји евентуална контаминација у зрнима једног минерала од стране другог. За потребе OSL датирања кварца на пример, веома је битно избећи контаминацију зрнима фелдспата, пошто ће крајњи резултат бити непрецизна процена старости узорака. Ово је веома честа појава, као уосталом код већине природних материјала, међутим, допринос или меру контаминације кварца фелдспатом обично је могуће проверити на неколико начина. Први корак је хемијско уклањање (киселински третман) зрна фелдспата које је већ детаљније објашњено (види поглавље 6.15.2). Затим се приступа провери успешности хемијске припреме (да ли су зрна фелдспата уклоњена у прихватљивој мери) у самом OSL читачу. У ову сврху се изводе одређене OSL секвенце приликом чега се употребљавају различити светлосни извори.

Наиме, оптички стимулирани луминесцентни сигнал фелдспата је доста светлији у поређењу са сигналом кварца (Aitken, 1998). Приликом излагања узорака инфра-црвеним таласним дужинама у распону од 850 nm, луминесцентни сигнал је приметан код већине минерала фелдспата док су у случају кварца ови сигнали претежно ретки (Aitken, 1998). Контаминација фелдспатом се проверава помоћу инфрацрвене стимулисане луминесценције (IRSL) наспрам плавог сигнала (светла) на који кварц реагује. Однос од 10% инфрацрвеног наспрам плавог сигнала је прихватљив (Alexanderson et al., 2008). Са друге стране, контаминација фелдспата кварцом, није у већој мери проблематична, пошто, као што је већ напоменуто, фелдспат има доста светлији OSL сигнал него кварц. Међутим ова контаминација може постати релевантна у случају процене интерне бета дозне стопе у већим зрнима К-фелдспата (Aitken, 1998). Постоје методолошки начини превазилажења контаминације кварца фелдспатом, као што су поновљена сепарација содијум-хетерополитунгстатом и већ поменути третман флуороводоничном киселином, међутим, неиједним од ових процеса се не могу уклонити микроинклузије унутар зрна кварца. Други начини су имплементација двоструког SAR протокола (double SAR protocol/ post-IR blue) (Banerjee et al., 2001) или техника пулног OSL мерења (Thomsen et al., 2008).

6.11.3.2. ТЕСТ РЕКУПЕРАЦИЈЕ И ОДНОСА РЕЦИКЛОВАЊА

Учинковитост SAR протокола се процењује са две додатне интерне провере које су данас саставни део мерне секвенце: рекуперација и однос рецикловања. У тесту рекуперације, узорцима се даје нула регенеративна доза и идентична тестна доза као у осталим SAR циклусима. Теоретски, однос L_0/T_0 (регенеративна доза/тестна доза) би требало да је близу нуле или другим речима дозна крива одзива би требало да пролази кроз извориште (origin). Вредност која је већа од нуле указује на то да постоји непожељни сигнал који је вероватно настао приликом предгревања узорка пре мерења рекуперације. Ипак, у пракси је веома мали сигнал скоро увек присутан међутим уколико његова вредност не прелази 5% природног сигнала (L_n/T_n – природна доза/тестна доза), сматра се безначајним. Уколико његова вредност прелази 5%, протокол мерења би требало модификовати или илуминацијом узорка при повишеној температури или променом температуре предгревања (Murray and Wintle, 2003). Уколико ове модификације не дају прихватљиве резултате, аликвоте са таквим вредностима би требало одбацити као неподобне.

Тест односа рецикловања потврђује да ли је корекција промене сензитивитета успешна или не. Овај тест се изводи понављањем исте регенеративне дозе на крају секвенце као оне на почетку (Wallinga et al., 2000). Уколико функционише адекватно, и SAR протокол коригује промене сензитивитета код узорка, онда би луминесцентни сигнали (L/T) поновљене дозе требало да буду идентични. Идеални однос би требало да буде 1, међутим вредности између 0,9 и 1,1 се сматрају прихватљивим. Вредности које су ниже или више од ових граница то јест $>10\%$, указују да процедура или сами узорци нису подобни те би због тога резултате добијене мерењем на овим узорцима требало одбацити (Duller, 2008). Из овог разлога је овакво поновљено мерење укључено у мерну секвенцу.

У приказаном примеру (Прилог 45) поновљена је прва (најнижа) регенеративна доза. Овај OSL сигнал и повезани одзив OSL тестне дозе су представљени у прилогу 45 (а). OSL сигнал је представљен пуним ромбом док је одзив OSL тестне дозе представљен отвореним ромбом. Након корекције, овај одзив је идентичан ранијем мерењу исте регенеративне дозе (Прилог 46 (б)): отворени ромб преклапа прву регенеративну дозну тачку на кривој раста). У приказаној мерној секвенци коришћен је узорак кварца 168113 са Тителског лесног платоа. У прилогу 46 (а) мерени OSL сигнали су приказани као пуни кругови док су кореспондујући OSL сигнали тестне дозе приказани као отворени кругови.

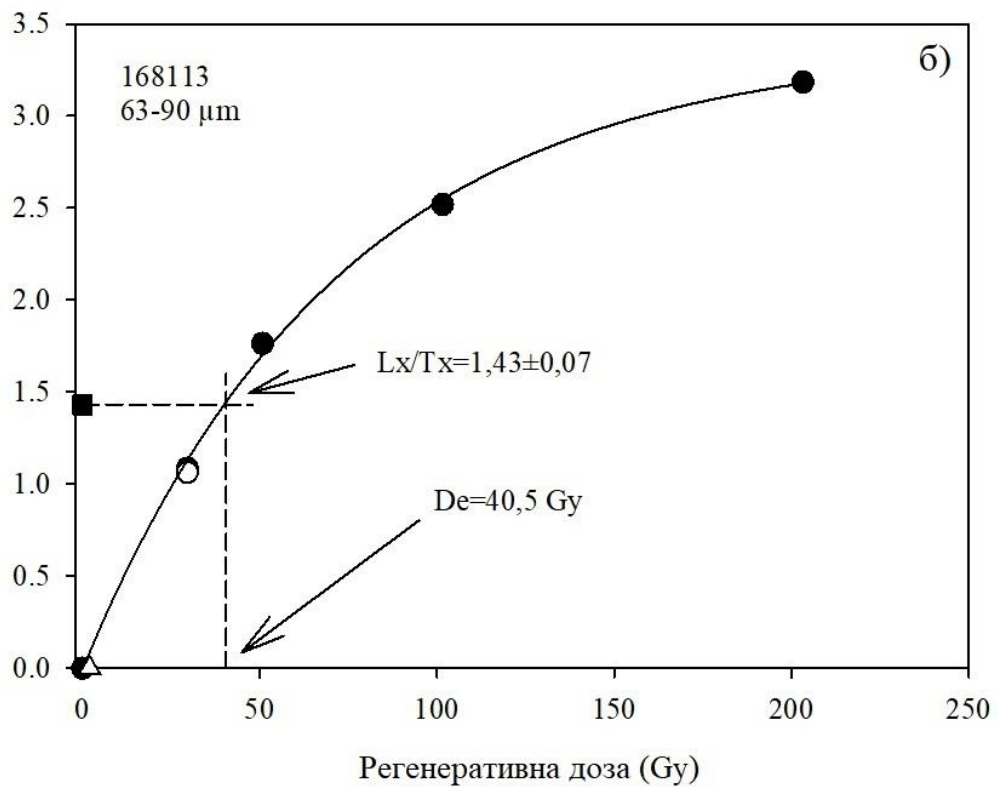
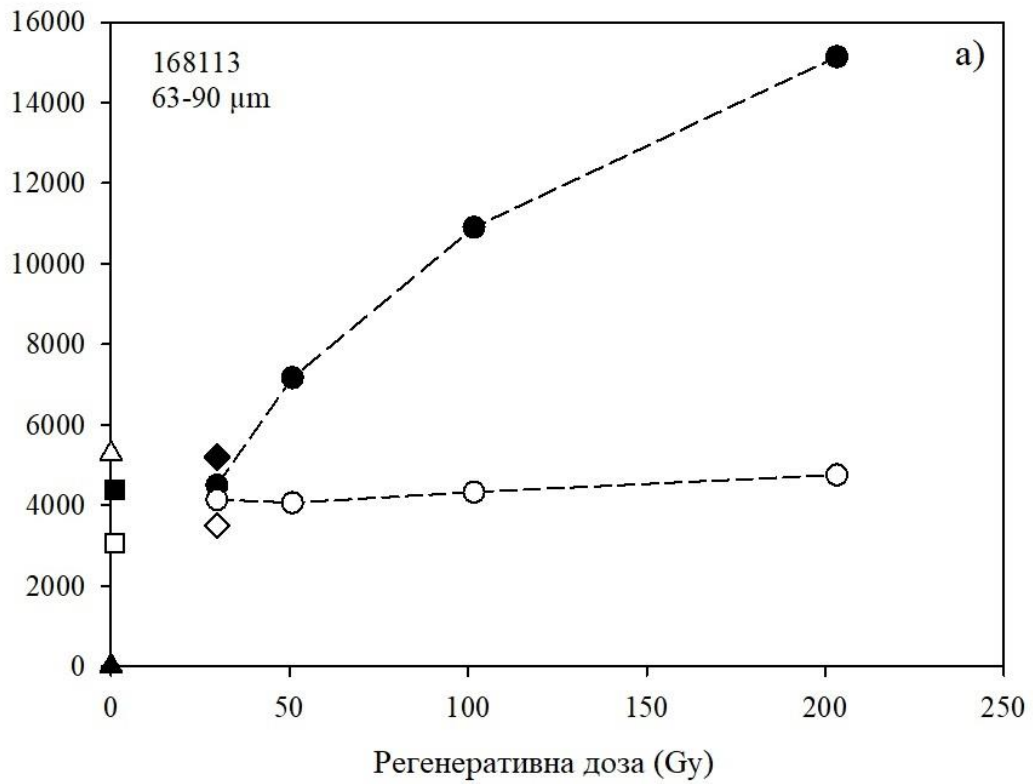
Природни сигнал је приказан као пуни квадрат док је кореспондујући OSL сигнал тестне дозе приказан као отворени квадрат. Одзиви тестне дозе илуструју промену сензитивитета током мерне секвенце. Деобом регенерисаног OSL сигнала са кореспондујућим сигналама тестне дозе, добија се нормализована крива раста, коригована за промене сензитивитета. Ово је приказано у прилогу 46 (б) отвореним круговима. Еквивалентна доза је добијена интерполацијом природног OSL сигнала са коригованим сензитивитетом (пуни квадрат) на коригованој кривој раста. Осим ових тестова који се изводе приликом самог SAR мерења, постоји читава серија тестова контроле квалитета који су развијени са циљем да осигурају поузданост OSL мерења.

Овај специфични протокол се користи за утврђивање контаминације кварца фелдспатом и његовог утицаја на утврђивање еквивалентне дозе. Током секвенце мерења се пре или након сваке стимулације плавим светлом, употребљава и стимулација инфрацрвеним светлом на које зрна фелдспата реагују. Двоструки SAR протокол омогућава утврђивање вредности две D_e – једну за сваки полиминерални аликвот.

Једна D_e се добија IR стимулисаном луминесценцијом и резултује углавном од фелдспата. Друга D_e се добија стимулацијом плавом светлошћу након употребе инфрацрвене светлости (post-IR OSL) и резултује од мешавине сигнала кварца и фелдспата.

Секвенца мерења укључује предгревање до температуре од 160–300°C (на пример 10 s), затим стимулацију инфрацрвеним ласерским диодама при температури од 125°C (на 100 s) како би се пратио и умањило сигнал који даје фелдспат ((Lx IR), чиме се увећава релативни допринос кварца (post-IR) OSL сигналу (Lx post-IR OSL). Сигнал који се након тога мери резултује из стимулације плавим светлећим диодама при температури од 125°C на 100 секунди.

Након овога се даје тестна доза како би се пратила промена сензитивитета током читаве SAR секвенце мерења, праћено прекидним загревањем (160°C) и стимулацијом инфрацрвеним диодама (Tx IR) и затим плавим диодама (Tx post-IR OSL) при температури од 125°C. Затим се употребљава серија регенеративних доза како би се генерисала крива раста за сваки аликвот што на крају омогућава израчунавање D_e оба сигнала: инфрацрвене стимулисане луминесценције (IRSL) и (пост-инфрацрвеног/ post-IR) OSL сигнала (Roberts, 2007).



Прилог 46. а) Луминесцентни сигнал узорка кварца 168113 са Тителског лесног плато пре корекције сензитивитета; б) исти сигнал након корекције сензитивитета.

6.11.3.3. ДВОСТРУКИ SAR ПРОТОКОЛ

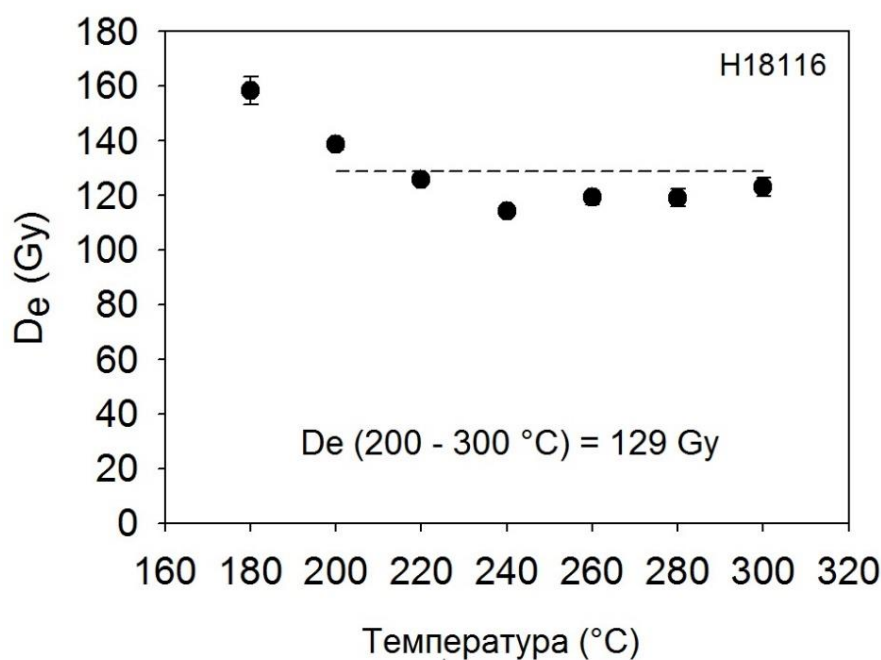
Уколико је израчуната D_e вредност добијена стимулацијом инфрацрвеним диодама знатна, а кварц је минерал од интереса (минерал који се жели датирати), потребно је поновити хемијски флуороводонични третман на узорцима, или их одбацити као неподобне.

6.11.3.4. ТЕСТ ДОЗНЕ ОБНОВЕ

Један од најефективнијих доступних тестова који се спроводи заједно са SAR протоколом је тест дозне обнове (Dose recovery test) (Duller, 2008). Овај тест је од изузетног значаја у процени ефективности SAR протокола јер успешна репродукција дате дозе представља директну проверу дозиметријске прецизности SAR протокола. Како би се симулирали природни услови (ресетовање сигнала у време догађаја који се датира), најпре се врши уклањање природно заробљене популације електрона из узорка, обично путем излагања светлости унутар соларног симулатора или под ултраљубичастом лампом (Wintle and Murray, 2006), мада се у случају кварца то може постићи и у оквиру саме секвенце мерења где је први корак излагање аликвота плавој светлости одређени временски период (на пример 10.000 s). Након што су јаме са природно заробљеним електронима испражњене, то јест у минералним зрнима више нема набоја, узорцима се даје лабораторијска доза чија је вредност позната (на пример 20 Gy) где се ова доза третира као природна доза у SAR протоколу. Следећи корак је имплементација стандардног SAR протокола мерења. Обично се за познату лабораторијску дозу узима вредност приближна вредности еквивалентне дозе која је измерена на одређеном узорку. Овим путем се посредно могу оценити и избећи могуће компликације које могу настати у случају када се узорак ближи сатурацији при високим дозама или потешкоће приликом приближавања детекционом лимиту OSL читача при ниским дозама (Duller, 2008). Уколико је протокол функционисао правилно, вредност измерене дозе би требало да одговара вредности дате (лабораторијске) дозе и однос би у идеалном случају требало да буде 1. Међутим у пракси су прихватљиве вредности од 0,90 до 1,10. Уколико узорак не прође тест дозне обнове, мало је вероватно да ће израчуната еквивалентна доза за овај узорак бити тачна.

6.11.3.5. ТЕСТ ПЛАТОА ПРЕДГРЕВАЊА

Тест платоа предгревања (preheat plateau test) се врши како би се осигурало да се у току SAR протокола, примењује довољно висока температура како би се уклонили нестабилни електрони из плитких замки и утврдила најпогоднија температура предгревања и прекидног загревања за сва следећа мерења. Најприкладнија температура предгревања се утврђује путем стандардног SAR протокола приликом чега се употребљава читав опсег температура (обично од 160°C–300°C) на једном узорку са одређеним бројем аликовота. Уколико су нестабилни електрони успешно уклоњени, не би требала бити приметна промена у вредности еквивалентне дозе приликом имплементације виших температура предгревања то јест, при одређеним температурним тачкама, D_e треба да формира раван (плато) (Прилог 47) (Duller, 2008). Међутим, треба напоменути да у оба случаја не би требало користити температуре изнад 300°C, како не би дошло до случајног пражњења стабилних електронских замки (обично се празне на 325°C) које дају OSL сигнал потребан за датирање.



Прилог 47. Резултати теста платоа предгревања за узорак H18116 узетог са Лингтаи секције на Кинеском лесном платоу. У овом тесту су мерене D_e за 21 аликовот – 3 аликовота по једној тачки предгревања (7 тачака) од 180°C до 300°C. Резултати показују да је приближна D_e вредност добијена у температурном распону од 200 до 300 °C и да на графику формира јасну равну, то јест плато. Закључак је да је као прикладна температура предгревања за ове узорке могла бити изабрана било која у опсегу од 200 до 300°C. У овом случају није дошло до промена у вредности еквивалентне дозе при високим температурама, међутим, то је ређи случај. Обично се при вишим температурама D_e вредност увећава, вероватно услед термалног трансфера.

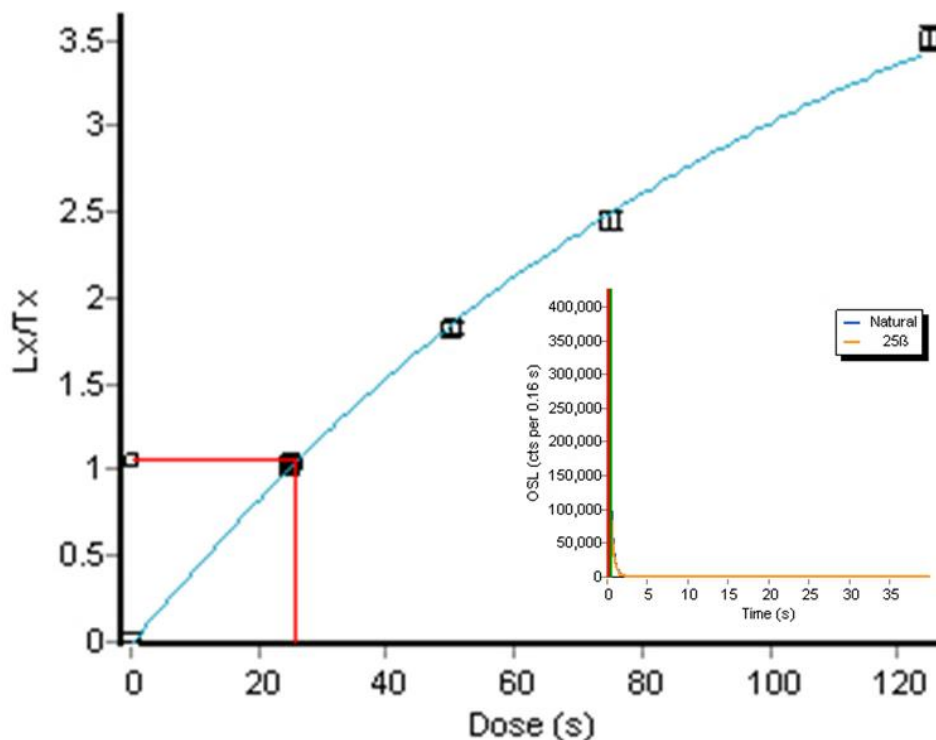
6.11.3.6. КАЛИБРАЦИЈА БЕТА ИЗВОРА

Како би утврђивање еквивалентне дозе било извршено што је прецизније могуће, мора бити позната дозна стопа бета извора (у Gy по јединици времена). На дозу коју узорак добија од бета извора (Aitken, 1985) јако утичу ефекти као што су изградња, расипање и слабљење. Последично, читав низ параметара (удаљеност између извора и узорка, величина зрна, дебљина узорка, подлога на коју су зрна постављена) одређује ефективну калибрацију. Ово у пракси подразумева да бета извор мора бити калибрисан за сваку ирадијациону геометрију понаособ, и да је ова калибрација валидна само за ту специфичну конфигурацију. На пример, уколико се користи друга подлога као носач за зрна кварца (алуминијум или молибден уместо нерђајућег челика), уколико се користи фина уместо грубе гранулације, или уколико се извор позиционира ближе узорку, неопходно је извршити нову калибрацију. Процедура калибрације бета извора се састоји од упоређивања луминесценције индуковане у узорку познатом дозом (обично путем калибрисаног гама извора), са луминесценцијом индукованом у истом узорку датим трајањем ирадијације путем бета извора непознате снаге.

Узорак који се користи у сврху калибрације се назива калибрациони кварц. У Нордијској лабораторији за луминесцентно истраживање, где су спроведена сва мерења и анализе за потребе овог рада, калибрациони кварц се екстрахује из песка са обале Северног мора из југозападне Данске (Rømø). Екстраховани кварц се најпре излаже високим температурама како би се уклонио акумулирани луминесцентни сигнал, а затим му се даје позната гама доза. Висина дозе која се даје калибрационом кварцу се мењала током времена. Најпре је висина дате дозе износила 4,96 Gy или 5 Gy. Данас стандардна доза у Рисо лабораторијама износи 4,81 Gy.

Сам процес калибрације се изводи путем стандардног SAR протокола (види поглавље 6.11.2.2.) који је идентичан ономе који се користи за одређивање еквивалентне дозе. Након тога се затим конструиш крива раста у којој се OSL сигнали са коригованим сензитивитетом плотују насупрот одговарајућих регенеративних доза (Прилог 48).

Доза се у овом тренутку изражава у јединицама ирадијационог времена пошто је снага извора још увек непозната. Интерполацијом природног OSL сигнала са коригованим сензитивитетом на кривој раста, добија се трајање бета ирадијације која је индуковала сигнал једнак ономе који индукован познатом гама дозом. На овај начин, веза између ирадијационог времена и добијене дозе, или другим речима, снага извора, постаје позната.



Прилог 48. Крива раста Risø калибрационог кварца. Инсет приказује криву опадања за исти аликвот. График аутоматски генерише Risø analyst програм након завршетка мерне секвенце.

Извор који се налази у сваком Risø читачу се стандардно калибрише помоћу описане калибрационе процедуре и обично се у ту сврху употребљавају шест аликвота калибрационог кварца. Овим путем се добија шест независних процена снаге радијационог извора као и повезане екстерне непоузданости.

6.12. ПРЕГЛЕД МЕТОДА ЗА ДЕТЕРМИНАЦИЈУ ГОДИШЊЕ ДОЗНЕ СТОПЕ

Постоји велики број аналитичких метода које су развијене у сврху одређивања годишње радијационе дозе. Све методе се могу поделити у следеће категорије:

Индијектна детерминација:

1. Утврђивање концентрације радиоелемената;
2. Бројање α -, β - и γ -зрака и

Директна детерминација:

3. Утврђивање α -, β - и γ -дозе путем дозних монитора: α -Al₂O₃:C, CaSO₄:Dy, CaF₂:Dy и друге.

6.12.1. ИНДИРЕКТНА ДЕТЕРМИНАЦИЈА

За детерминацију годишње радијационе дозе путем утврђивања U, Th и K, доступан је широк дијапазон аналитичких приступа. Иако је такође могуће утврдити и рубидијум (Rb), ово се веома ретко чини јер је његов допринос годишњој дози веома мали (~1%), тако да је однос концентрације K/Rb обично 200:1 (Warren, 1978) што његов утицај на прецизност мерења чини безначајним.

У технике за индиректно утврђивање годишње дозе спадају: анализа активације електрона (NAA), спектрометрија атомске апсорпције (AAS), пламена фотометрија, рентгенофлуоресцентна анализа, масена спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP–MS), алфа бројање, бета бројање и гама спектрометрија. Ове технике се сматрају индиректним из разлога што се годишња доза одређује из концентрације радионуклида (NAA, ICP–MS, гама спектрометрија) (Aitken, 1985). Очигледно је да све набројане технике, поред K, дају само концентрације родитељских нуклида U и Th те су зато поуздане једино под условом да се ланци распада U и Th налазе у еквилибријуму.

6.12.1.1. БРОЈАЊЕ α -, β - и γ -ЗРАКА

Алфа бројање пуног извора (TSAC – Thick source alpha counting) помоћу цинк-сулфид (ZnS) екрана, представља најуобичајенији приступ за процену α дозне стопе, директно из саме алфа активности. Алфа бројање је усвојено за потребе луминесцентног датирање почетком 60-их година прошлог века (Tite and Waine, 1962). У раној фази развоја луминесцентног датирања, највећи број лабораторија је користила управо TSAC, не само за алфа дозну стопу већ такође и за бета и гама дозне стопе U и Th у спрези са хемијском анализом K. Строго узевши, за процену U и Th бета и гама дозне стопе, конверзија стопе бројања у дозну стопу, зависи од односа концентрације U:Th у узорку. На срећу, техника алфа бројања се може применити и у интегралном модалитету – за одређивање бруто алфа активности урана и торијума и њихових потомака, и у модалитету парног бројања – како би се направила разлика између U и Th (Aitken, 1985). Упркос томе што техника има одређене недостатке, од којих је најзначајнији ефекат „пребројања“ (Pernicka and Wagner, 1982; Wintle and Dijkmans, 1988; Zöller and Pernicka, 1989), овај приступ и даље задржава централно место у већини луминесцентних лабораторија у свету. Треба напоменути да уколико се ланци распада U и Th не налазе у еквилибријуму,

прецизност годишње радијационе стопе утврђена путем α -бројања се не погоршава као у случају хемијске анализе која утврђује само родитеље. Цинк-сулфид систем алфа бројања се не може применити као спектрометар због своје лоше резолуције и немогућности разазнавања различитих енергија алфа емисије. Могућа је међутим употреба алфа-спектрометрије високе резолуције (Desai, 1975; Murray, 1981) помоћу баријерних детектора са силиконском површином у сврху разликовања различитих алфа енергија. На овај начин, се може добити стопа бројања индивидуалних чланова Th и U серије распада што омогућава испитивање услова еквилибријума како у Th тако и U ланцу распадања. Главни недостатак ове методе представља чињеница да је потребно уништавање и хемијски третман узорка како би се припремио извор који је довољно танак у поређењу са алфа распонима. Упркос овоме, алфа спектрометрија се веома често користи за мерење ^{210}Po , (другог потомка ^{210}Pb) као индикатор за радон у ^{238}U серији распада. Разлог популарности ове методе је што се полонијум може веома лако селективно изоловати из раствора добијеног након дигестије узорка, спонтаном депозицијом на сребрној фолији (García-Orellana and García-León, 2002; Mangini et al., 1983).

Бета бројање пуног извора (TSBC – Thick source beta counting) помоћу пластичног сцинтилатора NE102A који је развио Сандерсон (Sanderson, 1988), или путем система Рисо бета GM мултибројача (Risø beta GM multiscouter) развијеног од стране Ботер-Јенсена и Мејдала (Bøtter-Jensen and Mejdahl, 1985, 1988), представљају најчешће коришћене приступе за утврђивање бета дозе. Ове методе су погодне због могућности обраде мале количине узорка, ниске цене ефикасних бројача и ниских позадинских нивоа који се могу добити. И у овом случају, позданост резултата је везана за успоставу еквилибријума у серији распада U и Th (Hossain, 2003).

Најчешћи начини процене дозне стопе путем бројања гама зрака су NaI(Tl) и Ge спектрометрија гама зрака. NaI(Tl) системи бројања гама зрака су веома ефикасни али имају лошу резолуцију. Нарочито су погодни за утврђивање *in-situ* дозне стопе окружења на терену (Chiozzi et al., 2000; De Corte et al., 2001; Sanzelle et al., 1988). Иако се у литератури наводи да се, када се ради у рупи спиралне геометрије, мере гама зраци у радијусу од 30 cm око узорка, реалнији опсег мерења се креће 60–80 cm, у зависности од енергије гама зрака (De Corte et al., 2001). Битна предност мерења на терену је што сваки ефекат хетерогености радиоактивности унутар радијуса аутоматски бива узет у обзир. Поред 1460,8 keV линије калијума 40, ова техника мери само распад два радионуклида у нижој половини U и Th ланцима распада (1764,5 keV за ^{214}Bi у ^{238}U серији и 2614,5 keV за

^{208}Tl у ^{232}Th серији). Ово чини добијање прецизних резултата за дозне стопе могуће само у случају еквилибријума у серијама распада. Поред употребе на терену $\text{NaI}(\text{Tl})$ детектор се може употребити и за лабораторијско мерења у лабораторији у условима ниских позадинских интерференција. Иста врста информација се добија на већ описан начин, иако је волумен узорка у овом случају доста ограничен (Hossain, 2003).

Ge спектрометрија гама зрака, поред тога што може одредити концентрацију елемената, захваљујући изузетној енергетској резолуцији, способна је за индивидуално мерење броја радионуклида у U и Th ланцима распада, тако да се добија информација о радиоактивном еквилибријуму (Chowdhury et al., 1982; Guibert and Schvoerer, 1991; Meakins et al., 1979; Murray et al., 1987; Murray and Aitken, 1988; Olley et al. 1997; Prescott and Hutton, 1995). И код ове техника је мерења неопходно вршити у условима ниских позадинских сметњи. Чак шта више, како би се добио прецизан и тачан одзив нискоенергетских гама линија (63,3 keV линија торијума 234 и 46,5 keV линија олова 210), потребно је употребити посебно осмишљени Ge-детектор: нискоенергетски фотонски детектор (LEPD – Low energy photon detector), или по могућству (како би се у исто време одржала добра ефикасност високоенергетских гама зрака) детектор проширеног енергетског распона (XtRa Ge детектор произвођача Canberra). Ипак, како би се скратило време бројања, веома често се користе узорци који су обликовани у такозвану Маринели геометрију, то јест облик који окружује детектор. На овом месту је потребно напоменути да је употреба Ge спектрометрије гама зрака ограничена на лабораторијска мерења услед високих трошкова и гломазне апаратуре која ову методу чини непрактичном за теренске анализе (Hossain, 2003).

6.12.2. ДИРЕКТНА ДЕТЕРМИНАЦИЈА

Термолуминесцентна дозиметрија фосфора (TLD), која је примарно била развијена за надзор нуклерних хазарда и персоналну дозиметрију, може се применити и за утврђивање алфа, бета и гама дозних стопа (Aitken, 1968, 1969; Bailiff, 1976; Bailiff and Aitken, 1980; Bowman, 1976; Mejdahl, 1978; Murray, 1981). Традиционално се користе два типа TLDs: диспрозијумски активирани калцијум флуорид ($\text{CaF}_2:\text{Dy}$) и калцијум сулфат ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$) (Aitken, 1985). Ова директна метода је веома привлачна због ниских трошкова употребе и због тога што не захтева никакву додатну електронику. Утврђивање бета и гама дозне стопе путем TLD-а се показало веома ефикасним док је у случају алфа

радијације сензитивитет мањи (Murray, 1981). Главни недостатак ове методе је што услед лошег сензитивитета, инкапсулирани TLD мора бити закопан на самом локалитету током периода од више месеци или чак читаву годину, како би се добио адекватан одзив. Међутим, са друге стране, ова процедура, иако је непрактична, има предност што нивелише сезоналне варијације у садржају воде и еманаацији радона. Аскелрод и сарадници (Akselrod et al., 1990) су увели ањонски дефицијентни алуминијум-оксид третиран угљеником ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) као материјал за термолуминесцентну дозиметрију. Они су знатно побољшали дозиметријске карактеристике Al_2O_3 инклузијом празнина са кисеоником у његову структуру. Предност јединачног $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ кристала је што поседује веома висок TL сензитивитет што га чини погодним за краткорочну експозицију у еколошкој дозиметрији (Bøtter-Jensen, 2000; Kalchgruber, 2002). Многи научници су истраживали овај материјал и открили да поседује високи сензитивитет на гама радијацију (Akselrod et al., 1993; Kitis et al., 1994; Kortov et al., 1994; Moscovitch et al., 1993a,b; Musk, 1993), бета радијацију (Brown et al., 1993) и алфа радијацију (O'Brien et al., 1993; Mukherje and Lucas, 1993). Чак шта више, поседује одзив на фотонску енергију скоро идентичну кварцу и фелдспату (Akselrod et al., 1990) што овај материјал чини нарочито погодним за примену у датирању. Ограниченост употребе у TL дозиметрији је та што загревање на вишим температурама умањује TL сензитивитет (Kortov et al., 1994). Ипак, Ботер-Јенсен је почетком 21. века открио да је емисија луминесценције посредством оптичке стимулације, више сензитивна него путем термалне стимулације (Bøtter-Jensen, 2000). Материјал се може потпуно испразнити од заробљеног набоја путем излагања дневној светлости на неколико сати, што на крају побољшава минималну детекциону границу дозиметра (Hossain, 2003).

6.13. ИНСТРУМЕНТИ ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ

Сва луминесцентна мерења презентована у овом раду, вршена су на аутоматизованим Risø TL/OSL читачима. У наредном поглављу, детаљније ће бити представљени развој и начин функционисања ових инструмената, почевши од најранијих мануелних модела па до најмодернијих аутоматизованих читача који су данас у употреби. Такође ће бити представљена инструментализација коришћена за утврђивање годишње дозне стопе методом гама спектрометрије.

6.13.1. РАЗВОЈ TL/OSL ЧИТАЧА

Главни извор инспирације за конструкцију TL апаратуре у сврху истраживања и датирања користећи кварц и фелдспат несумњиво представља почетни Оксфорд дизајн мануелног TL читача (Aitken et al, 1968). Овај нацрт је касније прихваћен као модел за дизајнирање TL читача у неколико лабораторија за датирање. Први Оксфорд TL систем се састојао од грејних трака смештених у вакуумској комори, мануелно измењивом фотомултипликаторском цеви, и електронике за конвертовање фотомултипликаторских сигнала у криве исијавања (glow curves) на рекордеру (уређају за снимање). Већ у раној фази је откривено да главни услов за избегавање лажних сигнала (оних који нису зависни од дозе), нарочито у TL мерењима ситнозрних узорака, укључује:

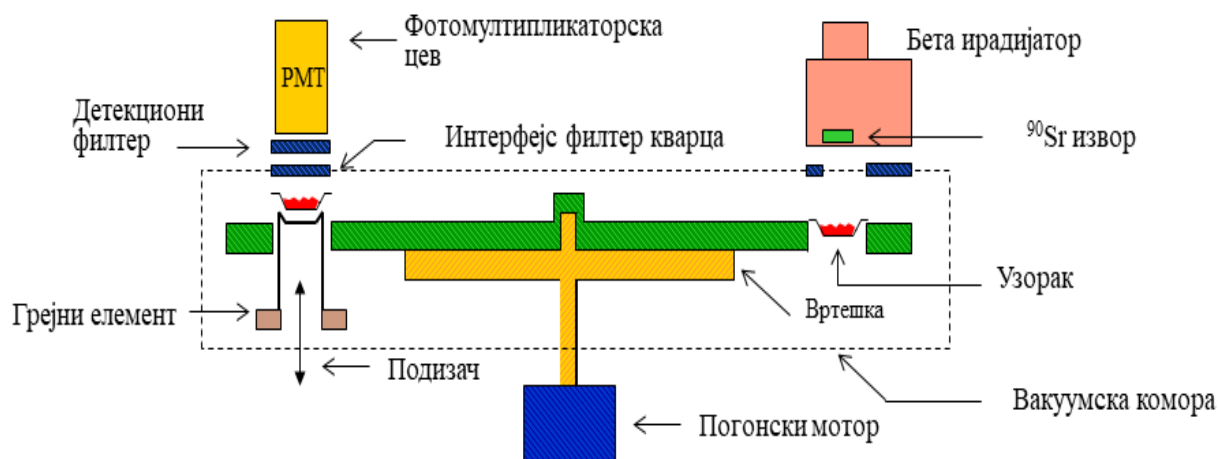
- евакуацију ваздуха (нарочито кисеоника) из коморе узорака пре ишчитавања;
- након евакуације, пуњење коморе нитрогеном пре загревања.

Оксфордски концепт је касније прихваћен и модификован како би испунио посебне захтеве од стране више истраживачких лабораторија. Почетком шездесетих година 20. века, мануелни TL системи су дизајнирани углавном за основна истраживања TL карактеристика синтетичких дозиметријских фосфора и природних материјала попут кварца и фелдспата. У каснијој фази, установљено је да је аутоматизација неопходна како би се увећао капацитет рутинских мерења. Када је касних осамдестих година 20. века почела да се користи OSL техника, Рисо (Risø) лабораторије су искористиле постојећу TL платформу за мерења чиме је створен Рисо приступ (систем) луминесцентног датирања (Bøtter-Jensen, 2000).

6.13.2. АУТОМАТИЗОВАНА TL АПАРАТУРА

Крајем шездесетих година 20. века, термолуминесцентне лабораторије су имале огроман број захтева за извођење великог броја мерења што је увећало потребу за опремом са аутоматизованим мењањем узорака у TL читачу. Аутоматизовани TL читач са планшетним шаржером узорака који је био способан да мери до 12 узорака у једној секвенци је први пут конструисан у Рисо лабораторијама (Bøtter-Jensen and Bechmann, 1968). Са оснивањем Нордијске лабораторије за TL датирање у Рисоу 1977. године, развијени су и микропроцесорски и компјутерски контролисани аутоматски TL читачи

који су могли да приме до 24 узорака и рутиски датирају велики број узорака (Bøtter-Jensen and Bundgaard, 1978; Bøtter-Jensen and Mejdahl, 1980; Bøtter-Jensen et al, 1983). Потпуно аутоматизовани Risø TL читач (модел TL-DA-8) је био први своје врсте у свету а комерцијално је постао доступан 1983 године.



Прилог 49. Шематски приказ раног модела аутоматизованог Risø TL читача (Модификовано према Bøtter-Jensen, 2000).

Овим TL читачем је управљао рачунар (најпре HP 85/86 систем а касније IBM персонални рачунари) путем пре-програмираног микропроцесорског система. Контролни софтвер је развијен најпре уз помоћ дијалогног система HP 85/86 а доцније путем секвенчног едитора (IBM-PC) који је омогућио једноставно креирање мерних секвенци које су укључивале аутоматске функције као што су бета ирадијација узорака на лицу места, предгревање и ограничено линеарно загревање. Овај софтвер је такође управљао атмосфером у комори за узорке то јест проток и пражњење азота (Прилог 49). Бета ирадијатор који је садржао стандардни Amersham 90Sr извор са максималном активности од 40 mCi је био директно постављен на шаржер узорака за аутоматски контролисану ирадијацију узорака.

Конструкција ирадијатора је била направљена од нерђајућег челика и покривена оловом како би ниво екстерне дозна стопе био на апсолутном минимуму. Бета извор 40 mCi Sr-90 обично може дати радијациону дозу од 2 Gy/min једном слоју зрна кварца или фелдспата (Bøtter-Jensen, 2000).

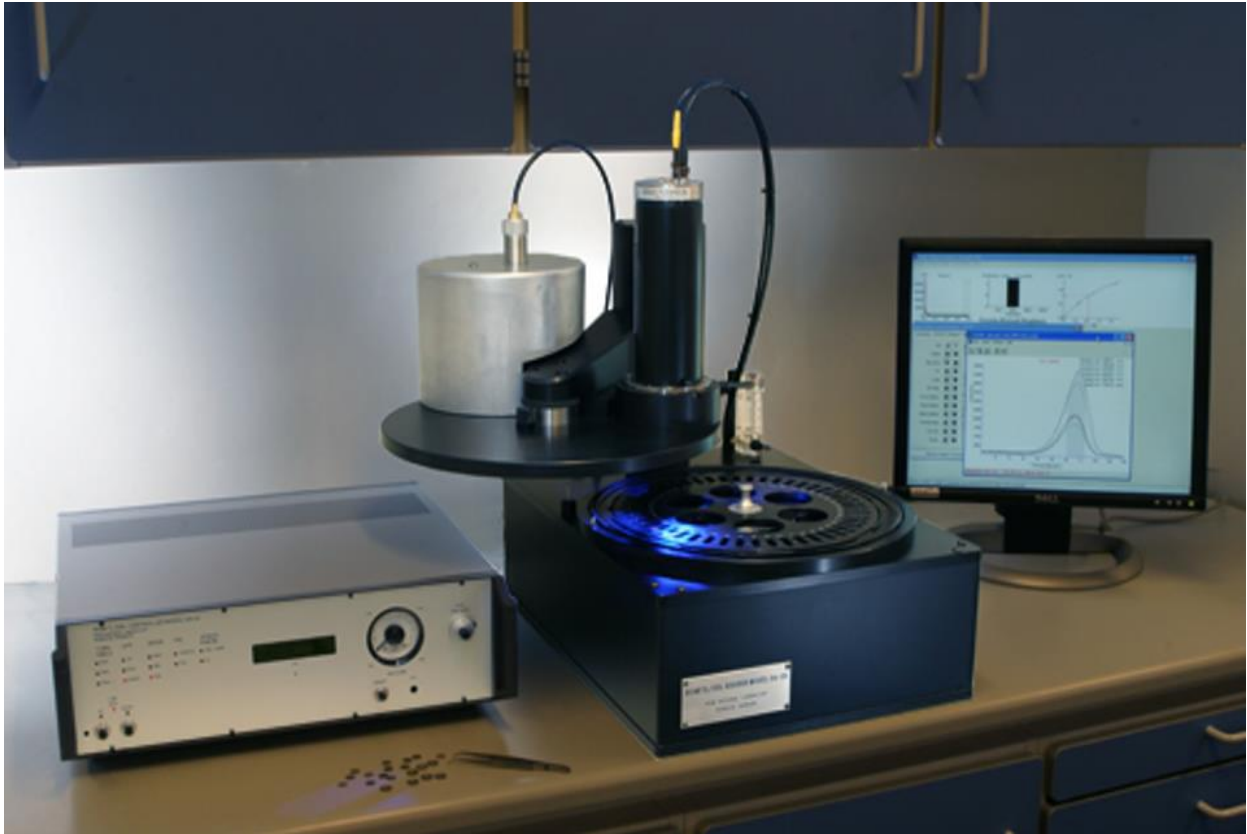
6.13.3. САВРЕМЕНИ RISØ TL/OSL ЧИТАЧИ

Као што је већ поменуто, ранији модели аутоматских читача су били базирани на програмабилним компјутерима који су управљали пре-програмираним микропроцесором. Међутим, 90-их година 20. века, одлучено је да је потребно конструисати систем који ће користити искључиво програмабилни персонални рачунар без употребе засебног микропроцесора. Ова конфигурација је користила интерфејсну картицу која је била директно прикључена на IBM компатибилни персонални рачунар. Ипак, ограничена могућност програмирања IBM AT система и раст потражње за сложенијим луминесцентним мерењима је довела до потпуног редизајнирања Рисо луминесцентних читача које је подразумевало више хардверских и софтверских особености (Markey et al, 1996; Markey et al, 1997). Ово је укључивало двобрзинске окретнице, одвојиви бета ирадијатор са вакуумским интерфејсом и берилијумским прозором и инкорпорацију мини компјутера (персоналног рачунара). Такође је развијен потпуно нови софтверски контролни систем базиран на Виндоус (WINDOWS) секвенцном едитору који је омогућавао кориснику много ширу и флексибилнију контролу над читачем.

Комбиновани TL/OSL читач је осмишљен и произведен у Рисо кампусу Данског техничког Универзитета (Risø DTU). Један од последњих модела који носи ознаку Risø TL/OSL-DA-20 представља најновију генерацију луминесцентних читача и резултат је дугогодишњег истраживања и развоја. Аутоматизовани Risø TL/OSL читач, модел TL/OSL-DA-20 је приказан у прилогу 50.

Претходни модели (Risø TL/OSL DA-12, TL/OSL DA-15) су у принципу идентични новој верзији, са тим да имају мању могућност прикључивања додатних елемената и опреме (фото камера, рендгенски ирадијациони извор, ласерски OSL систем и друго).

Треба напоменути да је тренутно у ограниченом оптицају и најновија, унапређена верзија ових читача са ознаком Risø TL/OSL reader – DASH. Овај читач се разликује по неколико карактеристика од овде описаног стандардног читача. Ова верзија између осталог поседује механизам (главу) за аутоматску промену детекционих филтера у зависности од тога који се материјал датира (кварц или фелдспат), новији, смањени модел мултипликаторске цеви, мањи бета ирадијатор као и EMCCD камеру. Међутим, и поред свих додатака, у процесу датирања, није знатно ефикаснији од стандардних читача, осим што је поједностављена промена филтера која се код осталих модела мора вршити мануелно.



Прилог 50. Аутоматизовани Risø TL/OSL читач, модел TL/OSL-DA-20 (Risø, 2017).

Рисо TL/OSL аутоматски систем мерења омогућава мерења како термолуминесценције тако и оптички стимулисане луминесценције. Капацитет овог система је 48 узорка које је могуће:

- индивидуално загревати на на температурама које се крећу од собне до 700°C
- оптички стимулисати користећи разне светлосне изворе у непрекидним таласима (CW) као и у линеарно модулираном OSL (LM-OSL) и пулсирајућем OSL (POSL) режиму
- индивидуално озрачити уз помоћ радиоактивних бета и алфа извора ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ и ^{241}Am) или мини генератора X-зрака.

Емитована луминесценција се мери помоћу светлосног детекционог система који се састоји од фотомултипликаторске цеви и одговарајућих детекционих филтера. Комору за узорке је могуће програмирати да буде у евакуисаном стању (вакуум) или да има нитрогенску атмосферу коју ствара проток нитрогена.

6.13.3.1. СВЕТЛОСНИ ДЕТЕКЦИОНИ СИСТЕМ RISØ ЧИТАЧА

Стандардна фотомултипликаторска цев коју користи Risø TL/OSL луминесцентни читач је биалкална и носи ознаку EMI 9235QA (Прилог 51).



Прилог 51. Фотомултипликаторска цев (PMT) EMI 9235QA (Risø, 2017).

Поседује проширени ултраљубичасти (UV) одзив са максималном детекционом ефикасношћу између 300 nm и 400 nm. Раздаљина између фотомултипликаторске катодe и узорка износи 55 mm што даје угао детекције од 0,4 стерадијана. Како би се спречило да расута стимулациона светлост стигне до фотомултипликаторске цеви, неопходни су детекциони филтери. Стандардни Рисо читачи су опремљени са три промењива пакета филтера: Ноуа U-340, Schott BG39 и Corning 7-59.

6.13.3.2. ТЕРМАЛНИ СТИМУЛАЦИОНИ СИСТЕМ

Термална стимулација је постиже помоћу грејног елемента који је смештен директно испод фотомултипликаторске цеви (Прилог 52). Грејни елемент у принципу има две функције: загревање изорка и подизање узорка у позицију за мерење. Грејна трака је направљена од кантала (FeCrAl), врсте легуре високо отпорне на температуру. Загревање се постиже пуштањем контролисане наизменичне струје кроз грејни елемент. Контролна

повратна информација о температури се постиже помоћу Кромел-Алумел термоелемента ниске масе који је причвршћен испод грејне траке.

Загревање је контролисано путем континуираног пуног синусоидног генератора који ради на 20 kHz.



Прилог 52. Грејач Risø TL/OSL TL/OSL-DA-20 читача (Risø, 2017).

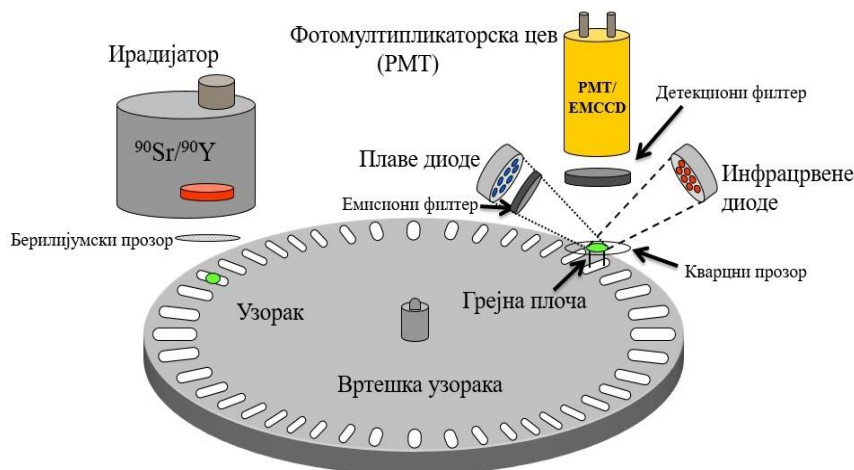
Грејни систем је способан да загрева узорке до 700°C при линеарној дозној стопи од 0,1 до 10 K/s. Грејна трака се хлади азотом који такође штити грејни систем од оксидације при високим температурама.

6.13.3.3. ОПТИЧКИ СТИМУЛАЦИОНИ СИСТЕМ

Оптичка стимулација се постиже уз помоћ низа светлећих диода (LED) које су компактне, брзе и омогућавају електронску контролу снаге илуминационе густине. Стандардни систем укључује стимулацију непрекидним таласима као и линеарно модулирану OSL стимулацију. Низ светлећих диода је опремљен повратним оптичким серво-системом како би се осигурала стабилност стимулационе јачине. Светлеће диоде су постављене у седам група од којих свака садржи 7 диода (укупно 49 светлећих диода). Размак између диода и узорка износи ~20 mm. Стандардни Risø TL/OSL читач је опремљен са два оптичка стимулациона извора:

1. Инфрацрвене (IR) светлеће диоде са емисијом од 870 nm постављене у три групе од којих свака садржи седам индивидуалних диода. Максимална снага ове 21 инфрацрвене диоде износи ~145 mW/cm² на позицији узорка.

2. Плаве светлеће диоде које емитују на 145 mW/cm^2 постављене су у четири групе од којих такође свака садржи седам индивидуалних диода. Укупна снага ових 28 диода је $\sim 50 \text{ mW/cm}^2$ на позицији узорка. Зелени филтер који пропушта дуге таласне дужине (GG-420) је постављен испред сваке групе плавих диода како би се минимализовала количина расуте плаве светлости која би могла да доспе до детекционог система.



Капацитет 48 узорака; загревање до 700°C

Прилог 53. Шематски приказ Risø TL/OSL оптичког стимулационог система. (Risø, 2017).

Интензитет стимулационе светлости је приближно 10^{18} редова величине већи од емитоване луминесценције.

Табела 9. Таласне дужине и снага LED-ова Risø читача (Према подацима Нордијске лабораторије за луминесцентно датирање)

Боја	Таласна дужина (nm)	Снага (mW/cm^2)
Плава	470	80/100
Зелена	525	25*/50
IR	870	135/175

*Опционо уместо плаве и IR

Како би било могуће измерити емитовану луминесценцију, неопходна је употреба детекционих филтера како би се расута стимулациона светлост спречила до допре до фотомултипликаторске цеви, и детекциони прозор и спектрална стимулација морају бити добро раздвојени. Стандардни Рисо читач обично укључује две различите комбинације филтера (Ноуа U-340 и плави филтер пакет који се састоји од 2 mm Schott BG 39 и 4 mm Corning 7-59 филтера).

6.13.3.4. ПУЛСНА СТИМУЛАЦИЈА И ВРЕМЕНСКИ ДЕТЕРМИНИСАНА OSL

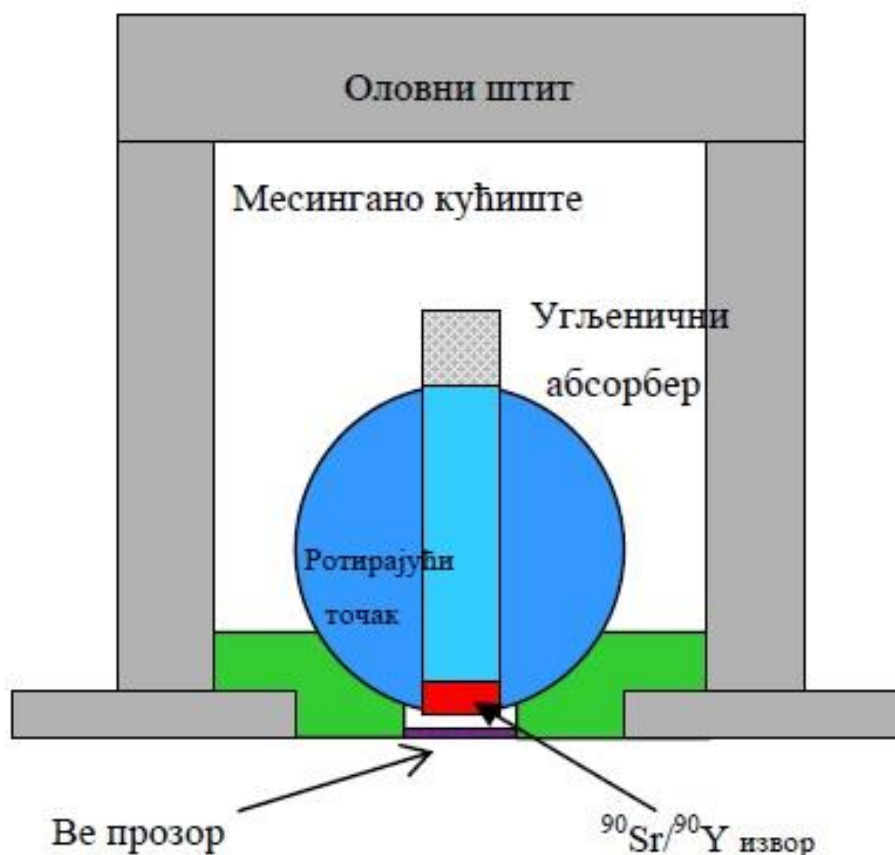
У пулној OSL (POSL), стимулационо светло је пулсирајуће и оптички стимулисана луминесценција се мери само у времену између појединачних пулсева. Рисо пулна OSL јединица представља додатак конвенционалном TL/OSL читачу који омогућава мерење пулсне оптички стимулисане луминесценције. Пулна јединица даје пуну контролу над нивоом енергије, подесиво укључено/искључено време од 0,6 μ s до 10 s и подесиво ограничавање луминесцентног сигнала током времена искључења. Рисо фотонски тајмер (Risø Photon Timer) је додатак који омогућава временски детерминисано прибављање података то јест, сваки детектовани фотон се појединачно временски обележава у односу на почетак претходног стимулационог пулса.

6.13.4. ИРАДИЈАЦИЈА (ОЗРАЧИВАЊЕ)

Ирадијација узорка се може постићи помоћу три различита радијациона извора: бета, алфа и X-зрака. Сама ирадијација је софтверски контролисана и дозвољава јединачно озрачивање (минимално ирадијационо време од 1 s).

6.13.4.1. БЕТА ИРАДИЈАЦИЈА

Уклоњиви бета ирадијатор је смештен изнад вртешке за узорке. Ирадијатор обично чини 1,48 GBq (40 mCi) $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ бета извор који емитује максималну енергију од 2,27 MeV. Дозна стопа у кварци на позицији узорка је $\sim 0,1$ Gy/s. Извор је смештен у ротирајућем точку од нерђајућег челика који је пнеуматски контролисан (Прилог 54). Раздаљина између извора и узорка износи 5 mm. Берилијумски прозор дебљине 0,125 mm је смештен између ирадијатора и мерне коморе и служи као вакуумски интерфејс.



Прилог 54. Шематски приказ пресека бета ирадијатора. Извор $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ је смештен унутар ротирајућег точака од нерђајућег челика. Извор је приказан у ирадијационој позицији. Када је извор искључен точак се ротира 180° , тако да је усмерен директно у угљенични апсорбер (Модификовано према Risø, 2017).

6.13.4.2. АЛФА ИРАДИЈАЦИЈА

Алфа ирадијатор чини MBq (290 mCi) ^{241}Am фолијски извор који у принципу представља мешовити алфа/гама емитер (Прилог 55). Доминантна алфа енергија је 5,49 MeV (85.1%) док је доминантна гама енергија 59 keV. Извор је причвршћен иза пнеуматски контролисаног поклопца. Алфа ирадијатор је опција која је интегрисана са системским поклопцем док затворена осовина омогућава функционисање ирадијатора у условима вакуума. Дозна стопа у кварцу на позицији узорка је ~ 45 mGy/s.



Прилог 55. Алфа извор ирадијације Risø читача. (Risø, 2017)

6.13.4.3. ИРАДИЈАЦИЈА X-ЗРАЦИМА

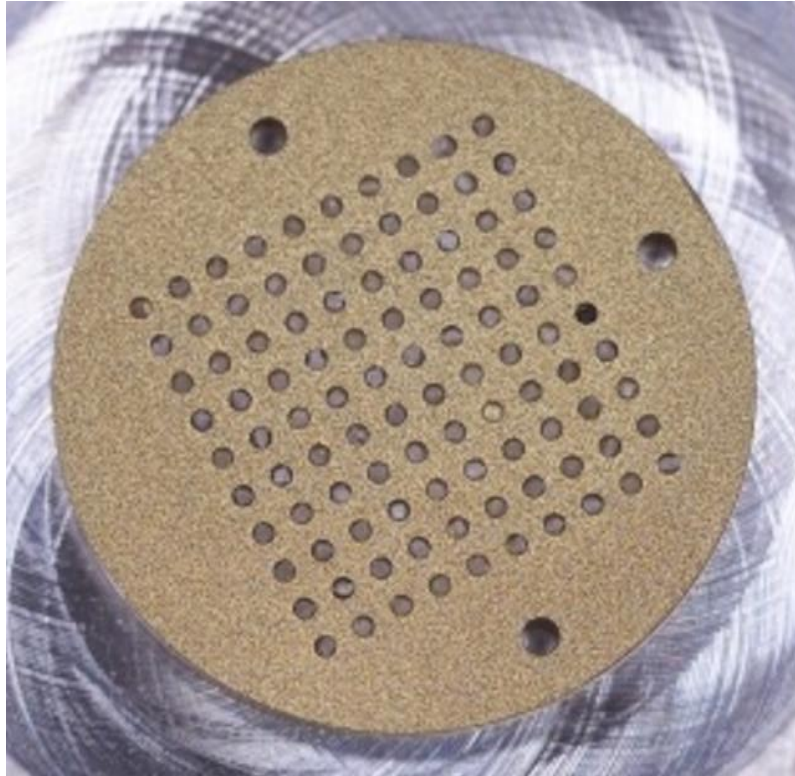
Ирадијатор са X-зрацима је влакнастог типа и носи ознаку Varian VF-50J X-ray tube (50 kV, 1 mA, 50 W). Поседује динамични домет дозне стопе од 10 mGy/s до 2 Gy/s када је причвршћен на стандардни OSL/TL читач. Механички поклопац, то јест затварач на колиматору спречава озрачивање узорка пре него што се излазни X-зраци стабилизују.

X-зраци можда представљају и најефикаснији начин озрачивања, међутим, превисока цена га чини далеко недоступнијим него стандардни бета извор тако да је економски неисплатив у већини случајева.

6.13.4.4. ФОКУСИРАНИ ЛАСЕРСКИ OSL СИСТЕМ ЗА ЈЕДИНАЧНА ЗРНА

Рисо OSL додаток за јединачна зрна омогућава рутинска мерења индивидуалних зрна минерала. Појединачна зрна се могу сместити у посебним алуминијумским

дискovima који садрже 100 рупа, дубине 300 μm и пречника 300 μm на мрежи од 10x10 са 600 μm размака између центра рупа (Прилог 56).

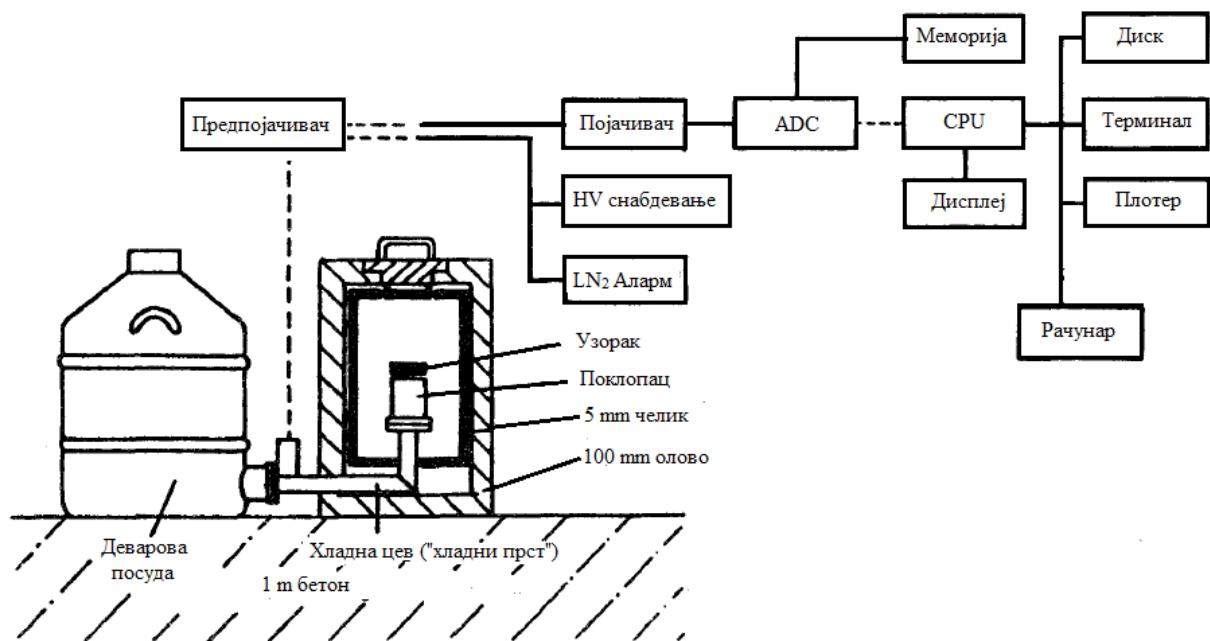


Прилог 56. Алуминујумски носач за датирање јединачних зрна (Risø, 2017).

Ирадијација и загревање се може вршити симултано на свих 100 зрна, док OSL сигнал може бити мерен одвојено за свако зрно помоћу фокусираног ласера. Стандардни стимулациони извор у додатку за јединачна зрна је 10 mWND:YVO4 ласер који емитује на 532 nm у фокусну тачку обима $<20 \mu\text{m}$. За фокусирање ласерског зрака користе се три сочива. Ласерском тачком управљају два ортогонална огледала која се произвољно могу поставити на диск.

6.13.5. ГАМА СПЕКТРОМЕТАР

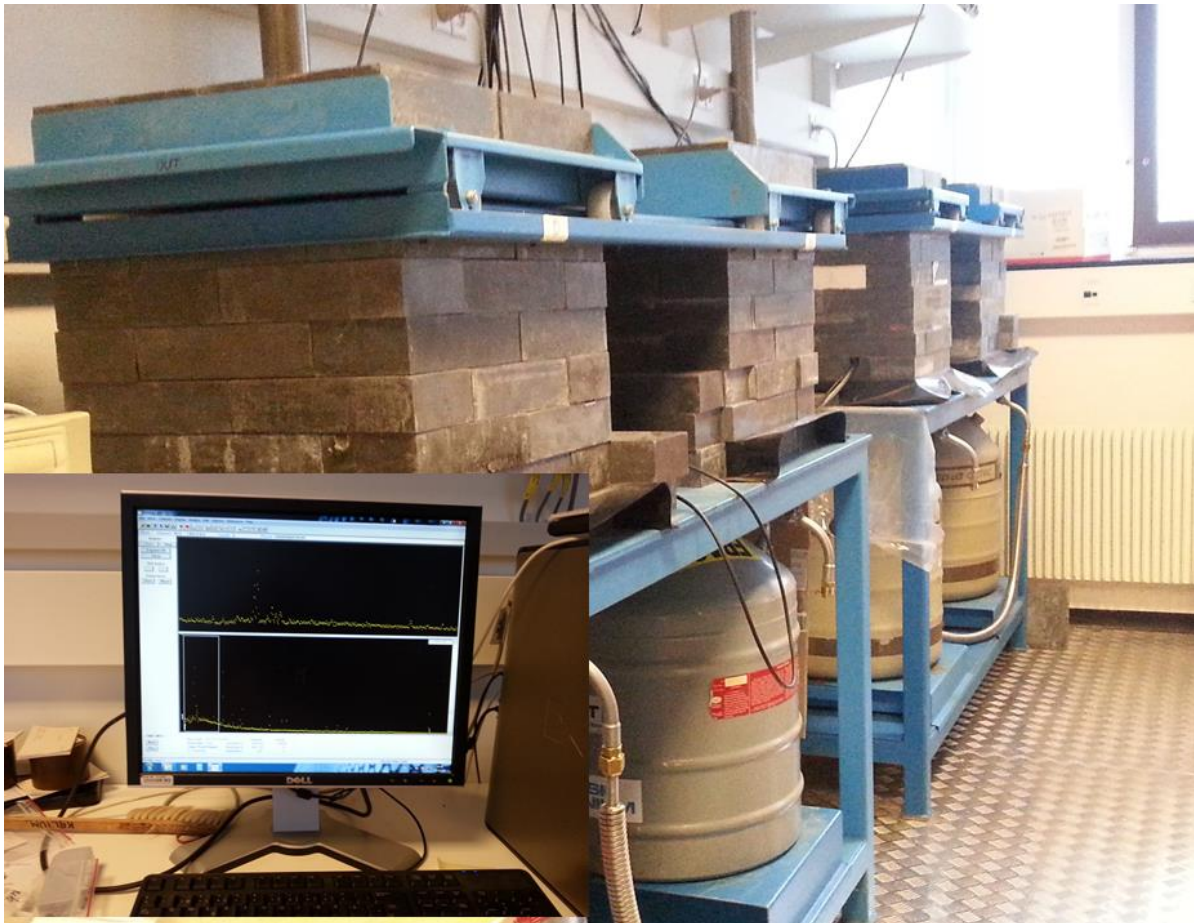
За потребе утврђивања годишње дозне стопе, у овом истраживању коришћена је техника гама спектрометрије високе резолуције. Типичан спектрометријски систем је приказан у прилогу 57 и 58.



Прилог 57. Шематски приказ типичне спектрометарске монтаже
(Модификовано према Murray et al., 1987).

Опремену која се користи у гама спектрометрији чине: енергетско осетљиви радијациони детектор, електроника која обрађује сигнале детектора, амплификатори и читачи података за генерисање, приказ и складиштење спектрума. Најчешће коришћени детектори су натријум јодид (NaI) сцинтилациони бројачи и германијумски детектори високе чистоће. У Рисо лабораторијама се користи спектрометријски систем Канбера n-типа (Canberra n-type) са детектором од чистог германијума.

Гама спектроскопски детектори су пасивни материјали који „ишчекују“ појаву гама интеракције у детекционом опсегу. Најбитнији интеракцијски механизам представљају фотоелектрични ефекат, Комптонов ефекат и продукција парова. Најпожељнији је фотоелектрични ефекат пошто апсорбује сву енергију гама зрака. Пуна енергетска апсорпција је такође могућа када се серија ових интеракционих механизма догоди унутар детекторског опсега. Када гама зрак буде подвргнут Комптоновој интеракцији или продукцији парова, и део енергије буде ослобођен из опсега детектора без да је претходно апсорбована, стопа позадине у спектруму се увећава за једну осцилацију у секунди. Ова осцилација се појављује у каналу испод канала који одговара пуној енергији гама зрака. Већи детекторски опсежи редукују овај ефекат.



Прилог 58. Гама спектрометарски систем Нордијске лабораторије за луминесцентно истраживање (Фото: Перић, 2017).

Напонски или волтажни пулс који производи детектор бива преобликован мултиканалним анализатором (Multichannel analyzer – МСА). Мултиканални анализатор узима веома слаби напонски сигнал који је произвео детектор, преобликује га у Гаусову криву или трапезоидни облик и конвертује тај сигнал у дигитални сигнал. Аналого-дигитални конвертер такође сортира пулсеве по висини. Аналого-дигитални конвертери такође поседују специфичан број „корпи“ у које се ови пулсеви могу сортирати. Ове корпе представљају канале у спектруму. Број канала се може мењати у свим савременијим гама спектрометријским системима, модификовањем софтверских или хардверских подешавања. Типичан број канала је 512, 1024, 2048, 4096, 8192, или 16384. Избор броја канала зависи од резолуције система као и енергетског опсега који се анализира (Gilmore et al., 1995). У Рисо лабораторијама се веома ретко користе вредности више од 1024 канала.

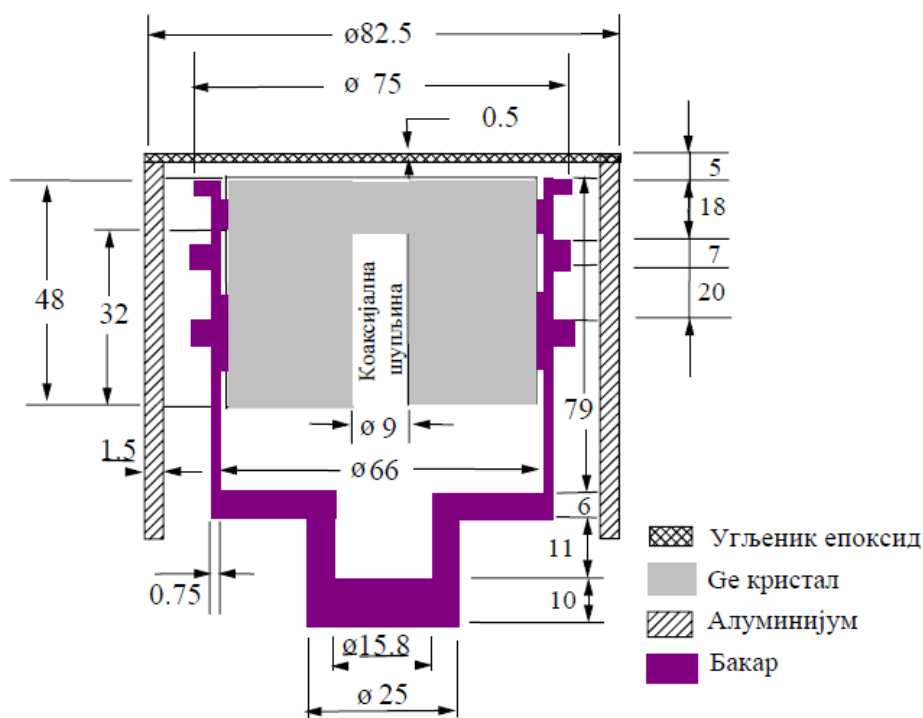
Како се у случају одређивања годишње дозне стопе анализира природни седимент углавном непознатог састава, енергетска скала гама спектрометра најпре мора бити калибрисана. Калибрација се изводи помоћу врхова који производе познати извори као

што су цезијум-137 или кобалт-60. Пошто је број канала пропорционалан енергији, скала канала се може конвертовати у енергетску скалу. Ако је позната величина кристалног детектора, могуће је извести калибрацију интензитета тако да не само енергије, већ и интензитети непознатих извора, или количина одређеног изотопа у извору, могу бити одређени. Како је радиоактивност присутна свуда, спектрум је потребно анализирати када извор није присутан. Позадинска радијација у том случају мора бити одузета од стварног мерења (Knoll, 2000).

Код Канбера система који је коришћен за утврђивање годишње дозне стопе узорака са Тителског лесног платоа, оловни апсорбери су постављени свуда око апаратуре за мерење како би се умањио допринос позадинске радијације.

6.13.5.1. ДЕТЕКЦИОНИ СИСТЕМ

За потребе одређивања годишње дозне стопе узорака са Тителског лесног платоа, коришћен је р-тип коаксијални Ge детектор (XtRa HPGe) високе чистоће и проширеног енергетског опсега са танким угљенично-епоксидним улазним прозором (0,5 mm дебљине). Овај детектор је погодан за разна мерења различитих гама линија калијума, урана, торијума и њихових потомака.



Прилог. 59. Шематски приказ детектора Берта. Димензије су дате у mm (Модификовано према Hossain, 2003).

Додатно, угљенично-епоксидни улазни прозор омогућава ефикасно мерење нискоенергетских гама зрака, као што су они на 46,5 keV које емитује ^{210}Pb (γ ^{238}U серији). Ово је веома битно, јер представља индикатор за могуће ослобађање радона у геолошком времену. Детекциони систем је опште познат под називом Берта (Bertha). Шематски приказ детектора Берта по спецификацијама произвођача Canberra, приказан је у прилогу 59.

6.14. СОФТВЕР

Како би мерне секвенце и протоколи могли функционисати на најпрецизнији могући начин, упоредо са развојем аутоматизованих читача, развијан је и управљачки софтвер као и програми за приказ и обраду добијених података.

6.14.1. УПРАВЉАЧКИ СОФТВЕР

Софтвер који се користи за управљање котролом (Mini-Sys PC) је базиран на Мајкрософт Виндоус (Microsoft Windows) програму за креирање, едитовање и извршавање мерних секвенци. Главна одлика контролерског софтвера је посебно дизајниран командни језички интерпретатор.

Sequence Editor: D:\Dokumenti\DTU reader data\Seq\M_Zoran_1.SEQ

File Edit Options Seq Control Help

↓ ↓ ↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3
Set 1	1-48		Beta 250s	Beta 125s
Set 2	1-48	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
Set 3	1-48			
Set 4	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
Set 5				
Set 6	1-48	Beta 150s	Beta 150s	Beta 150s
Set 7	1-48	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
Set 8	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
Set 9	1-48	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0
Set 10				
Set 11				

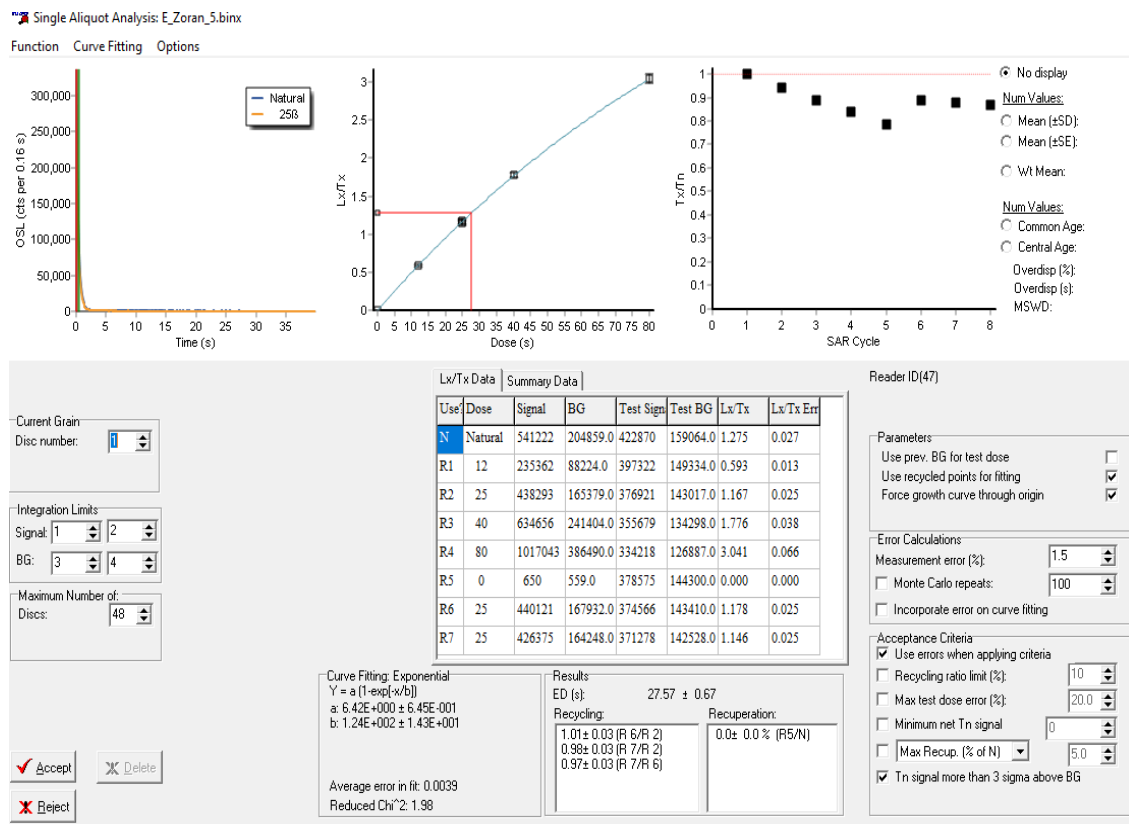
Прилог 60. Секвенци едитор са учитаном секвенцом за OSL мерење кварца.

Командни језик се састоји од око 40 наредби које омогућавају пуну контролу над хардверским системом и методама прикупљања података. Командни језик дозвољава кориснику да пише сопствене контролне програме у PASCAL-у, BASIC-у, C++ и другим програмским језицима, како би успоставио алтернативне опције мерења, поред постојећег апликативног софтвера. Секвенцни едитор (Sequence Editor) преводи команде (на пример „OSL“, „TL“, „Preheat“ (предгревање)) у команде ниског нивоа које контролер може да разуме, проверава да ли су команде заиста извршене и прикупља податке (Прилог 60). У прошлости су постојале процедуре које су биле хардверски могуће али нису могле бити изведене услед софтверских ограничења. Мини-сис (Mini-Sys) контролни систем са друге стране дозвољава потпуну слободу у експлоатацији свих могућности Рисо TL/OSL читача. Могуће је изабрати снимање до 2000 тачака података за свако мерење понаособ. Могуће је забележити до 100 тачака података у секунди уколико је потребно пребацити податке у контролни рачунар за време снимања. Уколико је податке потребно пребацити или сачувати у другом носиоцу података (USB меморија, екстерни хард диск, други рачунар), на крају процеса прибављања, онда се подаци могу снимити брзином од 200 тачака у секунди.

6.14.2. АНАЛИТИЧКИ СОФТВЕР

Рисо Аналист (Risø Analyst) је програм базиран на Виндоус оперативним системима, који је осмишљен да омогући преглед, едитовање и анализу луминесцентних података прикупљених применом Рисо аутоматизованих TL/OSL читача. Овај програм нуди велики број могућности укључујући утврђивање еквивалентне дозе. Додатна опција је да, пошто је тренутно немогуће да било који програм узме у обзир сваку вероватноћу, Аналист дозвољава извоз података у великом броју различитих формата које је затим могуће пребацити у други програм, укључујући и Ексел (Microsoft Excel). Основна структура датотеке коју Аналист користи је BINX фајл (BINX file) (Прилог 61). Овај програм је осмишљен да функционише у вези са програмом Секвенцни едитор (Sequence Editor) који се користи за покретање последње генерације аутоматизованих TL/OSL читача. Старије верзије овог софтвера су креирале BIN фајлове који су компатибилни са овом верзијом Аналиста у том случају нису увек доступне све описане опције као са BINX фајлом. Битно је напоменути да користећи овај формат, свако луминесцентно мерење се

чува у једном „запису“ („record“) који садржи не само нумеричке податке самог луминесцентног мерења већ и широк опсег додатних информација.



Прилог 61. Risø Analyst програм за преглед, едитовање и анализу луминесцентних података. У прилогу су приказани аутоматски генерисани графикони (крива опадања, крива дозног одзива и промене сензитивитета) и сумирани нумерички подаци након завршене мерне секвенце за један аликвот кварца.

Ове информације можемо поделити у три категорије:

- карактеристике узорка,
- услови мерења и
- аналитички подаци.

Неке од ових информација се аутоматски смештају у „запис“ након што их TL/OSL систем сними, док одређене информације бивају сачуване само у случају када корисник подеси њихово бележење уз помоћ сандучета „циклусне информације“ (Run Information) у Секвенцном едитору. Поједини параметри могу бити подешени само током обраде (Duller, 2016).

6.15. ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ

Пре било каквог прикупљања узорака и почетка процеса за утврђивање старости седимената, неходно је утврдити да узорци имају смислену релацију са стратиграфијом и геоморфологијом локалитета. Такође, треба узети у обзир степен важности који би резултати имали и да ли ће прецизност добијених података бити адекватна за имплементацију (Aitken, 1998). Међутим, један од најбитнијих фактора у процесу луминесцентног датирања је депозиционо изблеђивање (нулирање, ресетовање) седимената. Како би луминесцентна мерења била извршена што је прецизније могуће, ресетовање седимената морало је бити потпуно или извршено у довољној мери, како резидуални сигнал (сигнал који је преостао у минералним зрнима) не би утицао на крајње старости узорака. У случају леса и еолских седимената који су током транспорта били изложени дуго времена сунчевој светлости, вероватноћа потпуног изблеђивања је веома висока. Са друге стране, у случају седимената који су транспортовани водом вероватно је да су били изложени слабијој светлости одређених таласних дужина и веома кратко. Постоји такође могућност да је транспорт био тако кратак да је био извршен током ноћног периода. У оба ова случаја изблеђивање седимената било је непотпуно или се уопште није десило што ће на крају знатно утицати на прецизност процеса датирања. Изблеђивање након депозиције се наставља се до тренутка док не буде формиран танак слој додатног седимента. Отуда се може закључити да је догађај који се датира управо ово стварање новог слоја, то јест прекривање старијих седимената.

Процес припреме узорака за луминесцентно датирање се у принципу може поделити на две сукцесивне али ипак одвојене етапе:

1. Теренско прикупљање узорака; и
2. Лабораторијска припрема узорака.

6.15.1. ТЕРЕНСКО ПРИКУПЉАЊЕ УЗОРАКА

Обезбеђивање узорака са одређене локације за коју се жели извршити одређивање старости мора испунити три битна циља:

1. Утврђивање еквивалентне дозе;
2. Утврђивање дозне стопе; и
3. Процена садржаја влаге.

Додатно овоме, посебна пажња се мора обратити на теренске услове који би могли бити релевантни за утрђивање дозне стопе од гама зрака и космичке радијације. У ту сврху се могу обавити мерења директно на локацији или узети у обзир одређене карактеристике које могу бити релевантне за извођење дозне стопе путем лабораторијског мерења у случају гама радијације и калкулације у случају космичких зрака. Поред чињенице да је апсолутно неопходно узорковање извршити на исправан начин, препоручљиво је да лабораториски стручњаци такође изврше процену локације у договору са геонаучницима/теренским радницима. Такође треба истаћи да је потребно избегавати узорке који показују пост депозициону турбацију као што су знаци формирања земљишта, излучивање подземних вода и биотурбацију. Уз све ово, ефекти као што су компактност (сабијеност), варирање садржаја воде, формирање или транспорт глине као и излучивање радиоактивних елемената могу знатно закомпликовати процес одређивања поуздане временски просечне дозне стопе. Када је год могуће, препоручљиво је извршити прелиминарна мерења на пробним узорцима како би се избегао губитак времена и средстава на узорковање неподобног седимента. У пробне узорке би требало укључити седимент сличан ономе који се датира а који је депонован недавно или за који постоји могућност независне провере старости (Aitken, 1998).

6.15.1.1. УЗОРЦИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ

Приликом процеса узимања узорака за одређивање еквивалентне дозе на терену, од пресудне је важности да минерална зрна у овим узорцима не буду изложена дневној светлости а нарочито не директној сунчевој светлости. Свега неколико секунди изложености може бити довољно да значајно редуцира луминесцентни сигнал а самим тим и реалну старост узорка (Aitken, 1998).

Како би могућност излагања минералних зрна директној светлости била сведена на минимум, могуће је користити неколико метода узорковања од којих сваки има своје предности и недостатке. Два најчешће примењивана метода за узимање узорака за луминесцентно датирање су метода седиментних секција и језгровање (coring).

Од ова два метода најчешће се примењује метода седиментних секција, углавном због економских разлога (нема потребе за скупом механизацијом), међутим, у последњих неколико година, приметно је повећано интересовање за употребу методе језгровања, које

и поред својих недостатака, може обезбедити узорке који су прикладнији за луминесцентно датирање.

6.15.1.1.1. Метода седиментних секција

Када је год то могуће, литолошка истраживања би требало вршити на отвореним секцијама како би варијације у стратиграфији, како хоризонталне, тако и вертикалне, могле бити детаљно забележене. Пре почетка теренског рада, секцију је потребно очистити од урушеног и неконсолидованог материјала и открити свеж слој седимента. На већим секцијама, могуће је усећи степенице у урушеном материјалу или директно у зиду секције како би се обезбедила привремена радна површина али у већини случајева су неходне мердевине или конопци како би се пришло мање доступним деловима.



Прилог 62. Узимање узорака методом седиментне секције
(Фото: Ранковић, 2014).

Прва фаза анализе је пажљиво исцртавање откривене секције а препоручљиво је и детаљно фотографисање. Такође је потребно направити детаљне белешке о свим

аспектима откривене стратиграфије и утврдити промене боје између и унутар литостратиграфских јединица помоћу Манселовог каталога боја земљишта (Lowe and Walker, 1997). Један од честих приступа је узорковање током ноћи. Најпре је потребно одстранити површински слој седимента који је очигледно непрестано под утицајем сунчеве светлости, и узети слој који се налази испод њега. Узорак је затим потребно запаковати у црну, светлосно непропусну пластичну кесу како би транспорт до лабораторије био што сигурнији. Треба напоменути да није неопходно вршити узорковање током ноћи без месечине пошто је интензитет месечевог зрачења слабији од сунчевог за неколико редова величине и његов утицај је незнатан. Други приступ, који се може применити у случају консолидованог седимента је исецање коцке чије се стране (које су биле изложене светлости) одстрањују у строго контролисаним светлосним условима, и за одређивање еквивалентне дозе се користи само средиште овако узетог узорка (Aitken, 1998).

Ипак, стандардни приступ који је најчешће у употреби је метода цилиндричних PVC или цеви од нерђајућег челика. Које цеви ће се користити за узорковање зависи од тврдоће седимента али је начин потпуно исти у оба случаја (Прилог 62).

У принципу, након чишћења површинског слоја седимента, потребно је угурати или укуцати одабрану цев у вертикалну секцију седимента при чему је неопходно штитити потенцијални узорак од изложености дневној светлости. Конвенционална величина цеви је ~60 mm обима и дужине ~100 mm. Крајеве цеви је потребно затворити црном траком или одговарајућим црним поклопцима. Ипак, и поред овога, у лабораторији се неколико спољних центиметара одстрањује за случај да је дошло до нехотичне изложености, али се овај одстрањени материјал може искористити за радиоактивна мерења или одређивање порозности узорка (Aitken, 1998).

6.15.1.1.2. Метода језгровања

Мање конвенционална метода, која је коришћена за екстрактовање узорака за потребе овог рада је метода бушотине или „језгровања“. Коришћењем ове методе, узорци се обезбеђују бушењем помоћу посебних шупљих бургија у седимент (Прилог 63).

Иако је метода седиментних секција у широј употреби и већина научника радије користи овај начин узорковања, релативно мало секција је могуће пронаћи у природном, непоремећеном стању и постоје многе ситуације када је немогуће откопати експозицију из

мноштва разлога, као што су: недостатак времена, трошкови, дебљина седимента или вероватноћа спирања. Због тога је понекада неопходно прибећи методи језгровања. Постоји читав низ опреме за језгровање са различитим оперативним механизмима које су се показале мање или више успешним током процеса бушења и узимања језгра седиментних наслага (Faegri & Iversen, 1989). Најчешће коришћени типови бушилаца за језгровање мекших седимената као што су језерски седименти или тресет су обично мануелног типа, док се за тврђе материјале као што су шљунак или тилит, употребљава моторизована опрема (ротационе или перкусионе бушилице) (Lowe and Walker, 1997). У ову сврху се углавном користе механизоване ротационе дијамантске бургије са складиштем за добијени материјал. Обично је неопходан механизам који задржава цилиндрични узорак у бургији за језгровање. У зависности од околности и композиције материјала који се узоркује, потребни су различити додаци унутар алата за језгровање који ће штитити узорак до његовог извлачења на површину. Пречник језгра се може кретати у пречнику од неколико милиметара (дрво) до преко 150 mm у случају петрохемијских истраживања. Дужина узорка може бити мања од једног метра до преко 200 метара у једном циклусу (Aitken, 1998). И поред чињенице да метода језгровања даје могућност далеко прецизнијег узорковања и у континуалним секцијама, сам процес узимања језгра могу пратити бројни проблеми од којих су најчешћи:

- језгра могу бити изобличена или поремећена у току бушења услед вибрација механизације или током извлачења из коморе за узорке, нарочито онда када се ради о неконсолидованом седименту;
- потребно је обезбедити најмање два језгра на истој локацији која се преклапају јер би се могло десити да у једном језгру недостају стратиграфске јединице које су мање дебљине;
- често је веома компликовано транспортовати тешку механизацију за језгровање, нарочито на неприступачне локације а могу се јавити и логистички проблеми на терену као што су недостатак воде за хидрауличну опрему.

Ипак, и поред свих ових проблема, развој модерне механизације за језгровање је омогућио успешно бушење морских седимената, поларних ледених капа и дубокојезерских секвенци што је револуционизовало разумевање кварталних палеоеколошких записа. Како већина кварталних седиментних секвенци варира у дебљини и сложености, често је веома тешко утврдити седиментну историју одређеног локалитета уколико је обезбеђено само једно језгро. Због тога је уобичајена пракса узимање неколико бушотинских узорака (језгра)

која се обичо распоређују у пресецима како би била могућа конструкција дводимензионалног или чак тродимензионалног модела литолошке варијабилности.



Прилог 63. Узимање узорака методом језгровања
(Фото: Hambach, 2013).

Број бушотина ће зависити од истраживаног локалитета, сложености литолошке секвенце, расположивог времена за теренски рад као и логистичких могућности. Као подршка језгровању, могу се употребити технике даљинске детекције као што су сеизмичко и сонарно сондирање (Lowe and Walker, 1997).

Приликом избора локације са које је потребно узети узорке, треба имати у виду да гама зраци емитовани на удаљености до 0,3 m доприносе дозној стопи. Због тога је потребно да су узорци за еквивалентну дозу били покривени слојем најмање те дебљине, токо читавог периода закопавања.

6.15.1.2. УЗОРЦИ ЗА УТВРЂИВАЊЕ ДОЗНЕ СТОПЕ

У највећем броју случајева, није неопходно узимати посебне узорке у сврху утврђивања дозне стопе, међутим за нека постројења (бета дозиметрија, гама спектрометрија високе резолуције) потребна је већа количина од оне која је расположива од узорака за еквивалентну дозу (~1 kg). За технике као што су активација неутрона, алфа бројање и хемијске анализе, довољно је десетак грама седимента. Међутим, као што је већ поменуто, и овде треба узети у обзир сферу утицаја гама зрака. Уколико се унутар удаљености од 0,3 m од узорка за еквивалентну дозу налази различит депозициони слој или други тип материјала, пожељно је извршити мерење гама дозне стопе директно на терену. Самим тим потребно је узети узорке свих слојева унутар 0,3 m и забележити њихове тачне позиције. Ове радње у крајњем случају омогућавају приближну евалуацију гама дозне стопе путем калкулације у случајевима када се утврди неравномерност у радиоактивности (Aitken, 1998).

6.15.1.3. УЗИМАЊЕ УЗОРАКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ САДРЖАЈА ВЛАГЕ

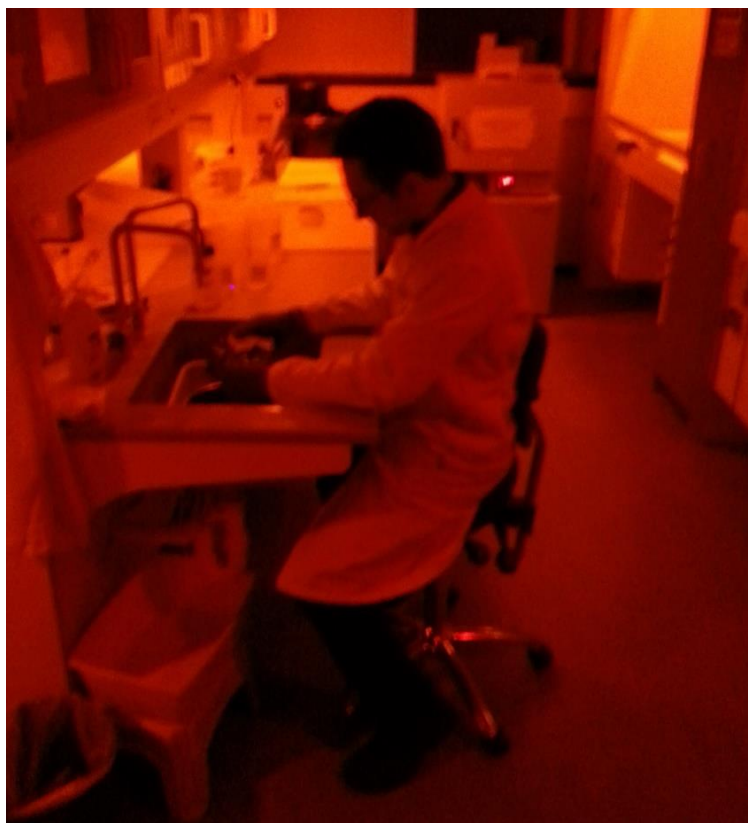
Узорак за процену садашњег садржаја влаге је потребно узети са довољно велике дубине у секцији како бе се искључила могућност исушивања и по могућству сместити седимент у мањи пластични контејнер и добро запечатити. И у овом случају је препоручљива консултација са геонаучницима о могућим варијацијама садржаја влаге у прошлости као и да ли је узорак заиста репрезентативан за садашње околности на терену, узимајући у обзир сезоналне и краткотрајне варијације. За локалитете који су у прошлости вероватно били влажнији него данас потребно је утврдити порозност како би се проценила горња граница утицаја на дозну стопу (Aitken, 1998).

6.15.2. ХЕМИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЕКВИВАЛЕНТНУ ДОЗУ

Пре вршења било каквих луминесцентних мерења, неопходно је извршити лабораторијску обраду узорака како би се добили сепарати кварца и фелдспата. Све припремне процедуре на узорцима за утврђивање еквивалентне дозе се врше под пригушеним лабораторијским осветљењем како би се избегао и најмањи губитак природног луминесцентног сигнала. У ту сврху, већина луминесцентних лабораторија користи црвено или наранџасто светло ниског интензитета које пре употребе мора бити тестирано. Издвајање адекватне фракције из узорака, то јест величине зрна, врши се или мокрим просејавањем кроз сита (Прилог 64) у случају грубљих зрна величине песка ($>63 \mu\text{m}$) или слегањем по Стоковом закону (Stokes's law) у случају ситних честица ($<63 \mu\text{m}$).

Први корак је третман раствором хлороводоничне киселине (HCl) од најчешће 10% како би се уклонили карбонати. У зависности од процента садржаја карбоната одређује се време које ће узорак провести у раствору. Узорци који немају висок садржај карбоната се остављају у HCl раствору обично 40–60 минута. Уколико узорак покаже јаку карбонатну реакцију (најчешће се јавља пенушање или врење), може се оставити у раствору на период од 24 h или употребити концентровани HCl раствор од 30%. Након што су уклоњени карбонати, узорци се третирају раствором водоник-пероксида (H_2O_2) од 10% на 40–60 минута како би се уклонила органска материја. Треба напоменути да је након сваког хемијског третмана обавезно испирање узорака дестилованом водом како би се одстранили остаци киселинских ратвора. После уклањања органске материје, узорци се третирају раствором флуоро-водоничне киселине (HF) од 10% на 40 минута како би се одстранио површински слој (око $10 \mu\text{m}$) са алфа ирадијацијом и климатским утицајима. Након ових хемијских третмана, по потреби је могуће поновити корак просејавања како би се уклонила сва зрна мање или веће гранулације из узорка. Овај корак је ретко када потребан осим у случају када се употребљава OSL техника датирања јединачних зрна (single grain OSL dating) па је пожељна прецизнија гранулација. Након прве серије хемијских припрема, грубља зрна ($>63 \mu\text{m}$) кварца и К-фелдспата се раздвајају помоћу тешких течности (содијум-хетерополиитунгстат) са густинама $2,58 \text{ g cm}^{-3}$, $2,62 \text{ g cm}^{-3}$ и $2,70 \text{ g cm}^{-3}$ (Mejdahl, 1985). Након што су добијени сепарати кварца и фелдспата, зрна кварца се третирају концентрованим HF раствором (30%) како би се разложила преостала зрна фелдспата, нарочито плагиокласа који има сличну густину као кварц па приликом сепарације тешком течношћу не одлази на површину већ остаје на дну. На крају, сепарат

кварца се још једном третира HCl раствором како би се одстранили флуориди који су се формирали током киселинске припреме узорака.



Прилог 64. Просејавање узорака у условима пригушеног црвеног осветљења (Фото: Николић, 2016).

И поред тога што постоје одређене сличности у хемијским третманима, припрема узорака мање гранулације ($<63 \mu\text{m}$) се у много чему разликује од стандардне лабораторијске процедуре за узорке који се састоје од грубљих минералних зрна. Најпре се као и у случају $>63 \mu\text{m}$ уклањају карбонати HCl раствором 10–30 %. Затим се уклања глинени омотач натријум-оксалатом ($\text{C}_2\text{Na}_2\text{O}_4$), пошто је у случају ситних узорака ово редовна појава. Следећи корак је уклањање органске материје раствором H_2O_2 од 30%. Узорци се затим просејавају како би се добила фракција од интереса (на пример 4 до $11 \mu\text{m}$). Изолована фракција се након тога оставља у води да слегне и затим се раздваја по Стоковом закону. Узорак се раздваја у два дела, од којих један садржи мешавину минерала (полиминерални узорак) и један који се даље обрађује као кварцни узорак. Како би се издвојила чиста кварцна зрна, контаминација другим минералима (нарочито фелдспатом) се уклања остављањем узорка у хексафлуоросиличну киселину (H_2SiF_6) на

3–5 дана. Овако добијени узорак се испира дестилованом водом и оставља да се осуши након чега је спреман за мерење.

У оба приступа, добијени сепарати који су спремни за мерење, постављају се на носач у облику диска или чиније. Овако припремљен узорак спреман за мерење називамо аликвот. У случају узорака крупније гранулације, зрна се причвршћују (лепе) на диск или чинију помоћу силиконског спреја, док се код узорака са финијом гранулацијом, зрна суспендују у ацетон и помоћу пипете постављају на носач (Прилог 65).



Прилог 65. Чиније (носачи) за аликвоте од нерђајућег челика (Фото: Перућ, 2016).

Дискови или чиније су израђени углавном од топлотно отпорног метала (алуминијум, нерђајући челик или молибден) пошто у току OSL мерне секвенце долази до честих термалних третмана узорака. У употреби су такође и пластичне чиније које се користе за XRF мерења (XRF – флуоресцентна спектроскопија X-зрацима) која не захтевају загревање узорака. Пречник дискова/чинија зависи од типа OSL читача који се користи. Стандард за Рисо читаче који су коришћени у овом истраживању су дискови и чиније пречника 10 mm.

6.15.3. ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ДОЗНЕ СТОПЕ

Употреба луминесценције у сврху датирања, као што је већ наведено, подразумева утврђивање две величине. Прва је укупна количина радијације коју је узорак апсорбовао током времена, почевши од догађаја који се датира па до тренутка узорковања а који се мери као D_e . Да би се одредила старост узорка у годинама, D_e је неопходно поделити радијационом дозом коју је узорак добијао сваке године, то јест, дозном стопом.

Свака техника припреме узорака мора испунити неколико критеријума као што су репродуцибилна геометрија, једноставност припреме и поуздана ретенција радона. Стандардни приступ у Рисо лабораторијама, који је такође коришћен за одређивање дозне стопе узорака са Тителског лесног платоа је метода изливања узорака у воску.



Прилог 66. Процес припреме узорака за гама спектрометрију: а) спаљивање узорка у пећи отпорној на високе температуре; б) млевење седимента у прстенастој дробилици; в) изливени узорци помешани са воском у Маринели геометрији; г) калуп у облику диска за мање узорке (Фото: Перић, 2017).

Овај поступак укључује најпре спаљивање узорка у пећи при температури од $\geq 450^{\circ}\text{C}$, на 24h како би се уклонили остаци органске материје (Прилог бб (а)). Спаљени узорак се затим мрви у фини прах ($< 200\mu\text{m}$), помоћу прстенасте дробилице (Прилог бб (б)). Овај прах се затим меша са истопљеним воском, све док се не добије компактна маса и излива у калупе облика диска или шоље (Прилог бб (в)). Који ће се калуп употребити, зависи од доступне количине узорка. Обично се при тежини узорка мањој од 80 g користе дискови (Прилог бб (г)).

Треба напоменути да се у ове сврхе током 80-их и 90-их година прошлог века уместо воска користила полиестерска смола. Ова метода је међутим брзо напуштена, највероватније због висине трошкова материјала, након што је пронађено да се за ове потребе може користити и восак, који је далеко економичнији, доступнији и лакши за употребу. Такође, још један од разлога престанка употребе полиестерске смоле и преласка на восак је што, уколико дође до грешке приликом изливања, масу је увек могуће поново истопити и поновити поступак.

Идеалан однос узорка и воска у калупу би требало да буде 70% у корист узорка. У случају када нема довољне количине узорка, додаје се већа количина воска како би се обезбедила довољна маса за изливање диска или шоље. Тада ће међутим време бројања гама детектором бити сразмерно продужено.

7. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Детаљан преглед који се бави проблематиком досадашњих истраживања леса на простору Војводине и његовим значајем за палеоклиматске и палеоеколошке реконструкције, дали су Марковић (2000), Јовановић (2000, 2005) и Гаудењи (2000, 2004, 2006, 2010), Савић (2002, 2006) и Басарин (2009, 2001). У овом поглављу биће представљена истраживања која су се бавила Тителским лесним платоом као и студије које су се односиле на развој методе луминесцентног датирања и утврђивање хронологије лесно-палеоземљишних секвенци на простору Војводине употребом ове технике.

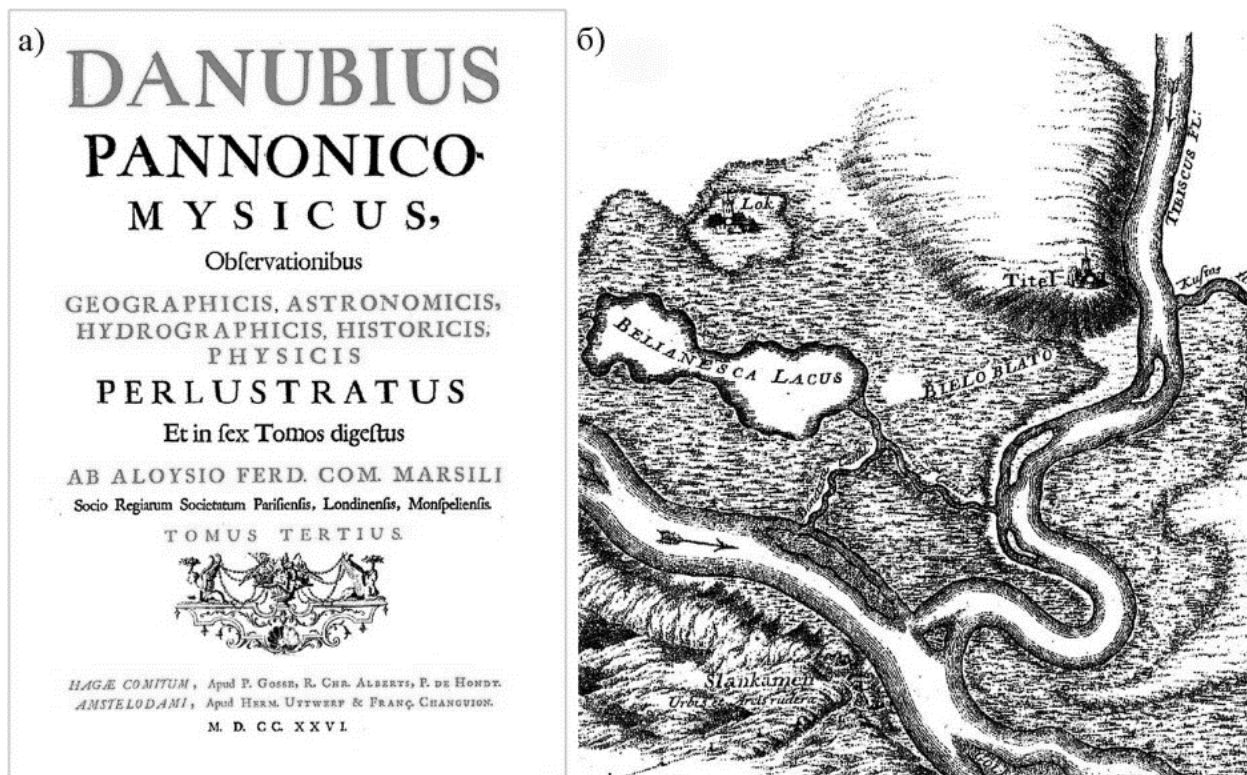
7.1. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ТИТЕЛСКОГ ЛЕСНОГ ПЛАТОА

Први описи лесно-палеоземљишних формација дунавског басена потичу из 18. века. Након своје дунавске експедиције 1694. и 1696. године., гроф Луиђи Фердинандо Марсиљи (Luigi Ferdinando Marsigli) је описао Тителски лесни плато у свом делу “*Danubius Pannonico-Mysicus. Observationibus geographicis, astronomicis, hydrographicis, historicis, physicis perlustratus*“ (Прилог 67) где је рецентно земљиште назвао *Terra fructifera pinguis nigra i cretacea* (црна плодно карбонатно тло), палеоземљиште *Terra nigra fructifera pinguis* (црна плодно тло) и лесне слојеве између њих *Terra lutosa cinerive et in fragmento cretacea priabilis* (жуто-пепељаста са карбонатним фрагментима) (Marsigli, 1726).

Након Марсиљија, аустријски геолог Волф (Wolf, 1867) описује Тителски лесни плато као један од највиших геоморфолошких облика у међуречју Дунава и Тисе. Геолошке резултате проучавања представља 1870. године, где констатује повећан садржај песка у лесу и истиче слојеве плаве глине у подини. На основу истог броја и стратиграфског положаја „смеђих зона“ износи становиште да је Тителски плато био у генетској вези са Земунско-Сланкаменским. Претпоставља да се стари ток Дунава пружа северно од платоа, и да се у њега Тиса уливалаа код Мошорина (према Гаудењи, 2010). Халавач (Halavàts, 1895) је на 50 м високим одсецима Тителског платоа уочио три „смеђе зоне“ колико их констатује и на локалитету Заград код Сланкамена. О вези са лесним

ободом Фрушке горе и правцем пружања пра-Дунава и Тисе има исто мишљење као Волф (Јовановић, 2012).

Тителски лесни плато је такође био и предмет истраживања Чолнокија (Cholnoky, 1910) који га је сматрао остатком некадашњег много пространијег лесног платоа и стога га назвао „брдом сведоком“ (Tanúhegy/Zeugenberg) (према Гаудењи, 2010).



Прилог 67. Марсиљијево дело *Danubius Pannonico-Mysicus. Observationibus geographicis, astronomicis, hydrographicis, historicis, physicis perlustratus*. а) насловна страна; б) карта Тителског лесног платоа (Marsigli, 1726).

Кратак опис Тителског брега дао је и Мита Петровић. Међутим даља, планирана истраживања су прекинута његовом смрћу (Гаудењи, 2008/2011).

Једно од најобимнијих истраживања лесних профила, у периоду пре Првог Светског рата и након тога, спровео је хрватски научник Драгутин Горјановић Крамбергер (Gorjanović-Kramberger, 1910/1912, 1914, 1921, 1922). Он је поред истраживања које је спровео на профили Земуна, лесног покривача Фрушке горе, Ердутског и Ђаковачког платоа, Вуковара, као и у сурдуку између Новог и Старог Сланкамена, описао Тителски „равњак“ и дао шематски профил од Кошевца преко Тителског платоа до Тисе. Као и Волф и Халавач, успоставља генетску везу леса Тителског платоа са фрушкогорским ободом (према Гаудењи, 2010).

У свом делу „Геоморфологија“ Јован Цвијић (1906) је најпре тврдио да су Тителски брег и Сремска лесна плоча у ближој прошлости чинили целину, а потом да ова веза није ни постојала (Гаудењи, у 2010).

Була (Bulla, 1933, 1935a, 1935b, 1968) је Тителску лесну зараван и зараван Срема наводио као једне од најпотпунијих лесних профила у јужном делу Алфелда (Јовановић, 2012).

Ласкарев је поред истраживања која је спровео на лесним профилима у околини Београда (Laskarev, 1922, 1926; Ласкарев, 1938) 1951. године објавио рад „Sur le loess des environs de Belgrade“ о стратиграфији квартарних наслага Војводине на основу артешких бунара у Зрењанину и на Тителском брегу. Позивајући се на раније студије, износи мишљење да су се слојеви са *Corbicula fluminalis* таложили на крају барске и прелазу ка мочварној фази коју је наследила фаза акумулације леса. Такође наводи да је број „смеђих зона“ 4 и 7 (према Гаудењи, 2010).

Милојевић (1948) је тврдио да Тителски лесни плато није био у генетској вези са Сремском лесном заравни. Поред скице профила код Рогулићевог салаша, описује и рељеф, морфолошке облике и литофације. Такође тврди да је акумулација леса на том простору почела док је равница још била прекривена барама и плитким језерима. Препознаје и шест фаза навејавања леса, а велику дебљину хоризоната објашњава сукобљавањем ветрова различитих праваца који су доносили лесни материјал (према Јовановић, 2012).

Букуров је у својим радовима (Букуров, 1948, 1953а,б, 1974, 1975, 1982, 1986) представљао геолошке карактеристике и геоморфолошке процесе у лесним подручјима. Његове студије су се углавном базирале на ранијим истраживањима Коха, Халавача, Буле, Марковић-Маријановићеве, Милојевића, Ласкарева и Николића. Како се више бавио Бачком него Сремом, Тителски брег је веома често био предмет његових радова. Букуров у раду о долини Тисе у Југославији даје опис Тителског брега, геолошки састав и генезу геоморфолошких чланова. У морфолошком погледу аутор је заступао Чолнокијево гледиште у питању веза са Сремском лесном заравни. На Тителском брегу Букуров је констатовао 5 смеђих зона на основу чега је закључио да су се за време навејавања леса смењивали сушни и кишни периоди. У овом раду даје једну интерпретацију плеистоцене малакофауне. У геоморфолошком приказу Војводине објављеној исте године (Букуров, 1953) даје релативно кратак приказ рељефа Војводине. Поново напомиње усамљени положај Тителског брега већ од почетка акумулације лесне прашине. У свом раду о

физичко-географским проблемима Бачке (Букуров, 1975) бавио се старошћу Тителског брега, и проблемом одсуства остатака *Corbicula fluminalisa* у слојевима са планорбисима и лемнеусима. О постанку лесних заравни износи гледиште да је начин таложења суберичног материјала везан за барометарску депресију у Панонском басену, истичући значај падавина и вегетације за формирање лесних наслага. За Тителски брег аутор тврди (Букуров, 1982, 1974) да је имао одвојену површину од Сремске и Банатске лесне заравни. У академској беседи (Букуров, 1982) са темом Синтетичка разматрања геоморфолошких проблема на територији Војводине износи своја претходна мишљања и тврди да су све лесне насlage постале на исти начин. У погледу раздвојености лесних заравни дао је тада владајућа схватања. Букуров је своје хроностратиграфско расчлањивање лесно-палеоземљишних слојева тумачио на основу палинолошких резултата Шоа (Soó) и Миланковићевог календара. У својој географској монографији општине Тител (Букуров 1986) даје сажетак претходно објављених ставова везаних за Тителски брег и општину Тител (према Гаудењи, 2010).

Јелена Марковић-Марјановић је поставила основе кварталне геологије наше земље својим радовима које је објављивала током више од пет деценија (Антонијевић, 1982 према Марковић, 2000). По њеном мишљењу, Тителски лесни плато је чинио целину са Тамишким платоом и Јужнобанатском лесном заравни (1949). У Прилогу за геолошку грађу Тителског брега (1950) представља четири попречна профила овог платоа са грађом лесних профила. Истиче значај профила Дукатар са развијеним црвеним земљиштем у подини. Уочава проблем висинског положаја барског леса на профилу Феудвар и даје објашњења ове појаве. Формирање Тителског платоа је поделила у три сукцесивне фазе. Рад о геолошкој грађи Тителског платоа (Marković-Marjanović, 1953) базира на истраживања Милојевића (1949), а код описа морфолошких облика се ослања на Малицког (Malicki, 1947). Утврђује пет смеђих зона и шест зона леса. Шематски приказ десне обале Дунава од Вуковара до Земуна са уцртаним положајима профила и бројем лесно-палеоземљишних хоризоната представља 1954. године у студији о профилу Нештин-Скелице. Поредећи овај профил са другим локалитетима, наводи да на Тителском брегу има по седам лесних и палеоземљишних хоризоната. У свом раду о распрострањењу леса у Југославији (1972) поред описа профила: Смедерево, Београд, Земун, Батајница, Сланкамен, Нештин и Тителски брег, даје и њихове корелације са профилима Чехословачке и Аустрије те са алпском стратиграфском шемом. У раду објављеном 1979. године (Marković-Marjanović, J., 1979), на основу фосилног записа и литолошких

карактеристика реконструише палеоклиматску транзицију од горњег панона до минделришког интергласијала, наводећи хоризонте који су формиран на профилима Старог Сланкамена, Батајнице, Тителског брега и Нештина (Јовановић, 2012, 66).

Резултате палеомагнетских мерења леса из оријентисаних Титела и Земуна представио је Вељовић (1975/1976). На основу 10 анализираних узорака са Тителског брега, одређена је стабилна компонента реманентне магнетизације за сваки узорак. На основу минералошког састава износи мишљење да су климатски услови на простору платоа пре или после таложења били другачији од оних у околини Земуна.

Прва истраживања иностраних научника на лесним профилима у нашој земљи почињу 60-их и 70-тих година 20. века. Најдетаљније студије су представили Бронгер (Arnt Bronger), Финк (Julius Fink), Бутрим (Jan Butrym), Марушчак (Henryk Maruszczak) (Bronger, 1969, 1971, 1975, 1976, 2003; Butrym, 1974; Fink, 1968; Зеремски и сар., 1991; Singhvi et al., 1989).

Финк је у периоду 1961–1977. година био један од најистакнутијих европских истраживача леса (Smalley et al., 2010). Након теренских истраживања лесних профила у нашој земљи, које су у организацији Јелене Марковић-Марјановић и САНУ спроведена од 6. до 10. септембра 1966. године, Финк је формирао „стандардни“ хроностратиграфски модел леса у овом делу Панонске низије (Јовановић, 2012). Такође, дао је скице профила Смедерево, батајница Нештин, Вуковар, Ердут, Сивац, Мошорин и Стари Сланкамен (Fink, 1968).

Бронгер (Bronger), немачки педолог, је обрадио значајније профиле Подунавља и на основу палеопедолошких карактеристика извршио њихову корелацију са профилима Централне Европе, Лочуан у Кини и Карамајдан у Таџикистану. Палеоклиматску реконструкцију је урадио помоћу микроморфолошке и минералошке методе (Bronger, 1970, 1972, 1975, 1976, 2003, Bronger et al. 1987).

Мартон Печи (Pécsi), мађарски геолог је између осталих, истраживао и профиле у Војводини: код Титела, Дукатар, Стари Сланкамен и Нештин (Pécsi, 1966a, 1966b). У својим каснијим радовима (Pécsi, 1993) описао је профила из Југославије (Ердут, Тител, Стари Сланкамен) и корелирао их са Бронгеровим резултатима (Bronger, 1976).

Кошћал и сарадници (Кошћал и сар., 2005) у тумачу за геоморфолошку карту 1:200.000 уз географски преглед, геолошки приказ и типове рељефа у Војводини, дају морфогенезу рељефа на основу ранијих података истраживача из Мађарске. Кошћал и

сарадници (2008) расправљају о настанку Тителског платоа, његовом развоју са освртом на климатске прилике које су тада владале.

Хронолошку корелацију војвођанског леса су представили Зеремски и сарадници (Зеремски et al., 1991) на основу истраживања профила: сурдук Дукатар, Стари Сланкамен – Чот, Батајница – Капела. Литолошки опис је урађен на основу резултата Марушчака (Maguszczak) (Јовановић, 2012). О настанку Тителског лесног платоа дискутовали су Кошћал и сарадници (2008) са нарочитим освртом на његов развој и климатске прилике које су тада владале (Јовановић, 2012).

Нову етапу у истраживању лесно-палеоземљишних секвенци покренуо је Слободан Марковић, који, у сарадњи са професором Георгом Куклом, започиње прво систематско истраживање лесно-палеоземљишних секвенци на лесном профилу Чот у Старом Сланкамену. Резултати прелиминарне истраге показали су велику сличност између лесно-палеоземљишних секвенци у Кини и локалитетима у Војводини. Даља истраживања Марковића, у сарадњи са неким од најпознатијих реномираних светских геонаучника укључили су лесне профиле Мишелук, Рума, Ириг, Петроварадин, Батајница, Стари Сланкамен, Сурдук као и Тителског лесног платоа. Ове истраге укључивале су магнетну суцептибилност, луминенценчно датирање, гранулометријске и малаколошке анализе као и рацемизацију аминокиселина. На основу ових истрага, добијен је велики број значајних података а резултати су објављени у најзначајнијим научним часописима. Спроведене истраге и анализе упућују на закључак да су у последњих 150.000 година у овим областима, палеоеколошки услови били ариднији него у другим деловима Панонске низије.

Тителски лесни плато је између осталог био предмет истраживања и Басарин (2011). На основу нових резултата магнетне суцептибилности доњег дела профила Чот и Тителског лесног профила (Јовановић и сар., 2008), као и палеомагнетских истраживања (Јовановић, 2012; Marković et al., 2011) врши идентификацију Миланковићевих циклуса у лесно-палеоземљишним секвенцама Војводине и формира астрономски калибрисану геохронолошку скалу за период последњих око милион година (Јовановић, 2012).

Нове резултате магнетне суцептибилности профила Тителског лесног платоа дали су Јовановић и сарадници (Јовановић и сар., 2008/2011b; 2010; Jovanović et al., 2008a,b, 2009a,b) на основу којих је формирана савремена стратиграфија (Јовановић, 2012).

7.2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ФЕНОМЕНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЈЕ И ЛУМИНЕСЦЕНТНОГ ДАТИРАЊА

За разлику од метода као што су радиоактивни угљеник, уранске серије и сличне, технике базиране на луминесценцији изузетно добро користе феномене од којих су неки видљиви и голим оком. Биолуминесценција је најубичајенија од њих, и постоје референце у кинеској литератури још од пре две хиљаде године, где се између осталог описују свици. Друге варијанте биолуминесценције представљају светлећи црви, фосфоресценција мора, а као нарочито интересантна појава издвајају се луминесцентне бактерије које се хране људским лешевима који су остављени несахрањени на бојном пољу због чега се у кинеским легендама помињу као „ђавоља светла из дивљине“. Много битнија за методу оптичког датирања је такозвана „хладна светлост“ коју емитују поједини драгуљи и камење. Израз „хладна“ се у овом случају односи на појаву емисије при температури нижој од потребне за црвено усијање или услед неког другог агенса који не подразумева загревање. Опис луминесцентних рубина појављује се у радовима Аристотела и Плинија, пре више од 2000 година. Међутим, прва доказана појава хладне светлости из чврстих материјала је новијег датума. Један од ранијих описа је оставио Винћенцо Каскиароло (Vincenzo Casciarolo) италијански обућар из Болоње који се такође бавио алхемијом. Године 1603. он је утврдио да баријум сулфат након калцификације упија светлост дана и испушта је касније, када падне ноћ. Овај опис се наравно односио на фосфоресценцију, а не брзу флуоресценцију која се примарно користи као сигнал за датирање. Постоји такође прича о Катерини од Арагона (Catherine of Aragon, 1485–1536), краљици Енглеске, која је наводно носила прстен са каменом, вероватно дијамантом, који је одавао луминесцентну светлост по ноћи (Harvey 1957).

Прва озбиљнија научна истраживања луминесценције су започела средином 17. века. Роберт Бојл (Robert Boyle) је 1663. године поднео извештај Краљевском друштву Лондона о разним врстама луминесценције коју је могао емитовати карбанкл (carbuncle), један од варијетета дијаманта који је имао особину одавања хладног светла. У вези са термолуминесценцијом он је приметио: „Такође сам код њега изазвао једну врсту искричаве светлости тако што сам га понео са собом у кревет и држао га добар период времена на топлом делу мог наог тела“. Даљи коментар помиње да је дијамант био екстремно осетљив јер: „као што знате, моја конституција није баш највредија“. Ускоро је међутим постало опште познато да је за природне узорке некарактеристично да емитују

при тако ниским температурама и да је објашњење за ову појаву био могући недавни фототрансфер (Aitken, 1998). Спознаја да је боја емитованог светла, било да је стимулирана топлотом, ултраљубичастим или електронским „бомбардовањем“, специфична за минерал и његове нечистоће или инклузије, довела је до употребе у геологији.



*Прилог 68. Роберт Бојл.
(Wellcome Library, London).*

Средином двадесетог века, након развоја фотомултипликатора као веома осетљивог детектора светлости, дошло је до проналаска великог броја додатних апликација од којих су најбитније биле:

- истраживање кристалне структуре и дефеката,
- метеоритска и лунарна истраживања,

- мерења изложености нуклеарној радијацији (дозиметрија),
- датирање археолошке грнчарије и паљеног кремена,
- аутентификација уметничке керамике и
- датирање квартарних калцита и седимената.

Важније референце укључују истраживања Кири (Curie, 1960), Леверанца (Leverenz, 1968), Мек Дугала (McDougall, 1968), Мек Кивера (McKeever, 1985), Маршала (Marshall, 1988) и Еиткена (Aitken, 1985, 1997).

Термолуминесценција је била једина луминесцентна техника која је коришћена у сврху датирања све до 1980. године када су Угумори и Икеја (Ugumori and Ikeya, 1980) након истраживања ултраљубичасте стимулације на калциту, предложили да се ласерски индукована луминесценција може користити за археолошко датирање. Овај приступ до тада није значајније узиман у обзир а један од разлога је и тај што калцит не ресетује лако приликом излагања дневној светлости. Из овог разлога би ова техника била непримењива за датирање седимената. Први доказ да се депозициона старост седимента може задовољавајуће прецизно одредити путем стимулације видљивом светлошћу, представљен је на Департману за физику на Универзитету Сајмон Фрејзер у Британској Колумбији (Department of Physics at Simon Fraser University, British Columbia) (Huntley et al., 1985) где је у ове сврхе употребљен зелени ласерски зрак. Након ласерског, касније се почело са употребом и других извора зелене светлости. Коначно је у овом периоду на Естонијском институту за геологију у Талину откривено да се инфрацрвена светлост може ефективно користити за датирање фелдспата (Hütt et al., 1988).

Оптичко датирање је у данашње време у широкој употреби у археологији и квартарној геологији у више лабораторија широм света. Оптичко датирање седимената је логичан резултат развоја након употребе термолуминесценције у ову сврху, које је у бившем Совјетском Савезу иницирао Морозов (1968), док су у осталом делу Света истраживања обављали Винтл и Хантли (Wintle and Huntley, 1979; 1980). Важни резултати истраживања из области термолуминесценције као и оптички стимулисане луминесценције представљени су у радовима Бергера (Berger, 1986; 1988; 1995), Формана (Forman, 1989), Далера (Duller, 1996), Сингвија и Мејдала (Singhvi and Mejdahl, 1985), Винтла (Wintle, 1990; 1993) и Целера и Вагнера (Zöller and Wagner, 1990). Текућа истраживања су објављивана у већем броју научних часописа, пре свега у *Ancient TL*, *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)*, *Radiation Measurements* и *Radiation Protection Dosimetry* (Aitken, 1998).

7.3. ДОСАДАШЊА ЛУМИНЕСЦЕНТНА ДАТИРАЊА ЛЕСНИХ ПРОФИЛА У ВОЈВОДИНИ

Прво термолуминесцентно (TL) апсолутно датирање лесно-палеоземљишних секвенци у Војводини обавили су Сингви и сарадници (Singvi et al.) (1989) и Бутрим и сарадници (Butrym et al.) (1991). Сингви и сарадници (Singhvi et al., 1989) су у сугестији за ревизију хронологије лесно-палеоземљишних секвенци Потисја и Подунавља у Панонском басену анализирали 11 профила од којих су два била са Тителског брега (Мошорин – сурдук Дукатар и Лок) применом термолуминесцентне методе. Данас је познато да је мало вероватно да се уз помоћ ових TL методолошких приступа може доћи до прецизних резултата (Muray and Wintle, 2006) али су у оно време објављени резултати условили значајне накнадне ревизије претходних стратиграфских модела (e.g. Bronger, 2003).

Бутрим је поред давања описа профила Стари Слакамен – Чот (Butrym, 1974), формирао и стратиграфију лесних профила у нашој земљи на основу методе термолуминесценције (Butrym et al., 1991).

Зеремски и сарадници (Зеремски et al., 1991) су литолошки опис обрађених профила (сурдук Дукатар, Стари Сланкамен – Чот, Батајница – Капела) урадили на основу резултата Марушчака (Maruszczak), а TL датације према Бутриму (Butrym). Аутори су утврдили да се резултати датирања 46 узорака са три профила у Војводини у потпуности подударују са резултатима 10 узорака које су датирали Сингви и сарадници (Singhvi et al., 1989).

Бронгер је у својој последњој студији везаној за лес Панонског басена (Bronger, 2003) извршио и корелацију са MIS периодима ослањајући се на раније резултате TL датирања, које је добио са својим сарадницима (Bronger et al., 1987).

У последње време је широко коришћена техника инфрацрвено стимулисане луминесценце (IRSL) у сврху њене примене на последњу глацијалну лесну хронологију лесних секвенци у Војводини (Marković et al., 2007, 2008; Fuchs et al., 2008; Antoine et al., 2009; Vokhorst et al., 2009). Ипак, остаје питање до које мере ефекти сигналне нестабилности фелдспата утичу на ове резултате (Roberts, 2008).

Недавно су Шмит и сарадници (Schmidt et al.) (2010) и Стивенс и сарадници (Stevens et al.) (2011) применили кварцну оптички стимулисану луминесценцу (OSL) и

полиминералне пост-IR IRSL технике датирања како би превазишли ова питања и утврдили прецизнију хронологију последња два глацијална циклуса.

Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) извршили су анализу лесно-палеоземљишних секвенци у Црвенки, при чему су дали оригиналан допринос унапређењу методологије луминесцентног датирања. Анализа палеоклиматског архива последњег глацијално-интерглацијалног циклуса применом оптички стимулисане луминесценције и инфра-црвене стимулисане луминесценције послужила је за конструкцију временског модела који је примењен ради независног успостављања реконструкције климатских показатеља и стопа седиментације које су забележене на другим лесним локалитетима у Карпатском (Панонском) басену (Лукић, 2015).

Радови изложени од стране Мареја и сарадника (Murray et al., 2014) као и Тимар-Габор и сарадника (Timar-Gabor et al. 2014) такође представљају значајне доприносе у погледу унапређења методологије луминесцентног датирања за лесно-палеоземљишни профил у Старом Сланкамену, односно Орловату. Резултати ових истраживања указују да је лесна јединица V-L2 у Старом Сланкамену акумулирана током MIS 6, док ерозивни хоризонт између јединица V-L2 и V-L3 има старост од најмање ~170 ka. На основу датација педокомплекс V-S1 корелира са MIS 5 периодом. Такође је утврђено да су лесна јединица V-L3, као и палеоземљишта V-S3, V-S4 и V-S5 знатно старији него што су претходне студије показале (~250 ka). На основу примењених луминесцентних метода на профилу у Орловату (Тамишки лесни плато) констатовано је да постоје разлике у датацијама између лесних седимената који се одликују финозрнастом структуром и оних који имају грубљу фракцију (Timar-Gabor et al. 2014).

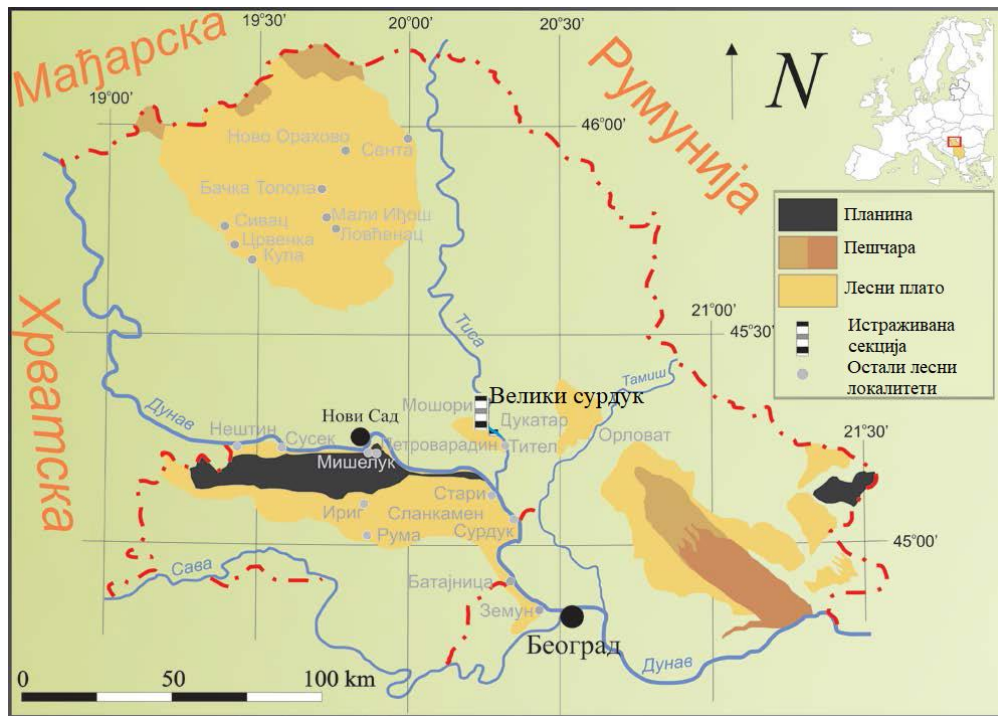
8. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Пре самог поступка лабораторијске припреме узорака и луминесцентног датирања извршено је теренско истраживање и узимање узорака. Предмет овог рада је секција Велики Сурдук на Тителском лесном платоу, који се сматра једним од најкомплетнијих палеоклиматских архива у Србији и Европи.

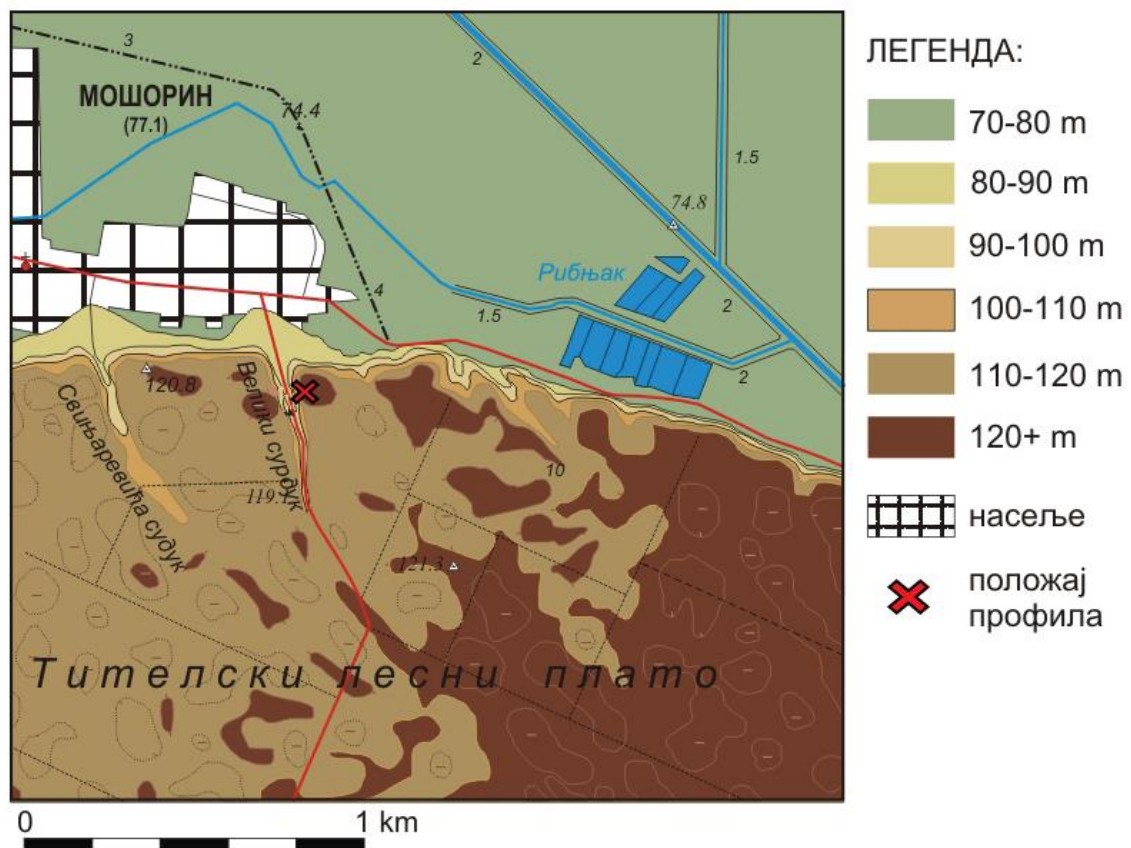
Истраживање профила Велики сурдук започело је у априлу 2013. године. Теренска истраживања су укључивала детаљан опис лесно-палеоземљишне секвенце Велики сурдук и узимање језгра за луминесцентно датирање. Добијено језгро је послато у луминесцентну лабораторију Катедре за физичку географију, Универзитета у Бајроту (Laboratory for palaeo- and enviromagnetism at the Chair of Geomorphology, University of Bayreuth) где је у децембру 2015. године извршена подела језгра и издвајање субузорака. Након тога, добијени узорци су отпремљени у Нордијску лабораторију за луминесцентно датирање у Рисо кампусу у Роскилди, Данска (Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Risø Campus, Roskilde, Denmark) где су у периоду фебруар–јун 2016. године и децембар 2016.–јун 2017. године, извршене хемијске припреме узорака и луминесцентна мерења.

8.1. ОПИС ЛОКАЛИТЕТА

Секција Велики сурдук, налази се на $\lambda=45^{\circ}17'18''$, и $\phi=20^{\circ}12'15''$, на 120 m надморске висине, североисточно од насеља Мошорин (Карта 5). Ова секција представља почетак главне путне везе између овог насеља и Титела. Сурдук има дужину од 890 m, док му максимална ширина износи 75 m. Стране сурдука се налазе на 115-119 m. На самом улазу у сурдук са мошоринске стране, на његовој западној страни налази се одсек висине 29 m (Јовановић, 2012). Овај локалитет је изабран због изузетно развијеног другог лесног хоризонта, који овде достиже 8,5 m и тако представља најмоћнију акумулацију леса из претпоследњег глацијала на простору Европе. На овом локалитету поред рецентног земљишта V-S0 откривена су и три најмлађа лесна хоризонта V-L1, V-L2 и V-L3. Лесни хоризонти раздвојени су педокомплексима V-S1, V-S2 и V-S3. Предмет истраживања овог рада су били лесни хоризонти V-L1, V-L2 и педокомплекси V-S1, V-S2 који покривају последња два глацијално интергласијална циклуса.



Карта 5. Положај важнијих лесних профила на простору Војводине са означеним секцијама истраживаном у овом раду (модификовано према Marković et al., 2004a, 2005, 2006, 2007, 2008, 2012, 2014)



Карта 6. Положај Великог сурдука у Мошорину (Извор: 1:25.000, Зрењанин 1–4, ВГИ, 1996).

Значај овог профила је препознат пре више од пола века, када га је Марковић-Марјановић уврстила у локалитете који би били посећени током екскурзије за учеснике IV INQUA конференције која је требала бити одржана у Будимпешти, 1949. године (Марковић-Марјановић, 1950; Јовановић и Гаудењи, 2008).

8.2. Припрема профила и узимање узорака за лабораторијске анализе

Након одабира одговарајућег профила, правилна припрема за описивање и узорковање је од изузетног значаја како би се обезбедили валидни и репрезентативни резултати. Како је скоро свака секција константно изложена атмосферским утицајима, услед спирања и одроњавања на површини профила су најчешће створени делуввијално-колувијални застори који у појединим случајевима могу достићи дебљине од неколико метара и утицати на прецизност резултата добијених спровођењем луминесцентних мерења. Због тога је потребно обезбедити рад на профилу у *in-situ* материјалу, добро углачаном и довољно широком да би се на њему могла уочити смена хоризоната, нарочито у палеоземљиштима, а затим и све остале специфичне педолошке творевине (Јовановић, 2012).

Међутим, овај поступак је у случају луминесцентног датирања од значаја само ако се за узимање узорака примењује метода седиментних секција (за детаљни приказ метода видети поглавље 6.15.1.). Како су узорци за потребе овог рада обезбеђени мање конвенционалном методом језгровања, поступак припреме профила је био донекле другачији. Пошто се узорци не узимају са спољне стране зида, није потребно претходно чишћење делуввијално-колувијалних застора. Лице профила се у принципу истражује једино у сврху одабира адекватне локације за бушење језгра, како би се осигарало да је секција довољне дебљине, да покрива геолошки период од интереса, да је довољно континуална и да је седимент у довољној мери консолидован. Након утврђивања подобности профила за језгровање, одабран је терен на врху профила који је приступачан за транспорт механизације и на коме је било могуће несметано обавити бушења.

Како би се обезбедиле детаљне стратиграфске, климатске и хронолошке информације са Тителског лесног платоа, избушена су два језгра на северном делу платоа, у близини насеља Мошорин (Прилози 69 и 70).

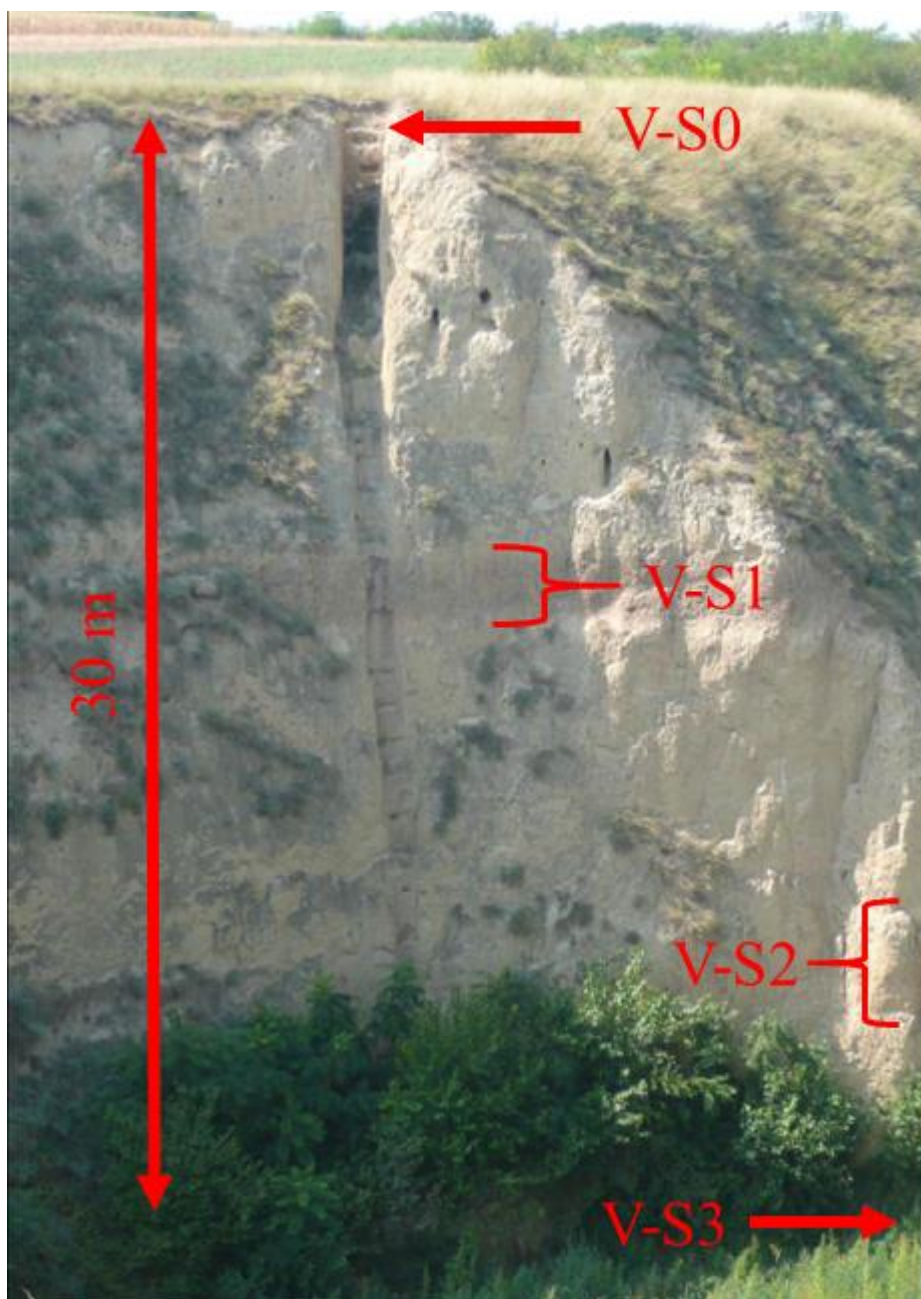


Прилог 69. Локација језгровања на секцији Велики сурдук (Фото: Перић, 2016).



Прилог 70. Језгровање на секцији Велики сурдук (Фото: Натвасх, 2013).

Прво језгро означено као TLP 1 је избушено до дубине од 22,93 m, док је друго језгро са ознаком TLP 1A избушено до дубине од 21,42 m. Језгра су избушена једно поред другог (~50 cm удаљености) у континуалним секцијама од ~1 m, (са размаком од ≤ 2 cm између појединачних секција) и покривају приближно исту стратиграфску дубину (Прилог 71).



Прилог 71. Стратиграфске јединице секције Велики сурдук на Тителском лесном платоу (Фото: Hambach, 2013).

Друго језгро је избушено за потребе луминесцентних мерења како би се обезбедили резервни узорци у случају да се испостави да је материјал из прве бушотине неадекватан за лабораторијске анализе.



Прилог 72. Унутрашњост екстрахованог језгра TLP 1
(Фото: Hambach, 2013).

Језгра су затим подељена по дужини на два приближно једнака дела. Једна половина је била намењена за луминесцентно датирање а друга за седиментолошка, геохемијска и палеомагнетна испитивања (Прилог 72). Луминесцентно узорковање за одређивање еквивалентне дозе је извршено у континуалним секцијама дужине 13–15 cm у оба језгра. Узорци за одређивање дозне стопе путем гама спектрометрије су узети у сегментима од по 3 cm са оба краја сваког узорка (6 cm укупно) за луминесцентно датирање. Узорковање је обављено у луминесцентној лабораторији Баварског института Универзитета у Бајројту, у условима пригушеног црвено-наранџастог светла. Из језгра са ознаком TLP1, добијено је 99 узорака за потребе одређивања еквивалентне дозе и исти одговарајући број узорака за мерења дозне стопе, док је из језгра са ознаком TLP 1A, добијено 89 узорака.

8.3. ЛАБОРАТОРИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ЕКВИВАЛЕНТНУ ДОЗУ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕТАЉИ

За потребе датирања узорака са Тителског лесног платоа, одабрана је гранулација 63-90 μm . Зрна ове величине су се показала као најпогоднија за издвајање и дала су довољно материјала у већини узорака. Фракција 63–90 μm је издвојена мокрим просејавањем кроз сита са мрежом од 90 и 63 μm . Гранулација >90 μm и >63 μm је такође сачувана за случај да добијени материјал одабране фракције 63–90 μm није погодан за датирање или га не буде у довољној количини.

Хемијска припрема 63–90 μm сепарата природних узорака је подразумевала:

- третман раствором хлороводоничне киселине (HCl) од 10% на 60 минута како би се одстранили карбонати;
- третман раствором водоник-пероксида (H₂O₂) од 10% на 60 минута како би се одстранила органска материја;
- третман раствором флуоро-водоничне киселине (HF) од 10% на 40 минута како би се одстрио површински слој са бета ирадијацијом и климатским утицајима, и
- третман на 40 минута раствором хлороводоничне киселине од 10% како би се уклонили флуориди.

Након сваке од претходних припрема, узорци су испирани најмање три пута дестилованом водом како би се уклонили остаци хемијских раствора и припремили за следећи третман. Као што је већ напоменуто, уколико узорци покажу јаку реакцију на карбонате обично се остављају у HCl раствору на 24 сата или се потапају у концентровани HCl од 30%. У случају узорака са Тителског лесног платоа, није било потребе за додатним HCl третманом, пошто није примећена појачана карбонатна реакција.

Материјал добијен након ових третмана је раздвојен помоћу содијум-хетерополитунгстата раствореног у води (густина 2,58 g cm⁻³; LST ‘брзоплутајући’) како би се обезбедиле фракције кварца и фелдспата (полиминерала). Након тога је изолована фракција кварца третирана концентрованим HF-ом од 30% на 20 минута у сврху уклањања могуће преостале контаминације фелдспатима. Минерални сепарати су за потребе мерења помоћу силиконског спреја постављени на чиније од нерђајућег челика пречника 10 mm, у облику великих аликвота (Прилог 73).



Прилог 73. Аликвоти кварца у читачу, спремни за мерење (Фото: Перић, 2017).

8.3.1. ЛАБОРАТОРИЈСКА ПРИПРЕМА УЗОРАКА ЗА ДОЗНУ СТОПУ

Материјал за калкулацију дозне стопе је након мерења тежине у влажном стању, остављен у пећи на сушење 24–48 сати при температури од 50°C, да би се затим измерила његова тежина у сувом стању. Након тога, извршено је спаљивање материјала у пећи при температури од 450°C током 24 сата, како би се одстранили остаци органске материје. Спаљени материјал је након мерења измрвљен на гранулацију од <math><200\ \mu\text{m}</math>, и изливен у воску како би се задржао радон. Добијени материјал је био довољан за изливање чврстих узорка у облику диска (~30 g сувог узорка).

Дискови су затим складиштени на временски период од >3 недеље, како би се омогућило да ^{222}Rn изгради еквилибријум са ^{226}Ra (Murray et al., 1987). Коначно, анализа је урађена путем гама спектрометрије високе резолуције (види поглавља 6.12.1. и 6.15.3.) у трајању >24 сата. Концентрација радионуклида је конвертована у суве дозне стопе помоћу конверзионог фактора Гуерина и сарадника (Guérin et al., 2011).

8.3.2. ДЕТАЉИ ПРОТОКОЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ДОЗЕ

За спроведена луминесцентна мерења узорака коришћено је више Risø TL/OSL читача: TL/OSL DA-12, TL/OSL DA-15, TL/OSL DA-20 и TL/OSL-DASH опремљених калибрисаним $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ бета изворима. Дозне стопе читача су се кретале у распону од 0,051 Gy/s до 0,24852 Gy/s у зависности од бета извора и супстрата. За стимулацију кварца коришћени су плави (470 nm; $\sim 80 \text{ mW cm}^{-2}$) LED-ови, где је OSL сигнал детектован кроз U-340 стаклени филтер дебљине 7 mm. Узорци кварца су у сврху луминесцентних мерења постављени на чиније од нерђајућег челика и осигурани силиконским спрејом.

За детерминацију De вредности кварца, коришћен је стандардни регенеративни протокол јединачног аликвота (SAR) (Murray and Wintle, 2000, 2003) са температуром предгревања од 260°C на 10 s и прекидним загревањем на температури од 220°C (за детаље видети поглавље 6.11.2.2.). Иницијалних 0,8 s кварцне OSL криве опадања, минус позадине од следећих 0,8 s је коришћено за калкулацију (рана позадинска субтракција; Cunningham and Wallinga, 2010). Вредност тестне дозе је при свим мерењима кварца износила једну трећину претпостављене вредности природне дозе. Као тачка рецикловања у већини случајева је примењивана прва, најнижа доза протокола. Примењени SAR протокол приказан је у табели 10.

Табела 10. Примењени SAR протокол за мерење кварцих узорака.

КОРАК	ТРЕТМАН	ПОСМАТРАНО
1	Давање дозе D_1^a (30–50% природне)	-
2	Предгревање 10 s на 260°C	-
3	OSL мерење на 125°C	L_x
4	Давање тестне дозе D_1^b (30% природне)	-
5	Прекидно грејање – Cut heat на 220°C	-
6	OSL мерење на 125°C	T_x
7	Повратак на корак 1	-

Приликом датирања фелдспата такође се примењује SAR протокол, али се мерна секвенца услед другачијих луминесцентних особина донекле разликује од оне која се примењује на кварцне узорке. Насупрот кварцу, фелдспат има много вишу сатурациону дозу која може износити ~2000 Gy (Aitken, 1998) те је због тога IRSL датирање примењено на узорке који су показали сатурацију кварца. Међутим, примењиви временски распон у датирању фелдспата је отежан феноменом аномалног гашења (Spooner, 1994). Аномално гашење је резултат квантномеханичког тунеловања (Visocekas, 1985), које узрокује опадање IRSL са временом брже него што се очекује из мерења термалне стабилности (види поглавље 6.7.3.) услед чега IRSL старости имају тенденцију да буду потцењиване. Стопа гашења се изражава као губитак сигнала у % декаде, и позната је као g-вредност (Aitken, 1985). Због појаве овог ефекта, потребне су корекције и обично се примењују оне предложене од стране Хантлија и Ламота (Huntley and Lamothe, 2001) и Ламота (Lamothe et al., 2003). Међутим, ове корекције подразумевају претпоставке, укључујући и ону да је стопа гашења посматрана на лабораторијској временској лествици релевантна за геолошко време (e.g. Huntley and Lamothe, 2001). За стандардна IRSL мерења, на пример IR стимулација на 50°C, може бити неходна корекција гашења и до 40% (Huntley and Lamothe, 2001) у зависности од порекла минерала, што наглашава важност истраживања стабилнијих сигнала који су мање подложни феномену аномалног гашења. На основу идентификованих сигнала фелдспата који су показали мање аномалног гашења (Thomsen et al., 2008), Бујлерт и сарадници (Buylaert et al. 2009) су успешно применили побољшани протокол IRSL датирања регенеративне дозе јединачног аликвота, који су назвали пост-IR IR протокол повишене температуре.

У овој студији, посматране стопе гашења су могле бити редуциране за фактор два, а кориговане старости су биле у добром слагању са старостима добијеним независним старосним контролама. Протокол мерења који су предложили Бујлерт и сарадници је приказан у табели 11.

Тил и сарадници (Thiel et al. 2011a) су на основу студије Бујлерта и сарадника експериментисали са модификованим протоколом где је коришћено предгревање од 320°C на 60 s, IR стимулација при 50°C на 200 s и након тога пост-IR IR стимулација при 290°C на 200 s за полиминерална зрна (4–11 μm). Овде је мерен природни сигнал и дозна крива одзива узорка испод Брин-Матујама границе реверсног поларитета (~780 ка, очекивана природна доза >2700 Gy) где је на лабораторијски регенерисаној кривој раста пронађен

природни сигнал у сатурацији. На основу ових резултата, закључено је да за ове узорке нема доказа за аномално гашење када се користи пост-IR IRSL при 290°C.

Табела 11: Пост-IR IRSL SAR протокол (Buylaert et al., 2009).

КОРАК	ТРЕТМАН	ПОСМАТРАНО
1	Давање дозе D_1^a (30–50% природне)	-
2	Предгревање 250°C на 60 s	-
3	IR стимулација, 100 s на 50°C	L_i^*
4	IR стимулација, 100 s на 225°C	L_i^{**}
5	Давање тестне дозе D_T	-
6	Предгревање 250°C на 60 s	T_x
7	IR стимулација, 100 s на 50°C	-
8	IR стимулација, 100 s на 225°C	T_i^{**}
9	IR стимулација, 40 s на 290°C	-
10	Повратак на корак 1	-

* Односи се на IR при 50°C.

** Односи се на пост-IR IR при 225°C

У једној од последњих студија, Тил и сарадници (Thiel et al. 2011b), извршили су поређење старости добијених од IR сигнала на 50°C и два пост-IR IRSL сигнала (пост-IR IR стимулација при 225°C, Buylaert et al., 2009 пост-IR IR стимулација при 290°C, Thiel et al., 2011a) за три лесно-палеоземљишне секвенце у Доњој Аустрији: 1) Јохинг (Joching), 2) Паудорф (Paudorf), и 3) Готвајг (Göttweig). Резултати ове студије су показали да се старости са коригованим аномалним гашењем за пост-IR IRSL при 225°C генерално поклапају са некоригованим старостима за пост-IR IRSL при 290°C те је због тога закључено да је могуће користити оба пост-IR IRSL сигнала у сврху датирања (Thiel et al. 2011b).

Узорци фелдспата са Тителског лесног платоа су у сврху мерења D_e , постављени на молибденске дискове, без употребе силиконског спреја. Аликвоти су стимулирани инфрацрвеним светлосним диодама које емитују на 870 nm, док је луминесцентни сигнал

детектован у плаво-љубичастој регији кроз комбинацију филтера Schott BG39/Corning 7–59. За мерење еквиваленте дозе, коришћен је SAR протокол (један по један аликуот). Након предгревања од 320°C на 60 s, полиминерална зрна су изблеђивана IR диодама при 200°C на 202 s након чега су стимулирана IR диодама при 290°C, такође на 202 s. Последњи сигнал при 290°C је коришћен за калкулације D_e , и ову пост-IR IRSL означавамо као $pIRIR^{290}$. Одзив на тестну дозу је мерен на идентичан начин. Вредност примењене тестне дозе као и тачке рецикловања је била ~50% од претпостављене природне дозе.

Табела 12. Примењени пост-IR IRSL протокол за мерења D_e фелдспата.

КОРАК	ТРЕТМАН	ПОСМАТРАНО
1	Давање дозе D_i^a ~50% природне	-
2	Предгревање 320°C на 60 s	-
3	IR стимулација, 200 s на 200°C	-
4	IR стимулација, 200 s на 290°C	L_i
5	Давање тестне дозе D_T ~50% природне	-
6	Предгревање 320°C на 60 s	T_x
7	IR стимулација, 200 s на 200°C	-
8	IR стимулација, 200 s на 290°C	T_i
9	IR стимулација, 200 s на 325°C	-
10	Повратак на корак 1	-

На крају сваког циклуса SAR мерења, примењена је IR илуминација при 325°C на 100 s, како би се умањио ефекат рекуперације (на основу Murray and Wintle, 2003). Интегрисани интензитет иницијалних 5 s, мање позадине од последњих 15 s је коришћен за израчунавање интензитета $pIRIR$ сигнала.

Код ове методе није потребна корекција аномалног гашења, те због тога нема ограничења код доза и старости које намећу корекциони модели. Такође, спровођење теста платоа предгревања постаје сувишно, јер се приликом коришћења овог метода предгревања спроводе на повишеним температурама које имају граничне вредности. У овој студији примењивано је предгревање од 320°C. Мерни протокол је приказан у табели

12. Уколико није другачије наведено, сва анализа података је изведена помоћу програма Risø Analyst, верзија 4.31.9.

9. РЕЗУЛТАТИ

У овом поглављу ће бити представљена лито и педостратиграфија, резултати луминесцентних мерења, израчунате луминесцентне старости узорака и детаљна хронологија Тителског лесног платоа.

9.1. ЛИТОЛОГИЈА

Рецентно земљиште и последње три глацијалне лесне јединице L1, L2, и L3 као и педокомплекси S1, S2, и S3 су откривене у источном делу насеља Мошорин. Претходна стратиграфска истраживања лесних профила у Војводини су користила педолошке, литолошке и податке магнетног сусцептибилитета заједно са варијацијама у аминокиселинско рацемизационој геохронологији, комбиновано са луминесцентним датирањем, као основу за корелацију. Коначни резултати су успоставили хроностратиграфију за више лесно-палеоземљишних јединица у Војводини. Номенклатура за ову хроностратиграфију следи кинески лесни стратиграфски систем са једним изузетком: за означавање стандардних плеистоцених лесно-палеоземљишних јединица у Војводини користимо префикс „V“. (Marković et al., 2008).

Табела 13. Положај горње и доње границе профила Велики сурдук и дебљине стратиграфских јединица

Стратиграфска јединица	Горња/доња граница (m)	Дебљина (m)
S0	0,00/0,50	0,50
L1	0,5/10,90	10,40
L1LL1	0,50/3,85	3,35
L1SS1	3,85/6,70	2,85
L1LL2	6,70/10,90	4,20
S1	10,90/13,25	2,35
L2	13,25/21,65	8,40
S2	21,65/23,65	2,00
Тeфpa L2	17,55/17,58	0,03

Према тренутном хроностратиграфском моделу за лес у Србији (Marković et al., 2015), претпоследњи интерглацијални педокомплекс S2 глацијални лес L2 је формиран

током MIS 7 и 6. Педокомплекс S1 је у корелацији са MIS 5 док композитна лесна јединица L1 одговара стадијумима од MIS 4 до MIS 2. Доњи лесни субхоризонт (L1LL2) је акумулиран преко S1 палеоземљишта. Средњи пленигацијални педокомплекс је у овој области представљен слабо развијеним земљишним комплексом (L1SS1). Најмлађи лесни слој (L1LL1) је акумулиран током касног пленигацијалног периода. Коначно, рецентно земљиште (S0) је развијено током холоцена (Marković et al., 2015). Положај горњих и доњих граница као и дебљина стратиграфских јединица секције Велики сурдук у Мошорину су приказани у табели 13. Холоцено земљиште које покрива Тителски лесни плато је типични чернозем. На површини истраживане секције, дебљина земљишта износи 50 cm са Cк хоризонтом који садржи доста CaCO₃ нодула (0,5–2,0 cm у пречнику) и многобројне кротовине и канале корења испуњене хумусним материјалом. Транзициони AC хоризонт (10YR 5/1-3/3) је дебљине 25 cm, порозан и поседује силтно-глинасту и грануларну структуру. Силтно-глиновити Ah хоризонт (10YR 6/3-4/4) је 20 cm дебљине, грануласте је структуре и заједно са карбонатним псеудомицелија (pseudomycelia) R хоризонтом на највиших 30 cm указују на снажан хумани утицај на земљиште услед дуготрајне интензивне пољопривредне експлоатације. Последња глацијална јединица L1 је моћности 1040 cm у зависности од њене локације на палеоповршини. Нижа лесна јединица (L1LL2), светло жуте до сиве боје (5Y 7/3 5/3), је порозна и грубље гранулације. Слабо развијени педокомплекс L1SS1 је интензивно биотурбован и садржи три слабо развијена хумусна хоризонта. Највиши лесни слој L1LL1, је порозан и у неким деловима је био под утицајем интензивне биотурбације. У горњем делу ове јединице, развијена су два слаба палеоземљишта, свако са грануларним, порозним структурним агрегатима. Ови иницијални педогенетски слојеви указују на развој током влажнијих услова природног окружења. Многи сферични, мекани карбонатни нодули и хумусне инфилтрације у старим коренским каналима се налазе на контакту са вишим холоценим земљиштем (S0) (Stevens et al., 2011). Црвено-смеђи педокомплекс (S1), моћности 230 cm, се састоји од три педочланова: смеђи хоризонт (Феоземског типа – Phaeozem type) у основи је представљен фосилним АВ хоризонтом и два слабо развијена фосилна А хоризонта (Черноземског типа) који формирају средњи и горњи део педокомплекса. Нижи, транзициони АВ хоризонт (10YR 5/2-3) је тамнији од Ah хоризонта (10YR 6/2-4) изнад њега, који садржи нешто очуваних псеудомицелија. Највиши А хоризонт је релативно слабо развијен и карактерише га изобилје кротовине. Бледо-жута (5Y 7/3, 5/4), хомогена, карбонатна L2 јединица која је откривена између 1320 cm и 2165 cm профила, лежи преко базалног

педокомплекса S2. Контакт између претпоследњег лесног слоја L2 и палеоземљишта S1 изнад, је карактерисан карбонатним конкрецијама (1–4 cm у пречнику) као и мноштвом хумусних инфилтрација повезаних са коренским каналима. Унутар лесне јединице L2 није примећено интерстадијално палеоземљиште упоредиво са педокомплексом L1SS1. Лесна јединица L2 у секцији Велики сурдук, представља најпотпунији истраживани глацијални лесни слој у Европи. Између 1755 cm и 1758 cm унутар многих инеркалисаних песковитих слојева, изразито је приметан потенцијални слој тефре у лесној јединици L2. Базални педокомплекс претпоследњег интергласијала S2 је моћности 200 cm и слабије је развијен него педокомплекс S1. Такође, он је фосилан и сличан чернозему.

9.2. ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КВАРЦА

Аликвоти за OSL мерења кварца су добијени од узорака 168110 (9,5 cm дубине) – 168160 (1115 cm дубине), што одговара L1 лесно-палеоземљишној секвенци. Сви резултати SAR протокаларних тестова De мерења дати су у табели 14.

9.2.1. ТЕСТ ПРОВЕРЕ ЧИСТОЋЕ

Аликвоти кварца су најпре тестирани на контаминацију фелдспатом, посредством теста провере чистоће или OSL/IRSL деплеционом стопом. Провера чистоће је извршена коришћењем SAR протокола. Два SAR циклуса су мерена, где у првом није примењена IRSL, док је други циклус укључивао и овај корак (Табела 15). Треба напоменути да се циклуси примењују за сваки аликвот посебно и да крајње вредности могу варирати од аликвота до аликвота у зависности од његових индивидуалних особина.

Први циклус OSL Lx мерења, укључивао је и сигнал фелдспата који су потенцијално били присутни у узорку. Крајња Lx/Tx вредност је у овом сулучају производ сигнала и кварца и фелдспата. Други циклус је пре OSL Lx корака укључивао IRSL која уклања сигнал из фелдспата (фелдспати се ресетују инфрацрвеним светлом) те у случају присуства фелдспата даје нижу Lx/Tx вредност него што је она измерена у првом циклусу. У случају да је разлика између два мерена циклуса виша од 10%, аликвоти који покажу ове вредности се одбацују због контаминације фелдспатом. Само аликвоти који прођу проверу са мање од 10% девијације од једнакости у Lx/Tx односу, могу бити употребљени за даља луминесцентна мерења.

Табела 14. Резултати мерења De , тестова односа рецикловања, рекулперације и дозне обнове за Тителско лесно језгро. n представља број аликувота.

Дубина	Узорак (шифра)	De кварц	Однос рецикловања кварц	Рекулперација кварц	n De	Дозна обнова (Dr) кварц	n Dr	De фелдспат	Однос рецикловања $\rho IRIR$	Рекулперација $\rho IRIR$	n De	Дозна обнова (Dr) $\rho IRIR$	n Dr
9,5	168110	1±0,3	1,060±0,047	0,25±0,20	10						3		
28,5	168111					1,091±0,038	6						
47,5	168112	19,5±1,3	0,953±0,048	0,27±0,31	26								
66,5	168113	37,3±2,0	1,002±0,034	-0,22±0,41	26	1,069±0,051	6	72,3±7,8	1,047±0,060	2,053±0,874	3		
109	168114	36,8±1,9	0,960±0,034	0,20±0,28	26	1,009±0,026	6						
127	168115	44,0±2,6	0,990±0,040	0,27±0,28	24	1,074±0,034	6	68,6±13,0	0,955±0,015	3,380±0,400	3		
181	168116	41,7±3,5	1,037±0,071	0,51±0,16	24	1,044±0,046	6						
209	168117	47,8±3,2	1,002±0,033	0,02±0,06	24			78,5±13,1	1,147±0,120	2,767±1,361	3		
227	168118	62,6±3,1	0,982±0,032	0,34±0,09	17								
245	168119	65,6±4,4	0,958±0,020	-0,31±0,28	24			129,3±6,2	1,013±0,013	2,070±0,210	3		
263	168120	67,8±4,5	0,978±0,071	0,28±0,89	24								
281	168121	73,6±6,6	0,944±0,032	0,90±0,81	18			165,8±12,9	1,053±0,024	2,337±0,430	3		
309	168122	67,3±12,6	0,963±0,017	0,31±0,15	6								
327	168123	84,8±3,2	0,988±0,044	-0,16±0,48	39								
345	168124	111,8±9,8	0,974±0,034	-0,04±0,20	26	1,035±0,076	24	193,7±10,6	1,040±0,025	2,103±0,358	3		
363	168125	86,6±7,0	0,955±0,052	1,18±0,56	21			143,3±0,4	1,017±0,003	5,537±1,093	3		
381	168126	93,9±6,5	0,952±0,036	-0,03±0,35	24								
409	168127	105,6±6,9	1,038±0,048	0,05±0,18	20			154,3±2,6	1,000±0,010	3,113±0,320	3		
427	168128	98,5±5,3	0,951±0,028	0,09±0,26	30								
445	168129												
463	168130	98,7±8,0	0,998±0,029	-0,30±0,64	26								
481	168131	82,8±7,1	0,943±0,034	0,02±0,06	23								

510	168132							78,3±28,0					
529	168133	108,3±10,9	0,956±0,045	-0,26±0,45	30			190,1±3,3	1,003±0,003	2,350±0,044	3	1,08±0,03	24
548	168134	144,9±10,8	0,938±0,024	0,11±0,08	27			186,4±4,8	1,000±0,000	2,610±0,392	3		
567	168135	127,7±7,9	0,917±0,026	0,32±0,12	26			197,0±2,2	1,010±0,012	2,847±0,247	3		
586	168136	144,3±13,8	0,983±0,032	-0,15±0,18	21								
615	168137	136,4±11,4	0,923±0,012	0,25±0,09	21			216,9±6,6	1,013±0,003	2,310±0,107	3		
633	168138	124,0±11,6	0,943±0,020	-0,02±0,48	20			223,0±4,2	1,017±0,003	2,540±0,123	3		
651	168139	153,6±15,9	0,913±0,033	0,05±0,09	14	1,023±0,048	24	225,6±2,1	1,017±0,003	2,323±0,260	3		
669	168140	149,6±17,7	1,012±0,036	-0,09±0,20	9			198,9±13,6	1,037±0,015	3,433±0,171	3		
687	168141	157,3±17,7	1,032±0,019	0,11±0,12	9	1,109±0,045	6	188,1±3,4	1,027±0,009	3,807±0,219	3		
715	168142	167,8±9,4	1,027±0,018	0,00±0,18	9			207,3±6,0	1,053±0,009	3,240±0,403	3		
733	168143	95,6±10,9	0,014±-0,152	-0,15±0,09	11	1,145±0,097	6	209,2±10,4	1,037±0,003	3,570±0,212	3		
751	168144	97,9±7,6	0,973±0,014	0,22±0,12	21			227,0±13,5	1,030±0,000	3,540±0,241	3		
769	168145	125,6±11,4	0,953±0,025	0,07±0,09	15			198,9±23,9	1,023±0,012	3,797±0,480	3		
787	168146	82,5±8,6	0,975±0,032	-0,05±0,27	15			218,3±3,2	1,017±0,012	3,350±0,044	3		
815	168147	121,6±7,7	0,951±0,019	0,24±0,12	17			240,4±12,9	1,020±0,006	2,993±0,246	3		
869	168148	126,1±16,4	0,953±0,029	0,09±0,13	16								
887	168149	114,9±11,7	0,947±0,020	0,31±0,13	18			257,2±17,2	1,013±0,004	2,753±0,099	3		
915	168150	129,5±16,0	0,964±0,056	0,11±0,25	13			233,2±44,6	1,027±0,005	2,787±0,131	3		
933	168151	91,5±13,1	1,019±0,034	0,13±0,20	17			238,5±4,1	1,007±0,008	2,470±0,060	3		
951	168152	91,9±17,2	0,981±0,029	0,56±0,22	12			267,9±1,6	1,030±0,000	2,337±0,028	3		
969	168153	120,5±20,3	0,943±0,015	0,04±0,05	13			220,2±13,8	1,017±0,005	2,573±0,147	3		
987	168154	91,0±19,5	0,970±0,041	-0,15±0,17	10			219,8±23,1	1,007±0,002	3,143±0,294	3		
1015	168155	95,3±25,2	0,863±0,026	0,28±0,59	9			273,4±4,4	0,993±0,004	2,523±0,122	3		
1033	168156	154,3±25,8	0,989±0,043	0,14±0,18	11			261,7±6,7	1,000±0,003	2,640±0,228	3		
1051	168157	131,5±13,6	0,968±0,034	0,89±0,74	11			275,3±6,0	1,027±0,004	2,227±0,115	3		
1069	168158	134,8±12,9	0,965±0,023	-0,07±0,13	11	1,016±0,029	6	300,4±5,7	0,997±0,003	1,933±0,125	3		

1087	168159	159,0±13,1	0,972±0,026	-0,16±0,17	11	1,077±0,043	6	276,2±9,0	0,987±0,013	2,747±0,425	3		
1115	168160	50,0±7,9	0,968±0,020	0,24±0,17	6			141,4±41,8	1,027±0,012	1,850±0,211	3		
1169	168161							266,6±21,3	1,013±0,003	1,780±0,324	3		
1187	168162							319,3±18,4	1,060±0,060	1,950±0,197	3		
1215	168163							296,3±15,2	1,020±0,010	2,080±0,560	3		
1233	168164							308,4±16,2	1,010±0,012	1,707±0,306	3		
1251	168165							304,2±38,6	1,007±0,003	1,340±0,375	3		
1269	168166							318,3±37,3	1,020±0,010	1,763±0,805	3		
1287	168167							401,7±15,4	1,013±0,009	1,747±0,151	3		
1315	168168							296,6±39,2	0,983±0,012	1,953±0,326	3		
1333	168169							454,1±56,3	1,003±0,009	1,070±0,127	3		
1387	168170							523,9±49,6	0,993±0,009	2,060±0,540	3		
1415	168171							488,3±16,4	1,017±0,003	1,780±0,378	3		
1433	168172							587,6±48,4	1,010±0,020				
1451	168173							523,0±18,6	1,007±0,009	1,983±0,026	3		
1469	168174							521,1±17,2	1,003±0,012	2,167±0,199	3		
1487	168175							535,7±5,5	1,003±0,003	2,053±0,113	3		
1515	168176							660,6±77,5	1,003±0,003	2,203±0,062	3		
1533	168177							487,0±70,2	1,013±0,013	2,207±0,244	3		
1551	168178							567,1±18,0	1,010±0,006	2,207±0,044	3		
1569	168179							518,5±25,9	0,990±0,000	2,163±0,251	3		
1587	168180							562,8±5,7	0,987±0,003	2,073±0,197	3		
1615	168181							542,5±29,8	0,983±0,009	1,900±0,349	3		
1633	168182							577,6±5,2	0,983±0,003	2,007±0,162	3		
1651	168183							583,4±29,2	0,987±0,003	2,027±0,039	3		
1669	168184							558,8±11,2	0,990±0,006	2,117±0,109	3		

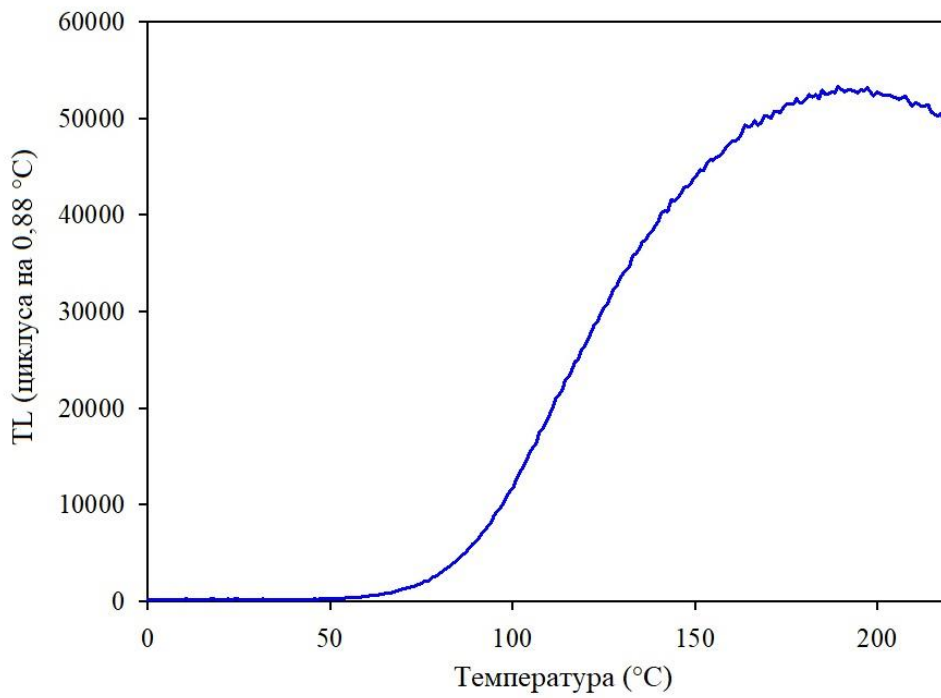
1687	168185							477,4±32,1	1,077±0,032	1,993±0,221	3		
1769	168186							547,7±15,5	1,027±0,007	2,083±0,263	3		
1787	168187							579,7±37,9	0,993±0,009	1,510±0,074	3		
1815	168188							567,4±9,9	1,003±0,003	2,257±0,388	3		
1833	168189							607,9±30,6	1,003±0,003	2,130±0,515	3		
1851	168190							447,6±30,3	0,970±0,020	1,660±0,394	3		
1869	168191							681,6±15,8	0,997±0,019	1,727±0,142	3		
1887	168192							622,4±25,8	1,017±0,003	1,867±0,162	3		
1951	168193							670,7±36,9	1,010±0,012	1,210±0,010	3		
1969	168194							657,3±56,8	1,017±0,028	1,717±0,484	3		
1987	168195							695,1±31,7	1,003±0,003	1,357±0,204	3		
2051	168196							715,8±15,6	1,003±0,003	1,373±0,071	3		
2069	168197							707,2±15,2	0,997±0,003	1,493±0,139	3		
2087	168198							728,9±37,7	1,000±0,020	1,707±0,153	3		
2115	168199							741,3±8,3	0,983±0,015	1,590±0,506	3		
2133	Z68101							737,9±43,7	1,017±0,015	1,170±1,755	3		
2151	Z68102							755,9±12,9	1,007±0,024	1,390±0,287	3		
2169	Z68103							767,1±25,4	0,940±0,046	1,237±0,122	3		
2187	Z68104							651,2±62,0	0,990±0,012	0,600±1,315	3		
2215	Z68105							838,9±40,5	1,000±0,010	2,000±0,080	3		
2233	Z68106							810,2±17,2	1,003±0,009	2,007±0,058	3		
2251	Z68107							765,7±42,3	1,023±0,003	1,760±0,142	3		
2269	Z68108							854,0±24,1	1,000±0,000	1,908±0,318	3		
2287	Z68109							827,8±16,6	0,990±0,000	2,175±0,535	3	1.09±0,05	24

Табела 15. Циклуси коришћени приликом провере чистоће где први циклус мери сигнал без IRSL корака, док је у другом циклусу укључен и овај корак. Циклуси се упоређују и уколико се налазе унутар 10% девијације један од другог, узорак се сматра чистим и може се користити за утврђивање *De*.

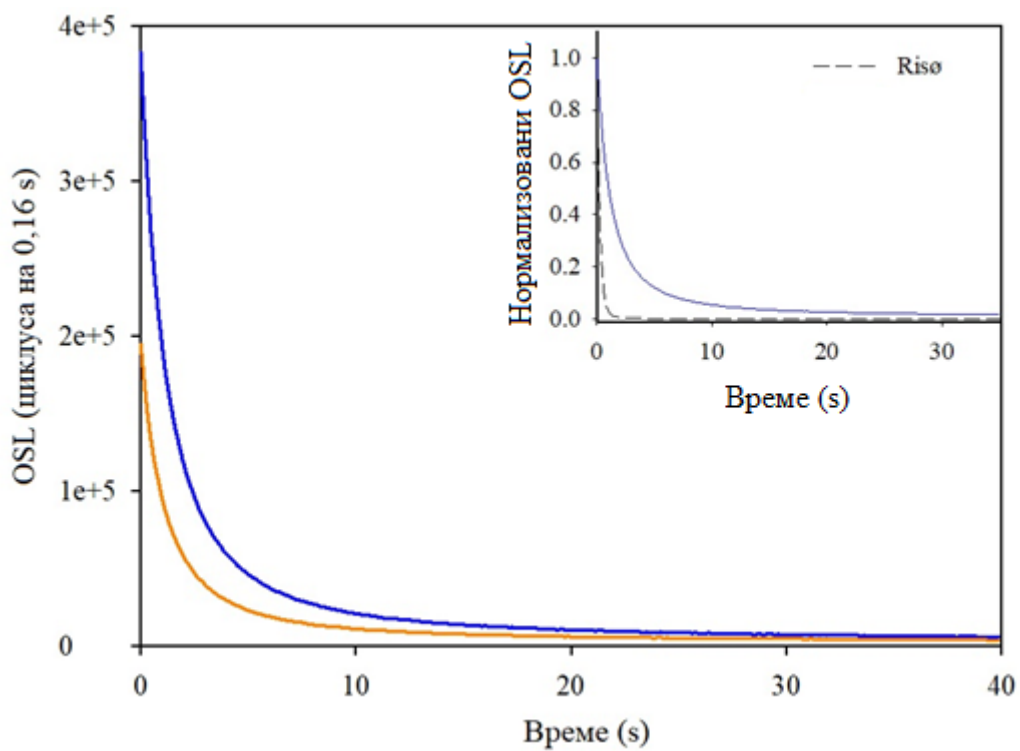
Корак	Циклус 1	Циклус 2
1	Природна или лабораторијска доза	Природна или лабораторијска доза
2	Предгревање	Предгревање
3		IRSL
4	OSL (L_n или L_x)	OSL (L_n или L_x)
5	Тестна доза	Тестна доза
6	Прекидно загревање	Прекидно загревање
7	OSL (T_n или T_x)	OSL (T_n или T_x)

Приликом прве серије теста провере чистоће, мерено је по 3 аликвота издвојена из узорака 168110–168117 (24 аликвота укупно). Регенеративна доза је износила ~ 47 Gy. Резултати овог прелиминарног теста нису били задовољавајући. Иако није утврђена контаминација фелдспатима у већој мери, OSL сигнал није био светао нити доминиран брзом компонентом, а 110°C TL врхови нису били јасно дефинисани (Прилог 75). Природна и регенеративна крива опадања нису показале блиско поклапање, као ни поклапање са сигналом $Ris\emptyset$ калибрационог кварца (Прилог 76). Како би се осигурало да ове вредности нису добијене услед грешке у припреми аликвота или дефекта луминесцентног читача, мерење је поновљено са новим аликвотима и на другом читачу. И у овом случају, аликвоти су показали исто понашање а добијене вредности су биле скоро идентичне онима из првог мерења. Ови резултати су индицирали да је могуће да је кварц са Тителског лесног платоа неподобан за луминесцентно датирање услед својих физичких карактеристика.

У случају оваквих резултата, једини могући корак је поновни третман HF-ом, како би се одстранио додатни спољни слој кварцних зрна који је могуће сувише таман и замућен, што спречава добијање јасног луминесцентног сигнала. Узорци кварца су поново третирани у лабораторији HF-ом на 20 минута, након чега је припремљена нова серија аликвота за проверу чистоће.

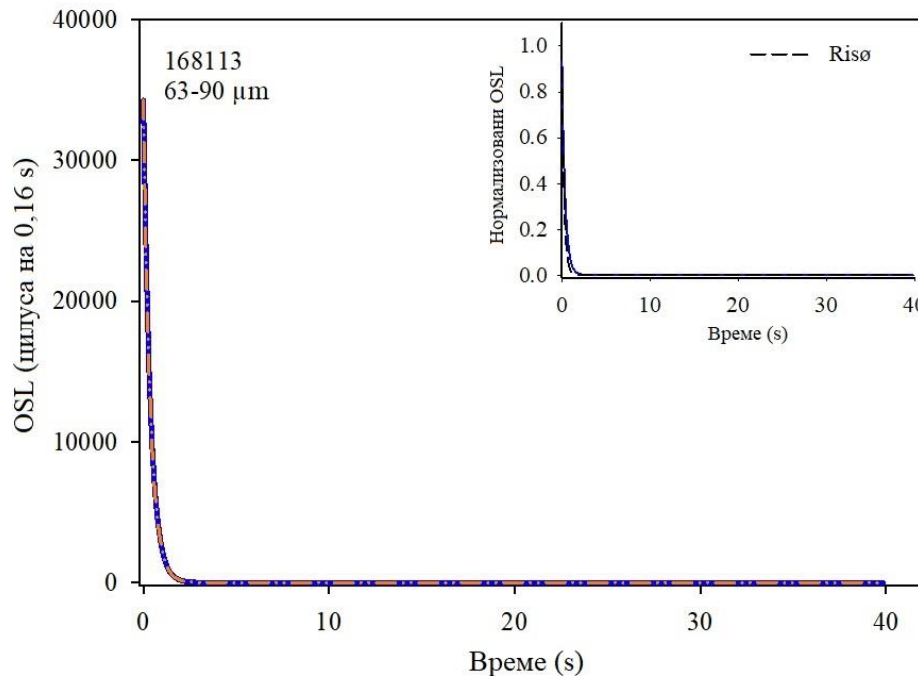


Прилог 75. Недефинисани 110°C TL врх првог теста провере чистоће.

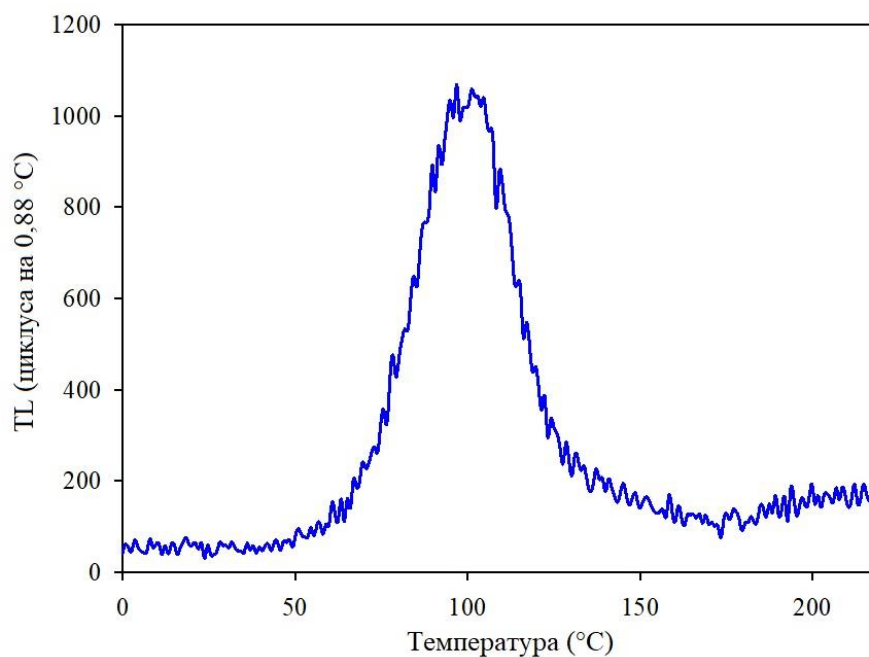


Прилог 76. Природна (плава линија) и регенеративна (смеђа линија) крива опадања након првог теста провере чистоће. Тест није био успешан пошто је видљиво да криве знатно одступају једна од друге. У инсету је приказано поређење природне криве опадање (плава) и криве опадања Riso калибрационог кварца (испрекидана линија).

У поновљеним тесту провере чистоће, већина мерених аликуота је показала OSL IR деплециону размеру близу једнакости при датим регенеративним дозама од $\sim 34\text{--}51$ Gy. OSL сигнал је овога пута био јасан, светао и генерално доминиран брзом компонентом.



Прилог 77. Природна (плава линија) и регенеративна (смеђа испрекидана линија) крива опадања након поновљеног теста провере чистоће. Криве показују скоро савршено поклапање. У инсету је приказана природна крива опадања у поређењу са калибрационим кварцом (испрекидана црна линија) где је такође установљено савршено поклапање.



Прилог 78. Јасно дефинисани 110°C TL врх поновљеног теста провере чистоће

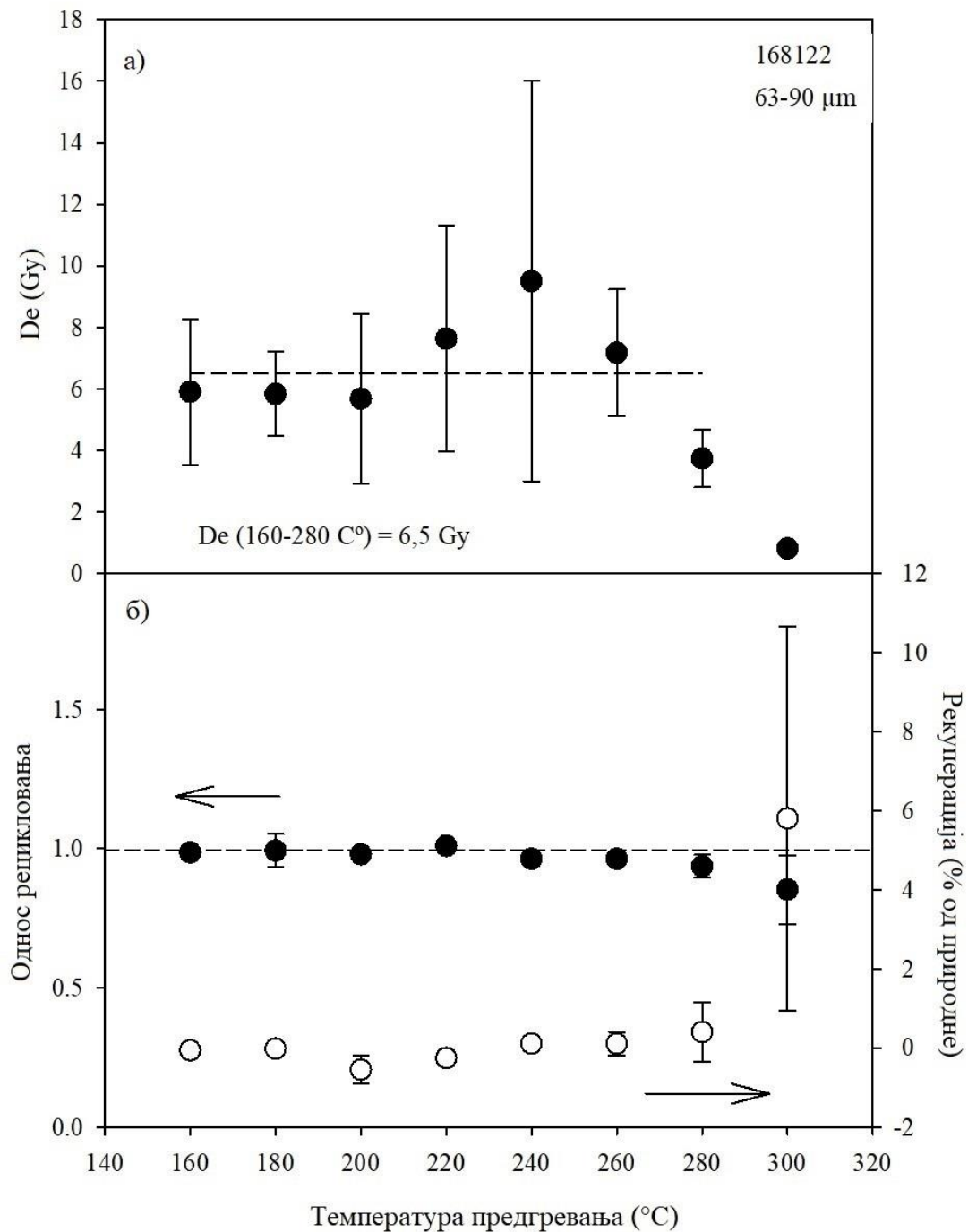
Природна и регенеративна крива опадања су показале веома блиско поклапање, како једна са другом, тако и са сигналом Risø калибрационог кварца (Прилог 77) а 110°C TL врхови су били јасно дефинисани (Прилог 78), што је индицирало задовољавајућу чистоћу кварцних екстраката. Ипак, на основу дефинисаних критеријума (10% девијације од једнакости) одбачено је 19% тестираних аликуота (Duller, 2003).

У следећем мерењу, извршено је поређење De вредности добијених луминесцентном стимулацијом чисто плавом светлошћу са De вредностима добијених путем двоструког SAR протокола (види поглавље 6.11.3.3.) (Roberts and Wintle, 2001). Поређење је извршено за 6 узорка (6 аликуота по узорку). Секвенца мерења је укључивала предгревање на температури од 260°C на 10 s, праћено стимулацијом помоћу IR LED-ова при температури од 60°C на 100 s како би се надгледао и уклонио IRSL сигнал из фелдспата. Двоструки SAR протокол коришћен у овој студији, дао је De вредности које су скоро идентичне De вредностима измереним стимулацијом чисто плавом светлошћу. На пример, De вредности добијене путем двоструког SAR протокола за узорак 168116 је била 42±5 Gy, док је стандардни SAR протокол за исти узорак дао вредност 40±4 Gy (5% девијације).

Ово је индицирало да је допринос фелдспата (post-IR) OSL сигналу занемарљив и да излагање инфрацрвеном светлу нема ефекта на кварцни OSL сигнал. Ови резултати су потврдили подобност кварцних екстраката са Тителског лесног платоа за луминесцентно датирање, тако да је било могуће наставити са даљим мерењима.

9.2.2. ТЕСТ ПЛАТОА ПРЕДГРЕВАЊА

Како би се одредила адекватна температура предгревања, спроведен је тест платоа предгревања на 24 аликуота узорка 168122 (309 cm дубине). Примењене су температуре у распону од 160°C до 300°C (у корацима од 20°C) у трајању од 10 s током предгревања, у комбинацији са 160°C до 260°C прекидним предгревањем тестне дозе. Добијене De вредности нису показале значајну промену сензитивитета на температуре предгревања до приближно 260°C. Размаре рецикловања су биле близу једнакости док је рекулерација близу вредности од 1% у температурном интервалу од 160°C до 300°C. На основу ових резултата, одабрана је температура предгревања од 260°C на 10 s и прекидно загревање од 220°C за сва следећа мерења. Резултати теста платоа предгревања су сажете у прилогу 79.



Прилог 79. Еквивалентна доза као функција прве температуре предгревања за узорак 168122. (а) Коришћена су три аликвота по температури предгревања. Једна цртица на тачкама представља једну стандардну грешку. Испрекидана линија је постављена на просечној D_e вредности аликвота мерених при температурама између 160°C и 280°C. (б) Однос рецикловања и рекулперације као функција температуре предгревања за исти узорак као у (а). Испрекидана линија је постављена на 1,0 како би се илустровало савршено рецикловање (Према Perić et al., 2017, у рецензији).

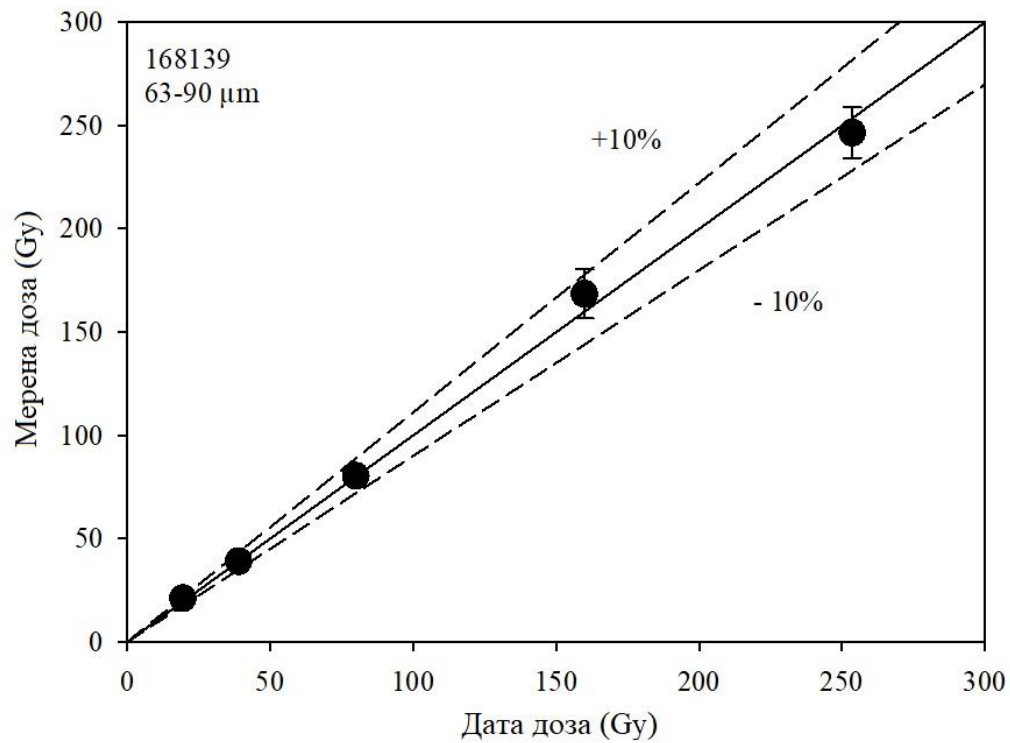
9.2.3. ТЕСТ ДОЗНЕ ОБНОВЕ

У сврху провере примењивости луминесцентних протокола мерења, извршена је серија тестова дозне обнове (Murray and Wintle, 2003) на кварцним узорцима. Секвенца тестова дозне обнове садржала је четири регенеративне дозе, нула дозу, тачку рецикловања и IRSL корак. Изведена су два почетна изблеђивања са паузом од 10.000 s између њих, како би се уклонио природни сигнал из аликвота пре давања лабораторијских доза. Висина иницијалне лабораторијске дозе је изабрана на основу претпостављене висине природне дозе. Тестна доза је подешена на ~30% вредности претпостављене природне дозе. Прво предгревање је подешено на 290°C, док је прекидно загревање (предгревање тестне дозе) износило 220°C.

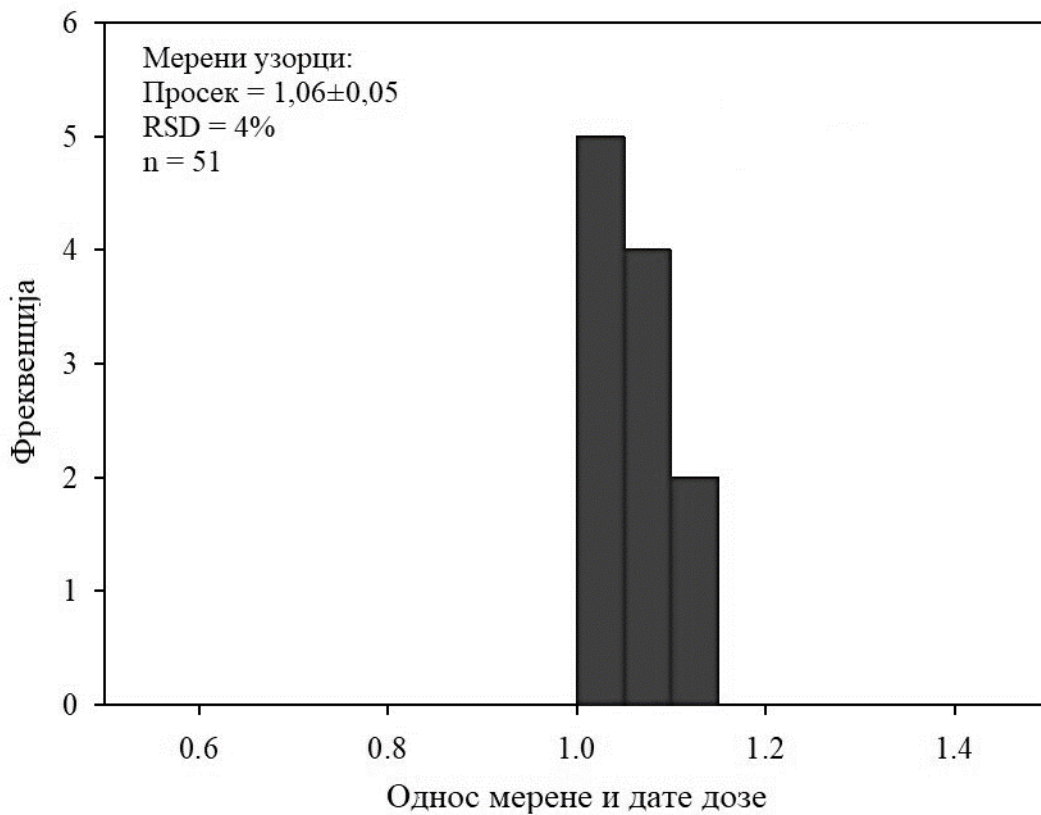
Први тест дозне обнове изведен је на по 6 аликота следећих узорака: 168111, 168113, 168114, 168115, 168116 где је дата доза износила ~30 Gy и узорака 168141, 168143, 168158, 168159 где је примењена доза од ~60 Gy. Додатни тест је изведен на узорцима 168124 и 168139 (24 аликвота по узорку; 6 аликвота по дози), код којих су примењене дозе у распону ~20–250 Gy. Резултати овог теста су сумирани у прилогу 80. Они показују да је примењени мерни протокол способан да у границама тачности (унутар 10% једнакости) измери дозе до 270 Gy, дате пре било каквог термалног третмана.

Ипак, треба напоменути да се ова доза највероватније налази изнад поуздане границе за кварцно OSL датирање (Buylaert et al., 2007; Roberts, 2008; Charot et al., 2012; Trandafir et al., 2015). Просек размере дате и измерене дозе ($n=11$; 6 аликвота по узорку) је био $1,05 \pm 0,04$, што потврђује да је примењени SAR протокол подобан за утврђивање старости и да је могуће репродуковати познату лабораторијску дозу. Детаљи ових тестова су приказани у прилогу 81.

Како би се тестирало да ли је просек размере дате и измерене дозе зависан од висине температуре предгревања, спроведен је накнадни тест дозне обнове на узорцима 168110, 168111, 168113, 168114, 168115, 168116, 168141, 168143 (L1) и 168158, 168159 (S1). У овом тесту су коришћене различите температуре предгревања у распону од 160°C до 300°C (у корацима од 20°C) са фиксним прекидним загревањем од 220°C. Просек размере измерене и дате дозе за све измерене узорке ($n=10$; 4 аликвота по узорку) износио је $1,06 \pm 0,03$, што је потврдило да су ни D_e , нити размера измерене и дате дозе зависне од претходне температуре предгревања и да је познату лабораторијску дозу могуће репродуковати.



Прилог 80. Резултати теста дозне обнове за узорак кварца 168133. Шест аликовта је мерено по дозној тачки. Једна цртица на тачкама представља једну стандардну грешку.



Прилог 81. Хистограм са сумираним резултатима теста дозне обнове за узорке кварца.

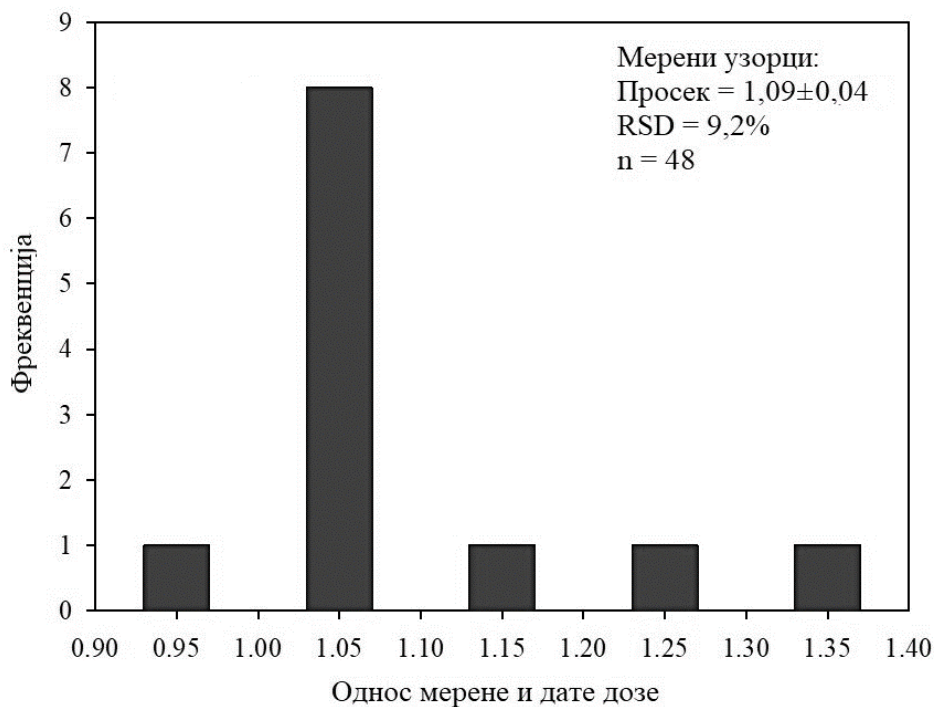
9.3. РЕЗУЛТАТИ ПРОТОКОЛАРНИХ ТЕСТОВА ФЕЛДСПАТА

За потребе теста дозне обнове фелдспата (Wallinga et al., 2000) по 12 аликвота узорака 168133 (529 cm дубине) и Z68109 (2287 cm дубине) је стављено у Hönle SOL2 соларни симулатор у сврху изблеђивања (ресетовања) на период од 90 дана. Аликвоти су постављени на удаљености од ~1,2 m од светлосног извора како би се онемогућило загревање узорака изнад собне температуре. На по шест аликвота од оба узорка примењена је серија доза након чега је употребљен идентични SAR пост-IR IR протокол како би се проверило да ли се дата доза може прецизно репродуковати. Остатак аликвота (по шест за сваки од два узорка) су употребљена за мерење резидуалне дозе након изблеђивања. Просек измерених резидуалних доза је био $8,8 \pm 0,50$ Gy за пост-IR IRSL сигнал. Ова вредност је субстрахована од свих измерених D_e вредности за узорке фелдспата.

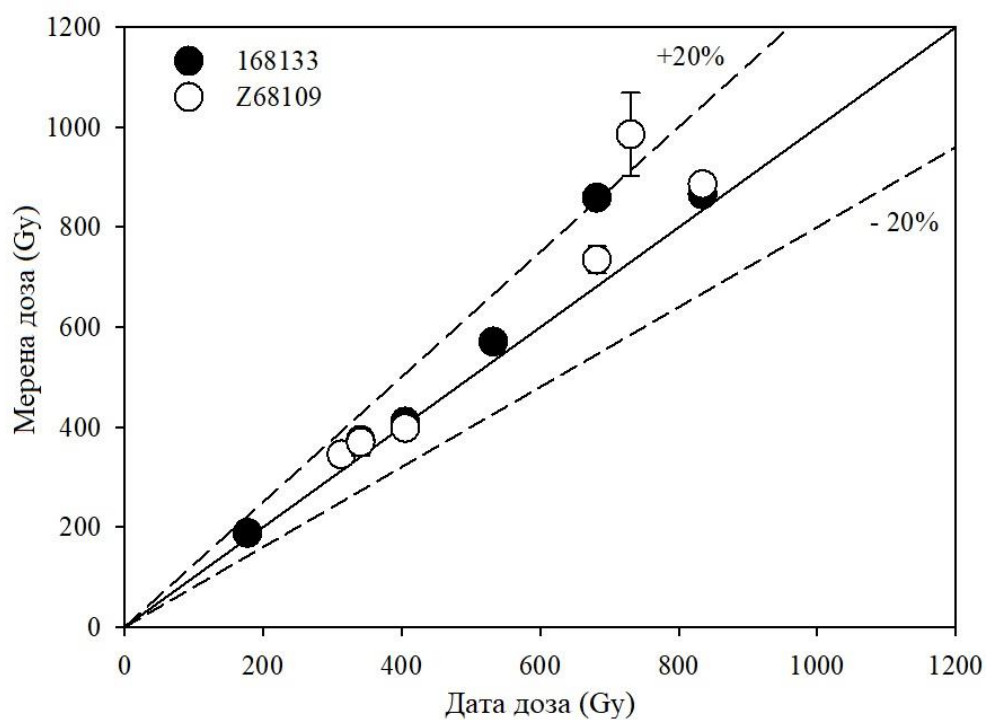
Тест дозне обнове који је изведен на узорку 168133 (претпостављена природна доза ~140 Gy) укључивао је давање доза од 177 Gy (3 аликвота), 340 Gy (3 аликвота) 405 Gy (3 аликвота) 532 Gy (3 аликвота), 681 Gy (3 аликвота) и 834 Gy (6 аликвота), док су на узорак Z68109 (претпостављена природна доза ~830 Gy) примењене дозе од 313 Gy, 340 Gy, 405 Gy, 681 Gy, 730 Gy и 834 Gy.

Табела 16. Резултати теста дозне обнове за узорке фелдспата

Узорак (шифра)	Однос	Дата доза (Gy)	Измерена доза (Gy)	Стандардна грешка	n	Процент девијације
168133	$1,06 \pm 0,06$	177,41	188,25	22,01	3	5,6%
	$1,07 \pm 0,03$	340,80	374,11	9,68	3	8,9%
	$1,01 \pm 0,03$	405,20	410,83	10,4	6	1,37%
	$1,07 \pm 0,02$	532,24	570,81	14,82	3	6,8%
	$1,24 \pm 0,01$	681,60	858,80	4,17	3	20,63
	$1,04 \pm 0,01$	834,24	865,18	10,13	6	3,6%
Z68109	$1,10 \pm 0,07$	313,00	345,30	10,40	3	9,4%
	$1,05 \pm 0,08$	340,80	369,79	27,2	3	7,8%
	$0,98 \pm 0,01$	405,20	398,29	3,9	6	-1,73%
	$1,06 \pm 0,04$	681,60	734,81	27,00	3	7,24%
	$1,34 \pm 0,11$	730,52	985,47	83,00	3	25,87%
	$1,06 \pm 0,01$	834,24	885,40	4,92	6	5,77%



Прилог 82. Хистограм са сумираним резултатима теста дозне обнове за узорке фелдспата.



Прилог 83. Резултати теста дозне обнове за узорке фелдспата 168133 и Z68109. Од 3–6 аликвота је мерено по дозној тачки. Једна цртица на тачкама представља једну стандардну грешку.

Тест дозне обнове (Табела 16; Прилог 82) резултирао је вредностима које су се кретале у распону од $1,01 \pm 0,01$ до $1,24 \pm 0,01$ за узорак 168133, док су се за узорак Z68109 вредности кретале од $0,98 \pm 0,01$ до $1,34 \pm 0,11$. Сви резултати су били задовољавајући, чак и при дозама које премашују претпостављене природне вредности, осим у два случаја: код узорка 168133 при датој дози од 681 Gy и код узорка Z68109 при датој дози од 730 Gy, утврђен је однос између дате и очитане дозе који прелази прихватљиву границу вредности за фелдспат од 20% (Прилог 83) (Wallinga et al., 2000). Ипак, и поред тога, ови резултати јасно показују да је примењени SAR пост-IR IRSЛ протокол адекватан за утврђивање старости узорака фелдспата и да је могуће репродуковати познату лабораторијску дозу.

9.4. РЕЗУЛТАТИ De МЕРЕЊА

Мерења еквивалентне дозе (De) кварцних узорака са Тителског лесног платоа спроведено је на узорцима 168110–168160 ($n=51$). За сваки од ових узорака је извршено по пет поновљених мерења, осим за узорке 168111 и 168129, где није било могуће екстраховати довољну количину кварцних зрна. Код узорака 168110, 168113, 168115, 168117, 168120, 168121, 168122, 168125, 168129 и 168132, није било могуће издвојити довољну количину минерала гранулације у распону 63–90 μm , тако да су додатна мерења вршена на гранулацији у распону 40–63 μm .

У прилогу 84 је приказана репрезентативна крива одзива за узорак кварца 168115. Размере рецикловања се крећу у распону од $0,014 \pm 0,152\%$ за узорак 168143 (733 cm дубине) до $1,060 \pm 0,047\%$ за узорак 168110 (9,5 cm дубине). Рекулпација је варирала у распону од $-0,31 \pm 0,28\%$ за узорак 168119 (245 cm дубине) до $1,18 \pm 0,56\%$ за узорак 168125 (363 cm дубине). Резултати односа рецикловања и рекулпације за све узорке анализирани у овој студији су приказани у табели 14. Ови резултати показују да је размера рецикловања за све узорке кварца близу једнакости као и да је рекулпација испод 5% од природне (Murray & Wintle, 2003).

Израчунате De вредности варирају од 1 ± 0 Gy за највиши узорак, до 209 ± 20 Gy за узорак 168152 (951 cm дубине). Генерално, De вредности расту упоредо са дубином, међутим, постоји неколико изразитих одступања и изузетака. De вредности расту конзистентно до дубине од 345 cm (узорак 168124) где достижу 112 ± 10 Gy. Следећи узорак (168125 – 363 cm дубине) показује значајан пад De вредности, где достиже тек 87 ± 7 Gy. Узорци испод, показују знатно расипање и недоследности у De вредности у распону од 87 ± 7 Gy колико је показао узорак 168126 до $108,3 \pm 10,9$ Gy колико је измерено

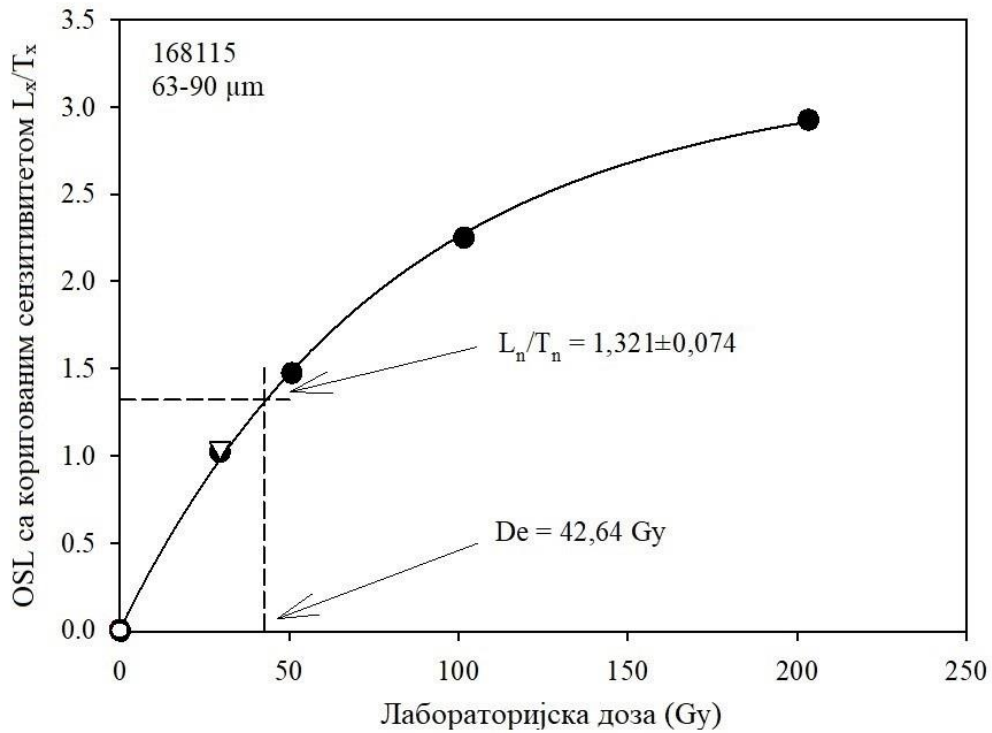
код узорка 168133. Почевши од узорка 168134 (548 cm дубине) па све до узорка 168160 (1115 cm дубине) D_e вредности су скоро поравнате и не показују никакав значајан раст. Ова чињеница указује на то да кварц са Тителског лесног платоа није могуће поздано користити за утврђивање доза већих од ~ 120 Gy, што представља очигледан сатурациони ниво терена на коме су узорци узети (Perić et al., 2016).

На основу сличних резултата у случају кинеског леса Бујлерт и сарадници (Buylaert et al., 2007) су закључили да еквивалентне дозе више од D_0 (~ 120 Gy) нису поуздане за израчунавање луминесцентних старости. У овом случају фелдспати би вероватно представљали прикладније дозиметре за датирање старијих узорака. Из овог разлога, кварцни узорци изнад очигледног сатурационог нивоа (168124 – 345 cm дубине и испод) ће бити изузети из временског калкулационог модела и коначне дискусије.

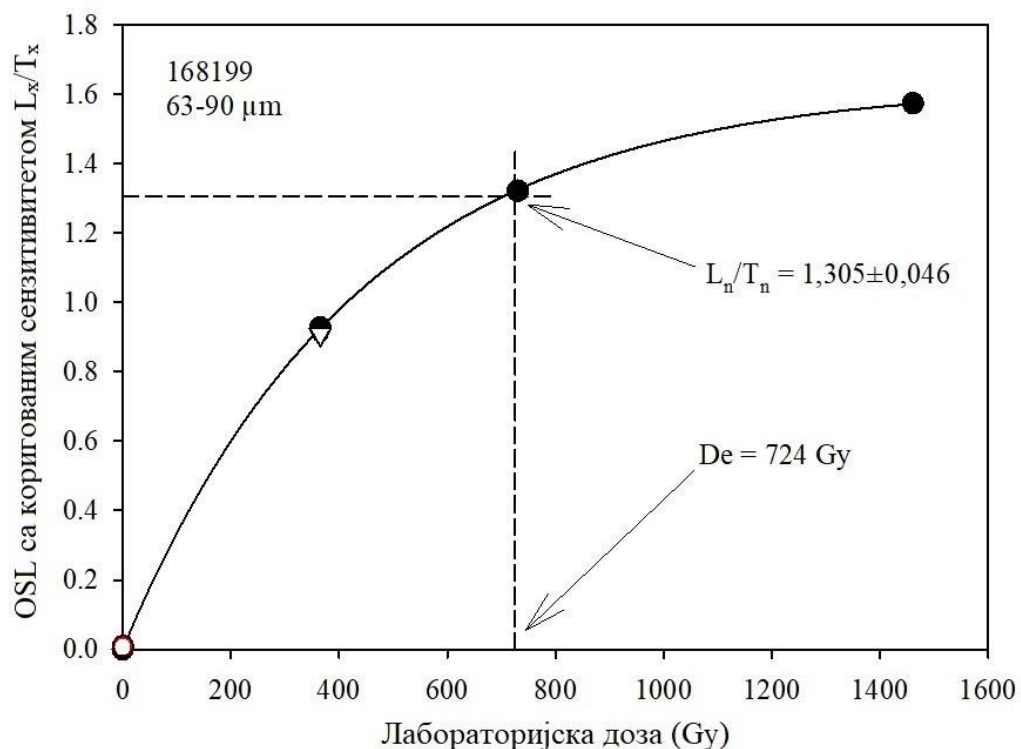
У прилогу 85 је приказана типична крива одзива за узорак фелдспата 168199. Представљена крива одзива је репрезентативна за све узорке фелдспата измерених за потребе ове студије.

На узорцима 168110, 168111, 168112, 168114, 168116, 168120, 168122, 168123, 168128, 168129, 168130, 168131, 168136 и 168148 нису извршена луминесцентна мерења фелдспата пошто није било могуће екстраховати довољну количину полиминералних зрна услед физичких особина материјала. Размера рецикловања је веома близу једнакости за све узорке фелдспата и креће се у распону од $0,94 \pm 0,05\%$ за узорак Z68103 (2169 cm дубине) до $1,08 \pm 0,03\%$ за узорак 168185 (1687 cm дубине). Рекулпација варира од $0,60 \pm 1,32\%$ за узорак Z68104 (2187 cm дубине) до $5,54 \pm 1,09\%$ за узорак 168125 (363 cm дубине). Осим код узорка 168125, рекулпација је знатно испод 5% од природне (Murray & Wintle, 2003).

Израчунате D_e вредности фелдспата се крећу у распону од $68,6 \pm 13$ Gy за узорак 168116 (181 cm дубине) до $854 \pm 24,1$ Gy за узорак Z68108 (2269 cm дубине). D_e вредности фелдспата генерално расту са дубином, и осим у пар изузетака показују јасан тренд. Узорак 168160 (1115 cm дубине) је показао велики пад у D_e вредности од чак 135 Gy (51%) у односу на претходни узорак 168159 (1087 cm дубине; 276 ± 9 Gy). Разлог овако великој варијацији није могао бити утврђен на основу физичких особина узорка, пошто материјал није показивао никакве знатне разлике у односу на узорке у повлати и подини. Утврђене D_e вредности свих мерених узорка представљене су у табели 14.



Прилог 84. Репрезентативна крива SAR дозног одзива за кварцни узорак 168115. Тачка рецикловања је приказана отвореним троуглом док је нула дозна тачка представљена отвореним кружићем.

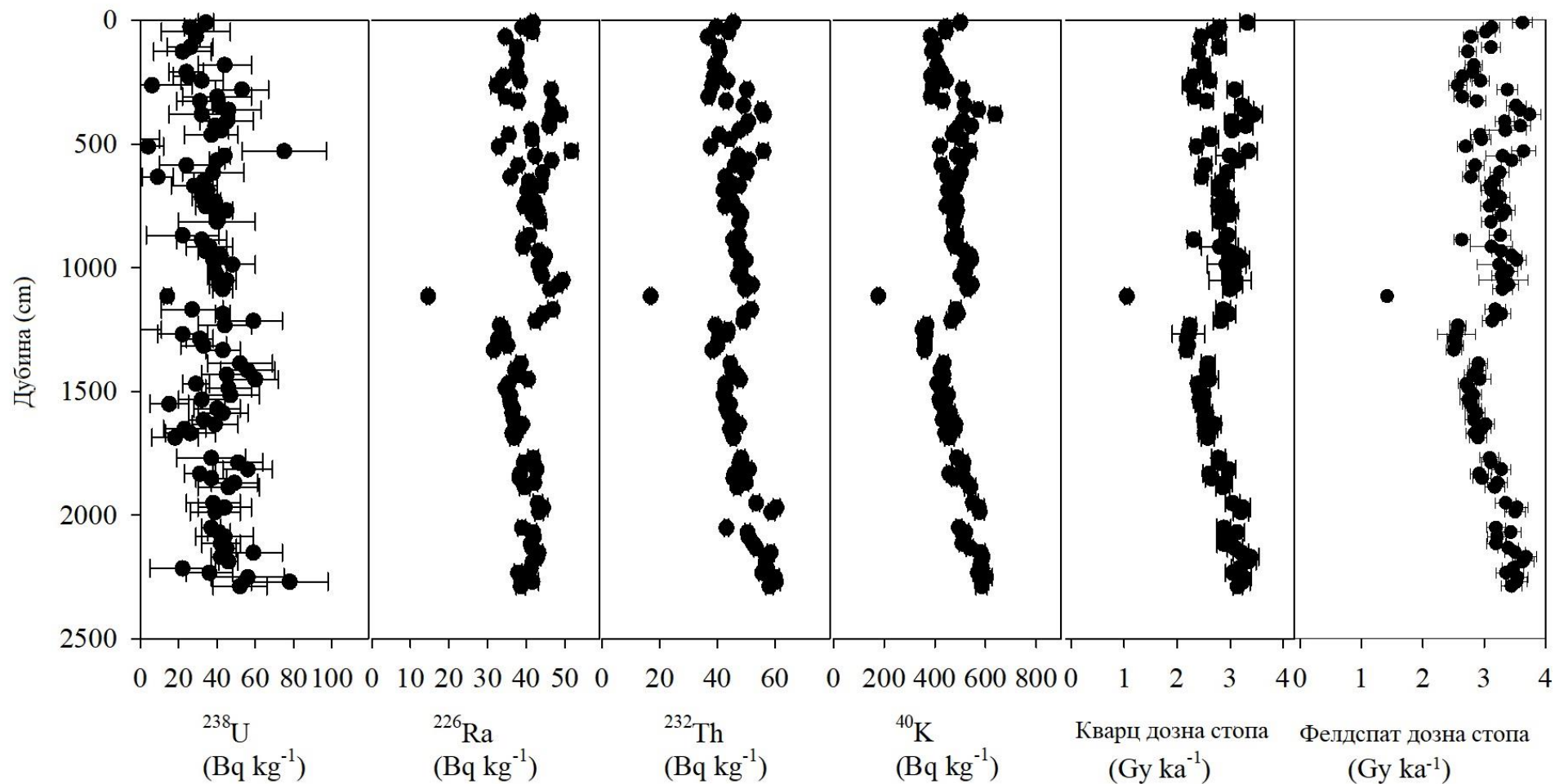


Прилог 85. Репрезентативна крива SAR дозног одзива за узорак фелдспата 168199. Тачка рецикловања је приказана отвореним троуглом док је нула дозна тачка представљена отвореним кружићем.

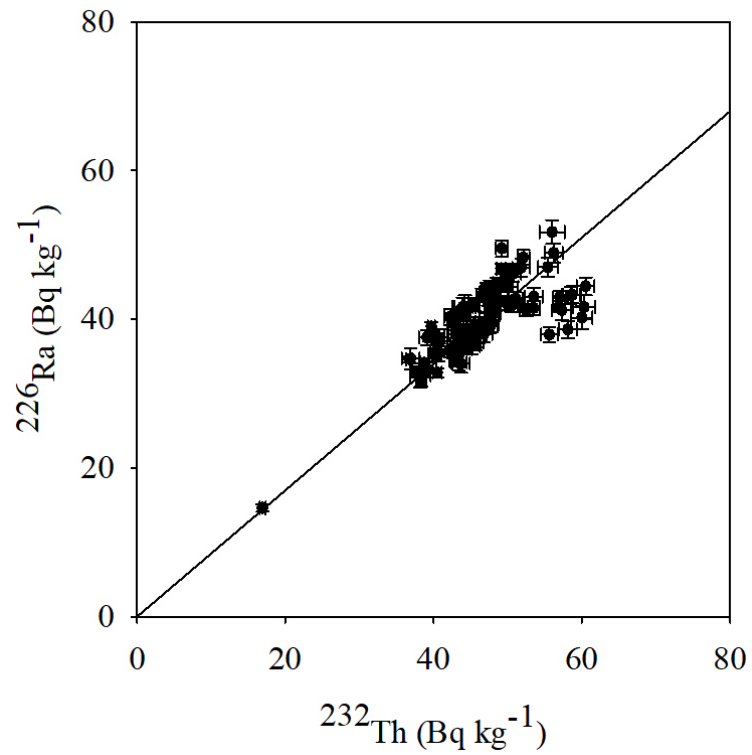
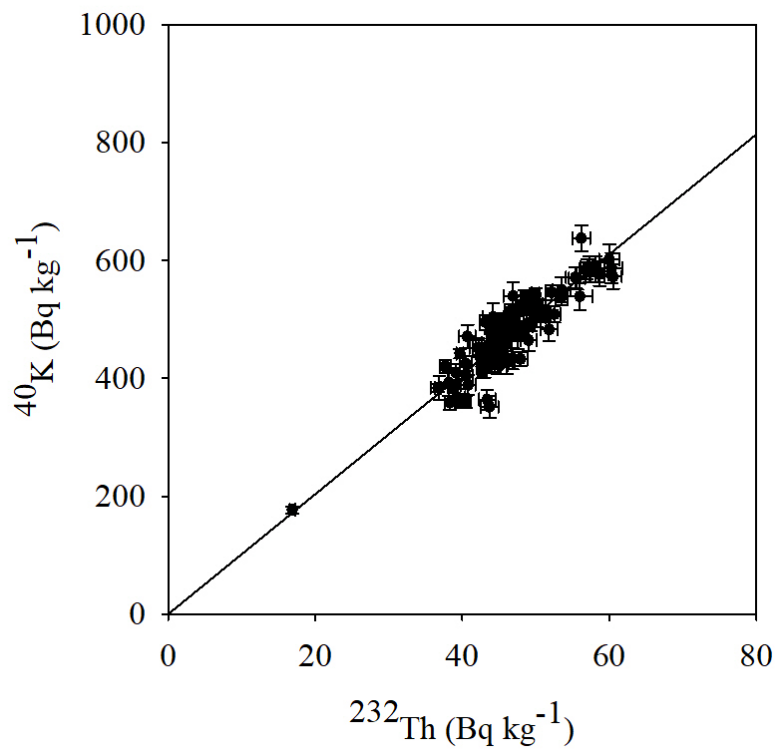
9.5. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ДОЗНЕ СТОПЕ

Активност ^{40}K , ^{232}Th , и ^{226}Ra су плотовани са дужином и приказани у прилогу 86 и табели 17. Допринос космичких зрака је израчунат према Прескоту и Хатону (Prescott and Hutton, 1994), користећи дужину, надморску висину, географску ширину и дужину за сваки узорак понаособ. Садржај воде је процењен на $15\pm 5\%$, на основу теренских посматрања и претходних студија извршених у овом подручју, и претпостављено је да је ова вредност примењива на читав период закопавања (Schmidt et al., 2010; Antoine et al., 2009). Интерна дозна стопа урана и торијума је процењена на $0,02\pm 0,01$ Gy/ка. Како ^{238}U није могуће прецизно измерити путем лабораторијске гама спектрометрије, за калкулацију садржаја ^{238}U , користи се његов потомак ^{226}Ra . Активност је готово константна са дужином у скоро идентичним обрасцима. Добијени резултати показују изузетно мале варијације у концентрацији ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K са дужином. Однос $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$ (Прилог 87) није показао значајнију варијабилност упоредо са дужином. Није запажен значајан пад у односу $^{40}\text{K}/^{232}\text{Th}$ (Прилог 88) у поређењу са концентрацијом самог ^{40}K , што је конзистентно са претпоставком да калијум налазимо као део минералне структуре, на пример у фелдспату, а не на површини минералних зрна. Дисеквилибријум између ^{238}U и ^{226}Ra није установљен ни у једном узорку а просек односа ^{238}U и ^{226}Ra је $0,89\pm 0,03$ ($n=99$).

Претпостављено је да се секундарни еквилибријум одржао током читавог животног века лесно-палеоземљишне секвенце Велики сурдук са могућим изузетком губитка ^{222}Rn површинским водама. Претпостављено је да се овај губитак кретао у распону 10–20%.



Прилог 86. Дистрибуција активности ^{238}U , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{232}Th и ^{232}Th , дозне стопе кварца и дозне стопе фелдспата плотоване са дубином.

Прилог 87. Однос концентрације ^{226}Ra и ^{232}Th Прилог 88. Однос концентрације ^{40}K и ^{232}Th

Интерна бета дозна стопа зрна фелдспата је израчуната према Мејдалу (Mejdahl, 1979; абсорбована бета дозна фракција калијума 40) и Редхеду (Readhead, 2002; абсорбована бета дозна фракција рубидијума 87). Предложени просек калијума од $12,5 \pm 0,5\%$ је коришћен за калкулације (Huntley and Baril, 1997). Како спољни слој зрна фелдспата није уклоњен хемијских третманом, екстерна алфа радијација је такође укључена у прорачун (α -вредност = $0,10 \pm 0,05$). Космичке дозне стопе су процењене на основу дубине на којој је седимент био закопан према Прескоту и Хатону (Prescott and Hutton, 1988) и чине $\sim 10\%$ укупних вредности дозних стопа. Дозиметријски резултати су приказани у табели 17.

Дозне стопе кварца се крећу у распону од $1,02 \pm 0,05$ Gy/ka за узорак 168160 (1115 cm дубине) до $3,35 \pm 0,18$ Gy/ka за узорак 168126 (381 cm дубине).

Услед садржаја калијума, дозне стопе фелдспата су више него дозне стопе кварца и крећу се у распону од $1,42 \pm 0,07$ Gy/ka за узорак 168160 (1115 cm дубине) до $3,74 \pm 0,19$ Gy/ka за узорак 168126 (381 cm дубине). Очигледно је да се максималне и минималне вредности концентрације радионуклида и дозних стопа кварца и фелдспата поклапају и да је метода гама спектрометрије адекватна за утврђивање годишње дозне узорака са Тителског лесног платоа.

Необично ниска утврђена дозна стопа код узорка 168160 од $1,42 \pm 0,07$ Gy/ka, у односу на остале узорке (просек $3,10 \pm 0,16$; $n=99$), слаже се са ниском De вредношћу за исти узорак, која је утврђена приликом луминесцентног мерења. Ово представља аномалију за чију појаву постоји више теорија и детаљније ће бити обрађена у дискусији.

Табела 17. Сажетак информација о дубини, шифрама узорака, сувим алфа, бета и гама дозним стопама, концентрацијама радионуклида и укупним дозним стопама свих мерених узорака.

Дубина (cm)	Узорак (шифра)	Гама шифра	Алфа	Бета	Гама	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³² Th	⁴⁰ K	Дозна стопа Q	Дозна стопа F
9,5	168110	CB043J.01	0,2475±0,0069	2,01±0,03	1,44±0,04	34±4	41,7±0,7	59±5	45,5±0,7	501±10	3,25±0,16	3,63±0,16
28,5	168111	CB044K.01	0,2007±0,0047	1,71±0,02	1,18±0,03	26±3	39,0±0,6	42±3	39,7±0,5	442±8	2,72±0,13	3,12±0,14
47,5	168112	CB045L.01	0,1927±0,0095	1,65±0,08	1,15±0,04	29±18	41,6±1,3		43,9±1,4	443±18	2,63±0,15	3,03±0,15
66,5	168113	CB046M.01	0,1774±0,0040	1,50±0,02	1,03±0,02	29±2	34,6±0,4	35±3	36,7±0,4	384±7	2,38±0,11	2,78±0,12
109	168114	CB140D.01	0,1759±0,0072	1,51±0,06	1,06±0,03	26±12	37,6±1,0		40,5±0,9	404±15	2,71±0,14	3,11±0,15
127	168115	CB047F.01	0,1750±0,0082	1,46±0,08	1,05±0,04	22±15	37,5±1,2		40,8±1,0	389±17	2,34±0,13	2,74±0,14
181	168116	CB048I.01	0,1801±0,0079	1,58±0,07	1,05±0,03	44±14	37,5±1,0		39,1±1,1	410±14	2,43±0,13	2,83±0,14
209	168117	CB049D.01	0,1746±0,6700	1,54±0,05	1,07±0,03	24±9	37,3±0,8		40,5±0,8	425±13	2,43±0,13	2,81±0,13
227	168118	CB050D.01	0,1650±0,0060	1,43±0,04	1,00±0,03	25±8	34,1±0,6		38,8±0,6	385±10	2,25±0,11	2,65±0,13
245	168119	CB141F.01	0,1868±0,0072	1,64±0,06	1,13±0,03	32±11	38,4±0,9		43,5±0,8	444±13	2,54±0,13	2,94±0,14
263	168120	CB051F.01	0,1527±0,0096	1,36±0,10	0,98±0,03	6±21	32,4±1,6		38,2±1,4	393±23	2,17±0,14	2,57±0,14
281	168121	CB052I.01	0,2270±0,0090	1,97±0,07	1,32±0,04	53±14	46,5±1,0		50,3±1,1	510±14	3,00±0,16	3,38±0,17
309	168122	CB053F.01	0,1658±0,0057	1,46±0,05	0,98±0,03	40±18	34,7±1,4		36,9±1,2	384±20	2,26±0,12	2,64±0,13
327	168123	CB054D.01	0,1843±0,0075	1,61±0,07	1,11±0,04	31±12	37,9±1,0		43,0±1,0	431±17	2,48±0,13	2,88±0,14
345	168124	CB055K.01	0,2462±0,0057	2,04±0,03	1,43±0,03	41±3	46,8±0,7	51±4	49,1±0,6	518±9	3,12±0,16	3,52±0,16
363	168125	CB056L.01	0,2368±0,0098	2,12±0,08	1,43±0,04	46±17	47,0±1,3		55,4±1,3	571±18	3,19±0,17	3,59±0,18
381	168126	CB057F.01	0,2364±0,0100	2,24±0,09	1,50±0,05	32±17	48,9±1,3		56,2±1,2	638±22	3,35±0,18	3,74±0,19
409	168127	CB058I.01	0,2243±0,0072	1,95±0,04	1,32±0,04	45±14	46,1±1,1		50,7±1,1	510±14	2,94±0,15	3,34±0,16
427	168128	CB059J.01	0,2484±0,0051	2,11±0,03	1,46±0,03	39±3	46,0±0,7	51±3	50,0±0,5	544±9	3,20±0,16	3,59±0,17
445	168129	CB060J.01	0,2346±0,0062	1,92±0,03	1,37±0,35	42±4	41,3±0,6	49±4	47,6±0,6	484±10	2,95±0,33	3,35±0,34
463	168130	CB061D.01	0,1775±0,0078	1,70±0,07	1,10±0,03	37±14	35,5±1,2		40,7±1,1	471±20	2,53±0,14	2,93±0,15
481	168131	CB062F.01	0,1770±0,0101	1,64±0,10	1,20±0,04	-10±20	41,6±1,6		44,2±1,4	504±24	2,56±0,15	2,96±0,16
510	168132	CB063D.01	0,1635±0,0051	1,53±0,03	1,00±0,03	4±8	32,9±0,7		37,7±0,7	420±11	2,30±0,12	2,70±0,13

529	168133	CB064I.01	0,2591±0,0115	2,20±0,10	1,45±0,05	75±22	51,7±1,6		56,0±1,7	539±23	3,25±0,19	3,64±0,19
548	168134	CB065J.01	0,2292±0,0051	1,91±0,27	1,34±0,03	44±3	42,3±0,5	46±3	47,3±0,5	487±9	2,91±0,27	3,30±0,27
567	168135	CB066K.01	0,2437±0,0068	2,01±0,03	1,41±0,04	40±4	46,6±0,9	47±4	51,1±0,7	509±11	3,05±0,16	3,45±0,16
586	168136	CB067D.01	0,1887±0,0078	1,59±0,07	1,14±0,04	24±14	37,9±1,1		46,1±1,1	427±19	2,46±0,14	2,85±0,15
615	168137	CB068I.01	0,2186±0,0070	1,91±0,04	1,30±0,04	38±16	44,3±1,2		50,1±1,3	503±16	2,86±0,15	3,26±0,16
633	168138	CB069D.01	0,1712±0,0063	1,55±0,04	1,10±0,03	9±8	35,9±0,6		42,8±0,6	450±10	2,39±0,12	2,78±0,13
651	168139	CB070K.01	0,2100±0,0075	1,85±0,04	1,25±0,04	33±5	40,7±1,0	41±5	43,9±0,7	487±12	2,77±0,14	3,16±0,15
669	168140	CB071I.01	0,2054±0,0082	1,78±0,06	1,24±0,04	28±12	43,8±0,9		47,6±0,9	483±12	2,70±0,14	3,09±0,15
687	168141	CB072K.01	0,2166±0,0080	1,79±0,04	1,26±0,05	35±5	40,3±1,1	47±6	42,2±0,8	452±13	2,72±0,14	3,11±0,15
715	168142	CB073K.01	0,2304±0,0076	1,88±0,04	1,34±0,04	32±5	40,8±1,0	52±5	44,2±0,8	472±12	2,86±0,15	3,26±0,16
733	168143	CB074K.01	0,2184±0,0047	1,87±0,02	1,29±0,03	39±3	42,2±0,6	43±3	45,2±0,5	486±8	2,81±0,14	3,21±0,15
751	168144	CB075K.01	0,2165±0,0078	1,25±0,04	1,77±0,04	34±5	39,5±1,0	47±5	42,6±0,7	445±12	2,69±0,14	3,09±0,15
769	168145	CB076K.01	0,2378±0,0057	1,94±0,03	1,38±0,03	45±3	43,0±0,7	51±4	47,3±0,6	488±9	2,94±0,15	3,34±0,16
787	168146	CB077J.01	0,2326±0,0061	1,91±0,03	1,35±0,03	40±4	41,7±0,6	47±4	48,4±0,6	483±10	2,89±0,15	3,29±0,16
815	168147	CB078J.01	0,2111±0,0070	1,82±0,06	1,24±0,04	40±20	43,6±1,6		47,6±1,4	474±24	2,71±0,15	3,11±0,16
869	168148	CB079F.01	0,2293±0,0098	1,86±0,09	1,38±0,04	22±19	40,8±1,5		47,6±1,4	487±23	2,87±0,17	3,26±0,17
887	168149	CB080F.01	0,2245±0,0079	1,18±0,07	1,32±0,04	32±13	39,3±1,0		45,5±0,9	467±16	2,24±0,13	2,64±0,14
915	168150	CB081D.01	0,2100±0,0076	1,81±0,06	1,27±0,36	36±12	39,2±1,0		47,0±1,0	480±17	2,72±0,34	3,12±0,34
933	168151	CB082K.01	0,2211±0,0071	1,95±0,04	1,32±0,04	34±4	43,2±0,9	42±5	46,5±0,7	514±12	2,88±0,15	3,28±0,16
951	168152	CB083K.01	0,2362±0,0048	2,06±0,03	1,40±0,03	42±3	44,9±0,6	47±3	48,5±0,5	540±9	3,05±0,15	3,45±0,16
969	168153	CB084J.01	0,2461±0,0052	2,10±0,03	1,46±0,03	38±3	44,4±0,5	51±3	49,9±0,5	544±9	3,13±0,16	3,53±0,17
987	168154	CB085I.01	0,2137±0,0081	1,95±0,06	1,28±0,38	48±12	43,2±0,9		48,2±0,9	520±13	2,85±0,36	3,24±0,36
1015	168155	CB086K.01	0,2341±0,0048	2,01±0,03	1,38±0,03	39±3	43,7±0,6	47±3	48,0±0,5	521±9	2,99±0,15	3,38±0,16
1033	168156	CB087J.01	0,2280±0,0079	1,94±0,04	1,34±0,04	40±5	44,1±0,8	45±5	47,1±0,7	501±12	2,89±0,15	3,28±0,16
1051	168157	CB088K.01	0,2269±0,0078	1,97±0,43	1,33±0,04	45±5	49,5±1,1	50±5	49,2±0,8	520±13	2,91±0,40	3,31±0,40
1069	168158	CB089K.01	0,2299±0,0076	2,03±0,04	1,38±0,04	41±5	48,3±1,0	52±5	52,1±0,8	546±13	3,00±0,16	3,40±0,16

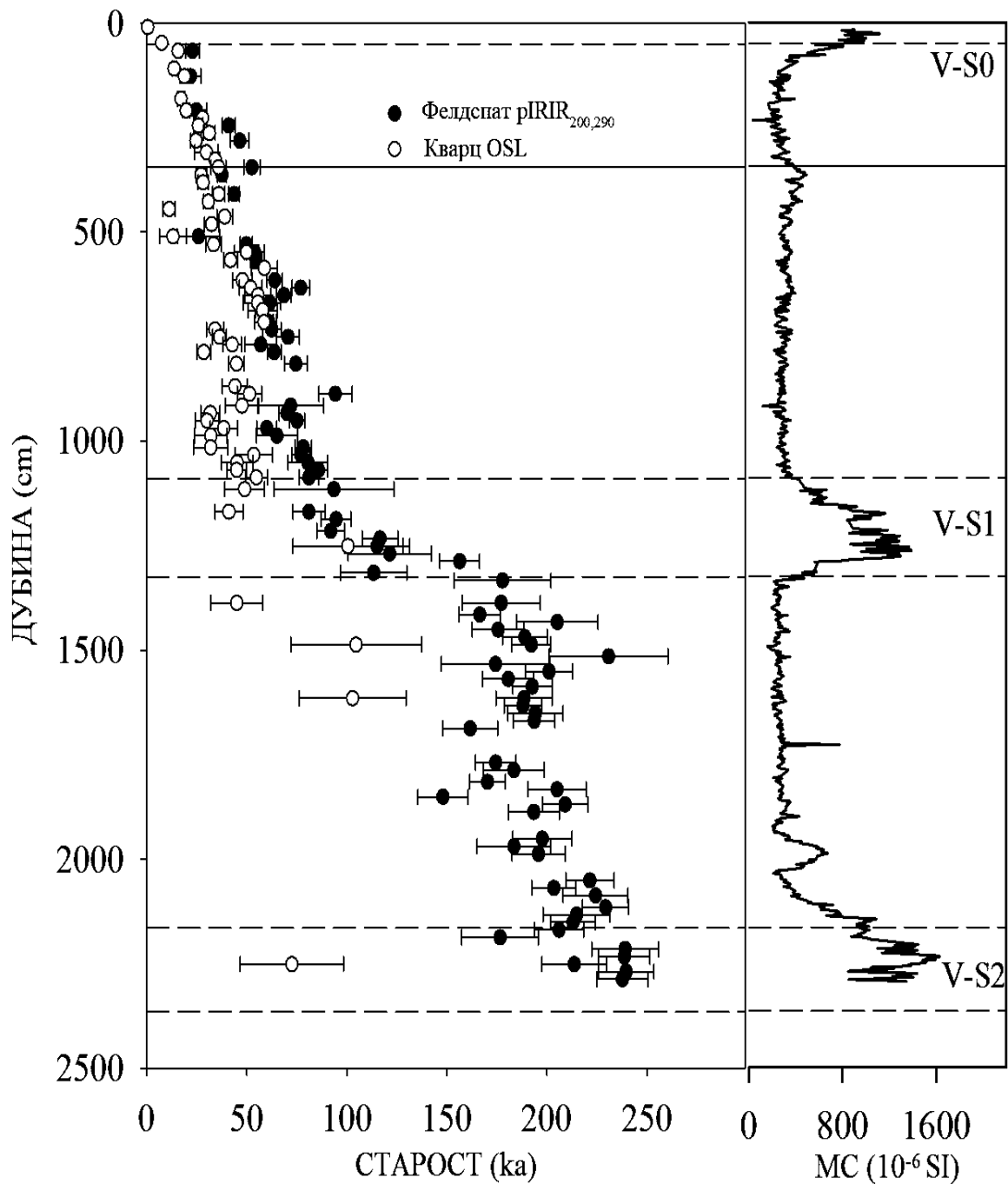
1087	168159	CB090K.01	0,2210±0,0073	1,97±0,04	1,32±0,04	43±5	46,2±1,0	40±5	49,7±0,7	529±13	2,90±0,15	3,30±0,16
1115	168160	CB091K.01	0,0731±0,0240	0,66±0,02	0,44±0,01	14±2	14,6±0,5	16±3	16,9±0,4	177±6	1,02±0,05	1,42±0,07
1169	168161	CB092K.01	0,2204±0,0095	1,82±0,08	1,35±0,04	27±16	46,9±1,2		51,8±1,2	483±20	2,78±0,16	3,18±0,17
1187	168162	CB093K.01	0,2330±0,0062	1,93±0,03	1,35±0,03	43±4	44,4±0,8	45±4	49,3±0,6	491±10	2,89±0,15	3,28±0,16
1215	168163	CB094F.01	0,2188±0,0088	1,86±0,08	1,24±0,04	59±15	42,4±1,2		49,0±1,1	465±18	2,73±0,15	3,13±0,16
1233	168164	CB095I.01	0,1727±0,0076	1,46±0,07	0,99±0,03	44±14	33,2±1,0		39,3±1,1	368±14	2,17±0,12	2,57±0,13
1251	168165	CB096D.01	0,1801±0,0055	1,42±0,05	1,03±0,03	-3±14	34,0±1,2		43,7±1,2	352±19	2,17±0,12	2,56±0,13
1269	168166	CB097D.01	0,1748±0,0074	1,40±0,07	1,03±0,33	22±13	34,2±1,1		43,4±1,1	364±17	2,15±0,30	2,55±0,31
1287	168167	CB098D.01	0,1693±0,0057	1,40±0,04	0,99±0,03	31±7	32,8±0,6		40,5±0,6	360±10	2,12±0,11	2,51±0,12
1315	168168	CB099I.01	0,1736±0,0072	1,42±0,06	1,00±0,03	33±12	35,2±0,9		40,1±0,9	361±12	2,14±0,12	2,54±0,13
1333	168169	CB100D.01	0,1667±0,0060	1,42±0,05	0,96±0,03	43±9	31,6±0,7		38,3±0,7	359±12	2,11±0,11	2,50±0,12
1387	168170	CB101I.01	0,1982±0,0090	1,72±0,08	1,14±0,04	52±17	38,6±1,2		44,5±1,3	435±17	2,51±0,15	2,91±0,15
1415	168171	CB102I.01	0,1987±0,0080	1,70±0,07	1,10±0,03	56±14	37,1±1,1		45,1±1,1	422±15	2,48±0,14	2,88±0,15
1433	168172	CB103D.01	0,1995±0,0078	1,70±0,07	1,16±0,04	45±13	38,0±1,1		46,8±1,1	434±18	2,51±0,14	2,82±0,15
1451	168173	CB104I.01	0,2048±0,0063	1,69±0,14	1,19±0,06	60±12	40,5±0,9		47,9±1,0	433±12	2,53±0,18	2,93±0,19
1469	168174	CB105D.01	0,0181±0,0054	1,56±0,03	1,07±0,03	29±7	35,4±0,6		42,7±0,6	410±10	2,31±0,12	2,71±0,13
1487	168175	CB106F.01	0,1797±0,0054	1,59±0,04	1,08±0,03	46±12	34,6±0,9		42,9±0,8	423±14	2,34±0,12	2,74±0,13
1515	168176	CB107I.01	0,1808±0,0058	1,66±0,04	1,10±0,03	47±15	35,9±1,1		42,2±1,2	452±16	2,43±0,13	2,82±0,14
1533	168177	CB108D.01	0,1826±0,0057	1,59±0,04	1,09±0,03	32±12	35,8±1,0		43,0±1,0	418±17	2,35±0,13	2,74±0,14
1551	168178	CB109D.01	0,1862±0,0056	1,60±0,04	1,11±0,03	15±10	36,0±0,8		44,4±0,8	424±13	2,38±0,13	2,78±0,13
1569	168179	CB110I.01	0,1850±0,0058	1,65±0,04	1,11±0,03	40±12	36,6±0,9		43,2±1,0	442±13	2,43±0,13	2,82±0,14
1587	168180	CB111D.01	0,1858±0,0058	1,69±0,05	1,13±0,04	43±13	36,4±1,1		43,8±1,1	460±19	2,48±0,13	2,87±0,14
1615	168181	CB112D.01	0,1910±0,0057	1,64±0,03	1,13±0,03	33±8	36,8±0,6		45,6±0,7	431±11	2,43±0,13	2,83±0,14
1633	168182	CB113I.01	0,2007±0,0062	1,79±0,04	1,21±0,04	39±12	39,0±0,9		47,6±1,0	481±13	2,63±0,14	3,02±0,15
1651	168183	CB114D.01	0,1910±0,0060	1,76±0,04	1,17±0,04	23±11	38,1±1,0		44,4±1,0	479±17	2,56±0,14	2,96±0,15

1669	168184	CB115D.01	0,1888±0,0058	1,66±0,05	1,13±0,03	26±13	36,4±1,1		45,1±1,1	441±18	2,44±0,13	2,84±0,14
1687	168185	CB116D.01	0,1913±0,0059	1,70±0,05	1,16±0,03	18±12	36,9±1,1		45,6±1,1	457±18	2,50±0,13	2,90±0,14
1769	168186	CB117F.01	0,0288±0,0067	1,84±0,06	1,25±0,04	37±18	41,8±1,4		48,3±1,3	488±22	2,69±0,15	3,09±0,15
1787	168187	CB118D.01	0,2017±0,0062	1,87±0,05	1,24±0,04	51±13	39,4±1,1		47,7±1,1	513±19	2,72±0,15	3,11±0,15
1815	168188	CB119I.01	0,2287±0,0067	1,95±0,04	1,35±0,04	56±13	42,7±1,0		51,0±1,0	509±13	2,88±0,15	3,28±0,16
1833	168189	CB120D.01	0,1955±0,0059	1,72±0,03	1,17±0,03	31±8	38,4±0,7		45,9±0,7	457±11	2,52±0,13	2,92±0,14
1851	168190	CB121D.01	0,1943±0,0059	1,76±0,03	1,18±0,03	37±8	38,3±0,7		45,6±0,7	476±11	2,57±0,13	2,96±0,14
1869	168191	CB122I.01	0,2132±0,0060	1,94±0,04	1,30±0,04	49±12	42,1±0,9		49,9±1,0	526±13	2,82±0,15	3,22±0,16
1887	168192	CB123D.01	0,2003±0,0064	1,93±0,06	1,25±0,04	46±16	39,6±1,3		46,9±1,3	540±23	2,78±0,15	3,17±0,16
1951	168193	CB124D.01	0,2236±0,0068	2,03±0,05	1,36±0,04	38±14	43,0±1,2		53,5±1,2	550±21	2,95±0,16	3,35±0,17
1969	168194	CB125D.01	0,2430±0,0070	2,14±0,05	1,47±0,04	44±14	44,4±1,2		60,5±1,2	573±21	3,14±0,17	3,53±0,17
1987	168195	CB126D.01	0,2365±0,0068	2,13±0,05	1,45±0,04	39±13	43,3±1,1		58,7±1,2	577±20	3,11±0,17	3,50±0,17
2051	168196	CB127K.01	0,2202±0,0082	1,90±0,04	1,31±0,05	37±5	38,9±1,0	48±5	43,2±0,8	495±13	2,80±0,15	3,19±0,16
2069	168197	CB128J.01	0,2468±0,0095	2,04±0,04	1,45±0,05	41±6	41,8±0,9	52±6	50,5±0,9	520±14	3,04±0,16	3,43±0,17
2087	168198	CB129F.01	0,2172±0,0066	1,93±0,05	1,31±0,04	44±15	42,0±1,1		50,8±1,0	515±18	2,81±0,15	3,21±0,16
2115	168199	CB130D.01	0,2171±0,0064	1,91±0,04	1,31±0,04	42±10	41,2±0,8		52,5±0,9	509±14	2,80±0,15	3,19±0,16
2133	Z68101	CB131J.01	0,2349±0,0088	2,04±0,04	1,41±0,05	45±5	41,5±0,9	41±6	53,5±0,8	538±14	3,00±0,16	3,39±0,17
2151	Z68102	CB132I.01	0,2358±0,0068	2,13±0,05	1,45±0,04	59±15	43,2±1,1		58,5±1,2	581±17	3,11±0,16	3,51±0,17
2169	Z68103	CB133J.01	0,2576±0,0090	2,23±0,04	1,56±0,05	42±5	42,9±0,9	49±6	57,0±0,9	588±14	3,28±0,17	3,68±0,18
2187	Z68104	CB134J.01	0,2530±0,0085	2,20±0,04	1,54±0,05	46±5	41,7±0,8	47±6	56,9±0,8	583±14	3,24±0,17	3,64±0,18
2215	Z68105	CB135F.01	0,2282±0,0066	2,12±0,06	1,42±0,04	22±17	41,2±1,3		57,3±1,3	586±22	3,08±0,17	3,47±0,17
2233	Z68106	CB136D.01	0,2168±0,0060	2,04±0,05	1,37±0,04	36±12	37,9±1,0		55,6±1,1	570±19	2,96±0,16	3,36±0,16
2251	Z68107	CB137F.01	0,2323±0,0066	2,17±0,06	1,46±0,04	56±19	40,2±1,5		60,0±1,4	602±25	3,15±0,17	3,54±0,18
2269	Z68108	CB138F.01	0,2364±0,0068	2,15±0,06	1,46±0,04	78±20	41,6±1,6		60,3±1,5	587±26	3,13±0,17	3,53±0,18
2287	Z68109	CB139D.01	0,2241±0,0062	2,10±0,06	1,42±0,04	52±14	38,6±1,2		58,1±1,2	585±22	3,05±0,08	3,44±0,17

9.6. ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ СТАРОСТИ

Израчунате луминесцентне старости приказане су у прилогу 89 и табели 18. Луминесцентне старости кварцних узорака показују конзистентан пораст са дубином и крећу се у распону од $0,44 \pm 0,07$ ка за највиши узорак (168110 – 9,5 cm дубине) до $35,8 \pm 4$ ка за најнижи узорак (168124 – 345 cm дубине) где је достигнута поуздана старосна граница за OSL датирање кварца са Тителског лесног платоа. Иако старости узорака кварца генерално показују конзистентан пораст са дубином, и налазе се у правилном стратиграфском редоследу, примећен је један број изразитих нерегуларности. Најизразитија недоследност представља скок у старости између узорка 168112 (47,5 cm дубине) и узорка 168113 (66,5 cm дубине). Узорак 168113 показује необично високу старост ($15,6 \pm 1,2$ ка) у односу на суседни узорак 168112 ($7,4 \pm 0,7$ ка) у повлати. Међутим, узорак 168114 (109 cm дубине) у подини, показује пад у старости ($13,6 \pm 1,0$ ка) у поређењу са узорком 168113. Остатак записа показује постојан раст старости све до узорка 168124, након чега старости почињу да опадају или исказују веће недоследности и расипања у вредностима (168125: ~ 27 ка; 168126: ~ 28 ка; 168127: ~ 36 ка; 168128: ~ 31 ка).

Измерене луминесцентне старости фелдспата се крећу у распону од $21,9 \pm 5,2$ ка за узорак 168113 (127 cm дубине) до $239,6 \pm 13,9$ ка за узорак Z68108 (2269 cm дубине). Највиши измерени узорак показао 168113 (66,5 cm дубине) показао је старост од $22,8 \pm 3,4$ ка, док је најнижи измерени узорак Z68109 (2287 cm дубине) имао старост од $237,7 \pm 12,8$ ка. Старости узорака фелдспата генерално расту упоредо са дубином. Међутим, у случају кварца, постоји неколико знатних одступања и неравномерности. Све до до узорка 168166 (1269 cm дубине, старости $121,4 \pm 20,8$ ка), генерално старости бележе стабилан раст конзистентан са дубином, док, следећи узорак, 168167 (1287 cm дубине), бележи необично велики скок у старости од $156,4 \pm 10,0$ ка. Насупрот овоме, код следећег узорка у низу 168168 (1315 cm дубине) израчуната старост је износила $113,4 \pm 16,6$ ка, што опет представља изразито велику девијацију у односу на претходне датиране узорке. Ипак, најизразитија аномалија постоји у старости између узорка 168168 и 168169 (1333 cm дубине), где је забележен пораст старости са $113,4 \pm 16,6$ ка на $177,8 \pm 24,2$. Ова аномалија се не може приписати физичким или луминесцентним особинама једног од ових узорака или непотпуном ресетовању, пошто наредни узорци, уз мања одступања, показују даљи пораст старости са повећањем дубине: 168170 – $177,2 \pm 19,5$ ка; 168171 – $166,4 \pm 10,4$ ка; 168173 – $175,6 \pm 13,0$ ка; 168174 – $189,0 \pm 11,2$ ка; 168175 – $192,2 \pm 9,7$ ка, са повременим, мањим одступањима (168172 – $205,2 \pm 20,4$ ка)



Прилог 89. Луминесцентне старости узорака из Тителског лесног језгра плотоване насупрот запису магнетног суспектибилитета мерених на истом језгру (узорковање у интервалима од 5 ст; непубликовани подаци љубазношћу Улриха Хамбаха). Пуна црна линија представља предложену поуздану старосну границу за датирање кварца на овој локацији.

Очигледно је да је разлог овом наглом скоку у старости празнина у старосном запису у лесно-палеоземљишној секвенци Велики сурдук. Ова празнина обухвата временски интервал од $\sim 42,9$ ka и креће се од распону од $21,4 \pm 17,1$ ka, што је минимална

старосна разлика између узорака 168167 и 168169, до $64,4 \pm 20,4$ ка, што је максимална старосна разлика између узорака 168168 и 168169.



Прилог 90. Секција Велики сурдук. Црвена линија представља приближну границу наглог скока у луминесцентним старостима (Фото: Hambach, 2013).

OSL старости добијене на основу мерења кварца се генерално добро слажу са старостима добијених од минералних зрна фелдспата до узорка 168117 (209 cm дубине) то јест до ~ 20 ка. Почевши од узорка 168119 (245 cm дубине, старости $41,0 \pm 3,2$ ка) узорци фелдспата показују веће старости у односу на исте узорке кварца (168119, старости $25,8 \pm 2,3$ ка). Исти је случај са наредним узорцима у падини где су старости узорака фелдспата више у односу на кварц (Табела 18). Ова разлика се углавном може објаснити нижом сатурационом дозом кварца што потврђује претпоставку да за датирање старијих узорака, фелдспат представља погоднији дозиметар. Како се у случају млађих узорака, испод сатурационе дозе кварца, OSL и pIRIR старости налазе у добром слагању, и конзистенте су са стратиграфијом, добијени резултати се могу сматрати поузданом старосном проценом.

Табела 18. Луминесцентне староси узорака кварца и фелдспата са Тителског лесног платоа. *n* представља укупан број мерених аликвота.

Дубина	Узорак (шифра)	Старост кварц (ка)	n	Дозна стопа кварц (Gy/ка)	Старост pIRIR Фелдспат (ка)	n	Дозна стопа фелдспат (Gy/ка)
9,5	168110	0,4±0,1	10	3,25±0,16			3,63±0,16
28,5	168111			2,72±0,13			3,12±0,14
47,5	168112	7,4±0,7	26	2,63±0,15			3,03±0,15
66,5	168113	15,6±1,2	26	2,38±0,11	22,8±3,4	3	2,78±0,12
109	168114	13,6±1,0	26	2,71±0,14			3,11±0,15
127	168115	18,8±1,6	24	2,34±0,13	21,9±5,2	3	2,74±0,14
181	168116	17,1±1,7	24	2,43±0,13			2,83±0,14
209	168117	19,7±1,7	24	2,43±0,13	24,8±5,1	3	2,81±0,13
227	168118	27,8±2,1	17	2,25±0,11			2,65±0,13
245	168119	25,8±2,3	24	2,54±0,13	41,0±3,2	3	2,94±0,14
263	168120	31,3±2,9	24	2,17±0,14			2,57±0,14
281	168121	24,6±2,6	18	3,00±0,16	46,5±4,6	3	3,38±0,17
309	168122	29,8±5,8	6	2,26±0,12			2,64±0,13
327	168123	34,2±2,4	39	2,48±0,13			2,88±0,14
345	168124	35,8±3,7	26	3,12±0,16	52,5±4,1	3	3,52±0,16
363	168125	27,2±2,7	21	3,19±0,17	37,5±2,3	3	3,59±0,18
381	168126	28,1±2,5	24	3,35±0,18			3,74±0,19
409	168127	35,9±3,1	20	2,94±0,15	43,6±2,6	3	3,34±0,16
427	168128	30,8±2,3	30	3,20±0,16			3,59±0,17
445	168129	11,1±3,0	5	2,95±0,33			3,35±0,34
463	168130	38,9±3,9	26	2,53±0,14			2,93±0,15
481	168131	32,3±3,5	23	2,56±0,15			2,96±0,16
510	168132	13,1±6,8	12	2,30±0,12	25,8±10,6	3	2,70±0,13
529	168133	33,4±3,9	30	3,25±0,19	49,8±3,0	3	3,64±0,19
548	168134	49,9±6,0	27	2,91±0,27	53,8±4,9	3	3,30±0,27
567	168135	41,9±3,5	26	3,05±0,16	54,6±2,9	3	3,45±0,16
586	168136	58,8±6,6	21	2,46±0,14			2,85±0,15
615	168137	47,7±4,8	21	2,86±0,15	63,9±3,9	3	3,26±0,16
633	168138	51,9±5,7	20	2,39±0,12	76,9±4,3	3	2,78±0,13
651	168139	55,6±6,5	14	2,77±0,14	68,6±3,6	3	3,16±0,15
669	168140	55,5±7,3	9	2,70±0,14	61,4±5,5	3	3,09±0,15
687	168141	57,9±7,3	9	2,72±0,14	57,6±3,3	3	3,11±0,15
715	168142	58,6±4,6	9	2,86±0,15	60,9±3,7	3	3,26±0,16
733	168143	34,0±4,3	11	2,81±0,14	62,5±4,6	3	3,21±0,15
751	168144	36,4±3,5	21	2,69±0,14	70,6±5,7	3	3,09±0,15
769	168145	42,7±4,5	15	2,94±0,15	56,9±7,8	3	3,34±0,16
787	168146	28,5±3,3	15	2,89±0,15	63,7±3,4	3	3,29±0,16
815	168147	44,8±3,9	17	2,71±0,15	74,5±5,8	3	3,11±0,16
869	168148	44,0±6,3	16	2,87±0,17			3,26±0,17
887	168149	51,3±6,1	18	2,24±0,13	94,2±8,3	3	2,64±0,14
915	168150	47,6±8,4	13	2,72±0,34	71,9±16,4	3	3,12±0,34

933	168151	31,7±4,9	17	2,88±0,15	70,0±3,8	3	3,28±0,16
951	168152	30,1±5,9	12	3,05±0,15	75,1±3,8	3	3,45±0,16
969	168153	38,5±6,8	13	3,13±0,16	59,9±5,0	3	3,53±0,17
987	168154	32,0±8,0	10	2,85±0,36	65,1±10,3	3	3,24±0,36
1015	168155	31,9±8,6	9	2,99±0,15	78,2±4,1	3	3,38±0,16
1033	168156	53,4±9,4	11	2,89±0,15	77,0±4,5	3	3,28±0,16
1051	168157	45,1±7,8	11	2,91±0,40	80,5±10,0	3	3,31±0,40
1069	168158	44,9±5,0	11	3,00±0,16	85,8±4,7	3	3,40±0,16
1087	168159	54,8±5,5	11	2,90±0,15	81,1±5,0	3	3,30±0,16
1115	168160	48,9±10,0	6	1,02±0,05	93,5±30,0	3	1,42±0,07
1169	168161	41,0±7,0	6	2,78±0,16	81,0±8,0	3	3,18±0,17
1187	168162			2,89±0,15	94,6±7,3	3	3,28±0,16
1215	168163			2,73±0,15	91,9±6,9	3	3,13±0,16
1233	168164			2,17±0,12	116,6±8,9	3	2,57±0,13
1251	168165	100,5±27,5	6	2,17±0,12	115,2±16,2	3	2,56±0,13
1269	168166			2,15±0,30	121,4±20,8	3	2,55±0,31
1287	168167			2,12±0,11	156,4±10,0	3	2,51±0,12
1315	168168			2,14±0,12	113,4±16,6	3	2,54±0,13
1333	168169			2,11±0,11	177,8±24,2	3	2,50±0,12
1387	168170	44,9±13,0	6	2,51±0,15	177,2±19,5	3	2,91±0,15
1415	168171			2,48±0,14	166,4±10,4	3	2,88±0,15
1433	168172			2,51±0,14	205,2±20,4	3	2,82±0,15
1451	168173			2,53±0,18	175,6±13,0	3	2,93±0,19
1469	168174			2,31±0,12	189,0±11,2	3	2,71±0,13
1487	168175	104,6±32,7	6	2,34±0,12	192,2±9,7	3	2,74±0,13
1515	168176			2,43±0,13	230,8±29,7	3	2,82±0,14
1533	168177			2,35±0,13	174,3±27,0	3	2,74±0,14
1551	168178			2,38±0,13	201,1±11,8	3	2,78±0,13
1569	168179			2,43±0,13	180,6±12,8	3	2,82±0,14
1587	168180			2,48±0,13	192,7±9,9	3	2,87±0,14
1615	168181	102,9±26,7	6	2,43±0,13	188,6±14,0	3	2,83±0,14
1633	168182			2,63±0,14	188,0±9,4	3	3,02±0,15
1651	168183			2,56±0,14	194,2±13,8	3	2,96±0,15
1669	168184			2,44±0,13	193,6±10,5	3	2,84±0,14
1687	168185			2,50±0,13	161,6±13,7	3	2,90±0,14
1769	168186			2,69±0,15	174,4±10,2	3	3,09±0,15
1787	168187			2,72±0,15	183,4±15,2	3	3,11±0,15
1815	168188			2,88±0,15	170,3±8,9	3	3,28±0,16
1833	168189			2,52±0,13	205,1±14,5	3	2,92±0,14
1851	168190			2,57±0,13	148,1±12,6	3	2,96±0,14
1869	168191			2,82±0,15	209,1±11,4	3	3,22±0,16
1887	168192			2,78±0,15	193,5±12,7	3	3,17±0,16
1951	168193			2,95±0,16	197,7±14,8	3	3,35±0,17
1969	168194			3,14±0,17	183,5±18,5	3	3,53±0,17

1987	168195			$3,11 \pm 0,17$	$195,8 \pm 13,3$	3	$3,50 \pm 0,17$
2051	168196			$2,80 \pm 0,15$	$221,5 \pm 12,0$	3	$3,19 \pm 0,16$
2069	168197			$3,04 \pm 0,16$	$203,4 \pm 11,1$	3	$3,43 \pm 0,17$
2087	168198			$2,81 \pm 0,15$	$224,3 \pm 16,2$	3	$3,21 \pm 0,16$
2115	168199			$2,80 \pm 0,15$	$229,3 \pm 11,5$	3	$3,19 \pm 0,16$
2133	Z68101			$3,00 \pm 0,16$	$214,8 \pm 16,7$	3	$3,39 \pm 0,17$
2151	Z68102			$3,11 \pm 0,16$	$213,0 \pm 11,1$	3	$3,51 \pm 0,17$
2169	Z68103			$3,28 \pm 0,17$	$206,0 \pm 12,3$	3	$3,68 \pm 0,18$
2187	Z68104			$3,24 \pm 0,17$	$176,6 \pm 19,2$	3	$3,64 \pm 0,18$
2215	Z68105			$3,08 \pm 0,17$	$239,1 \pm 16,7$	3	$3,47 \pm 0,17$
2233	Z68106			$2,96 \pm 0,16$	$238,7 \pm 12,9$	3	$3,36 \pm 0,16$
2251	Z68107	$72,5 \pm 25,8$	6	$3,15 \pm 0,17$	$213,6 \pm 16,1$	3	$3,54 \pm 0,18$
2269	Z68108			$3,13 \pm 0,17$	$239,6 \pm 13,9$	3	$3,53 \pm 0,18$
2287	Z68109			$3,05 \pm 0,08$	$237,7 \pm 12,8$	3	$3,44 \pm 0,17$

10. ДИСКУСИЈА

Резултати истраживања приказани у овом раду представљају прву детаљну оптички стимулисану (OSL) хронологију за лесно-палеоземљишну секвенцу Велики сурдук на Тителском лесном платоу. Ови подаци представљају најдетаљнији луминесцентни старосни модел за лесно-палеоземљишне секвенце у Европи до сада.

Лесно-палеоземљишна секвенца Велики сурдук је узоркована језгрованим бушењем што такође представља раритет у истраживањима лесних седимената Европе. Узорковање материјала из језгра у лабораторијским условима се сматра знатно подеснијим од класичног узорковања седиментних секција на терену. Због тога узорци анализирани у оквиру ове студије могу представљати компаративну методолошку предност у односу на остале датиране лесне профиле у Србији и другим деловима Европе.

10.1. ИЗБОР НАЈАДЕКВАТНИЈЕГ ПРОТОКОЛА И МАТЕРИЈАЛА ЗА ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАЊЕ

Еолски седименти представљају идеалан материјал за примену методе луминесцентног датирања. Један од главних разлога је њихов минеролошки састав који углавном чине кварц и фелдспат. Ови минерали поседују читав низ луминесцентних карактеристика који их чине погодним за луминесцентно датирање а поред тога, могуће је релативно једноставно извршити њихову екстракцију и сепарацију од других неминералних састојака. У случају лесних платоа (еолски транспортованих седимената), може се претпоставити да су индивидуална минерална зрна била потпуно изложена сунчевој светлости и да су у довољној мери ресетована пре депозиције.

Истраживана секција Велики сурдук на Тителском лесном платоу, изабрана је за датирање, на основу своје моћности, високе стопе седиментације и комплетности које овај локалитет чине најдетаљнијим палеоклиматским архивом последња два глацијално-интерглацијална циклуса у овом делу Европе.

Приликом избора методе луминесцентног датирања за потребе мерења узорака са Тителског лесног платоа, узете су у обзир саме карактеристике узорака који се датирају, као и подобност одређене луминесцентне технике за одређене материјале. Како лесне наслаге представљају типичну еолску седиментну стену, вероватноћа да минерална зрна нису у довољној мери ресетована пре депозиције је веома мала.

Приликом процене еквивалентне дозе седиментног узорка, увек је пожељнија интерполација природног луминесцентног сигнала на криву раста. У том случају процена дозе је независна од модела криве раста, на супрот проценама добијеним екстраполацијом. Због тога је увек адекватније користити регенеративне методе него методе адитивне дозе. Употреба процедура јединачног аликвота је такође увек пожељнија него метода вишеструких аликвота због много веће прецизности и одсуства потребе нормализације. Ово проистиче из њихове независности варијације у облику криве раста и специфичне луминесценције (Duller et al., 2000).

За датирање кварца и фелдспата, протокол регенеративне дозе јединачног аликвота или SAR, данас представља стандардну процедуру за одређивање еквивалентне дозе (Murray and Wintle, 2000). Током SAR протокола, промене сензитивитета узроковане температуром, оптичком стимулацијом и лабораторијском бета ирадијацијом се прате и коригују. SAR протокол је детаљно и обимно тестиран и доказано је да се приликом датирања кварца добијају високо прецизни и тачни резултати (e.g. Strickertsson and Murray, 1999). У последњих неколико година, развијен је и модификовани SAR протокол за фелдспат који је такође показао високу тачност резултата. Модификовани протокол, користи IRSL мерења при повишеним температурама чиме се елиминише потреба корекције аномалног гашења сигнала које је специфично за минерал фелдспата.

Узевши у обзир све наведене предности SAR протокола, као и карактеристике узорака, за сва луминесцентна мерења у овој студији примењена је ова специфична техника датирања. За датирање кварца, употребљен је класичан SAR протокол, док је за фелдспат примењен модификовани протокол при повишеним температурама од 200°C и 290°C. Када се за датирање користи SAR протокол, потребно је извести неколико тестова како би се осигурале поуздане De вредности (Wintle and Murray 2006; Singhvi et al. 2010, 2011). Ови тестови су детаљније описани у поглављу 6.11.3. и укључују:

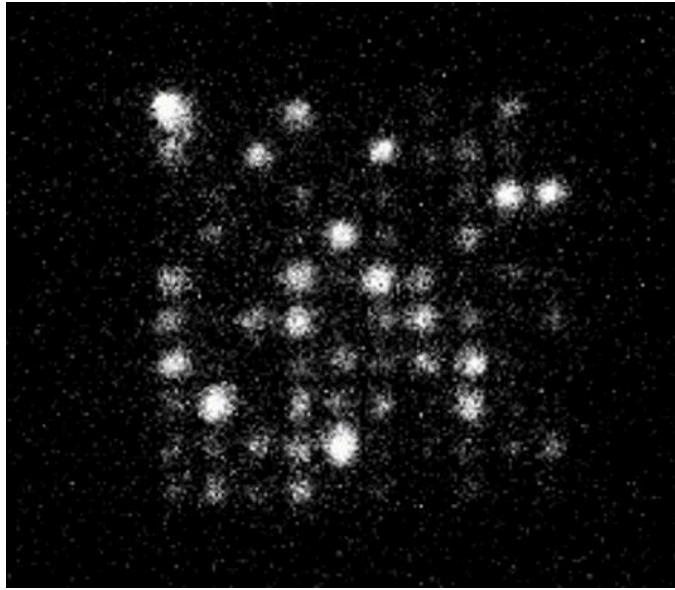
- тест провере чистоће кварца где се утврђује контаминираност фелдспатима и јасноћа сигнала. Од овог корака зависи да ли ће се кварц показати довољно квалитетним за потребе луминесцентног датирања.
- тест рецикловања то јест проверу да ли је корекција сензитивитета доследна за идентичне дозе
- провера да ли је предгревање допринело изграђивању дозе (рекуперација)
- оптимизирање температуре предгревања (плато предгревања)
- тест дозне обнове познате дозе

- плотовање De са стимулационим временом како би се тестирало парцијално ресетовање
- промена сензитивитета

Уколико узорак не прође било који од ових тестова, добијени подаци се одбацују.

Узорци екстраховани из језгра са Тителског лесног платоа су након хемијске припреме и сепарације минерала најпре подвргнути тесту провере чистоће. Резултати овог теста су били далеко изван граница прихватљивих вредности предвиђених за луминесцентно датирање. Иако није утврђена значајнија контаминација фелдспатима, кварцни сигнал је био нејасан и није показивао довољно светла. Ови иницијални резултати наговештавали су могућност потуне неупотребљивости Тителског кварца за луминесцентно датирање, у ком случају би крајњи подаци били доста лимитирани, а конструисана временска скала би била далеко мање комплетна.

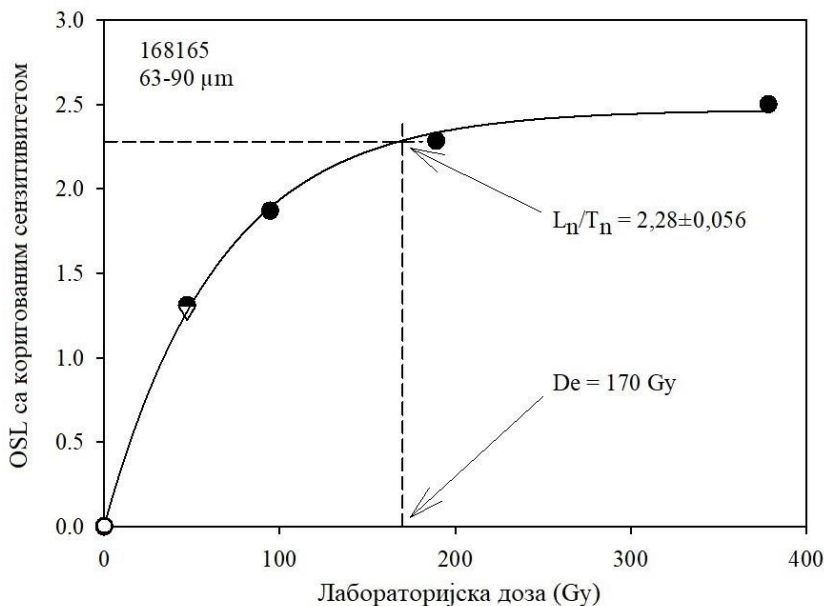
Једини корак који је у овом случају био могућ је поновни третман HF киселином, како би се додатно уклонио спољни слој кварцних зрна за који је постојала могућност да је сувише замућен или таман што спречава јасну емисију стимулисаног луминесцентног сигнала. Након поновљеног третмана концентрованим HF-ом од 30%, поновљен је тест провере чистоће, Након поновљеног теста, OSL/IR деплециони однос је био близу једнакости а 110°C TL врхови су били јасно дефинисани. OSL сигнал је био светао, јасан и доминиран брзом компонентом. Пример светлог луминесцентног сигнала је приказан у прилогу 91. Природни и регенерисана крива опадања су биле скоро идентичне, како једна са другом тако и са калибрационим кварцом. Ови резултати су потврдили да је 63–90 μm фракцију кварца са Тителског лесног платоа могуће користити у сврху луминесцентног датирања, иако је сам квалитет материјала нижи него што је пожељно а хемијска припрема проблематичнија и временски захтевнија. Могуће решење би било употреба финијих фракција (на пример 4–11 μm), чиме се елиминише потреба за великим бројем аликвота, док се уједно долази до веће количине минералних зрна за датирање чиме се отвара могућност већег броја репликатних мерења и смањења стандардне грешке. Такође, у случају финијих фракција, приликом третмана HF-ом, већа је вероватноћа да ће спољни, могуће замућени слој бити уклоњен, и да ће кварц дати сјајнији, јаснији сигнал. Међутим, треба напоменути да је више студија показало, да приликом датирања кварца финијих фракција долази до потцењивања старости узорака иза еемијана или чак и узорака од око 70 ka (Murray et al., 2008).



Прилог 91. Снимак јасног стимулисаног сигнала кварца EMCCD камером (Risø, 2017)

Слична запажања су начинили Ловик и Преусер (Lowick and Preusser, 2011), Ловик и сарадници (Lowick et al., 2010), Лаи (Lai, 2010) и Тимар и сарадници (Timar et al., 2010) где је у свим случајевима утврђено потцењивање старости финозрног кварца. Ипак, узевши у обзир релативно неповољне луминесцентне карактеристике фракције кварца у распону 63–90 μm са Тителског лесног платоа, финија минерална зрна представљају прихватљиву алтернативу која би могла допринети прецизности израчунатих старости.

Након извршених D_e мерења кварца, утврђено је да изнад примењених доза од ~ 120 Gy, долази до неконзистентности и расипања резултата. Старости кварцних узорака које су израчунате на основу мерења D_e и дозне стопе су показале стабилан раст до дубине од 345 cm (узорак 168124, старости 35,8 ka). Наредни узорци нису показивали значајан раст у старостима што је потврдило претпоставку да је кварц са секције Велики сурдук адекватан за датирање до максимално ~ 120 Gy, услед сатурације сигнала. Овај ефекат је приказан у прилогу 92. Ниво сатурације може јако варирати између раличитих минерала кварца са различитих локалитета и регија што у принципу дефинише горњу старосну границу датирања. Засићење сигнала може зависити од много фактора, као што су географски положај профила, дубина са које је узорак узет, физичке карактеристике минерала (поребло минералних зрна – еруптивно или метаморфно) природно окружење то јест висина дозне стопе на локалитету као и примењене технике и протоколи за датирање. Недавне студије су показале да циклуси давања дозе и оптичког ресетовања имају знатан утицај на OSL дозне криве раста, док загревање на високим температурама (изнад 400°C) може значајно изменити дозне сатурационе особине кварцног OSL-а.



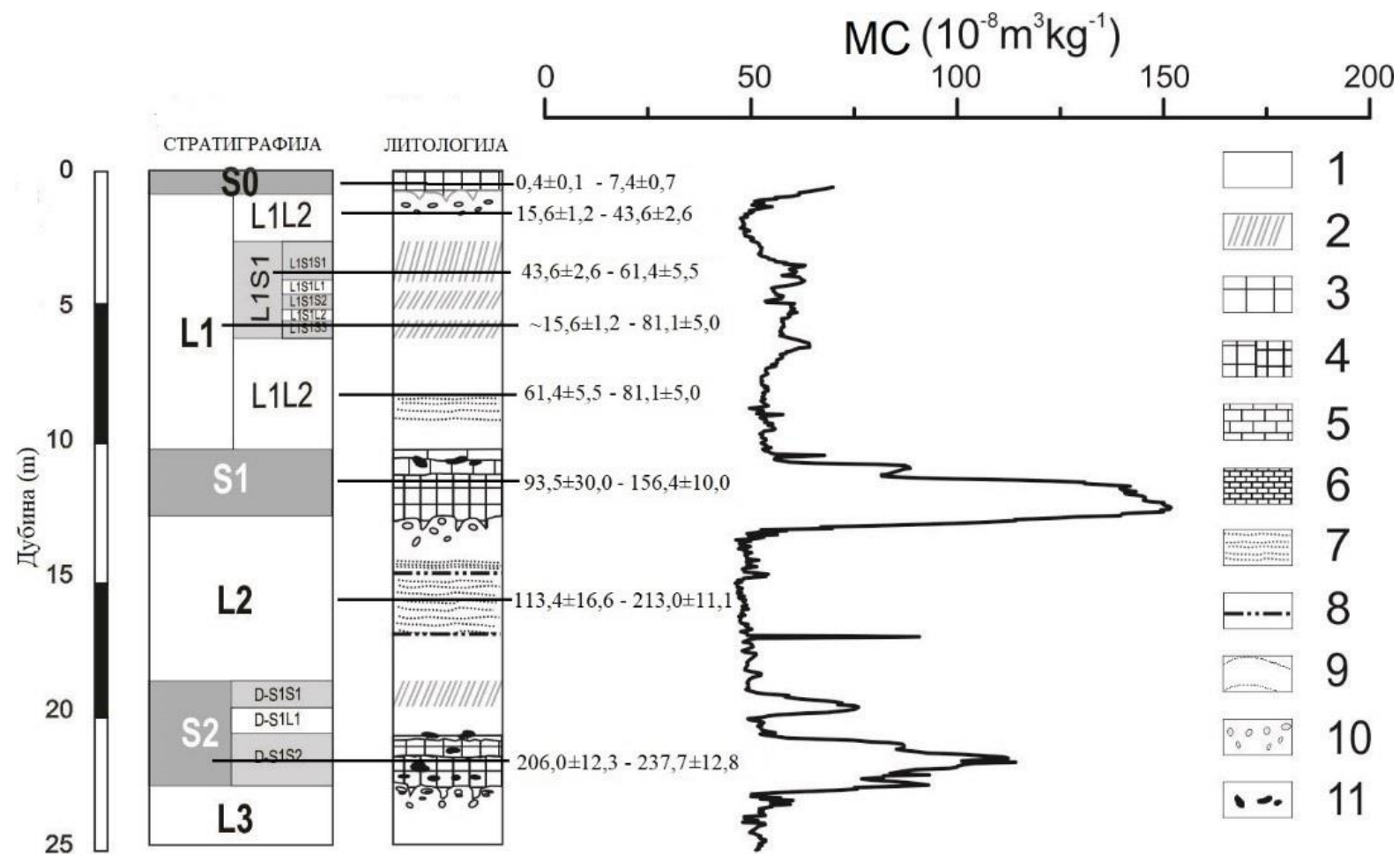
Прилог 92. Репрезентативна крива дозног одзива за аликуот кварца узорка 168165. Крива одзива је након измерене дозе од 170 Gy потпуно равна и не показује даљи раст, што индицира сатурацију кварцих зрна. Тачка рецикловања представљена је отвореним троуглом а нула доза отвореним кружићем.

Овакви резултати индицирају да различита предгревања која су претходно примењивана на кварц, могу бити битан фактор за варијабилност у сатурационим карактеристикама OSL сигнала (Gong et al, 2011). У случају кварца са Тителског лесног платоа, где је ниво сатурације био веома низак (~120–130 Gy) што је умногоме спустило горњу границу датирања овог минерала, велики допринос овој појави је дала релативно висока годишња дозна стопа у окружењу. Услед овога, може се закључити, да постоји веома мало могућности померања горње границе датирања кварца у овој регији, и да је изнад дозне вредности од ~120 Gy, фелдспат бољи избор за датирање лесних седимената.

10.2. ПРВА ДЕТАЉНА СТАРОСНА СКАЛА ЗА ЛЕС У ЕВРОПИ ЗА ПОСЛЕДЊА ДВА ГЛАЦИЈАЛНО-ИНТЕРГЛАЦИЈАЛНА ЦИКЛУСА И ПОРЕЂЕЊЕ СА СЛИЧНИМ ПАРЦИЈАЛНИМ ЛЕСНИМ СТАРОСНИМ СКАЛАМА

Изречунате луминесцентне старости стратиграфских јединица секције Велики сурдук дате су у прилогу 93 и табели 19. Холоцено земљиште S0 (узорци 168110 – 168112), на секцији Велики сурдук је датирано између $0,4 \pm 0,1$ ка и $7,4 \pm 0,7$ ка што одговара MIS 1 фази. Међутим, како овај слој, представља типични чернозем, где је

заступљена интензивна пољопривредна експлоатација и мешање земљишта, ове старости треба узети са резервом. У прилог овоме говори и чињеница, да је екстраховање минералних зрна из овог слоја било веома проблематично. Из узорка 168111 (9,5 cm дубине) није била могућа екстракција минералних зрна, како кварца, тако ни фелдспата, пошто је током хемијске припреме, седименти материјал потпуно разложен што индицира низак проценат минералних зрна, а веома висок садржај органске материје. Последња глацијална јединица L1 (узорци 168113–168159) је датирана између $\sim 15,6 \pm 1,2$ ka и $81,1 \pm 5,0$ ka што повезујемо са фазама од MIS 4 до MIS 2 и крајем MIS 5a. Луминесцентне старости израчунате за последњи интергласијални педокомплекс S1 (узорци 168160–168167) се крећу од $93,5 \pm 30,0$ ka до $156,4 \pm 10,0$ ka што одговара MIS 5 (MIS 5a – MIS 5e) и крају MIS 6 фазе. Треба напоменути да су при овој дубини, на прелазу S1 у L2, утврђене значајне неконзистентности у старостима узорака на релативно малој удаљености један од другог. При овој дубини је такође забележен несвакидашње велики скок у старостима. Разлога за ову празнину у временским подацима може бити неколико. При овој дубини утврђено је појачано присуство пескова који потичу из локалних извора што може бити индикатор за промену минеролошког састава који је утицао на прецизност израчунатих старости. Такође не треба искључити ни појаву пост-депозиционог мешања материјала које доказано може пореметити старосни временски редослед депонованих седимената. Као један од разлога се често наводе и јаки ерозиони процеси, који веома често изазивају празнине и нагле скокове у луминесцентним старостима. Међутим, на овој дубини, на секцији Велики сурдук, није утврђена појава ерозионих процеса, бар не у мери која би могла изазвати скок у старости ове величине. Глацијални лесни хоризонт L2 (узорци 168168 – Z68102) је датиран између $113,4 \pm 16,6$ ka за горњи део (уједно и најнижа вредност у горњем делу хоризонта) и $213,0 \pm 11,1$ ka, за најнижи део, што је повезано са фазама MIS 5e, MIS 6 и крајем MIS 7. Старости израчунате за базални педокомплекс S2 (узорци Z68103 – Z68109) се крећу од $206,0 \pm 12,3$ ka за горњи део до $237,7 \pm 12,8$ ka за најнижи то јест $239,6 \pm 13,9$ ka за претпоследњи датирани узорак, што одговара фази MIS 7. Доњи лесни субхоризонт (L1LL2) који је акумулиран преко S1 палеоземљишта датиран је између $61,4 \pm 5,5$ ka и $81,1 \pm 5,0$ ka (узорци 168141 – 168159) и корелисан је са MIS 3, MIS 4 и MIS 5 а фазама.



Прилог 93. Хроностратиграфски модел секције Велики сурдук са израчунатим луминесцентним старостима горњих и доњих граница стратиграфских јединица. Старости су дате у ка.

Доњи, прелазни АВ хоризонт је на основу овога развијен током хладније MIS 4 фазе што се поклапа се периодом супер ерупције вулкана Тоба.

Средњи пленигацијални педокомплекс L1SS1 који је представљен слабо развијеним земљишним комплексом (узорци 168127–168140), датиран је на $43,6\pm 2,6$ ка за горњи део и $61,4\pm 5,5$ ка за најнижи део што одговара MIS 3 фази.

Израчунате старости за најмлађи лесни слој (L1LL1) који је акумулиран током касног пленигацијалног периода, крећу се од $15,6\pm 1,2$ ка за горњи део хоризонта и $43,6\pm 2,6$ ка за доњи део (узорци 168113–168127), и формиран је током MIS 2 и MIS 3 фазе.

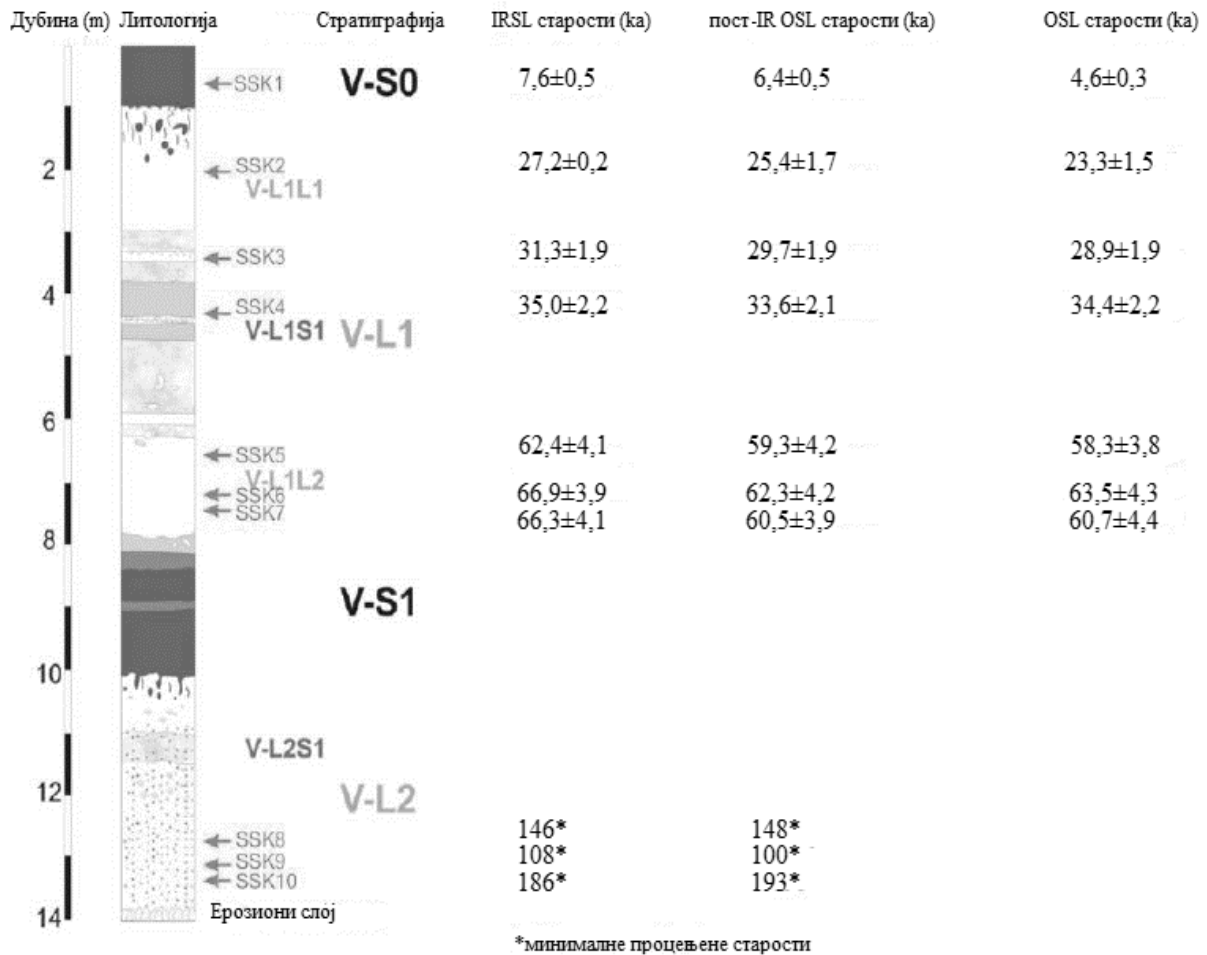
Табела 19. Израчунате OSL стратиграфских јединица секције Велики сурдук и кореспондујућим MIS фазама у поређењу са званичним MIS фазама.

Стратиграфска јединица/доња старост (ка) (Lisiecki and Raymo, 2005)	Луминесцентна старост	MIS фаза
S0 / MIS 1/ 14–0	$0,4\pm 0,1$ ка – $7,4\pm 0,7$ ка	MIS 1
L1/ MIS 4–2/ 82–14	$\sim 15,6\pm 1,2$ ка – $81,1\pm 5,0$ ка	MIS 5a–2
L1LL1// MIS 2/ 57–14	$15,6\pm 1,2$ ка – $43,6\pm 2,6$ ка	MIS 3–2
L1SS1/ MIS 3/ 29–57	$43,6\pm 2,6$ ка – $61,4\pm 5,5$ ка	MIS 3
L1LL2/ MIS 4/ 82–57	$61,4\pm 5,5$ ка – $81,1\pm 5,0$ ка	MIS 5a–4
S1/ MIS 5 / 130–71	$93,5\pm 30,0$ ка – $156,4\pm 10,0$ ка	MIS 5–6
L2/ MIS 6/ 191–130	$113,4\pm 16,6$ ка – $213,0\pm 11,1$ ка	MIS 6–5e
S2/ MIS 7 / 247–191	$206,0\pm 12,3$ ка – $237,7\pm 12,8$ ка	MIS 7

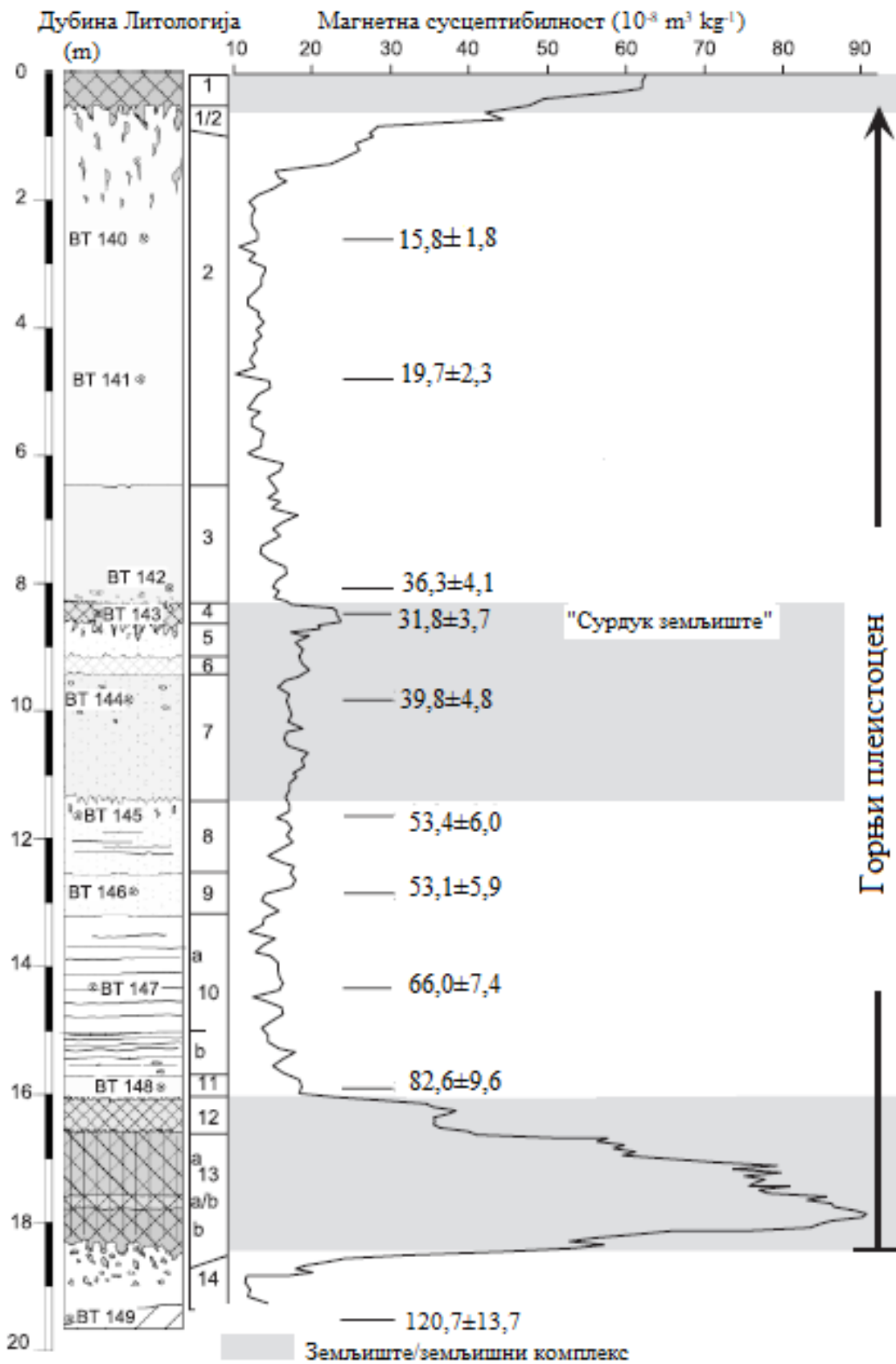
На подручју Војводине, до сада су изведена ограничена, парцијална луминесцентна датирања више лесних профила, међутим у не тако високој резолуцији као што је представљено у овој студији. Најважнија истраживања су представили Бутрим и сарадници (Butrym et al., 1991), Фукс и сарадници (Fuchs et al., 2008), Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011), Бокхорст и сарадници (Bockhorst et al., 2011) и Шмит (Schmidt, 2011).

Старости добијене у овој студији се генерално подударају са геолошким положајем и подржавају хроностратиграфски модел који су предложили Марковић и сарадници (Marković et al., 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009), као и са подацима које је представила Шмит (Schmidt, 2011). Последња глацијална лесна јединица L1 датирана између $\sim 15,6\pm 1,2$ ка и $81,1\pm 5,0$ ка, се до извесне мере слаже са старостима од 23– 64 ка које је предложила Шмит у својој студији Старог Сланкамена. Такође ови подаци се генерално поклапају са старостима које су претходно представили Бутрим и сарадници (Butrym et al., 1991) и конзистентне су и са истраживањима на другим лесно-палеоземљишним секвенцама у Војводини (Schmidt, 2011). Међутим, у односу на

резултате које је представила Шмит, у овој студији је утврђена мања старост горње границе и већа старост доње границе јединице L1 (Прилог 94).



Прилог 94. Хроностратиграфски модел секције Стари Сланкамен (према Schmidt, 2011).



Прилог 95. Хроностратиграфски модел секције Сурдук (према Fuchs et al., 2008).

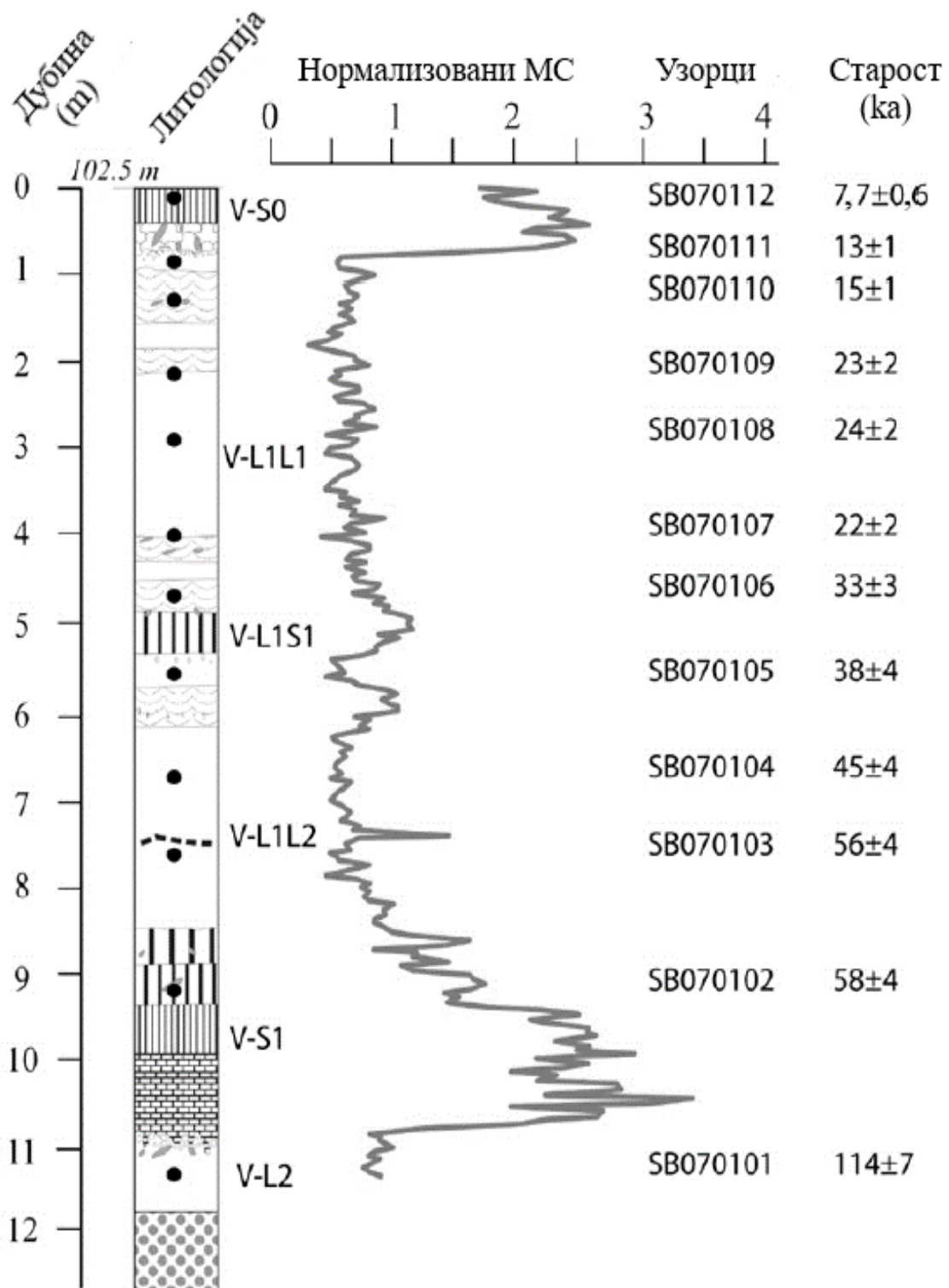
Детаљније старости за лесну јединицу L1, обезбеђен је путем IRSL датирања фелдспата и то за секцију Ириг (19–42 ka; Marković et al., 2007) и Тител (15–69 ka; Marković et al., 2008; Bokhorst et al., 2009). Фукс и сарадници (Fuchs et al., 2008) су представили далеко детаљније IRSL старости за лесну секцију Сурдук: 16–36 ka за L1L1, 32–40 ka за L1S1, 53–83 ka за L1L2 (Прилог 95). Ове старости се у принципу слажу и са резултатима које је представила Шмит за горњи део секције Стари Сланкамен, док у поређењу са резултатима добијеним датирањем секције Велики сурдук постоје мања одступања.

Сингви и сарадници (Singhvi et al., 1989) су представили старости од 63–85 ka добијене термолуминесцентним датирањем за палеоземљишта F2 (ово палеоземљиште кореспондује педокомплексу S1 у стратиграфском моделу Марковића и сарадника; Marković et al., 2008) на секцији Стари Сланкамен. Ове процене старости су сличне резултатима Бутрима и сарадника (Butrym et al., 1991). На основу ових резултата, Бронгер (Bronger, 2003) је корелисао палеоземљиште F2 са MIS 5a (Schmidt, 2011). Међутим, Марковић и сарадници (Marković et al., 2004a, 2004b, 2006, 2005, 2007, 2008, 2009) су корелисали еквивалентни педокомплекс S1 са комплетним MIS 5 периодом. Корелација Марковића и сарадника се такође потпуно поклапа са резултатима представљеним у овој студији, са разликом да је на основу израчунатих старости закључено да је доњи део педокомплекса S1 у Великом сурдуку, почео да се развија при крају MIS 6 фазе.

Предложени стратиграфски модел се такође веома добро слаже са хронологијама на основу резултата киселинске аминокиселинске рацемизације (AAR) за различите лесне секције у Војводини (Marković et al., 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2006, 2007, 2008, 2009). Ову стратиграфску интерпретацију подржавају и објављене IRSL старости од $120,7 \pm 12,7$ ka за горњи део L2 леса на секцији Сурдук (Fuchs et al., 2008). Подаци луминесцентног датирања које је представила Шмит (Schmidt, 2011), за јединицу L2 (узорци SSK 8–10), иако се сматрају минималним старостима, подржавају хроностратиграфски модел који су предложили Марковић и сарадници (Marković et al., 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009) и представљају доста више старосне процене него резултати Бутрима и сарадника (Butrym et al., 1991) који су приказали старост од око 90 ka изнад ерозионог слоја за претпоследњу лесну јединицу на секцији Стари Сланкамен .

Стивенс и сарадници су датирали лесни профил у Црвенки, где су применили OSL технику датирања кварца, као и 50°C IRSL и пост-IR IRSL 290°C технике за датирање фелдспата. Резултати ових мерења су представљена у прилогу 96 и табели 20. Старости

које су представљене за лесну секцију у Црвенки показују веома добру стратиграфску доследност, без инверзија изван граница грешке (Stevens et al., 2011).



Прилог 96. Хроностратиграфски модел секције Црвенка (према Stevens et al., 2011).

Иако старости углавном показују поклапање са хроностратиграфијом која је предложена за лес у Србији (Martinson et al., 1987; Thompson and Goldstein, 2006; Marković et al., 2004a, 2004b, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009), ово се односи само на старости до ~40–50 ka (V-L1L1, V-S1 и V-L2). Испод ове границе, све луминесцентне старости показују ниже вредности и одударају од прихваћене MIS стратиграфије (Табела 22) као и стратиграфије предложене у овој студији. На основу овога, може се закључити да се старости изнад ~50 ka добијене датирањем лесног профила у Црвеники, не могу сматрати поузданим хроностратиграфским подацима.

Табела 20. Израчунате луминесцентне старости за секцију Црвенка. Прихваћене старости су обележено **болдованим бројевима**.

Узорак	Дубина (m)	Јединица	50°C IRSL		290°C p-IR IRSL		Кварц OSL
			Некориг.	Кориг.	Некориг.	Кориг.	
SB070101	11,3	V-L2	76±5	110±29	114±7	121±8	91±7
SB070102	9,1	V-S1	41±3	53±6	58±4	62±4	55±4
SB070103	7,7	V-L1LL2	40±2	54±15	56±4	58±1	57±4
SB070104	6,7	V-L1LL2					45±4
SB070105	5,5	V-L1SS1	29±3	37±6	40±4	44±9	38±4
SB070106	4,7	V-L1SS1					33±3
SB070107	4,0	V-L1SS1	19±2	24±5	25±2	28±3	22±2
SB070108	2,9	V-L1LL1					24±2
SB070109	2,1	V-L1LL1					23±2
SB070110	1,3	V-L1LL1	11,0±0,8	13±2	18±1	20±1	15±1
SB070111	0,85	V-L1LL1					13±1
SB070112	0,3	V-S0	9,8±0,7	13±3	16±1	18±1	7,7±0,6

Извор: Stevens et al., 2011.

Према предложеној вишемиленијумској хроностратиграфији за лес у Србији (Табела 21) S0 јединица би требало да кореспондира са дубокоморском изотопском фазом MIS 1 (0 до 12,1±3,1 ka), V-L1 би требало да одговара фазама MIS 2 – 4 (12,1±3,1 до 80,5±0,9 ka) док би V-S1 требало да покрива MIS 5 (80,5±0,9 до 129,3±1,0 ka).

Табела 21. Хроностратиграфија за лес у Србији.

Лесна стратиграфија		MIS
Војводина, Србија	Кина	
S0	S0	1
L1	L1	2, 3 & 4
S1	S1	5
L2	L2	6
S2	S2	7
L3	L3	8
S3	S3	9
L4	L4	10
S4	S4	11
L5	L5	12
S5	S5	13, 14 & 15
L6	L6	16
S6	S6	17
L7	L7	18
S7	S7	19
L8	L8	20
S8	S8	21
L9	L9	22
S9	S9	23, 24 & 25
L10	L10	26
Базални комплекс V-S10-?	S10-?	27-?

Извор: Markovic et al, 2009.

Табела 22. MIS фазе према Лисиецкој и Рајмовој.

Фаза	Почетак (година)	Топло/хладно	Значајан догађај
MIS 1	14.000	топлије	крај млађег тријаса, почетак холоцена
MIS 2	29.000	хладније	последњи глацијални максимум, насељавање Америка
MIS 3	57.000	топлије	почетак горњег палеолита; насељавање Аустралије, нестанак неандерталаца
MIS 4	71.000	хладније	ерупција Мт. Тобе
MIS 5	130.000	топлије	рани модерни људи напуштају Африку
MIS 5a	82.000	топлије	Ховиесон Пурт/Стил Беј (Howieson's Poort/Still Bay) комплекси у јужној Африци
MIS 5b	87.000	хладније	
MIS 5c	96.000	топлије	рани модерни људи у Израелу
MIS 5d	109.000	хладније	
MIS 5e	123.000	топлије	Еемијан
MIS 6	191.000	хладније	почетак средњег палеолита, развој раних модерних људи у Етиопији
MIS 7	243.000	топлије	
MIS 8	300.000	хладније	
MIS 9	337.000	топлије	
MIS 10	374.000	хладније	<i>Homo erectus</i> у Сибиру
MIS 11	424.000	топлије	развој неандерталаца у Европи. Ова фаза је сматрана најсличнијом MIS 1
MIS 12	478.000	хладније	
MIS 13	533.000	топлије	
MIS 14	563.000	хладније	
MIS 15	621.000	хладније	
MIS 16	676.000	хладније	
MIS 17	712.000	топлије	<i>Homo erectus</i> у Кини
MIS 18	761.000	хладније	
MIS 19	790.000	топлије	
MIS 20	814.000	хладније	<i>Homo erectus</i> у Израелу
MIS 21	866.000	топлије	

Извор: Lisiecki & Raymo, 2005.

10.3. СЕДИМЕНТАЦИОНЕ СТОПЕ: ИНДИКАТОРИ ПРОМЕНЕ ИНТЕНЗИТЕТА ФОРМИРАЊА ЛЕСНИХ НАСЛАГА

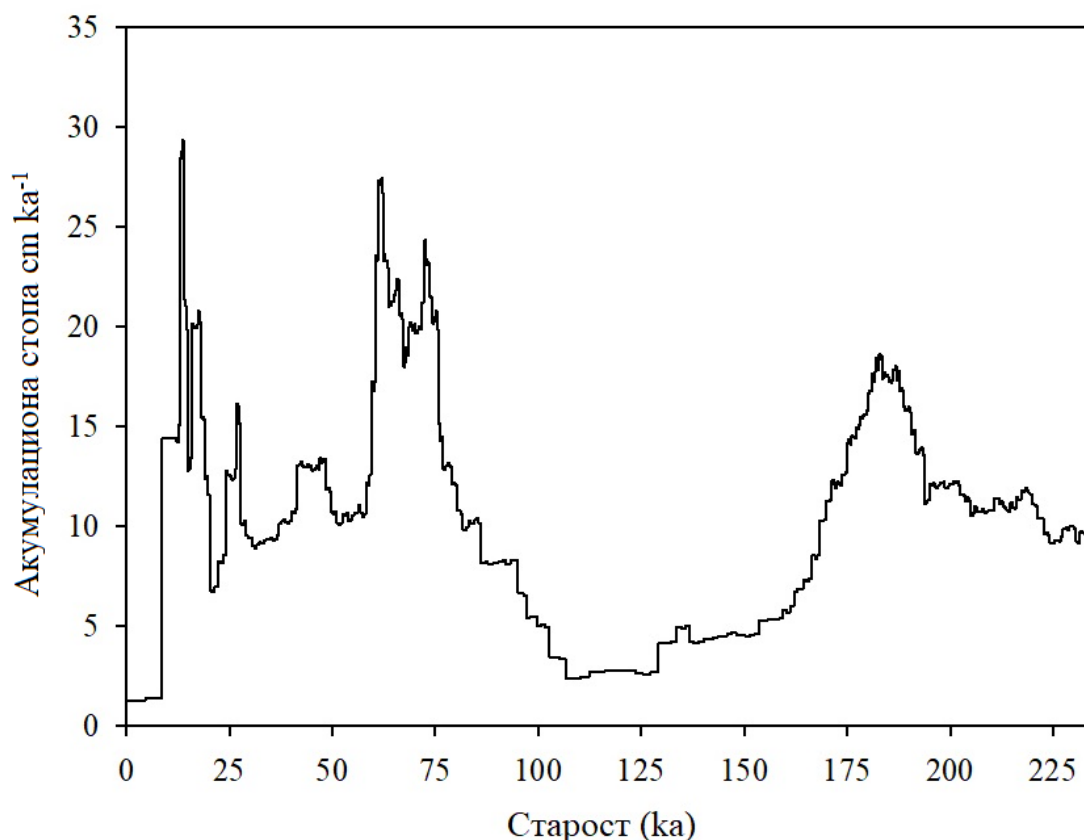
Акумулација леса зависи од великог броја фактора, укључујући промене у продукцији прашине и емисији у регијама његовог порекла, правац транспорта и услови који утичу на депозицију и презервацију у центрима акумулације. На кинеском лесном платоу, недавно OSL датирање је показало да ови фактори резултују седиментационе стопе које су специфичне за одређени локалитет, што умногоме отежава интерпретацију једноставних палеоеколошких записа из таквих података (Stevens and Lu, 2009). Ипак, утврђивањем акумулационих стопа са више локалитета широм истраживаног простора, могуће је одгонетнути опште трендове који се могу повезати са емисијом и транспортом атмосферске прашине (Stevens et al., 2011).

У прилогу 97 су приказане израчунате акумулационе стопе за секцију Велики сурдук, датиране OSL/пост-IRIR^{200,290} методама. Промене у старостима са нормализованом дубином су генерално сличне онима које су предложили Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) за секције Црвенка, Сурдук и Стари Сланкамен (Прилог 98).

Акумулационе стопе на секцији Велики сурдук су највише током самог краја последњег глацијалног периода то јест између 13 ка и 14 ка, након чега се бележи краткотрајан пад (15,1–15,8 ка), да би затим опет дошло до повећања (16–18 ка). До истог закључка дошли су Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011), за секције Црвенка, Сурдук и Стари Сланкамен, где су највишу акумулацију утврдили у грубо дефинисаном периоду између 13 ка и 28 ка, током последњег касног глацијалног периода. Период који су дефинисали Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) обухвата шири временски интервал због много ниже резолуције датирања него што је то представљено у овој студији. Релативно високе акумулационе стопе такође карактеришу и претпоследњи глацијални период

Најнижа утврђена акумулација на Великом сурдуку је била током холоцена (0– ~9 ка) и последњег интерглацијала (~95– ~164 ка) без евидентних повећавања акумулационих стопа за ове периоде. Међутим, образац акумулационе стопе није увек конзистентан са глацијално-интерглацијалним циклусима. Уврђено је да постоје периоди смањене акумулације и током последњег глацијала (20–24 ка).

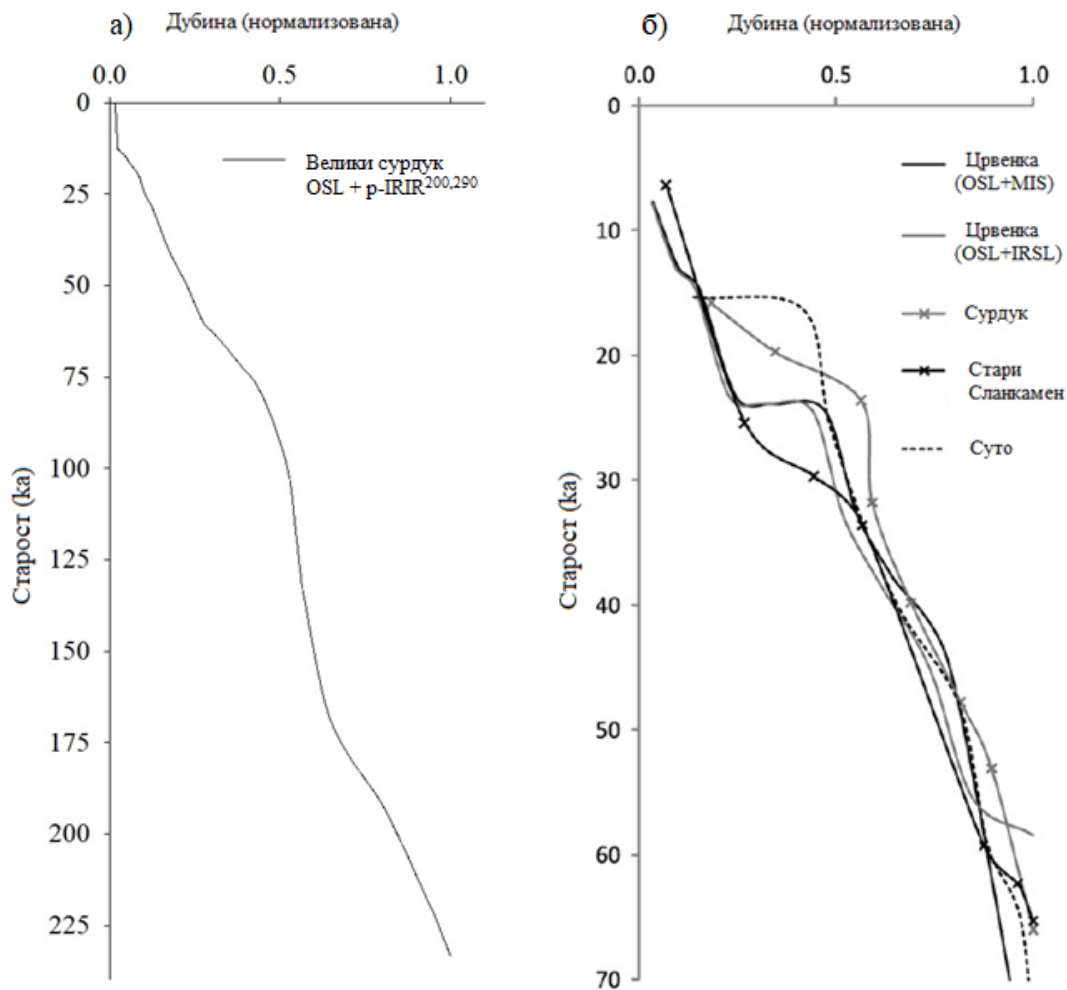
Други максимум акумулационе стопе евидентиран је током претпоследњег глацијала (180–190 ка) али доста мањег интензитета него што је забележен у последњој глацијалној јединици.



Прилог 97. Акумулационе стопе за секцију Велики сурдук израчунате користећи сваку појединачну луминесцентну старост.

Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) су закључили да високе акумулационе стопе током касног последњег глацијала индицирају или много активније изворишне регије или доста интензивнији транспорт него током раног периода последњег глацијала. Такође, је утврђено да се највише акумулационе стопе јављају на северу и централном делу Карпатског басена, са нижим вредностима на југу. Тако је на Старом Сланкамену установљено да су акумулационе стопе релативно константне током читавог последњег глацијала. Ово је могући индикатор северних лесних силтних извора, али и утицаја релативне близине алувијалних равни и палеоканала.

Теорија северних изворишта је конзистентна са већином главних хипотеза порекла леса у овом делу Европе, са могућим изузетком предложеног ограниченог доприноса Сахарске прашине (Stuut et al., 2009). Ово нарочито указује на чињеницу да Алпи, Моравија и северни Карпати чине значајне продукционе центре атмосферске прашине, и да су били активни током врхунца глацијације током касног последњег глацијалног периода.



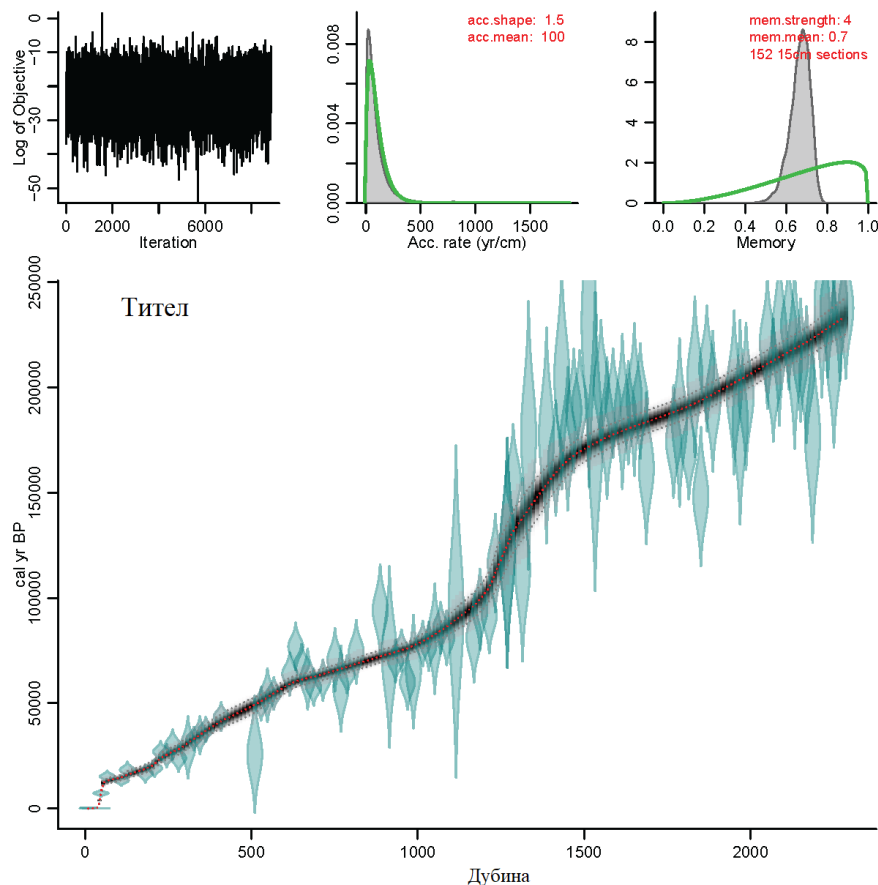
Прилог 98. Промене у сатористима нормализованим до максималне дубине за а) секцију Велики Сурдук и б) секције Црвенка, Сурдук, Стари Сланкамен и Суто у Мађарској (Прилог 98 (б) модификован према Stevens et al., 2011)

Ова широка кореспонденција врхунца акумулације са врхунцем глацијације може указивати на то да су утицаји велике надморске висине, атмосферских утицаја и глацијалног дробљења ти који производе силт који је главни чинилац формирања леса. Међутим, друга могућност је да је транспорт био интензивнији током касног последњег глацијала. Велики речни системи су таложили више седимената на њиховим алувијалним равнима у условима појачаних протока за време периодичних отапања, користећи претходно настале седиментне акумулације у сливовима на већим надморским висинама (Stevens et al., 2011).

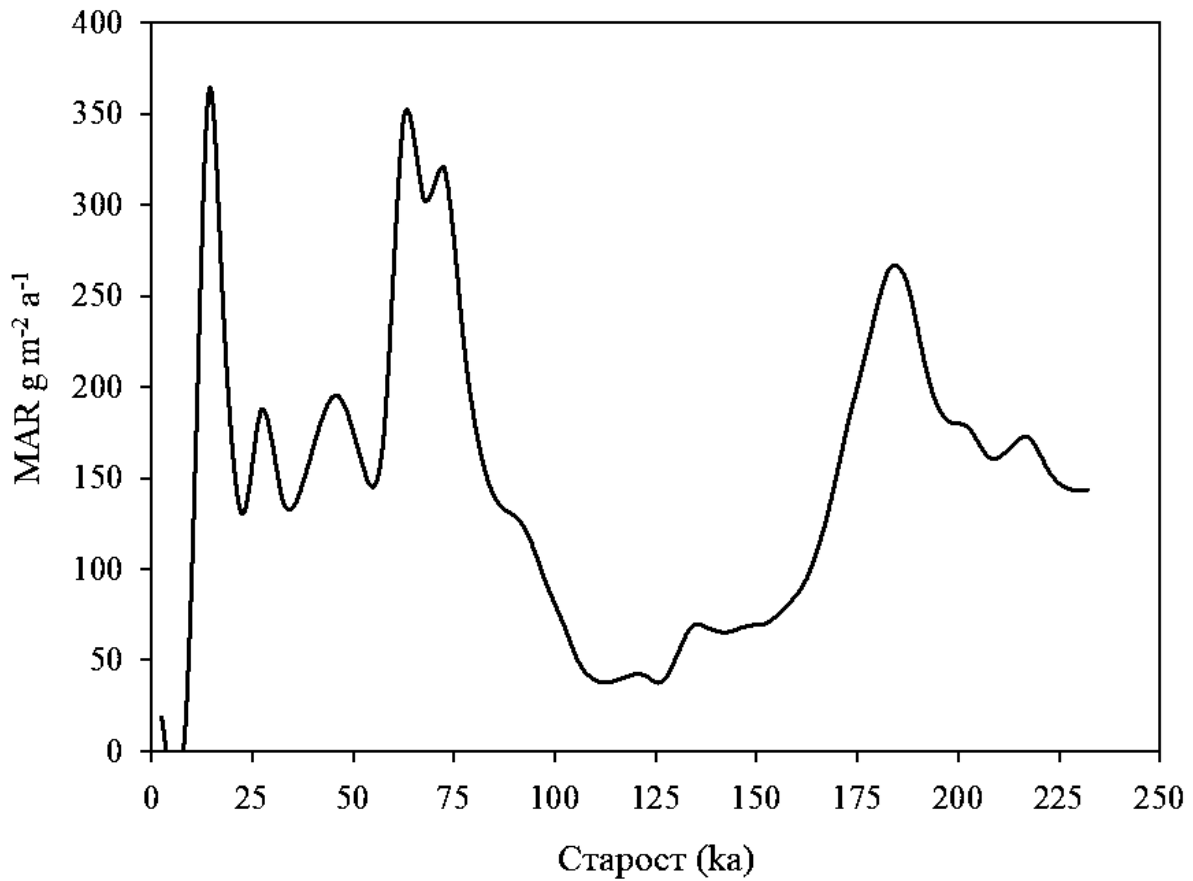
Детаљне седиментационе стопе за секцију Велики сурдук дате су у поглављу 13, у табели Д1. У овој студији примењен је приступ Bayesian моделовања, путем Wascon модела, Блаува и Кристена (Blaauw and Christen, 2011), у 15 cm резолуцији. Резултати

моделовања су представљени у прилогу 99. Како би се извела компарација са другим еолским архивима, као што су дубокоморска или ледена језгра, потребно је израчунавање масених акумулационих стопа у $\text{g/m}^2/\text{a}^1$ (Kohfeld and Harrison, 2003). Да би се MAR калкулације извеле у што је прецизније могућој мери, такође је потребно познавање масене густине седимента на локалитету. Пошто за секцију Велики сурдук до сада нису извршена мерења масене густине, у овој студији је коришћена вредност од $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Újvári et al. (2010), пошто ово представља вредност за лес Карпатског басена који је најближи овде истраживаном профилу.

Резултирајући MAR-ови заједно са старостима су представљени у прилогу 100, док су просечне вредности у интервалима од 5 ка приказане у табели 23.



Прилог 99. OSL и $p\text{-IRIR}^{200,290}$ старости са секције Велики сурдук и резултати Bayesian моделовања коришћењем Васон модела Блаува и Кристена (Vlaaauw and Christen, 2011). Резултати се заснивају на 33,88 милиона Монте Карло итерација и дају просечну поузданост од 95% за временски распон од 9578 година.



Прилог 100. Масене акумулационе стопе (MAR) по старостима за секцију Велики сурдук са просечним вредностима за интервале од 5 ka.

Табела 23. Масене акумулационе стопе (MAR; $g/m^2/a^{-1}$) за Велики сурдук. Просечне вредности за интервале од 5 ka.

ka	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50
MAR	18,7	20,5	347,7	257,5	130,5	187,4	138,0	147,5	184,4	191,2
ka	50–55	55–60	60–65	65–70	70–75	75–80	80–85	85–90	90–95	95–100
MAR	156,4	175,5	348,3	303,2	320,3	227,1	156,5	132,9	123,1	95,0
ka	100–105	105–110	110–115	115–120	120–125	125–130	130–135	135–140	140–145	145–150
MAR	69,1	45,8	37,6	41,0	41,2	39,6	65,3	68,2	65,3	68,6
ka	150–155	155–160	160–165	165–170	170–175	175–180	180–185	185–190	190–195	195–200
MAR	70,1	79,7	94,7	130,5	180,5	223,3	263,3	255,5	205,5	180,9
ka	200–205	205–210	210–215	215–220	220–225	225–230	230–235			
MAR	177,7	161,7	165,6	172,0	153,5	143,9	143,6			

Како би резултате било могуће поуздано упоредити између регија и других еолских архива, и користити у сврху процене интензитета депоновања атмосферске прашине у прошлости (Albani et al., 2015), у овој студији је израчуната масена акумулациона стопа (Kohfeld and Harrison, 2003) за две поменуте секције. MAR ($\text{g/m}^2/\text{a}^{-1}$) је израчунат путем једначине:

$$MAR = SR \times f_{eol} \times BD \quad (16)$$

где, SR је седиментациона стопа у m/a^{-1} , f_{eol} је пропорција седимента еолског порекла (претпостављено вредност 1) и BD је масена густина леса (gm^{-3}).

MAR вредности су највише у лесним јединицама, то јест током последњег глацијала. Највиша вредност је утврђена током касног последњег глацијала у јединици L1L1, што се поклапа са резултатима Стивенса и сарадника (2011) израчунатим за секцију у Црвенки.

За последњи глацијал вредности се крећу од 100,4 до 411,4 $\text{g/m}^2/\text{a}^1$, док пондерисани просек за овај период (15–81 ka), износи 234 $\text{g/m}^2/\text{a}^1$. Овај просек је нешто нижи од вредности 274 $\text{g/m}^2/\text{a}^1$ коју су утврдили Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2011) за секцију Црвенка. Међутим у том истраживању је просек израчунат за период од 15 ka до 33 ka што је могући разлог малог одступања у вредностима. Израчунати просек се генерално слаже и са просечним MAR вредностима за Карпатски басен које су представили Ујвари и сарадници (Újvári et al., 2010) за период између 12 ka и 28 ka. Вредности које су овде представљене могу веома добро илустровати значај и природу леса у Србији као и чињеницу да је еолски флуks током последњег глацијала у централној Европи био потцењен (Újvári et al., 2010).

У овом моменту тешко је са сигурношћу тврдити који процесиси су одговорни за поменуте периоде повећане депозиције атмосферске прашине. Евидентно је да се као у ранијим студијама то поклапа са MIS 2 и MIS 4. За разлику од поједностављеног модела депоновања кинеског леса који је доминантно дефинисан варирањем интензитета источноазијског монсуна, ситуација на простору Тителског брега је много сложенија. Лес у Војводини се може назвати флувијалним лесом, јер у његовом формирању велику улогу играју Дунав и његове притоке па самим тим интензитет депоновања атмосферске прашине у овом случају зависи и од хидролошких својстава река, као и промене запремине леда у Алпима (Gavrilov et al, 2017)..

За разлику од кинеског леса где је сличним детаљним датирање установљено постојање хијатуса (Stevens et al., 2006, 2008), у депозицији лесних седимената нашим мерењима која су још детаљнија, таква појава није утврђена током последњег глацијала. О евентуалној појави хијатуса можемо говорити тек у лесу из претпоследњег глацијала. Међутим у овом случају добијене датације не морају неизоставно да значе и појаву седиментационих хијатуса, већ је могуће да се ради о ограничењима метода датирања. У сваком случају, датирање лесног хоризонта L2 је веома значајан допринос бољем познавању динамике формирања леса у овом периоду, јер је до сада лес ове старости датиран само у Мађарској (Thiel et al., 2014) и Румунији (eg. Gabor et al., 2010; Constantin et al., 2013). Имајући у виду дебљину леса L2 у Великом сурдуку код Мошорина, пре се може закључити, да се ради о ограниченој сензитивности метода датирања. У прилог томе, може се навести чињеница, да на самом профилу поред бушотине која је анализирана, не постоје трагови ерозивних процеса који се могу уочити непосредним посматрањем.

10.4. НОВИ СТРАТИГРАФСКИ ДОМЕТИ: L1/S1 ГРАНИЦА У НАШЕМ И КИНЕСКОМ ЛЕСУ

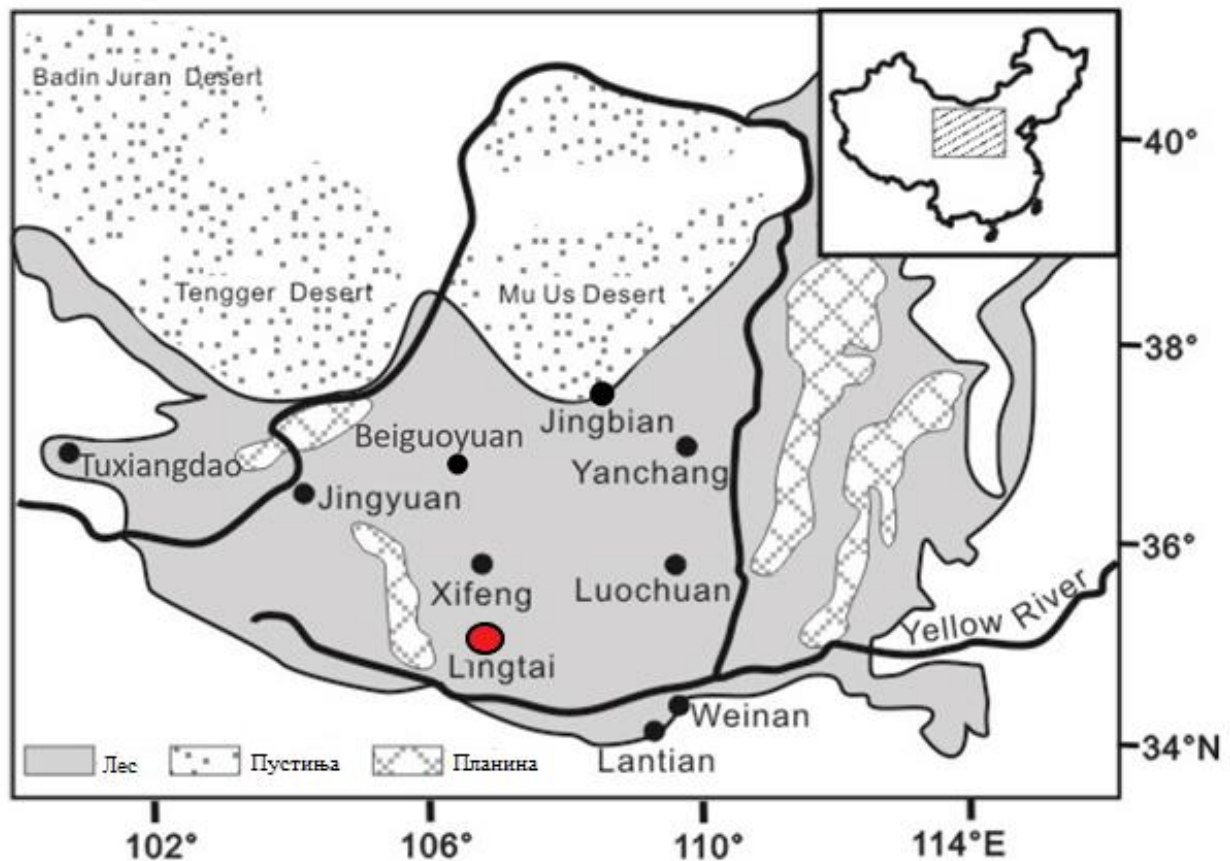
Реконструкција масене акумулационе стопе лесних наслага, која представља централну компоненту у разумевању прошлих атмосферских активности минералне прашине, захтева прецизне, независне временске моделе из лесних депозиција широм Евроазијског континента. Претходне корелације леса у Европи и Кини су се углавном фокусирали на вишемиленијумске временске скале, и нису садржале детаљнија испитивања MAR-а прашине на два краја Евроазијског лесног појаса за краће, суборбиталне скале.

Луминесцентни подаци добијени у овој студији, створили су могућност за развој континуалних и независних старосно-дубинских модела за секције Велики сурдук у Војводини и Лингтаи у Кини.

10.4.1. ГЕОГРАФСКИ ПОЛОЖАЈ И ОПИС ЛИНГТАИ СЕКЦИЈЕ

Лингтаи секција је ситуирана на средњем делу Кинеског лесног платоа (107°30'33"E, 35°00'75"N; Карта 7), око 15 km јужно од града Лингтаи, у Гансу провинцији. Секција се налази на надморској висини од ~1340 m (Ding and Yang, 2000), на

типчној лесној висоравни. Секција се састоји од лесно-палеоземљишних секвенци моћности од 175 m испод којих лежи формација плиоцене црвене глине. Дугорочна хронологија Лигтаи секције је базирана на паеломагнетној реверсној стратиграфији као и већина записа на Кинеском лесном платоу, иако је више секција подешено на астрономску временску скалу (Ding et al., 1994, 2002; Lu et al., 1999).



Карта 7. Карта Кинеског лесног платоа. Положај секције Лингтаи је обележен црвеним кружићем (Модификовано према Perić et al., 2017, у рецензији).

Лингтаи секција је једна од најдужих и најкомплетнијих на Кинеском лесном платоу са укупно 33 палеоземљишна хоризонта који су секвенцијално развијени током плеистоцена и представљају влажно-топле интервале. Палеоземљишни хоризонти се смењују са лесним слојевима који представљају хладно-суве периоде и овде су углавном непоремећени и веома добро очувани. Холоцено земљиште на врху секције је ~75 cm дебљине, растресите структуре и смеђе боје. Као и секција Велики сурдук, садржи Ск хоризонт (25 cm до ~90 cm) са CaCO₃ нодулима. Ah хоризонт је ~25 cm дебљине и представља типичну пољопривредну терасу са развијеним рецентним земљиштем и мноштвом коренских канала испуњеним хумусним материјалом.

Табела 24. Положај горње и доње границе профила Лингтаи и дебљине стратиграфских јединица.

Стратиграфска јединица	Горња/доња граница (m)	Дебљина (m)
S0	00,0/00,75	0,75
L1	00,75/6,30	5,55
L1L1	00,75/2,20	1,45
L1S1	2,20/4,20	2,20
L1L2	4,20/6,30	2,10
S1	6,30/9,00	2,70

*Напомена: Опис урађен на основу теренских белешки Јана-Питера Бујлтера

Последња глацијална лесна јединица (L1) је моћности 630 cm, испресецана мноштвом финих и неколико већих корена у горњих ~200 cm хоризонта. Нижа лесна јединица (L1L2) има густу структуру са великим бројем финих, ситних CaCO₃ преципитата. При дубини од 540 cm приметан је пораст садржаја песка и CaCO₃. Педокомплекс L1S1 у повлати је 220 cm дебљине, смеђе боје са неколико секундарних карбоната, углавном у финим, коренским каналима. Почевши од ~280 cm надоле, депозити показују већу густину у структури. Палеоземљиште S1 из последњег интерглацијала је 270 cm дубине, црно-смеђе боје што указује на висок садржај органске материје (Ding et al., 1999). Нижи, транзициони део ка L2 је глиновит, жуто-смеђе боје и показује повишени садржај песка. Средишњи део педокомплекса (740–820 cm) карактеришу веома доминантни Mn преципитати (0,5 cm пречника). Највиши хоризонт је угаоно-коцкасте структуре, богат глином са мноштвом кротовине. Више аутора је корелисало Лингтаи са другим секцијама на платоу путем анализе величине зрна и записа магнетне суцептибилности (Kukla and An, 1989; Rutter et al., 1991) али до данас не постоји независна хронологија за овај локалитет (за детаље о секцији Велики сурдук видети поглавља 8.1. и 9.1.).

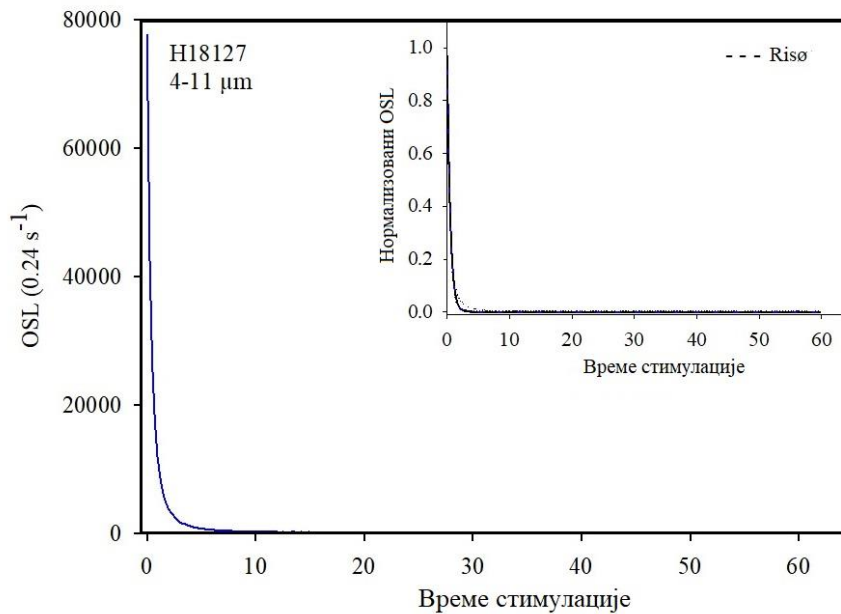
10.4.2. УЗОРКОВАЊЕ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕТАЉИ И ЛУМИНЕСЦЕНТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛИНГТАИ УЗОРАКА

Узорци са Лингтаи секције су добијени методом седиментне секције, укуцавањем цилиндара од нерђајућег чилика у лесни профил у интервалима од 10 cm. Укупно је обезбеђено 78 узорака, што покрива дубину од 11,90 m. Узорковање је спроведено у Нордијској лабораторији за луминесцентно датирање, на Рисо кампусу у Данској, у условима пригушене наранцасте светлости. Материјал из средњег дела цилиндара је коришћен за мерења еквивалентне дозе, док је спољни материјал употребљен за мерења дозне стопе.

За датирање узорака са Лингтаи секције коришћена је фракција минералних зрна 4–11 μm . У сврху екстраховања финих зрна кварца из Лингтаи узорака, примењена је стандардна процедура (Lowick and Preusser, 2010). Сва зрна су најпре третирана раствором HCL-а од 32% како би се уклонили карбонати, након чега је следио третман раствором H_2O_2 од 30% за уклањање органске материје и коначно са $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ како би се избегла агрегација. Полиминерална фина зрна су слегнута Стоковим законом, док су кварцна зрна добијена потапањем ових зрна у раствор $(\text{H}_3\text{O})_2\text{SiF}_6$ од 32% на 3–5 дана. Коначно, како би се уклонили флуориди, зрна су третирана раствором HCL-а од 32%. Зрна су у сврху мерења постављена на 9,8 mm алуминијумске дискове ацетоном, методом пипете. Сва луминесцентна мерења су као и у случају узорака секције Велики сурдук обављена у Нордијској лабораторији за луминесцентно датирање, на Risø TL/OSL читачима опремљеним са $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ бета изворима.

Узорци за одређивање годишње дозне стопе путем гама спектрометрије су припремљени на идентичан начин као узорци са Великог сурдука (видети поглавље 8.3.1.). Активност ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K су приказани у табели Д2 у поглављу 12. Садржај воде у Лингтаи узорцима је процењен на 20%, на основу типичних вредности за овај локалитет, пошто јужни део Кинеског лесног платоа има влажнију климу (Stevens et al, 2013). Укупне дозне стопе су приказане у табели Д3 у поглављу 13.

Кварцни аликвоти су добијени од узорака Н18101 (20 cm дубине) до Н18149 (560 cm дубине), што одговара L1 лесно-палеоземљишној секвенци. Узорци са Лингтаи секције су подвргнути идентичним тестовима као и узорци са Великог сурдука. Резултати процедуралних SAR тестова, заједно са De вредностима и старостима су представљени у табели Д3 у поглављу 13.

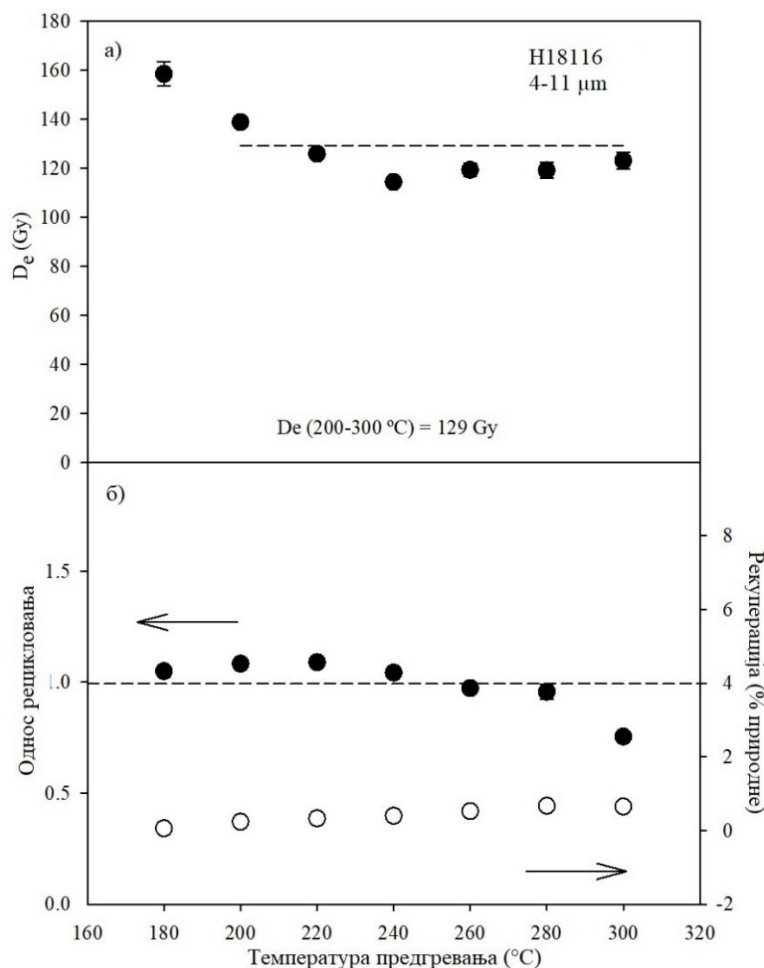


Прилог 101. Природна крива опадања узорка кварца H18127 са секције Лингтаи. У инсету је приказана природна крива опадања у поређењу са калибрационим кварцом (испрекидана црна линија) где је установљено савршено поклапање.

Тест провере чистоће је показао OSL/IR деплециони однос близу једнакости а 110°C TL вхови су били јасно дефинисани што је индицирало високу чистоћу кварца. OSL сигнал је био светао, јасан и доминиран брзом компонентом. Природни и регенерисана крива опадања су показале веома блиско поклапање, како једна са другом тако и са калибрационим кварцом (Прилог 101).

У сврху одређивања адекватне температуре предгревања, изведен је тест платоа предгревања на 24 аликвота узорка H18116 (210 cm дубине). Употребљене су температуре у распону од 160°C до 300°C у комбинацији са 160°C до 260°C предгревањем тестне дозе. Утврђено је да је D_e независна од температуре до предгревања од $\geq 200^{\circ}\text{C}$. На основу ових резултата, изабрана је температура предгревања од 260°C на 10 s и прекидно предгревање од 220°C за сва наредна мерења. Реултати платоа предгревања су приказани у прилогу 102.

Како би се тестирала примењивост луминесцентног мерног протокола, изведен је тест дозне обнове (Murray and Wintle, 2003) на 4 аликвота сваког другог узорка (H18121 – H18134 (n=12) ~ 120 Gy доза; H18135 – H18140 (n=6) ~ 100 Gy доза).

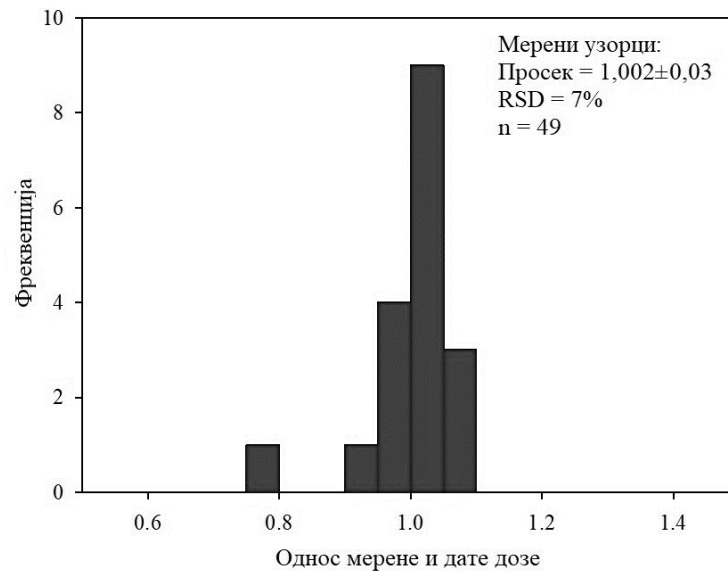


Прилог 102. Еквивалентна доза као функција прве температуре предгревања за узорак H18116.

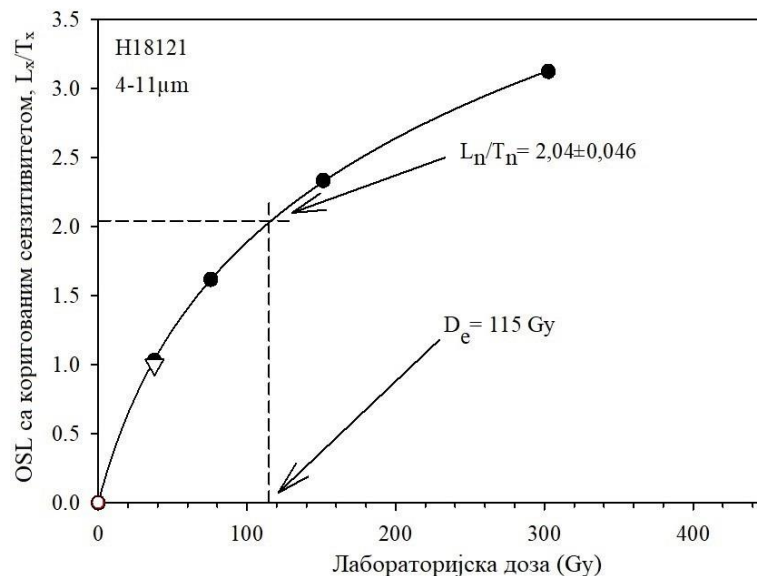
(а) Користићена су три аликвота по температури предгревања. Једна цртица на тачкама представља једну стандардну грешку. Испрекидана линија је постављена на просечној D_e вредности аликвота мерених при температурам између 180°C и 300°C. (б) Однос рецикловања и рекулперације као функција температуре предгревања за исти узорак као у (а). Испрекидана линија је постављена на 1,0 како би се илустровало савршено рецикловање (Према Perić et al., 2017, у рецензији).

Просек односа мерене и дате дозе за Лингтаи узорке ($n=18$; 4 аликвота по узорку) је износио $0,99 \pm 0,03$ што је потврдило да је примењени SAR протокол погодан за утврђивање старости и да је могуће репродуковати познату лабораторијску дозу. Детаљи теста дозне обнове за Лингтаи узорке су сажети у прилогу 103.

За сваки узорак са Лингтаи секције (H18101–H18149; $n=49$) изведена су 2–4 поновљена мерења. Типична крива дозног одзива за узорак H18121 је приказана у прилогу 104. D_e вредности Лингтаи кварца се крећу од $5,7 \pm 0,2$ Gy за највиши узорак до 150 ± 6 Gy за најнижи датирани узорак.



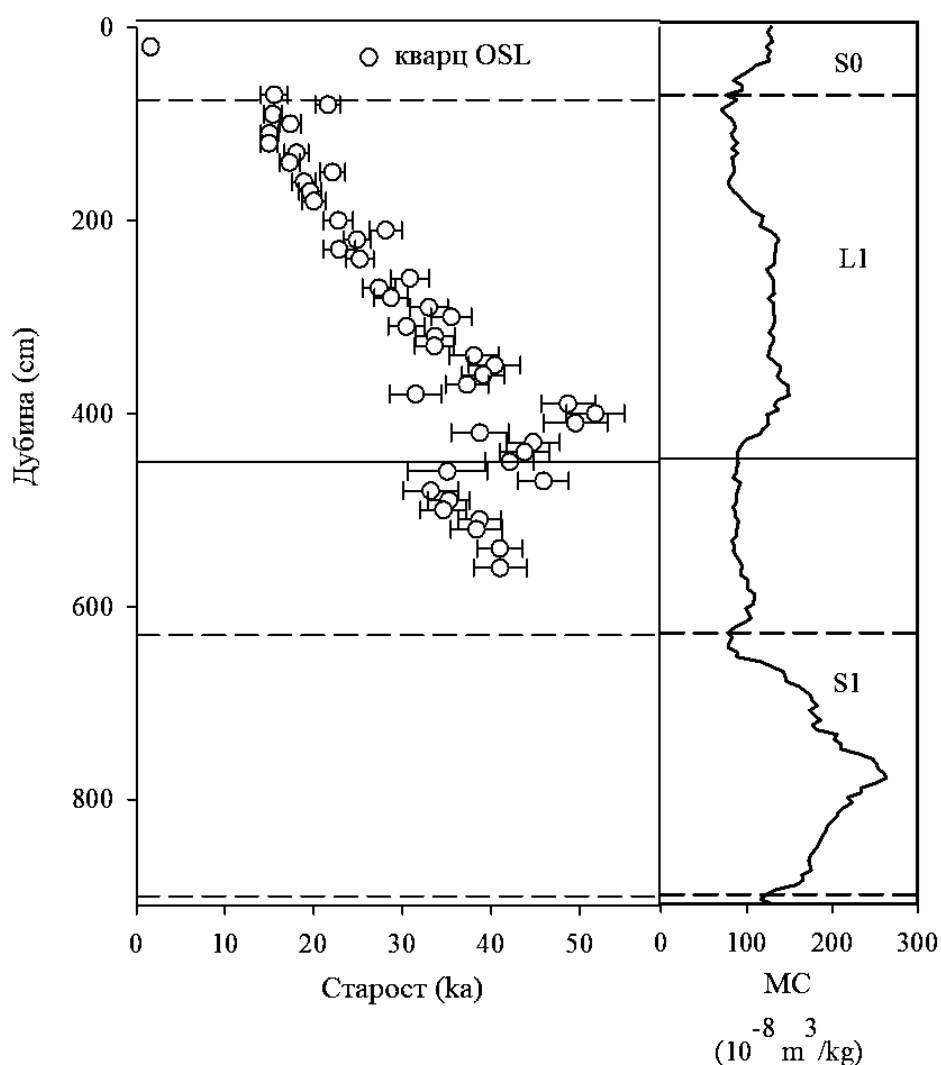
Прилог 103. Хистограм са сумираним резултатима теста дозне обнове за узорке са Лингтаи секције



Прилог 104. Репрезентативна крива SAR дозног одзива за кварцни узорак H18121. Тачка рецикловања је приказана отвореним троуглом док је нула дозна тачка представљена отвореним кружићем.

Вредности еквивалентне дозе показују раст са дужином до ~ 150 Gy после чега су готово поравнате. Ово може бити индикатор да је кварц при овој тачки већ засићен. Ова вредност се такође подудара са горњом границом датирања кварца из кинеског леса, коју су предложили Чапот и сарадници (Chapot et al., 2012) и сличних је особина као кварц са Великог сурдука. Из овог разлога ће узорци почевши од H18140 (450 cm) и ниже бити изузети из старосног модела и даље дискусије.

Старости Лингтаи узорака генерално расту са дужином, али у неколико случајева испољавају нерегуларности (Прилог105). Најзначајнија је разлика од 14 ка између узорка Н18101 ($1,60 \pm 0,27$ ка) и Н18103 ($15,6 \pm 1,5$ ка), при промени дубине од само 50 см. Узорак Н18104 је показао необично високу старост (~ 22 ка) у поређењу са наредним узорком, док узорак Н18133 има значајно нижу старост него што остатак података наговештава. Највећу старост од ~ 52 ка је показао узорак Н18135, док су наредни узорци Н18136, Н18137 и Н18138 од $44,7 \pm 3,0$ ка имали ниже старости од $49,5 \pm 3,6$, $38,7 \pm 3,2$ и $44,7 \pm 3,0$ све у ка, редом. Затим, записи настављају да показују конзистентан пораст старости са порастом дубине све до узорка Н18141 ($35,1 \pm 4,5$ ка на 460 см дубине). Након 460 см, старости не показују даљи пораст са растом дубине.



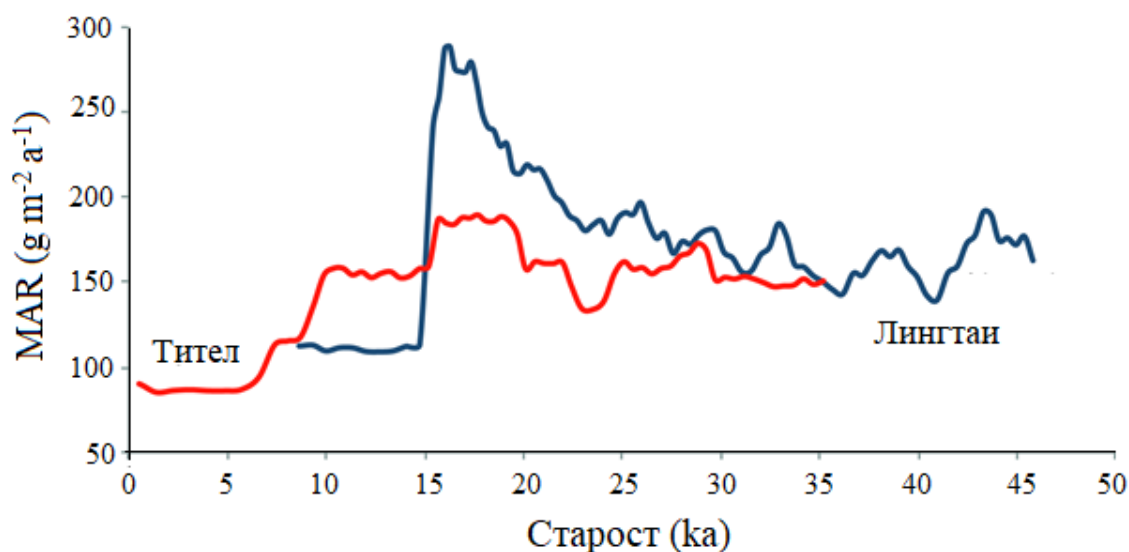
Прилог 105. Луминесцентне старости узорака са Лингтаи секције плотоване наспрот запису магнетног сусцептибилитета. Пуна црна линија представља предложену поуздану старосну границу за датирање кварца на овој локацији.

10.4.3. СТАРОСНО-ДУБИНСКИ МОДЕЛИ И МАСЕНО АКУМУЛАЦИОНЕ СТОПЕ (MAR)

Мишљења о начинима добијања континуалних старосно-дубинских модела на основу дискретних луминесцентних временских тачака се у литератури веома разликују (Kang et al., 2015; Stevens et al., 2016; Újvári et al., 2014). Недостатак очигледних прекида у седиментацији (хијатуса) (са вероватним изузетком у S0), који би индииковали нагли пад старости са дубином (Stevens et al., 2006), дозвољава конструкцију континуалних старосно-временских модела. Поред тога, функција старост-дубина је скоро линеарна на обе секције, што указује на релативно константне седиментационе стопе, најмање унутар граница грешке ове технике. Једини изузетак код оба локалитета представља промена са релативно виших седиментационих стопа на релативно ниске при ~15 ka. Као и у случају секције Велики сурдук, масена акумулациона стопа (MAR) (Kohfeld and Harrison, 2003) за две поменуте секције је израчуната путем једначине (16).

Процењене вредности масене густине за лес варирају у зависности од консултоване литературе и лесних регија (Kohfeld and Harrison, 2003; Stevens et al., 2016; Újvári et al., 2010). У овом случају, масена густина је мерена директно на свим датираним узорцима са Лингтаи секције. Иако се вредности крећу у распону од $1,3 \text{ g/cm}^3$ до $1,7 \text{ g/cm}^3$, већина је концентрисана око средње вредности од $1,5 \text{ g/cm}^3$, што се скоро потпуно подудара са средњим вредностима података масене густине за Кинески лесни плато који су представиле Колфелд и Харисон (Kohfeld and Harrison, 2003). Масена густина леса са Тителског лесног платоа није директно мерена, веће је коришћена процена на основу оближњег средњедунавског леса са лесне секцију у Дунафелдвару у Мађарској, где просечна вредност износи $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Újvári et al., 2010). Резултирајући MAR-ови заједно са старостима су представљени у прилогу 106, док су просечне вредности у интервалима од 5 ka приказане у табели 25.

Мало је вероватно да су краткорочне (суб-хиљадугодишње) флукуације у реконструсаном MAR-у прецизне услед грешака у старосном моделу, али се у овом случају може расправљати о дугорочним трендовима. Како апсолутне MAR вредности, тако и трендови у подацима са старостима су изузетно сличне између секција. Обе показују максимум MAR вредности између 15 ka и 20 ka, где код Лингтаи секције вредности достижу врхунац између 17 ka и 16 ka од око $290 \text{ g/m}^2/\text{a}^{-1}$, док вредности на Тителском платоу показују нижи али конзистентнији максимум од $190 \text{ g/m}^2/\text{a}^{-1}$ између 20 ka и 15 ka. На обе локације MAR вредности су сличне пре 20 ka и обе секције показују ниже MAR вредности након 15 ka.



Прилог 106. Масене акумулационе стопе (MAR) по старостима за секције Тител (црвена линија) и Лингтаи (плава линија).

Табела 25. Масене акумулационе стопе (MAR; $g/m^2/a$) за Тител и Лингтаи. Просечне вредности за интервале од 5 ка.

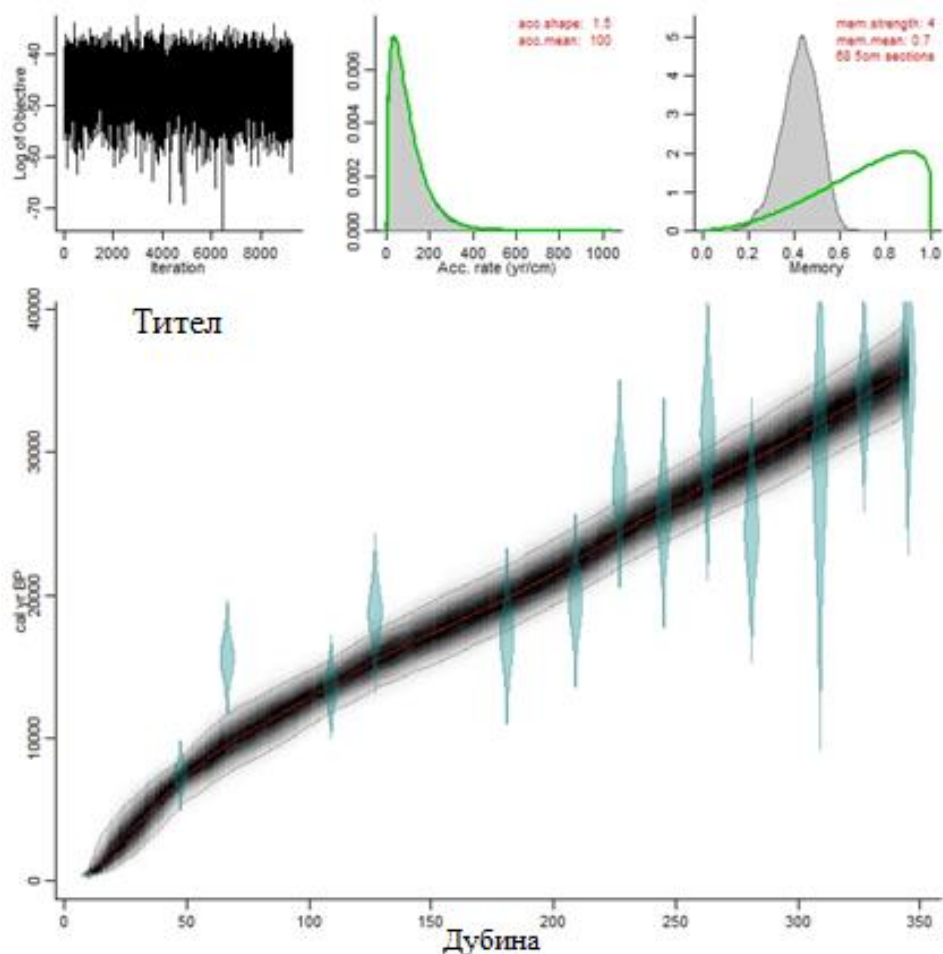
Старост (ка)	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45
Тител MAR	86,9	116,7	155,5	183,7	196,2	161,5	150,4		
Лингтаи MAR		111,6	110,9	254,1	196,2	180,8	165,1	156,9	168,5

У принципу, Велики сурдук показује мање MAR варијације него Лингтаи секција. Ове MAR вредности су релативно ниске у поређењу са просечним вредностима за последњи глацијал средње-источно Европског леса (Újvári et al., 2010), иако ове наслаге показују знатне варијације у MAR-у. Време MAR максимума на секцијама се опште узевши подудара (мада нешто касније) са временом MAR максимума који је идентификован на основу анализа многих локалитета који су више пута датирани методом луминесценције широм Кинеског лесног платоа (Kang et al., 2015). Стивенс и сарадници (Stevens et al., 2016) су показали MAR максимум код Ксифенг секције (Xifeng) око 22 ка до 27 ка раније него у овде представљеним подацима. Нејасно је да ли су ове мале разлике у MAR максимумима последица непоузданости датирања или представљају стварне

разлике у акумулацији између секција. У сваком случају, на Кинеском лесном платоу постоји знатна количина доказа за главни MAR максимум током последњег глацијалног периода, а сличан старосни врхунац на секцији Велики сурдук указује на то да је ово можда био случај код већине лесних наслага средње Европе. Међутим, ово је потребно детаљније истражити и тестирати јер за разлику од Кине, постоји веома мало MAR података за Европске наслагае. Изванредна сличност у MAR обрасцима између две секције на супротним крајевима Евроазијског лесног појаса указује на то да су трендови (најмање шире временске скале) активности прашине током последњег глацијалног периода морали бити слични на континенталном нивоу. Ово је обећавајуће у односу на употребу лесних наслага у сврху добијања боље географске представе о прошлим активностима прашине на континенталном нивоу. Релативна константност MAR-а указује на постојане нивое прашине током већег дела последњег глација, као и на недостатак присуства већих прекида у седиментацији, изван граница грешке OSL старости. Са обзиром на то, чини се да постоје знатне варијације у степену на коме локалитети могу показивати прекиде у седиментацији (Buylaert et al., 2008; Kang et al., 2015; Stevens et al., 2008, 2016). Главни врхунац активности прашине током касног задњег глацијала се опште гледано поклапа са порастом активности прашине која је утврђена у леденим и дубокоморским језгрима северне хемисфере (Hovan et al., 1989; Rasmussen et al., 2014; Ruth et al., 2007).

Међутим, са обзиром на недоследности у времену акумулације леса између лесних секција, потребно је даље побољшање хронологија акумулације седимената пре идентификовања разлика у времену између различитих седиментних архива. У сврху могућности употребе MAR података за климатско моделовање (Albani et al., 2015), подаци о дистрибуцији величине зрна за секцију Лингтаи су приказани у поглављу 13, у табели Д4. На жалост, подаци о о дистрибуцији величине зрна за секцију Велики сурдук још нису доступни, што би увелико допринело комплетности представљених резулата и употребне вредности за климатско моделовање.

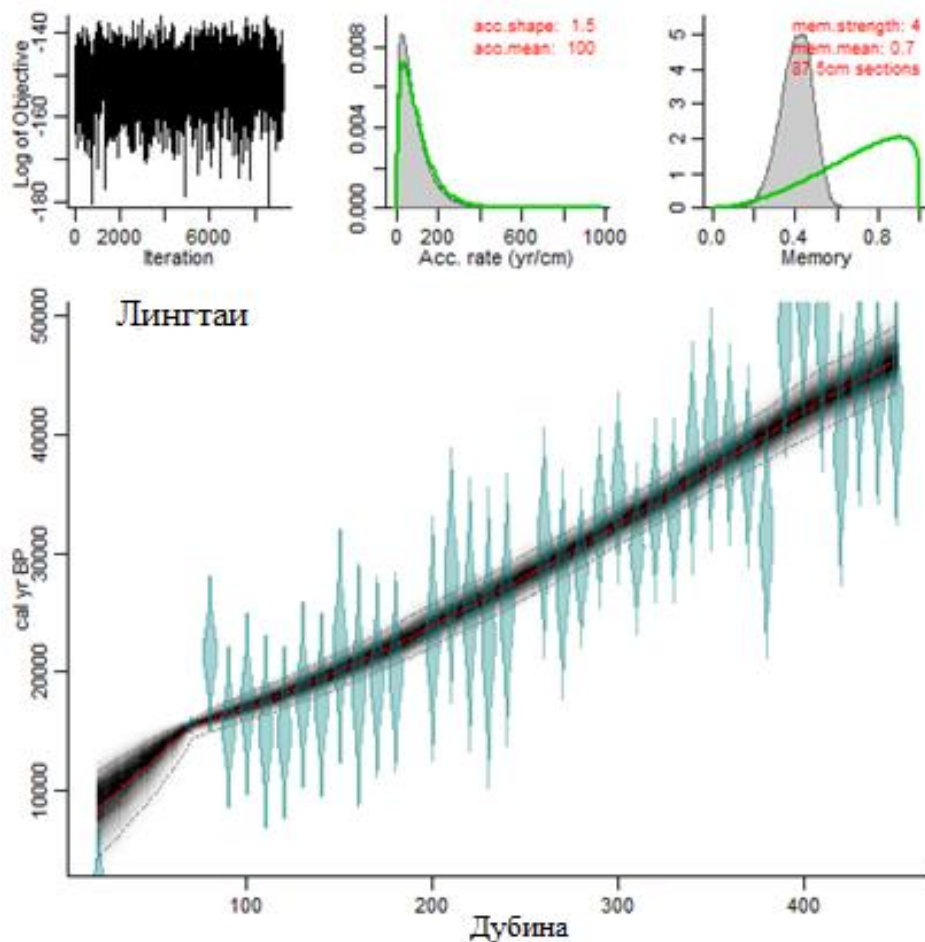
Као и код Великог сурдука и у овој студији примењен је приступ Bayesian моделовања, путем Васон модела, Блаува и Кристена (Blaauw and Christen, 2011), међутим у овом случају у 5 cm резолуцији. Резултати моделовања су представљени у прилозима 107 и 108.



Прилог 107. OSL старости са секције Велики сурдук и резултати Bayesian моделовања коришћењем Vasco модела Блаува и Кристена (Blaauw and Christen, 2011). Резултати се заснивају на 15 милиона Монте Карло итерација и дају просечну поузданост од 95% за временски распон од 4530 година.

Може се закључити да детаљно кварцно OSL датирање горњег леса последњег глацијалног циклуса на два локалитета на екстремним крајевима Евроазијског лесног појаса доказује да је ова техника погодна за прецизно утврђивање старости до ~ 150 Gy, услед сатурације сигнала. Међутим, датирање узорака високе резолуције средње до касне последње глацијалне фазе, производи генерално интерно конзистентне старости које пролазе стандардне тестове луминесцентног датирања. Генерално, луминесцентне старости расту упоредо са дужином за истраживани период на обе секције, и није примећен значајан скок у старости за истраживани период што указује да није било већих прекида седиментације. Резултујући временски подаци су конвертовани у старосно-дубински модел путем Bayesian приступа при чему су калкулисане и масене акумулационе стопе. Ово је показало релативно константне и веома конзистентне MAR-ове током задњих 35–45 ka на истраживаним локалитетима. Такође је утврђено да апсолутне MAR

вредности на локалитетима показују веома велике сличности. Врхунац у MAR вредностима код обе секције је идентификован при ~15–20 ка, што указује да се слични образци активности прашине током последњег глацијалног циклуса могу јавити на оба краја Евроазијског лесног појаса и да је ова активност током тог периода могла имати хемисферски тренд.



Прилог 108. OSL старости са секције Лингтаи и резултати Bayesian моделовања коришћењем Васон модела Блаува и Кристена (Blaauw and Christen, 2011). Резултати се заснивају на 19 милиона Монте Карло итерација и дају просечну поузданост од 95% за временски распон од 3838 година.

11. ЗАКЉУЧАК

Како би мило могуће одредити природу палеоклиматских записа који су сачувани у лесним платоима у Војводини, потребна је детаљна анализа депозиционих карактеристика ових континуалних седимената. Датирање методом оптички стимулисане луминесценције на узорцима високе резолуције пружа велике могућности за извођење таквих анализа. Међутим, датирање високе резолуције је временски и економски веома захтевно те је због тога њена практична примена делимично ограничена.

Истраживање чији су резултати представљени у овој студији, представљају најмонументалнији пројекат луминесцентног датирања лесних седимената икада спроведеним на Европском континенту. У прилог овоме говори чињеница, да је у оквиру најдетаљнијег пројекта луминесцентног датирања на простору Србије, који су спровели Стивенс и сарадници (2011) на локалитету Црвенка, анализирано 12 узорака, у поређењу са 99 колико је било укључено у овој студији. Магнитуди овог истраживања доприноси и веома висока резолуција узорковања. (13–15 cm у континуитету од ~23 m) што овај пројекат чини једном од најобимнијих и најдетаљнијих научних студија палеоклиматске реконструкције у свету.

Лес из последњег глацијалног циклуса може се поредити са другим профилима али L2 из претпоследњег глацијалног циклуса нигде није датиран са оволико узорака. Поред изузетних квантитативних димензија нашег истраживања овде треба посебно истаћи и особиту методолошку разноврсност примењену у овој студији. Употребом класичног SAR протокола за датирање утврђено је да кварцна зрна са Тителског лесног платоа представљају прецизне дозиметре до ~120 Gy, после чега долази до очигледног засићења сигнала (Perić et al., 2016).

Највиша утврђена доза фелдспата измерена модификованим SAR пост-IRIR^{200,290} протоколом је била $854,0 \pm 24$ Gy. Треба напоменути да пост-IRIR^{200,290} протокол није утврдио сатурацију код минералних зрна фелдспата, што је умногомо подигло поуздану старосну границу за датирање на секцији Велики сурдук, а највероватније и на осталим лесним профилима у Србији. Примена различитих протокола и мерења аплицираних на различите групе минерала и њихове фракције дају овим истраживањима далекосежан методолошки значај. На овај начин је доказано да у поменутом временском опсегу OSL датирање грубог кварца даје поуздане старосне процене до $35,8 \pm 3,7$ ка док су зрна фелдспата датирана до чак $237,7 \pm 12,8$ ка. Кварц има апсолутно највећу подударност са

очекиваним геолошким временом до MIS 2 за разлику од фелдспата који показује бољу подударност са претпостављеном геолошком хронологијом до MIS 7.

Упркос доказима да луминесцентне старости за лесну подјединицу L1LL2 на Црвенка А секцији (Stevens et al., 2011) више кореспондују са касном MIS 3, него са очекиваном геолошком старошћу која се повезује са MIS 4 (e.g. Marković et al., 2008, 2015), ипак је вероватније да је L1LL2 лесни хоризонт формиран током MIS 4. Фукс и сарадници (2008) су датирали исту стратиграфску подјединицу L1LL2 на секцији Сурдук где су утврдили старости у распону од $\sim 52,4 \pm 6$ ка до $82,6 \pm 9,6$ ка, што указује да је формирање леса настављено до чак MIS 5а што се апсолутно поклапа са резултатима добијеним датирањем секције Велики сурдук.

Детаљна корелација између стратиграфија секција Сурдук и Црвенка су показивале велику сличност. Ове хронолошке интерпретације су потврђене резултатима који су представљени у овом раду. Независни докази из малаколошких скупина утврђеним у подјединици L1LL2 које су анализирани на свим локалитетима у Војводини, увек су индицирали сувље климатске услове него што је то случај у подјединицама L1LL1 и L1SS1 (e.g. Marković et al., 2008). Након пажљиве анализе лесне секције Велики сурдук, током детаљног описа профила, нису примећени никакви знаци ерозивних процеса. На основу тога се може закључити да је присуство значајнијих ерозионих хијатуса (бар на вишемиленијумским нивоима), мало вероватно на истраживаној секцији. Додатну, независну потврду тврдњи да је последња глацијална лесна јединица L1L12 еквивалентна са MIS 4 дају резултати AAR релативне геохронологије (AAR – Amino acid racemisation) (Marković et al., 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2015). Резултати AAR релативне геохронологије су у скоро потпуном слагању са закључцима до којих се дошло у овој студији, иако наши резултати указују на то да је формирање L1L12 настављено и у MIS 5а.

Исте студије о AAR релативној геохронологији такође подржавају тврдњу да је педокомплекс S1 развијен током MIS 5. Међутим, луминесцентне старости добијене током овог истраживања, указују на то да је формирање педокомплекса S1 настављено до почетка MIS 6.

Старости ниже него што је очекивано за горњи део L2 лесне јединице које су представили Стивенс и сарадници (2011) за секцију Црвенка, као и Фукс и сарадници (2008) за секцију Сурдук, могу такође бити резултат значајне биотурбације (коренски канали, кротовине и секундарни карбонати) испод горњег педокомплекса S1. Такође треба узети у обзир и могуће ограничење технике датирања које може знатно утицати на прецизност резултата (e.g. Murray et al., 2014).

Како би било могуће извести детаљне корелације између лесних секција у северној Србији, потребна је датирање високе резолуције, помоћу различитих протокола и техника луминесцентног датирања, као што је то изведено у нашој студији. Међутим, овакви пројекти нису превише реални за извођење, пошто би временски и финансијски ангажман био далеко изнад наших могућности. До тада се могу користити генерализоване хроностратиграфије које су примењиве у сврху ширих корелација са сличним лесним записима како у Србији, тако и на читавом Европском континенту.

Према томе ова студија има подједнак значај у формирању експлицитне временске скале за лесно-палеоземљишне секвенце за последњих ~240.000 година. На тај начин лес је додатно квалификован као један од најподеснијих копнених архива климатских и еколошких промена чинећи га по први пут погодним за директно временско корелирање са осталим најзначајнијим регионалним, континенталним и глобалним палеоклиматским записима. Ово достигнуће добија на још већем значају ако се узме у обзир да је лес једна од најраспрострањенијих седиментних стена на свету, нарочито у умереним ширинама великог евроазијског континента. Поред недвосмисленог значаја за палеоклиматска истраживања, ова студија, се може окарактерисати и као озбиљан путоказ за даље методолошко унапређење луминесцентног датирања лесно-палеоземљишних секвенци.

На крају се може закључити да OSL датирање високе резолуције има огроман потенцијал за утврђивање депозиционих карактеристика леса у Србији и Европском континенту, као и добијање далеко прецизнијих палеоклиматских информација које су записане у овим седиментима, него што је то до сада био случај.

12. ЛИТЕРАТУРА

- Антонијевић, И. 1982. Др Јелена Марковић-Марјановић. Весник завода за геолошка и геофизичка истраживања 60, А, 189-201.
- Басарин, Б. 2009. Палеоклиматска реконструкција три последња глацијално-интерглацијална циклуса лесно-палеоземљишних секвенци Тителског брега. Магистарски рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад: 1-128.
- Басарин, Б. 2011. Идентификовање и анализа Миланковићевих циклуса записаних у лесно-палеоземљишним секвенцама у Војводини. Докторска дисертација у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад: 1-164.
- Букуров, Б, 1984. Геоморфолошки проблеми Баната. Посебно издање ВАНУ, одељење за друштвене науке, књига 2. Нови Сад.
- Букуров, Б. 1948. Три бачке долине: Криваја Мостонга и Јегричка. Гласник Српског географског друштва 25. 1-54.
- Букуров, Б. 1953а. Геоморфолошки приказ Војводине. Зборник Матице српске за природне науке 4, 100-134.
- Букуров, Б. 1953б. Геоморфолошке црте јужне Бачке. Зборник радова географског института САН књ. 4. 1-70.
- Букуров, Б. 1974. Географски положај бачких насеља. Матица српска, Нови Сад, 1-55
- Букуров, Б. 1986. Физичко географски преглед - Географска монографија Општине Тител. Радови IV. ВАНУ Одељење друштвених наука и уметности.15-30.
- Букуров, Б., 1975. Физичкогеографски проблеми Бачке. Одељење природно-математичких наука САНУ, Београд.
- Букуров, Б., 1982. Синтетичка разматрања геоморфолошких проблема на територији Војводине. Академске беседе, ВАНУ, Нови Сад.
- Гаудењи, Т. 2000. Лесни профил Мишелук- геолошке и геоморфолошке карактеристике. Дипломски рад у рукопису. Институт за географију, Нови Сад:1-60.

- Гаудењи, Т. 2004. Палеогеографија последњег глацијала лесног профила Ириг. Специјалистички рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:1-46.
- Гаудењи, Т. 2006. Палеогеографија последњег глацијално-интерглацијалног циклуса профила лесно-палеоземљишних секвенци северних падина Фрушке горе. Магистарски рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:1-105.
- Гаудењи, Т. 2010. Реконструкција палеоеколошких и палеоклиматских услова последњег глацијала на подручју Тителског брега. Докторска дисертација у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:1-167.
- Гаудењи, Т., Јовановић М. 2008/2011. Мита Петровић и први опис леса у српској литератури. Записници Српског геолошког друштва за 2008. годину, 109-120.
- Зеремски, М., Maguszczak, H., Butrym, J., 1991. Проблеми хроностратиграфије леса Војводине. Зборник радова Географског института САН 43: 17-32.
- Јовановић, М. 2000. Палеогеографске карактеристике површинских копова ИГМ „Рума” у Руми. Дипломски рад у рукопису. Институт за географију, Нови Сад:1-50.
- Јовановић, М. 2005. Лесно-палеоземљишне секвенце околине Пожаревца. Магистарски рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад: 1-126.
- Јовановић, М. 2012. Средње плеистоцене лесно-палеоземљишне секвенце Војводине. Докторска дисертација у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад: 1-323.
- Кошћал., М., Менковић, Љ., Мијатовић, М., Кнежевић, М. 2005а. Геоморфолошка карта Војводине 1:200.000. Геозавод – Гемини, Београд.
- Ласкарев, В. Д. 1938. Трећа белешка о квартарним наслагама у околини Београда. Геолошки анали Балканског полуострва 15, 1-35.

- Лукић, Т. 2015. Боја лесно-палеоземљишних секвенци као показатељ палеоклиматских и палеоеколошких процеса. Докторска дисертација у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:
- Марковић, С. Б. 2000. Палеогеографија квартара на територији Војводине. Докторска дисертација у рукопису. Институт за географију, Нови Сад: 1-194.
- Марковић-Марјановић, Ј. 1950. Прилог за геолошку грађу Тителског брега. Зборник радова геолошког института САН Ш/1, 91-121.
- Савић, С. 2002. Палеогеографија лесног профила површинског копа ИГМ „Слога” у Петроварадину. Дипломски рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:1-39.
- Савић, С. 2006. Палеогеографске карактеристике лесно-палеоземљишних секвенци западног дела Бачког лесног платоа. Магистарски рад у рукопису. Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад:1-106.
- Adamiec G and Aitken M, 1998. Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* 16: 37-50.
- Aguirre, E., Pasini, G., 1985. The Pliocene-Pleistocene boundary. *Episodes* 8, 116-120.
- Aiello, G., Barra, D., Bonaduce, G., 1996. The genus *Cytheropteron* Sars, 1866 (Crustacea: Ostracoda) in the Pliocene–Early Pleistocene of the Mount San Nicola section (Gela, Sicily). *Micropaleontology* 42: 167–178.
- Aitken M. J., 1968. Low-level environmental radiation measurements using natural calcium fluoride, *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Lumin. Dosim.*, Gatlinburg, edited by Auxier J.A., Becker K, Robinson E.M. (Eds), CONF-680920, pp. 281-290, U.S. National Bureau Standards, Washington D.C.
- Aitken M.J. and Smith B.W., 1988. Optical dating: recuperation after heating. *Quat. Sci. Rev.* 7, 387-393.
- Aitken M.J. and Xie J., 1990. Moisture correction for annual gamma dose. *Ancient TL*, 8, 6-9.
- Aitken MJ, 1985. *Thermoluminescence Dating*. London, Academic Press: 359pp.

- Aitken, M. J. 1998. An Introduction to Optical Dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence.. Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press
- Aitken, M. J. and Smith, B. W., 1988. Optical dating: recuperation after bleaching. *Quaternary Science Reviews*, 7:387-393.
- Aitken, M. J., 1969. Thermoluminescent dosimetry of environmental radiation on archaeological sites, *Archaeometry*, 11, 109-114.
- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. Academic Press, London
- Aitken, M.J., Zimmermann, D.W., Fleming, S.J., 1968. Thermoluminescence dating of ancient pottery. *Nature*, 219: 442
- Akselrod M. S. and Gorelova E. A., 1993. Deep traps in highly sensitive α -Al₂O₃:C TLD crystals, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 21, 143-146.
- Akselrod M.S., Kortov V. S., Kravetsky D. J. and Gotlib V. L., 1990. Highly sensitive thermoluminescent anion-defective Al₂O₃:C single crystal detector, *Radiat. Prot. Dosim.*, 32, 15-29.
- Albani S, Mahowald NM, Winckler G. et al. 2015. Twelve thousand years of dust: the Holocene global dust cycle constrained by natural archives. *Climate of the Past* 11: 869–903 [DOI: 10.5194/cp-11-869-2015].
- Aleinikoff, J. N., Muhs, D. R., Sauer, R., and Fanning, C. M., 1999. Late Quaternary loess in northeastern Colorado Part II – Pb isotopic evidence for the variability of loess sources. *Geological Society of America Bulletin* 111, 1876–1883.
- An, ZS. 2000. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate. *Quaternary Science Reviews* 19: 171–187 [DOI: 10.1016/S0277-3791(99)00060-8].
- Andersen, C. E., Aznar, M. C., Bøtter-Jensen, L., Bäck, S. J., Mattsson, S., and Medin, J., 2003. Development of optical fibre luminescence techniques for real time in vivo dosimetry in radiotherapy. In *Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry (Proc. Int. Symp. Vienna, 2002)*, Vienna. IAEA

- Antoine, P., Rousseau, D. D., Fuchs, M., Hatté, C., Gautier, C., Marković, S. B., Jovanović, M., Gaudenyi, T., Moine, O., Rossignol, J. 2009. High resolution record of the last climatic cycle in the Southern Carpathian basin (Surduk, Vojvodina, Serbia). *Quaternary International* 198, 19–36.
- Aubry M-P, Berggren WA, Van Couvering J, McGowran B, Hilgen F, Steininger F, Lourens L. 2009. The Neogene and Quaternary: chronostratigraphic compromise or non-overlapping magisteria? *Stratigraphy* 6: 1–16.
- Aubry M-P, Berggren WA, Van Couvering J, McGowran B, Pillans B, Hilgen F. 2005. Quaternary: status, rank, definition, survival. *Episodes* 28: 118–120.
- Aubry, M.-P., Berggren, W.A., Van Couvering, J., McGowran, B., Hilgen, F., Steininger, F., Lourens, L., 2009. The Neogene and Quaternary: chronostratigraphic compromise or non-overlapping magisteria? *Stratigraphy* 6, 1–16.
- Aubry, M-P., 2007, Chronostratigraphic terminology: Building on principles: *Stratigraphy*, v. 4, p. 117–125.
- Auclair, M., Lamothe, M., Huot, S., 2003. Measurement of anomalous fading for feldspar IRSL using SAR. *Radiation Measurements*, 37, 487–492.
- Augustinus, P.C., Short, S.A. and Heijnis, H., 1997. Uranium/Thorium dating of ferricretes from mid- to late Pleistocene glacial sediments, western Tasmania, Australia. *Journal of Quaternary Science* 12: 295–308.
- Bailey, R.M., Smith, B.W, Rhodes, E.J., 1997. Partial bleaching and the decay form characteristics of quartz OSL. *Radiation Measurements*, 27, 123–136.
- Bailiff J. K. and Aitken M. J., 1980. Use of thermoluminescence dosimetry for evaluation of internal beta dose-rate in archaeological dating, *Nucl. Instr. Methods*, 173, 423–429.
- Bailiff J. K., 1976. Some new techniques in thermoluminescence dating, M.Sc. thesis, Oxford University. UK.
- Base unit definitions: Second". physics.nist.gov. Retrieved September 9. 2016.
- Bassett, M.G., 1985. Towards a “common language” in stratigraphy. *Episodes* 8 (2), 87–92.

- Bassett, M.G., Cope, J.C.W., Hancock, J.M., and Holland, C.H., 2004, Simplifying the stratigraphy of time: Comments and Reply: COMMENT: *Geology*, v. 32, no. 1, p. e59–e60, doi: 10.1130/0091–7613–32.1.e60.
- Bateman, M.D., Frederick, C.D., Jaiswal, M.K., Shingvi, A.S., 2003. Investigations into the potential effects of pedoturbation on luminescence dating. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1169–1176.
- Becker, K., 1973. *Solid State Dosimetry*. CRC Press.
- Begét, J. E., Stone, D. B., and Hawkins, D. B., 1990. Paleoclimatic forcing of magnetic susceptibility variations in Alaskan loess during the Quaternary. *Geology* 18, 40–43.
- Bender, M., Sowers, T., Brook, E., 1997. "Gases in ice cores", *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 94 (16): 8343–9. Bibcode:1997PNAS...94.8343B. doi:10.1073/pnas.94.16.8343. JSTOR 42859. PMC 33751 Freely accessible. PMID 11607743
- Berger G.W. and Huntley D.J., 1994. Tests for optically stimulated luminescence from tephra glass. *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)* 13, 509–511.
- Berger G.W. and Neil P.A., 1999. Photon-stimulated-luminescence (PSL) dating tests of glass-rich volcanic ash. *Book of Abstract LED99*: 138.
- Berger, G. W., 1986. Dating Quaternary events by luminescence- recent advances. *Geoscience Canada*, 13, 15–21.
- Berger, G. W., 1988. Dating Quaternary events by luminescence. *Geological Society of America Special Paper*, 227, 13–50.
- Berger, G. W. and Busacca, A. J., 1995. Thermoluminescence dating of late Pleistocene loess and tephra from eastern Washington and southern Oregon, and implications for the eruptive history of Mount St Helens. *Journal of Geophysical Research*, 100, 22361–22374.
- Berggren, W.A., Hilgen, F.J., Langereis, C.G., Kent, D.V., Obradovich, J.D., Raffi, I., Raymo, M.E., Shackleton, N.J., 1995. Late Neogene chronology: new perspectives in high-resolution stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin* 107, 1272–1287.

- Berryman, K. R., 1993. Distribution, age, and deformation of Late Pleistocene marine terraces at Mahia Peninsula, Hikurangi subduction margin, New Zealand. *Tectonics* 12, 1365–1379.
- Bettis, E. A., III., Muhs, D. R., Roberts, H. M., and Wintle, A. G., 2003. Last glacial loess in the conterminous USA. *Quaternary Science Reviews* 22, 1907–1946.
- Bettis, E. A., III., Muhs, D. R., Roberts, H. M., and Wintle, A. G., 2003. Last glacial loess in the conterminous USA. *Quaternary Science Reviews* 22, 1907–1946.
- Birkeland, P. W., *Soils and Geomorphology*, Oxford University Press, New York, pp. 372, 1984.
- Blaauw, M., Christen, J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* Volume 6, Number 3, 457–474.
- Bokhorst, M. P., Beets, C. J., Marković, S. B., Gerasimenko, N. P., Matviishina, Z. N., Frechen, M. 2009.pedo-chemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian-Ukrainian loess sequences. *Quaternary International* 198, 23–33.
- Bonde, A., Murray, A., Friedrich, W.L., 2001. Santorini: Luminescence dating of a volcanic province using quartz? – *Quaternary Science Reviews*, 20, 789–793.
- Bortolot V.J., 2000. A new modular high capacity OSL reader system. *Radiation Measurements* 32, 751–757.
- Bøtter-Jensen L. and Bechmann.,1968. A versatile automatic sample changer for reading of thermoluminescence dosimeters and phosphors. Proc. 2nd Int. Conf. on Luminescence Dosimetry, Gatlinburg, CONF–680920, 281–290. U.S. National Bureau of Standards, Washington D.C
- Bøtter-Jensen L. and Bundgaard J., 1978. An automatic reader for TL dating. *PACT* 2, 48–56.
- Bøtter-Jensen L. and Duller G.A.T., 1992. A new system for measuring OSL from quartz samples. *Nucl. Tracks. Radiat. Meas.* 20, 549–553.
- Bøtter-Jensen L. and Mejdahl V., 1980. Determination of archaeological doses for TL dating using an automated TL apparatus. *Nucl. Instrum and Methods*, 175, 213–215.
- Bøtter-Jensen L. and Mejdahl V., 1988. Assessment of beta dose-rate using a GM multiscaler system. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 14, 187–191.

- Bøtter-Jensen L., Bundgaard J. and Mejdahl V., 1983. An HP-85 microcomputer- controlled automated reader system for TL dating. *PACT* 9, 343–349.
- Bøtter-Jensen L., Ditlevsen C. and Mejdahl V., 1991. Combined OSL (infrared) and TL studies of feldspars. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 18, 257–263.
- Bøtter-Jensen L., Duller G.A.T., Murray A.S. and Banerjee D., 1999. Blue light emitting diodes for optical stimulation of quartz in retrospective dosimetry and dating. *Radiation Protection Dosimetry* 84, 335–340.
- Bøtter-Jensen, L., 2000. Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques using Natural Minerals and Ceramics, and their Application to Retrospective Dosimetry. Risø National Laboratory, Roskilde.
- Bowen, D.Q., Gibbard, P.L., 2007. The Quaternary is here to stay. *Journal of Quaternary Science* 22, 3–8.
- Bowen, D.Q., Gibbard, P.L., 2007. The Quaternary is here to stay. *Journal of Quaternary Science* 22, 3–8.
- Bowman S. G. E., 1976. Thermoluminescent Dating: The Evaluation of Radiation dosage, Ph.D. Thesis, University of Oxford, UK.
- Bowman, S. G. E., & Leese, M. N., 1995. Radiocarbon calibration: current issues. *American Journal of Archaeology*, 99(1), 102–105
- Brack, P., Rieber, H., Nicora, A., and Mundil, R., 2005, The Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Ladinian Stage (Middle Triassic) at Bagolino (Southern Alps, Northern Italy) and its implications for the Triassic time scale: *Episodes*, v. 28, p. 233–244.
- Bradley, R., 1999: *Paleoclimatology*. Academic Press. Harcourt Brace and Company. San Diego. California.
- British Antarctic Survey. "Oldest Antarctic Ice Core Reveals Climate History." *ScienceDaily*. ScienceDaily. 11 June 2004.
- Bronger, A. 1969. Zur Mikromorphologie und zum Tonmineralbestand quaternärer Loessböden in Suedbaden. *Geoderma* 3, 281–320

- Bronger, A. 1970. Zur quartären Klimageschichte des Karpatenbeckens auf bodengeographischer Grundlage. Deutsch. Geographentag Kiel 21–26. 07. 1969. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. Wiesbaden, 233–247.
- Bronger, A. 1972. Zur Mikromorphologie und Genese von Paläoböden aus Löß im Karpatenbecken. Third International Working Meeting on Soil Micromorphology, 1969, Wrocław, Zeszyty Problemowe Postepow Nauk, Rolniczych, 607–615
- Bronger, A. 1975. Paläoböden als Klimazeugen dargestellt an Löss-Boden-Abfolgen des Karpatenbeckens. Eiszeitalter und Gegenwart 26. Öhringen, 131–154.
- Bronger, A. 1976. Zur quartären Klima- und Landschaftsentwicklung des karpatenbeckens auf (paläo)pedologischer Grundlage.-Habilitationsschrift. Kieler Geographischen Schriften 45. Kiel, 1–269.
- Bronger, A. 2003. Correlation of loess-paleosol sequences in East and Central Asia with SE Central Europe: towards a continental Quaternary pedostratigraphy and paleoclimate history. Quaternary International 106/107. 11–31.
- Bronger, A. Pant, R. K., and Singhvi, A. K. 1987. Micromorphology, mineralogy, genesis and dating of loess-paleosol sequences and their application to the Pleistocene chronostratigraphy and paleoclimate: a comparison between southeast Central Europe and the Kashmir valley / Central Asia. In: Liu T.S. (Ed.) Aspects of Loess Research. China Ocean Press. Beijing. 121–129.
- Bronger, A., 1976. Zurquartären Klima - und Landshaftentwicklung des Karpatenbeckens auf (paläo-) pedologischer und bodengeographischer Grundlage. Kieler geographische schriften band 45. Im Selbstvarlag des geographischen Iinstituts der Universität, Kiel.
- Bronger, A., 2003. Correlation of loess-paleosol sequences in East and Central Asia with SE Central Europe - Towards a continental Quaternary pedostratigraphy and paleoclimatic history. Quaternary International 106–107, 11–31.
- Bronger, A., Heinkele, T. 1989. Paleosol sequences as witnesses of Pleistocene climatic history. In: Bronger, A., Catt, J. (Eds.), Catena Verlag Paleopedology—Nature and Application of Paleosols (Catena Supplement 16), Cremling-Destedt, Germany, 163–186.

- Brown C. K., Bolch W. E. and Poston J. W. Sr., 1993. Characterization of Al₂O₃:C thermoluminescent dosimeter response to beta radiation, *Hlth Phys.* 64 (6 Suppl.) S41.
- Buggle, B., Glaser, B., Zöller, L., Hambach, U., Marković, S. B., Glaser, I., Gerasimenko, N. 2008. Geochemical characterization and origin of Southeastern and Eastern European loesses (Serbia, Romania, Ukraine). *Quaternary Science Reviews* 27, 1058–1075.
- Buggle, B., Hambach, U., Glaser, B., Gerasimenko, N., Marković, S. B., Glaser, I., Zöller, L. 2009. Stratigraphy and spatial and temporal paleoclimatic trends in East European loess paleosol sequences. *Quaternary International* 196, 86–106.
- Buggle, B., Hambach, U., Kehl, M., Marković, S.B., Zöller, L., Glaser, B. 2013. The progressive evolution of a continental climate in SE-Central European lowlands during the Middle Pleistocene recorded in loess paleosol sequences. *Geology* 41, 771–774.
- Bulla, B. 1933 A magyarországi folyóteraszok problémái. *Földrajzi Közlemények* LXII 139–149, 6–168.
- Bulla, B. 1935a. Zur Problem des ungarländischen Lösses. *Zeitschrift für Geomorphologie* VIII (6). Leipzig. 324–334
- Bulla, B. 1935b. Über Lössverbreitung und Basisgestein in ihrem Verhältniss zu einander. *Zeitschrift für Geomorphologie* IX (1). Leipzig. 43–53.
- Bulla, B. 1968. Pleistocén lösz a Kárpát-medencében. In: Bulla, B. *Válogatott természeti földrajzi tanulmányok*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 18–60.
- Bulur E., 2000. A simple transformation for converting CW-OSL curves to LM-OSL curves.
- Butler, R.F., 1992. *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terrains*
- Butrym, J., 1974. Profil lessowy Stari Slankamen – Čot Jugoslawia. *Annales UMCS, sec. B.*, 26, 113–133.
- Butrym, J., Maruszczak, H., Zeremski, M., 1991. Thermoluminescence stratigraphy on Danubian loess in Belgrade environs. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Sec. B* 46, 53–64.
- Buylaert J.P, Murray AS, Vandenberghe D et al. 2008. Optical dating of Chinese loess using

- sand-sized quartz: establishing a time frame for Late Pleistocene climate changes in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Geochronology* 3: 99–113 [DOI: 10.1016/j.quageo.2007.05.003].
- Buylaert, J. P., Vandenberghe, D., Murray, A. S., Huot, S., De Corte, F. & Van den haute, P. 2007. Luminescence dating of old (>70 ka) Chinese loess: a comparison of single-aliquot OSL and IRSL techniques. *Quaternary Geochronology* 2, 9–14.
- Buylaert, J.P., Murray, A.S., Thomsen, K.J., & Jain, M., 2009: Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar. – *Radiation Measurements*. 44, 560–565.
- Buylaert, J.P., Murray, A.S., Thomson, K.J., Jain, M., 2009. Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar. *Radiation Measurements*, 44, 560– 565.
- Buylaert, J.P., Yeo, E-Y, Thiel, C., Yi, S., Stevens, T., Thompson, W., Frechen, M., Murray, A., Lu, H. 2015. A detailed post-IR IRSL chronology for the last interglacial soil at the Jingbian loess site (northern China). *Quaternary Geochronology*. 30:194–199. Available from: 10.1016/j.quageo.2015.02.022 MLA
- Cande, S. C., Kent, D. V. 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research* 100, 6093–6095.
- Carter, R.M., 2007, *Stratigraphy into the 21st century: Stratigraphy*, v. 4, p. 187–194.
- Catt, J.A., 1995. Soils in aeolian sequences as evidence of Quaternary climatic change: Problems and possible solutions, in: *Wind Blown Sediments in the Quaternary Record* (E. Derbyshire), *Quaternary proceedings*, 4, John Wiley & Son, Chichester, pp. 59–68.
- Chapot, M.S., Roberts, H.M., Duller, GAT., Lai, Z.P. 2012. A comparison of natural- and laboratory-generated dose response curves for quartz optically stimulated luminescence signals from Chinese Loess. *Radiation Measurements* 47: 1045–1052 [DOI: 10.1016/j.radmeas.2012.09.001].
- Chiozzi P., Pasquale V., Verdoya M. and De Felice P., 2000. Practical applicability of field γ -ray scintillation spectrometry in geophysical surveys, *Appl. Radiat. Isot.*, 53, 215–220.

- Chlachula, J., 2003. The Siberian loess record and its significance for reconstruction of Pleistocene climate change in northcentral Asia. *Quaternary Science Reviews* 22, 1879–1906.
- Choi, J.H., Duller, G.A.T. & Wintle, A.G., 2006. Analysis of quartz LM-OSL curves. *Ancient TL*, 24, 9–20.
- Cholnoky, E., 1910., Die Oberflächengestalt des Alföld. *Flöldräzji Közlemények*, Vol. 38. Budapest.
- Chowdhury P., Hildebrandt U. and Ney J., 1982. High resolution Ge-Li gamma spectroscopy and ceramic phase analysis in TL- dating of a medieval castle, *PACT J.* 6, 116–131.
- Cita, M.B, 2008. Summary of Italian marine stages of the Quaternary. *Episodes* 29: 107–114..
- Cita, M.B., Capraro, L., Ciaranfi, N., Di Stefano, E., Lirer, F., Maiorano, P., Marino, M., Raffi, I., Rio, D., Sprovieri, R., Stefanelli, S., Vai, GB., 2008. The Calabrian stage redefined. *Episodes* 31: 418–429.
- Cita, M.B., Capraro, L., Ciaranfi, N., Di Stefano, E., Marino, M., Rio, D., Sprovieri, R., Vai, GB., 2006. Calabrian and Ionian: a proposal for the definition of Mediterranean stages for the Lower and Middle Pleistocene. *Episodes* 29: 107–114.
- Clarke, M.L. & Rendell, H.M., 2003. Late Holocene dune accretion and episodes of persistent drought in the Great Plains of Northeastern Colorado. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1051–1058.
- Cotterell, B., Dickson, F.P., and Kamminga, J., 1986. "Ancient Egyptian Water-clocks: A Reappraisal." *Journal of Archaeological Science*. Vol. 13, pp. 31–50.
- Cowie, J.W., Bassett, M.G., 1989. Global stratigraphic chart with geochronometric and magnetostratigraphic calibration. *Episodes* 12 (supplement. 1 sheet).
- Cunningham, A.C., Wallinga, J., 2010. Selection of integration time intervals for quartz OSL decay curves. *Quaternary Geochronology* 5, 657–666.
- Curie, D., 1960. *Luminescence in crystals*. Methuen, London.

- Daniela; C., Begy, R., Vasiliniue, S., Panaiotu, C., Necula, C., Codrea, V., Timar-Gabor, A., 2013. High-resolution OSL dating of the Costines, ti section (Dobrogea, SE Romania) using fine and coarse quartz Quaternary International xxx, 1–10.
- Daniels, F., Boyd, C.A. & Saunders, D.F., 1953. Thermoluminescence as a research tool. – Science, 117: 343–349. Grögler et al., 1958.
- De Corte F., 2001. The standardization of standardless NAA, J. Radioanal. Nucl. Chem., 248, 13–20.
- De Geer, G., 1912. A geochronology of the last 12.000 years. Proceedings of the International Geological Congress Stockholm (1910). 1. 241–257
- Degering, D. & Krbetschek, M. R., 2007. Dating of Interglacial deposits by luminescence methods. – In: Sirocko, F., Claussen, M., Sanchez GonI, M.F. & Litt, T. (eds.): The Climate of Past Interglacials: 157–172; Amsterdam (Elsevier).
- Derbyshire, E., Meng, X., Wang, J., Zhou, Z. and Li, B., 1995. Collapsible loess on the loess plateau of China, In: Genesis and Properties of Collapsible Soils, (E. Derbyshire et al., eds.), Kluwer Academic Publishers, 267–293.
- Derbyshire, E., Wang, J., Jin, Z., Billard, A., Egels, Y., Kasser, M., Jones, D. K. C., Muxart, T. and Owen, L., 1991. Landslides in the Gansu loess of China, Catena Suppl., 20, 119–145.
- Desai V. S., 1975. Studies in radon emanation relevant to thermoluminescent dating, MSc. thesis, Oxford University, UK.
- Dickin, A. P., 1995. Radiogenic Isotope Geology. Cambridge. Cambridge University Press. ISBN 0–521–59891–5
- Ding, Z., Sun, J., Rutter, N.W., Rokosh, D., Liu, T., 1999. Changes in sand content of loess deposits along a north–south transect of the Chinese Loess Plateau and the implications for desert variations. Quat. Res. 52, 56–62.
- Ding, Z., Yu, Z., Rutter, N.W. and Liu, T.S. 1994: Towards an orbital time-scale for Chinese loess deposits. Quaternary Science Reviews 13, 39–70.

- Ding, Z.L., Ranov, V., Yang, S.L., Finaev, A., Han, J.M., Wang, G.A., 2002. The loess record in southern Tajikistan and correlation with Chinese loess. *Earth Planet. Sci. Lett.* 200, 387–400.
- Ding, Z.L., Yang, S.L., 2000. C3/C4 vegetation evolution over the last 7.0 Myr in the Chinese Loess Plateau: evidence from pedogenic carbonate $\delta^{13}\text{C}$. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 291–299.
- Driese, S.G., Mora, C.I., Stiles, C.A. Joeckel, R.M. and L.C. Nordt, Massbalance reconstruction of a modern Vertisol: implications for interpreting the geochemistry and burial alteration of paleo-Vertisols, *Geoderma*, 95, pp. 179–204, 2000.
- Duller G.A.T., 1991. Equivalent dose determination using single aliquots. *Nucl. Tracks. Radiat. Meas.* 18, 371–378.
- Duller G.A.T., 1995. Luminescence dating using single aliquots: methods and applications. *Radiat. Meas.* 24, 217–226.
- Duller, G. A. T., 1996. Recent developments in luminescence dating of Quaternary sediments. *Progress in Physical Geography*, 20, 133–151.
- Duller, G. A. T., 1994. Luminescence dating of poorly bleached sediments from Scotland. *Quaternary Science Reviews*, 13, 521–524.
- Duller, G.A.T., 2003. Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements. *Radiat. Meas.* 37, 161e165.
- Duller, J., 2008. *Luminescence Dating: Guidelines on using luminescence dating in archaeology.* English heritage.
- Dunai, T., 2010. *Cosmogenic Nuclides: Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences.* Cambridge University Press. ISBN 978–0–521–87380–2.
- Eden, D. N., and Hammond, A. P., 2003. Dust accumulation in the New Zealand region since the last glacial maximum. *Quaternary Science Reviews* 22, 2037–2052.
- Egerton, F.N., 2007. *A History of the Ecological Sciences, Part 24: Buffon and Environmental Influences on Animals.* Contributions, Bulletin of the Ecological Society of America.

- Eighmy, J.L., 1980. Archaeomagnetic Dating: A Handbook for Archaeologists.
- Eighmy, J.L., and R.S. Sternberg. eds. 1990. Archaeomagnetic Dating.
- Erfurt, G. & Krbetschek, M.R., 2003. IRSAR – A single-aliquot regenerative-dose dating protocol applied to the infrared radiofluorescence (IR-RF) of coarse-grain K feldspar. – *Ancient TL*, 21: 25–43.
- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Bortolot, V.J. & Preusser, F., 2003. A fully automated multi-spectral radioluminescence reading system for geochronology and dosimetry. – *Nuclear Instruments and Methods in Physic Research*, B 207: 487–499.
- Fattahi, M. & Stokes, S., 2000. Extending the time range of luminescence dating using red TL (RTL) from volcanic quartz. – *Radiation Measurements*, 32: 479–485.
- Faure, G., 1986. Principles of isotope geology. Cambridge. Cambridge University Press. ISBN 0-471-86412-9
- Faure, G., and Mensing, D., 2005. "Isotopes – Principles and applications". 3rd Edition. J. Wiley & Sons. ISBN 0-47 Electron spin resonance (ESR) dating
- Faustoff, S. S., Bolshakoff, V. A., Virina, E. I. and Demidenko, E. L., 1986. Rock magnetic and paleomagnetic methods for studying the Pleistocene (in Russian), *Sci. Tech. Publ. Palaeogeogr. Ser. 3*, pp. 192, URSS Acad. of Sci., Moscow.
- Feurdean, A., Persoiu, A., Tantau, I., Stevens, T., Magyari, E.K., Onac, B.P., Markovic, S., Andric, M., Connor, S., Farcas, S., Galka, M., Gaudeny, T., Hoek, W., Kolaczek, P., Kunes, P., Lamentowicz, M., Marinova, E., Michczynsk, D.J., Plóciennik, M., Slowinski, M., Stancikaite, M., Sumegi, P., Svensson, Anders, Tamas, T., Timar, A., Tonkov, S., Toth, M., Veski, S., Willis, K.J., Zermitskaya, V. 2014. Climate variability and associated vegetation response throughout Central and Eastern Europe (CEE) between 60 and 8 ka. *Quaternary Science Reviews*, 106, 206–224.
- Fink, J. 1968. Die Subkommission für Lößstratigraphie der Internationalen Quartärvereinigung. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 19, 289–300.
- Fleischer, R.L., Price, P. B., Walker, R. M., 1975. Nuclear Tracks in Solids. University of California Press, Berkeley.

- Forman, S. L. (1989). Applications and limitations of thermoluminescence to date Quaternary sediments. *Quaternary International*, 1, 47–59.
- Forster, T., Heller, F., Evans, M.E. & Havlicek, P., 1996. Loess in the Czech Republic: Magnetic properties and paleoclimate. *Studia geophysica et geodetica*, 40, 243–261.
- Franklin, A. D. and Hornyak, W. F., 1990. Isolation of the rapidly bleaching peak in quartz TL glow curves. *Ancient TL*, 8:29–31.
- Frechen, M., Oches, E. A., and Kohfeld, K. E. (2003). Loess in Europe – mass accumulation rates during the Last Glacial Period. *Quaternary Science Reviews* 22, 1835–1857.
- Fuchs, M., Owen, L. A., 2008. Luminescence dating of glacial and associated sediments: review, recommendations and future directions. *Boreas* 37, 636–659.
- Fuchs, M., Rousseau, D. D., Antoine, P., Hatté, C., Gauthier, C., Marković, S. B., Zöller, L. 2008. Chronology of the last climatic cycle (Upper Pleistocene) of the Surduk loess sequence, Vojvodina, Serbia. *Boreas* 37, 66–73.
- Fuchs, M., Woda, C., Bürkert, A., 2007. Chronostratigraphy of a sediment record from the Hajar mountain range in the north Oman: Implications for optical dating of insufficiently bleached sediments. *Quaternary Geochronology*, 2, 202–207.
- Gallagher, K., Brown, R., Johnson, C., 1998. Fission track analysis and its applications to geological problems; *Ann. Rev. of Earth and Planetary Sciences*; Vol. 26. 519–572.
- Gaudenyi, T., Nenadić, D., Stejić, P., Jovanović, M., Bogićević, K. 2015. The stratigraphy of the Serbian Pleistocene *Corbicula* beds. *Quaternary International* 357, 4–21.
- Gavrilov, M.B., Marković, S.B., Schaetzl, R. J., Tošić, I., Zeeden, c., Obreht, I., Sipos, G., Ruman, A., Putniković, S., Emunds, K., Perić, Z., Hambach, U., Lehmkuhl, F., 2017. Prevailing surface winds in Northern Serbia in the recent and past time periods; modern and past dust deposition. *Aeolian Research* <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.07.008>.
- Gibbard PL, Head MJ. 2009. The definition of the Quaternary System/ Period and the Pleistocene Series/Epoch. *Quaternaire* 20: 125–133

- Gibbard PL, van Kolfschoten T. 2005. The Pleistocene and Holocene Series. In A Geologic Time Scale 2004, Gradstein FM, Ogg JG, Smith AG (eds). Cambridge University Press: Cambridge, UK; 441–452 [imprinted 2004].
- Gibbard, P.L., 2005. The Status of the Term ‘Quaternary’: Minutes of a Special Meeting of Members of the Joint ICS-INQUA Task Group Held 24 March, 2005.
- Gibbard, P.L., Head, M.J., 2009. IUGS ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Quaternaire* 20 (4), 411–412.
- Gibbard, P.L., Head, M.J., 2010. The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification. *Episodes* 33, 152e158.
- Gibbard, PL., Head, MJ., 2009. The definition of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch. *Quaternaire* 20: 125–133.
- Gibbard, PL., Smith, AG., Zalasiewicz, JA., Barry, TL., Cantrill, D., Coe, AL., Cope, JWC., Gale, AS., Gregory, FJ., Powell, JH., Rawson, PR., Stone, P., Waters, CN., 2005. What status for the Quaternary? *Boreas* 34: 1–6.
- Gibbard, PL., van Kolfschoten, T., 2005. The Pleistocene and Holocene Series, In A Geologic Time Scale 2004. Gradstein FM. Ogg JG. Smith AG (eds), Cambridge University Press: Cambridge. UK; 441–452 [imprinted 2004].
- Gibbard. P. L.. Head. M. J.. Walker. M. J. C. and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy. 2010. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *J. Quaternary Sci.*. Vol. 25 pp. 96–102. ISSN 0267–8179.
- Gilmore, G., Hemingway, J., 1995. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*. John Wiley & Sons, Chichester. ISBN 0–471–95150–1.
- Godfrey-Smith, D.I., Huntley, D.J., Chen, W.H., 1988. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts. – *Quaternary Science Reviews*, 7, 373–380.
- Gong, Y.-M., Yin, H.-F., Zhang, K.-X., Du, Y.-S., Feng, Q.-L., Lai, X.-L., Xie, S.-C., Tong, J.-N., Gu, S.-Z., Shi, X.-Y., Weldon, E.A., Shi, G.R., and Ma, X.-P., 2004, Simplifying the

- stratigraphy of time: Comments and Reply: COMMENT: *Geology*, p. e59, doi: 10.1130/0091-7613-32.1.e59.
- Gong, Z., Sun, J., Lü, T., Tian, Z., 2014. Investigating the optically stimulated luminescence dose saturation behavior for quartz grains from dune sands in China. *Quaternary Geochronology* 22, 137–143
- Gradstein FM, Ogg JG. 2002. Future directions in stratigraphy. *Episodes* 25: 203–208.
- Gradstein, FM., Ogg, JG., 2002. Future directions in stratigraphy. *Episodes* 25: 203–208.
- Gradstein, FM., Ogg, JG., Smith, AG., (eds). 2005. *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press: Cambridge. UK [imprinted 2004].
- Gradstein, FM., Ogg, JG., Smith, AG., Bleeker, W., Lourens, LJ., 2004. A new geologic time scale with special reference to the Precambrian and Neogene. *Episodes* 27: 83–100 (with accompanying chart).
- Greilich, S., Harney, H.-L., Woda, C., Wagner, G.A., 2006. AgesGalore – a software program for evaluating spatially resolved luminescence data. *Radiation Measurements*, 41, 726–735.
- Grimley, D. A., Follmer, L. R., Hughes, R. E., and Solheid, P. A., 2003. Modern, Sangamon and Yarmouth soil development in loess of unglaciated southwestern Illinois. *Quaternary Science Reviews* 22, 225–244.
- Grissino-Mayer, Henri D., 2016. *The Science of Tree Rings: Principles of Dendrochronology*. Department of Geography, The University of Tennessee.
- Grün B. & Blau J. 1997: New aspects of calpionellid biochronology: proposal for a revised calpionellid zonal and subzonal division. *Rev. Paléobiol.* 16, 197–214. Naeser et al., 1979
- Grün, R. and Stringer, B.C., 1991. Electron spin resonance dating and the evolution of modern humans. *Archaeometry* 33. 2. 153–199.
- Grün, R., 1989. Electron spin resonance (ESR) dating *Quaternary International* Volume 1, 65–109.

GSA Penrose Conference “Chronostratigraphy: Beyond the GSSP”

Guérin, G., Mercier, N., Adamiec, C., 2011. Dose-rate conversion factors: update. *Anc. TL* 29, 5–8.

Guibert P. and Schvoerer M., 1991. TL dating: low background gamma spectrometry as a tool for the determination of the annual dose, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 18, 231–238.

Hambach, U., Jovanović, M., Marković, S.B., Gaudenyi, T. 2011. The Titel Loess Plateau case study: a unique European palaeoclimatic record covering the last 600 kyrs. International Workshop, 6th Loess Seminar: Climate Change in the Carpathian Balkan region during the Late Pleistocene and Holocene, Suceava, Romania, 9–12 June 2011, Abstract book, 35–36.

Hambach, U., Jovanović, M., Marković, S.B., Nowaczyk, N., Rolf, C., 2009. The Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal in the Stari Slankamen loess section (Vojvodina, Serbia): Its detailed record and its stratigraphic position. *Geophysical Research Abstracts* 11, EGU2009– 0, 2009.

Hansen, V., Murray, A., Buylaert, J.-P., Yeo, E.-Y., Thomsen, K. 2015. A new irradiated quartz for beta source calibration. *Radiation Measurements*, 81, 123–127.

Harland, WB., Armstrong, RL., Cox, AV., Craig, LE., Smith, AG., Smith, DG., 1990. *A Geologic Time Scale 1989*. Cambridge University Press: Cambridge. UK.

Harland, WB., Cox, AV., Llewellyn, PG., Pickton, CAG., Smith, AG., Walters, R., 1982. *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press: Cambridge. UK.

Harvey, E. N., 1957. A history of luminescence. *Memoirs of the American Philosophical Society*, 44, 1–351.

Häütt, G., Jaek, I., and Tchonka, J., 1988. Optical dating: K-feldspars optical response stimulation spectra. *Quaternary Science Reviews*, 7:381–385.

Head, M.J., Gibbard, P.L., Salvador, A., 2008a. The Quaternary: its character and definition. *Episodes* 31, 234–238.

Head, M.J., Gibbard, P.L., Salvador, A., 2008b. The Tertiary: a proposal for its formal definition. *Episodes* 31, 248–250.

- Heckert, A.B., and Lucas, S.G., 2004, Simplifying the stratigraphy of time: Comments and Reply: COMMENT: *Geology*, v. 32, no. 1, p. e58, doi: 10.1130/0091-7613-32.1.e58.
- Hedberg, HD. 1976. *International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification. Terminology and Procedure*. Wiley: New York.
- Hesse, P. P., and McTainsh, G. H. (2003). Australian dust deposits: modern processes and the Quaternary record. *Quaternary Science Reviews* 22, 2007–2035.
- Hilgen, F. 2004. Milankovitch cycles as a geochronometric tool to construct geological time scales. In 32nd International Geological Congress. Florence, Post-Congress Field Trip Guide, Vol. 6. P56 1–22.
- Hilgen, F., Brinkhuis, H., and Zachariasse, W.-J., 2006, Unit stratotypes for global stages: The Neogene perspective: *Earth-Science Reviews*, v. 74, p. 113–125.
- Hnatyshin, D. and Kravchinsky, V.A., 2014. Paleomagnetic dating: Methods, MATLAB software, example. *Tectonophysics*. doi: 10.1016/j.tecto.2014.05.013.
- Horowitz, Y. S., 1984. *Thermoluminescence and Thermoluminescent dosimetry*, volume Vol.1. CRC Press.
- Hossain, M.S., 2003. A critical comparison and evaluation of methods for the annual radiation dose determination in the luminescence dating of sediments. PhD Thesis, Institute for Nuclear Sciences Laboratory of Analytical Chemistry, Universiteit Gent.
- Hovan SA, Rea DK, Pias NG et al. 1989. A direct link between the Chinese loess and marine $\delta^{18}\text{O}$ records: aeolian flux to the north Pacific. *Nature* 340: 296–298 [DOI: 10.1038/340296a0].
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I., and Thewalt, M. L. W., 1985. Optical dating of sediments. *Nature*, 313:105–107.
- Huntley, D.J. & Lamothe, M., 2001. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38, 1093–1106.
- Huntley, D.J., Baril, M.R., 1997. The K content of the K-feldspars being measured in optical dating or in thermoluminescence dating. *Anc. TL* 15, 11e13

- Huston, A. L., Justus, B. L., Falkenstein, P. L., Miller, R., Ning, H., and Altemus, R., 2002. Optically stimulated luminescent glass optical fibre dosimeter. *Radiation Protection Dosimetry*, 101:23–26.
- Hütt G. and Jaek I., 1989. Infrared stimulated photoluminescence dating of sediments. *Ancient TL*, 7, 48–51.
- Hütt G., Jaek I. And Tchonka J., 1988. Optical dating: K-feldspars optical response stimulation spectra. *Quaternary Science Reviews* 7, 381–385.
- Ikeya, M., 1993. *New Applications of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry and Microscopy*. World Scientific. ISBN 9789810212001.
- Innes, J. L., 1985. "Lichenometry". *Progress in Physical Geography*. 9 (187).
- Jacobs, Z., 2008. Luminescence chronologies for coastal and marine sediments. *Boreas* 37, 508–535.
- Jain, M., Murray, A.S. & Bøtter-Jensen, L., 2003. Characterisation of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: implications for dose measurement. *Radiation Measurements*, 37, 441–449.
- Jensen, S., 2004, Into focus: *Paleontologica Electronica*, v. 7, no. 1, 3 p.
- John J. Lowe, M. J. C. Walker, 1997, *Reconstructing Quaternary Environments*. Addison Wesley Longman, University of California
- Jordanova, D., Hus, J., Evlogiev, J., Geeraerts, R., 2008. Palaeomagnetism of the loess/palaeosol sequence in Viatovo (NE Bulgaria) in the Danube basin. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 167, 71e83.
- Jordanova, D., Hus, J., Geeraerts, R., 2007. Palaeoclimatic implications of the magnetic record from loess/palaeosol sequence Viatovo (NE Bulgaria). *Geophysical Journal International* 171, 1036–1047
- Jordanova, D., Petersen, N. 1999. Paleoclimatic record from a loess-soil profile in northeastern Bulgaria II. Correlation with global climatic events during the Pleistocene. *Geophysical Journal International* 138, 533–540.

- Jovanović, M., Gaudenyi, T., Markovic, B.S., Hambach, U. 2008b. Geoh heritage of Loess sites in Vojvodina (N Serbia). 5th International ProGEO Conference, 1–5. 10. 2008. Rab Island, Proceedings, 35–36.
- Jovanović, M., Gaudenyi, T., Markovic, B.S., Hambach, U., Bokhorst, M., Mijovic, D., Strbac, D. 2008a. Titel Loess Plateau (Vojvodina, Serbia) – potential Geopark. 3rd International UNESCO Conference on Geoparks, 22. 06. – 26. 06. 2008. Osnabrueck, Proceedings, 60–61.
- Jovanovic, M., Hambach, U., Gaudenyi, T., Markovic, S.B. 2009a. Inter-Vojvodinian loess stratigraphy based on high resolution MS. International Conference on Loess research Loess fest 09, Abstract book, 41–42.
- Jukes-Brown, A.J., 1902, The Student's Handbook of Stratigraphical Geology: London, E. Stanford, 589 p.
- Kalchgruber R., 2002. α -Al₂O₃:C als Dosimeter zur Bestimmung der Dosisleistung bei der Lumineszenzdatierung, PhD Thesis, Ruprecht-Karls-Univ. Heidelberg, Germany, 2002, pp. 130.
- Kang, S., Roberts., H. M., Wang, X., et al. 2015. Mass accumulation rate changes in Chinese loess during MIS 2, and asynchrony with records from Greenland ice cores and North Pacific Ocean sediments during the Last Glacial Maximum. *Aeolian Research* 19B: 251–258 [DOI: 10.1016/j.aeolia.2015.05.005].
- Kasse, C., Bohncke, S.J.P., Vandenberghe, J., Gábris, G., 2010. Fluvial style changes during the last glacial–interglacial transition in the middle Tisza valley (Hungary). *Proceedings of the Geologists' Association* 121, 180–194
- Kirchheimer, F., 1969. Heidelberg und der Loess. *Ruperto-Carola Zeitschrift der Vereinigung der Freunde der Studentschaft der Universitat Heidelberg e.V XXI Jahrgang* (46), 3–7.
- Kitis G., Papadopoulos J. G., Charalambous S. and Tuyn J. W., 1994. The influence of heating rate on the response and trapping parameters of α - Al₂O₃:C, *Radiat. Prot. Dosim.*, 55, 183–190.
- Klasen, N., Fiebig, M., Preusser F., Radtke, U., 2006). Luminescence properties of glaciofluvial sediments from the Bavarian Alpine Foreland. – *Radiation Measurements*, 41, 866–870.

- Knoll, G., 2000. Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, Inc. NY. ISBN 0–471–07338–5.
- Kocí, A., 1990. Geomagnetic field at the time of reversals, Veröff. Zentralinst. Physik Erde Potsdam, 62, 87–92.
- Kohfeld, K. E., and Harrison, S. P., 2000. How well can we simulate past climates? Evaluating the models using global palaeoenvironmental datasets. Quaternary Science Reviews 19, 321–347.
- Kohfeld, K. E., Harrison, S.P. 2003. Glacial–interglacial changes in dust deposition on the Chinese Loess Plateau. Quaternary Science Reviews 22: 1859–1878 [DOI: 10.1016/S0277–3791(03)00166–5].
- Kortov V. S., Milman I. I., Kirpa V. I. and Lesz J., 1994. Some features of α -Al₂O₃:C dosimetric thermoluminescence crystals, Radiat. Prot. Dosim., 55, 279–283.
- Krause, W.E., Krbetschek, M.R. & Stolz, W., 1997. Dating of Quaternary lake sediments from the Schirmacher oasis (east Antarctica) by infrared stimulated luminescence (IRSL) detected at the wavelength of 560 nm. – Quaternary Science Reviews, 16: 387–392.
- Krbetschek, M.R. & Trautmann, T., 2000. A spectral radioluminescence study for dating and dosimetry. – Radiation Measurements, 32: 853–857.
- Krbetschek, M.R., Götze, J., Dietrich, A., Trautmann, T., 1997. Spectral information from minerals relevant for luminescence dating. Radiation Measurements, 27, 695–748.
- Kukla, G. 1987. Loess stratigraphy in Central China. Quaternary Science Reviews 6, 191–219.
- Kukla, G., & An, Z., 1989. Loess stratigraphy in central Chinana. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 72, 203–225.
- Lai ZP. 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: 176–185 [DOI: 10.1016/j.jseas.2009.08.003].
- Lamothe M., Auclair M., Hamzaoui C., Huot S. 2003. Towards a prediction of long-term anomalous fading of feldspar IRSL. Radiation Measurements, 37, 493–498.

- Larsen, E., Lyså, A., Demidov, I., Funder, S., Houmark-Nielsen, M., Kjaer, K.H. & Murray, A.S., 1999. Age and extent of the Scandinavian ice sheet in northwest Russia. – *Boreas*, 28: 115–132.
- Laskarev, V. D. 1922. Sur le loess des environs de Belgrade. *Annales geologiques de la Peninsule Balkanique* 7/1, 14–21.
- Laskarev, V. D. 1926. Deuxieme note sur sur le loess des environs de Belgrade. *Annales geologiques de la Peninsule Balkanique* 7/2, 1–18.
- Ledra, M., 2010. *Time Matters: Geology's Legacy to Scientific Thought*, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication
- Leverenz, H. W. (1968). *An introduction to the luminescence of solids*. Dover, New York.
- Li, S.-H., 1991. Removal of the thermally unstable signal in optical dating of K-feldspar. *Ancient TL*, 9, 26–29.
- Liritzis I., Galloway R.B. and Hong D.G., 1997. Single aliquot dating of ceramics by green light stimulation of luminescence from quartz. *Nuclear Instruments and methods in Physics Research B*, 132, 457–467.
- Lisiecki, L.E., Raymo, M.E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $d^{18}O$ records. *Paleoceanography* 20, doi:10.1029/2004PA001071.
- Liu, T. S., et al., *Loess and the Environment*, 251 pp., China Ocean Press Beijing, 1985.
- Liu, T., 1988. *Loess in China*. 2nd edn. China Ocean Press and Berlin: Springer-Verlag, Beijing
- Liu, T.S., Ding, Z.L., 1993. Stepwise coupling of monsoon circulations to global ice volume variations during the late Cenozoic. *Global and Planetary Change* 7, 119–130.
- Liu, T.S., et al., (unnamed) 1985. *Loess and the Environment*. China Ocean Press, Beijing
- Livingstone, I., Warren, A., 1996. *Aeolian geomorphology*. Addison Wesley Longman Limited, Essex, 211 p
- Lourens L. Hilgen F. Shackleton NJ. Laskar J. Wilson D. 2005. The Neogene Period. In *A Geologic Time Scale 2004*. Gradstein FM. Ogg JG. Smith AG (eds). Cambridge University Press: Cambridge. UK; 409–440 [imprinted 2004].

- Lourens, L.J., 2008. On the Neogene–Quaternary debate. *Episodes* 31: 239–242.
- Lowick, E.S., Preusser, F. 2010. Investigating age underestimation in the high dose region of optically stimulated luminescence using fine grain quartz. *Quaternary Geochronology*, 6, 33–4.
- Lowick, S. and Preusser, F., 2011. Investigating age underestimation in the high dose region of optically stimulated luminescence using fine grain quartz, *Quat. Geochronol.*, 6, 33–41.
- Lowick, S.E., Preusser, F., Pini, R., Ravazzi, C. 2010. Underestimation of fine grain quartz OSL dating towards the Eemian: comparison with palynostratigraphy from Azzano Decimo, northeastern Italy, *Quaternary Geochronology*, 5, 583–590.
- Lu, H., Sun, D. 2000. Pathways of dust input to the Chinese Loess Plateau during the last glacial and interglacial periods. *Catena* 40: 251–261 [DOI: 10.1016/S0341–8162(00)000904].
- Lu, H.Y., Liu, X.D., Zhang, F., An, Z.S., Dodson, J., 1999. Astronomical calibration of loess paleosol deposits at Luochuan, central Chinese Loess Plateau. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 154, 237–246.
- Ludwig, K.R. and Renne, P.R., 2000. Geochronology on the Paleoanthropological Time Scale. *Evolutionary Anthropology*. 9. 101–110.
- Lüthgens, C., Böse, M., Krbetschek, M., 2010. On the age of young morainic morphology in the area ascribed to the maximum extent of the Weichselian glaciation in north-eastern Germany. *Quaternary International* 222, 72–79.
- Lyell, C., On the delta and alluvial deposits of the Mississippi River, and other points of the geology of North America, observed in the years 1845, 1846, *Am. J. Sci.*, 3, 267–269, 1847.
- Maat, P. B., and Johnson, W. C., 1996. Thermoluminescence and new ^{14}C age estimates for late Quaternary loesses in southwestern Nebraska. *Geomorphology* 17, 115–128.
- Madsen, A.T., and Murray, A.S., 2009. Optically stimulated luminescence dating of young sediments: A review. *Geomorphology*, 109, 1–2, 1, pp. 3–16

- Maher, B. A., Thompson, R., and Zhou, L. P., 1994. Spatial and temporal reconstructions of changes in the Asian palaeomonsoon: a new mineral magnetic approach. *Earth and Planetary Science Letters* 125, 461–471.
- Mahowald, N., Kohfeld, K., Hansson, M., et al., 1999. Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: a comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments. *Journal of Geophysical Research* 104, 15,895–15,916.
- Malicki, A. 1946. Kars loessowy. *Rozniki universitety Mari-Curie Sklowskiej w Lublinie*, 153–155.
- Markey B.G., Bøtter-Jensen L. and Duller G.A.T., 1997. A new flexible system for measuring thermally and optically stimulated luminescence *Radiat. Meas.*, 27, 83–89.
- Markey B.G., McKeever S.W.S., Akselrod M.S., Bøtter-Jensen L. Agersnap Larsen N., Colyott L.E., 1996. The temperature dependence of optically stimulated luminescence from α -Al₂O₃:C. *Radiat. Prot. Dosim.* 65, 185–189.
- Marković, S. B. Hambach, U., Catto, N., Jovanović, M., Buggle, B., Machalett, B., Zöller, L., Glaser, B. Frechen, M. 2009. The middle and late Pleistocene loess-paleosol sequences at Batajanica, Vojvodina, Serbia. *Quaternary International* 198, 255–266. (1.768, 20)
- Marković, S. B. Oches, E.A., Zöller, L, Savić, S., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Sümegi, P., McCoy, W.D. Ivanišević, P., Stevens, T. 2003. 150.000 years of paleoclimate and peleoenvironment recorde in the loess-paleosol sequence at Petrovaradin brickyard exposure (Vojvodina, Serbia). *Loess and paleoenvironment, Moscow*, 26 May – 01 June 2003. *Book of abstract*, 47.
- Marković, S. B., Bokhorst, M. P., Vandenberghe, J., McCoy, W. D., Oches, E. A., Hambach, U., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Stevens, T., Zöller, L., Machalett, B. 2008. Late Pleistocene loess–paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia. *Journal of Quaternary Science* 23, 73–84.
- Marković, S. B., Hambach, U., Catto, N, Jovanović, M., Buggle, B., Machalett, B., Zöller, L., Glaser, B., Frechen, M. 2009. Middle and Late Pleistocene loess sequences at Batajnica, Vojvodina, Serbia. *Quaternary International* 198, 255–266.

- Marković, S. B., Hambach, U., Stevens, T., Jovanović, M., O'Hara-Dhand, K., Basarin, B., Lu, H., Smalley, I., Buggle, B., Zech, M., Svirčev, Z., Sümegi, P., Milojković N., Zöller, L. 2012. Loess in the Vojvodina region (Northern Serbia): an essential link between European and Asian Pleistocene environments. *Netherlands Journal of Geosciences* 91, 1–2, 173–188.
- Marković, S. B., Hambach, U., Stevens, T., Kukla, G. J., Heller, F., McCoy, W. D., Oches, E. A., Buggle, B., Zöller, L. 2011. The last million years recorded at the Stari Slankamen loess-palaeosol sequence: revised chronostratigraphy and longterm environmental trends. *Quaternary Science Reviews* 30, 1142–1154.
- Marković, S. B., Kukla, J. 1999. Magnetic susceptibility and grain size records in the Stari Slankamen loess section (Vojvodina, Yugoslavia). *Loessfest '99, Bonn and Heidelberg, Germany 25 March – 1 April 1999, Book of Abstracts*, 152–153.
- Marković, S. B., McCoy, W. D., Oches, E. A., Savić, S., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Stevens, T., Walther, R., Ivanišević, P., Galović, Z. 2005. Paleoclimate record in the Late Pleistocene
- Marković, S. B., McCoy, W. D., Oches, E. A., Savić, S., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Stevens, T., Walther, R., Ivanišević, P., Galović, Z. 2005. Paleoclimate record in the Late Pleistocene loess–paleosol sequence at Petrovaradin Brickyard (Vojvodina, Serbia). *Geologica Carpathica* 56, 545–552.
- Marković, S. B., Oches, E. A., McCoy, W. D., Gaudenyi, T., Frechen, M. 2007. Malacological and sedimentological evidence for “warm” climate from the Irig loess sequence (Vojvodina, Serbia). *Geophysics, Geochemistry and Geosystems* 8, Q09008.
- Marković, S. B., Oches, E., Sümegi, P., Jovanović, M., Gaudenyi, T. 2006. An introduction to the Upper and Middle Pleistocene loess–paleosol sequences of Ruma section (Vojvodina, Yugoslavia). *Quaternary International* 149, 80–86.
- Marković, S. B., Timar-Gabor, A., Stevens, T., Hambach, U., Popov, D., Tomić, N., Obreht, I., Jovanović, M., Lemkhul, F., Kels, H., Gaudenyi, T., Gavrilov, M. B. 2014. Environmental dynamics and luminescence chronology from Orlovat loess-paleosol sequence (Vojvodina, Northern Serbia): initial results and perspectives. *Journal of Quaternary Science* 29, 189–199.

- Marković, S., Hambach, U., Stevens, T., Jovanović, M., O'Hara-Dhand, K., Basarin, B., Lu, H., Smalley, I., Buggle, B., Zech, M., Svirčev, Z., Sümegi, P., Milojković, N., Zöller, L., 2012. Loess in the Vojvodina region (Northern Serbia): an essential link between European and Asian Pleistocene environments. *Neth. J. Geosci. Geol. Mijnbouw* 91, 173–188.
- Marković, S., Kostić, N., Oches, E. 2004a. Paleosols in the Ruma loess section (Vojvodina, Serbia). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21,1, 79–87.
- Marković, S., Oches, E., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Hambach, U., Zoeller, L., Sümegi, P. 2004b. Paleoclimate record in the Late Pleistocene loess-paleosol sequence at Miseluk (Vojvodina, Srbija). *Quaternaire* 15, 361–368.
- Marković, S.B., Bokhorst, M., Vandenberghe, J., Oches, E.A., Zöller, L., McCoy, W.D., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Hambach, U., Machalet, B. 2008. Late Pleistocene loess-paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia. *J. Quat. Sci.* 23, 73–84.
- Marković, S.B., Hambach, U., Catto, N., Jovanović, M., Buggle, B., Machalet, B., Zöller, L., Glaser, B., Frechen, M., 2009. Middle and Late Pleistocene loess sequences at Batajnica, Vojvodina, Serbia. *Quaternary International* 198, 255–266.
- Marković, S.B., Hambach, U., Stevens, T., Kukla, G., Hellere, F., McCoy, W.D., Oches, E.A., Buggle, B., Zöller, L. 2011. The last million years recorded at the Stari Slankamen (Northern Serbia) loess-palaeosol sequence: revised chronostratigraphy and long-term environmental trends. *Quaternary Science Reviews*, Volume 30, Issues 9–10, 1142–1154
- Marković, S.B., McCoy, W.D., Oches, E.A., Savić, S., Gaudenyi, T., Jovanović, M., Stevens, T., Walther, R., Ivanisević, P., Galić, Z., 2005. Paleoclimate record in the Upper Pleistocene loess-palaeosol sequence at Petrovaradin brickyard (Vojvodina, Serbia). *Geologica Carpathica* 56, 545–552.
- Marković, S.B., Oches, E.A., McCoy, W.D., Frechen, M., Gaudenyi, T., 2007. Malacological and sedimentological evidence for “warm” glacial climate from the Irig loess sequence, Vojvodina, Serbia. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 8, Q09008. doi:10.1029/2006GC001565.

- Marković, S.B., Stevens, T., Kukla, G. J., Hambach, U., Fitzsimmons, K. E., Gibbard, P., Buggle, B., Zech, M., Guo, Z. , Qingzhen, H., Haibin, W., Dhand, O. K., Smalley, I. J., Gábor, U., Sümegi, P., Timar-Gabor, A., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, D. A., Jary, Z., Svensson, A., Jović, V., Lehmkuhl, F., Kovács, J., Svirčev, Z. 2015. Danube loess stratigraphy – Towards a pan-European loess stratigraphic model. *Earth Science Reviews*, doi: 10.1016/j.earscirev.2015.06.005
- Marković-Marjanović, J. 1953. Contribution a l'Etude de la Constitution Geologique de Titelski breg. Extrait du Bulletin de l'Academie serbe des sciences. Tome XII, nouvelle serie. Classe des sciences mathematiques et naturelles, 3, 1–2.
- Marković-Marjanović, J. 1979. Sediments lacustres-fluviaux de l'Eopleistocene – base de la serie des loess Pleistocenes de la rive droite du Danube en Yugoslavie. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 22 (1–4), 133–139.
- Marshall, D.J., 1988. Cathodoluminescence of geological materials. Allen and Unwin, Winchester, MA.
- Marsigli, L.F., 1726. Danubius Pannonico Mysicus; Observationibus Geographicis, Astronomicis, Hydrographicis, Physicis; perlustratus. Grosse, P., Alberts, Chr., de Hoodt, P., Herm. Uytwert and Franc Changuion; The Hague and Amsterdam.
- Martinson D., Pisias M.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C. & Shackleton N.J., 1987. Age dating and the orbital theory of ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000–year chronostratigraphy. *Quat. Res.* 27, 1–30.
- Márton, P., 1979. Paleomagnetism of the Paks brickyard exposures, *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 22, 443–449, 1979.
- Mason, J. A., 2001. Transport direction of Peoria Loess in Nebraska and implications for loess sources on the central Great Plains. *Quaternary Research* 56, 79–86.
- McDougall, D.J., (ed.) 1968. Thermoluminescence of geological materials. Academic, New York.
- McDougall, I., Harrison, T. M., 1999. Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method. Oxford University Press. ISBN 0–19–510920–1.
- McKeever, S. W. S., 1985. Thermoluminescence of solids. Cambridge University Press.

- McKeever, S. W. S., 2001. Optically stimulated luminescence dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 184:29–54.
- McKinlay, A. F., 1981. Thermoluminescence dosimetry. Adam Hilger Ltd.
- Meakins R. L., Dickson B. L. and Kelly J. C., 1979. Gamma-ray analysis of K, U and Th for dose-rate estimation in thermoluminescence dating, *Archaeometry*, 21, 79–86.
- Mejdahl V., 1978. Thermoluminescence dating: a thermoluminescence technique for beta-ray dosimetry, in "A Specialist Seminar on Thermoluminescence Dating", Oxford, PACT, Council Europe.
- Molina, E., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, JA., Gallala, N., Hardenbol, J., von, Salis K., Steurbaut, E., Vandenberghe, N., Zaghib-Turki, D., 2006. The Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Danian Stage (Paleocene, Paleogene, 'Tertiary', Cenozoic) at El Kef. Tunisia: original definition and revision. *Episodes* 29: 263–273.
- Monegatti, P., Raffi, S., 2001. Taxonomic diversity and stratigraphic distribution of Mediterranean Pliocene bivalves. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology* 165: 171–193.
- Mörner, N. A., 2014. Varve Chronology, Geochronology - Methods and Case Studies. Dr. Nils-Axel Mörrn (Ed.). InTech. DOI: 10.5772/58630
- Moscovitch M., Kaufman M. M., Rodgers J. E. and Nirroomand-Rad A., 1993b. Ultra-low dose (100 μ Gy–100 μ Gy) response of α -Al₂O₃:C, *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 173–176.
- Moscovitch M., Tawil R. A. and Svinkin M., 1993a. Light induced fading in α -Al₂O₃:C, *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 251–253.
- Mott, N. F. and Gurney, R. W., 1948. *Electronic Processes in Ionic Crystals*. Oxford University Press, London, 2nd edition.
- Mottana, A., Crespi, R. and Ligorio, G., 1982. *Der grosse BVL Mineralienführer*, BLV Verlag, pp. 612.
- Muhs, D. R., 2007. Loess deposits. origins and properties. *Encyclopedia of Quaternary Science*, 1405–1418. Elsevier B.V.

- Muhs, D. R., Aleinikoff, J. N., Stafford, T. W., Jr. et al., 1999. Late Quaternary loess in northeastern Colorado: part I – age and paleoclimatic significance. *Geological Society of America Bulletin* 111, 1861–1875.
- Muhs, D. R., and Bettis, E. A., III. (2003). Quaternary loess-paleosol sequences as examples of climate-driven sedimentary extremes. *Geological Society of America Special Paper* 370, 53–74.
- Muhs, D. R., and Bettis, E. A., III. (2003). Quaternary loess-paleosol sequences as examples of climate-driven sedimentary extremes. *Geological Society of America Special Paper* 370, 53–74.
- Muhs, D. R., McGeehin, J. P., Beann, J., and Fisher, E., 2004. Holocene loess deposition and soil formation as competing processes, Matanuska Valley, southern Alaska. *Quaternary Research* 61, 265–276.
- Muhs, D. R., McGeehin, J. P., Beann, J., and Fisher, E., 2004. Holocene loess deposition and soil formation as competing processes, Matanuska Valley, southern Alaska. *Quaternary Research* 61, 265–276.
- Muhs, D.R., 2007. Loess deposits, origins and properties. *Encyclopedia of Quaternary Science*, Pages 1405–1418, Elsevier Ltd.
- Mukherje B. and Lucas A. C., 1993. Light conversion efficiency of aluminium oxide dosimeters irradiation with ^{241}Am alpha particles, *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 177–179.
- Murray A. S. and Aitken M. J., 1988. Analysis of low-level Natural Radioactivity in Small Mineral Samples for use in Thermoluminescence Dating, using High-resolution Gamma Spectrometry, *Appl. Radiat. Isot.*, 39, 145–158.
- Murray A.S. and Roberts R.G., 1998. Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative-dose single-aliquot protocol. *Radiat. Meas.* 29, 503–515
- Murray A.S., Olley J.M. and Caitcheon G.C., 1995. Measurement of equivalent doses in quartz from contemporary water-lain sediments using optically stimulated luminescence. *Quat. Sci. Rev. (Quat. Geochr.)* 14, 365–371.
- Murray A.S., Roberts R.G., Wintle A.G., 1997. Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz. *Radiat. Meas.*, 27, 171–184.

- Murray, A. S. & Wintle, A. G. 2003. The single aliquot regeneration dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37, 377–381.
- Murray, A. S., Marten, R., Johnston, A. & Martin, P. 1987. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 115, 263–288.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57–73
- Murray, A.S., Schmidt, E.D., Stevens, T., Buylaert, J.-P., Marković, S.B., Tsukamoto, S., Frechen, M., 2014. Dating Middle Pleistocene loess from Stari Slankamen (Vojvodina, Serbia)—Limitations imposed by the saturation behaviour of an elevated temperature IRSL signal. *Catena* 117, 34–42
- Musk J.H., 1993. Time-dependent and light-induced fading in Victoreen Model 2600-80 aluminium oxide thermoluminescence dosimeters, *Radiat. Prot. Dosim.*, 47, 247–249.
- Nádor A, Thamó-Bozsó E, Magyarí Á and Babinszki E, 2007. Fluvial responses to tectonics and climate change during the Late Weichselian in the eastern part of the Pannonian basin (Hungary). *Sedimentary Geology*, DOI 10.1016/j.sedgeo.2007.03.001.
- Nádor, A. 2007. Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quaternary Science Reviews* 26, 2758–2782.
- Naeser, C. W., 1979. Fission-Track Dating and Geologic Annealing of Fission Tracks. in: Jäger, E. and J. C. Hunziker. *Lectures in Isotope Geology*, Springer-Verlag. ISBN 3-540-09158-0
- Narkiewicz, M., 2004, Time—Stolen or regained?: *Palaeontological Association, The Palaeontology Newsletter*, no. 56, p. 75–77.
- Nishiizumi, K., Kohl, C. P., Arnold, J. R., Dorn, R., Klein, I., Fink, D., Middleton, R., Lal, D., 1993. "Role of in situ cosmogenic nuclides ^{10}Be and ^{26}Al in the study of diverse geomorphic processes". *Earth Surface Processes and Landforms*. 18 (5): 407. Bibcode:1993ESPL...18..407N. doi:10.1002/esp.3290180504

- O'Brien T. J., Dooremus S. W., Moscovitch M., Rodgers J. E. and Popescu G. F., 1993. Thermoluminescent response of aluminium oxide (α -Al₂O₃:C) to alpha particles, *Hlth Phys.*, 64 (6 Suppl.) S41.
- Oches E.A. & McCoy W.D. 2001: Historical developments and recent advances in amino acid geochronology applied to loess research: examples from North America, Europe and China. *Earth Sci. Rev.* 54, 173—192.
- Odin, G.S., Gardin, S., Robaszynski, F., and Thierry, J., 2004, Stage boundaries, global stratigraphy and the time scale: Towards a simplification: Brest, France, Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Brest, Article 2004/02, p. 1–12.
- Ogg, J.G., Pillans, B., 2008. Establishing Quaternary as a formal international Period/ System. *Episodes* 31 (2), 230–233
- Ogg, J.G., Pillans, B., 2008. Establishing Quaternary as a formal international Period/System. *Episodes* 31: 230–233.
- Olley J.M., Murray A.S. and Roberts R.G. 1996. The effects of disequilibria in the uranium and thorium decay chains on burial dose rates in fluvial sediments. *Quat. Geochron.* 15, 751–760.
- Olley Jon M., Roberts Richard G., and Murray Andrew S., 1997. Disequilibria in the uranium decay series in sedimentary deposits at Allen's Cave, Nullarbor Plain, Australia: implications for dose rate determinations, *Radiation Measurements*, **27**, 433–443.
- Olley, J. M., Caitcheon, G. G., and Murray, A. S. (1998). The distribution of apparent doses as determined by optically stimulated luminescence in small aliquots of fluvial quartz: implications of dating young sediments. *Quaternary Science Reviews*, 17: 1033–1040.
- Osipov, V. I. and Sokolov, V. N., 1995. Factors and mechanism of loess collapsibility, In: *Genesis and Properties of Collapsible Soils*, (E. Derbyshire et al., eds.), Kluwer Academic Publishers, 49–63.
- Oxford English Dictionary: Version 3, 2002. John A. Simpson. Ausgabe 2. Verlag Oxford University Press.

- Palmer, AR., 1983. The Decade of North American Geology 1983 geologic time scale. *Geology* 11: 503–504.
- Panaiotu, C. G., Panaiotu, C. E., Grama, A., Necula, C. 2001. Paleoclimatic record from a loess–paleosol profile in southeastern Romania. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy* 26, 893–898.
- Partridge, TC., 1997. The Plio-Pleistocene boundary. *Quaternary International* 40: 1–100.
- Pécsi, M. 1966a. Lössе und lössartige Sedimente im Karpatenbecken und ihre lithostratigraphische Gliederung (Erster Teil). *Petermann's Geographische Mitteilungen* 110 (3). Gotha-Leipzig. 176–189
- Pécsi, M. 1966b. Lössе und lössartige Sedimente im Karpatenbecken und ihre lithostratigraphische Gliederung (Zweiter Teil). *Petermann's Geographische Mitteilungen* 110 (4). Gotha.Leipzig, 241–252.
- Pécsi, M., 1990. Loess is not just an accumulation of dust, *Quat. Internat.*, 7/8, 1–21.
- Perić, Z., Stevens, T., Buylaert, J.P., Marković, S.B., Hambach, U., Fischer, P., Obreht, I., Zeeden, C., Veres, D., Lehmkuhl, F., Vött, A., Gavrilov, M.B., 2016. Luminescence characteristics of quartz grains from the Titel loess plateau. Conference: INTERNATIONAL Conference on Loess Research Loess 2M – modelling and mapping, At Novi Sad, Serbia, Volume: 1
- Perić, Z., Lagerbäck Adophi, E., Buylaert, J.P, Stevens, T., Újvári, G., Marković, S.B, Hambach, U., Fischer, P., Zeeden, C., Schmidt, C., Schulte, P., Huayu, L., Shuangwen1, Y., Lehmkuhl, F., Obreht, I., Veres, D., Thiel, C., Frechen, M., Jain, M., Vött, A., Zöller, L., 2017. Quartz OSL dating of late Quaternary Chinese and Serbian loess: a cross Eurasian comparison of dating results and mass accumulation rates. *QUATINT_2017_500* (under revision)
- Pernicka E. and Wagner G. A., 1982. Radioactive equilibrium and dose-rate determination in TL dating, *PACT* 6, 132–144.
- Péwé, 1975 T. L., 1975. Quaternary geology of Alaska. US Geological Survey Professional Paper 835, 1–145.

- Pierson J., Forman S.L., Lepper K. and Conley G., 1994. A variable narrow bandpass optically stimulated luminescence system for Quaternary geochronology. *Radiat. Meas.*, 23, 533–535.
- Pillans, B., 2004. Proposal to redefine the Quaternary. *Episodes* 27: 127.
- Pillans, B., 2007. Defining the Quaternary: where do we go from here? *Stratigraphy* 4: 145–149.
- Pillans, B., Naish, T., 2004. Defining the Quaternary. *Quaternary Science Reviews* 23, 2271e2282.
- Pillans, B., Naish, T., 2004. Defining the Quaternary. *Quaternary Science Reviews* 23: 2271–228
- Polf, J. C., 2002. A study of optically stimulated luminescence in Al₂O₃ fibers for the development of a real-time, fiber optic dosimetry system. Ph:D thesis, Oklahoma State University.
- Poolton, N. R. J., Bøtter-Jensen, L., and Jungner, H., 1995. An optically stimulated luminescence study of porcelain related to radiation dosimetry. *Radiation Measurements*, 24:543–549.
- Porter, S. C., 2001. Chinese loess record of monsoon climate during the last glacial–interglacial cycle. *Earth-Science Reviews* 54, 115–128.
- Porter, S. C., Hallet, B., Wu, X., and An, Z., 2001. Dependence of near-surface magnetic susceptibility on dust accumulation rate and precipitation on the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research* 55, 271–283.
- Porter, SC. 2001. Chinese loess record of monsoon climate during the last glacial–interglacial cycle. *Earth Science Reviews* 54: 115–128 [DOI: 10.1016/S0012–8252(01)00043–5].
- Prescott J. R. and Hutton J. T., 1995. Environmental dose rates and radioactive equilibrium from some Australian luminescence dating sites, *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)*, 14, 439–448.
- Prescott J.R. and Hutton J.T., 1988. Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 14, 223–227.
- Prescott J.R. and Robertson G.B., 1997. Sediment dating by luminescence: a review. *Radiation Measurements* 27, 893–922.

- Prescott, J.R. and Hutton, J.T. 1994: Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* 23, 497–500.
- Preusser F., Blei, A., Graf, H., Schlüchter, CH., 2007. Luminescence dating of pro-glacial sediments from Switzerland. *Boreas*, 36: 130–142.
- Preusser, F., 1999. Luminescence dating of fluvial sediments and overbank deposits from Gossau, Switzerland: fine grain dating. – *Quaternary Science Reviews*, 18: 217–222.
- Preusser, F., 2003. IRSL dating of K-rich feldspars using the SAR protocol: Comparison with independent age control. – *Ancient TL*, 21: 17–23.
- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., Klasen, N., Krbetschek, M., Richter, D., & Spencer, G.Q.J., 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. *Quaternary Science Journal*, 57/1–2, 95–149.
- Preusser, F., Geyh, M.A., Schlüchter, 2003. Timing of Late Pleistocene climate change in lowland Switzerland. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1435–1445.
- Preusser, F., Ramseyer, K., Schlüchter, CH., 2006. Characterization of low OSL intensity quartz from the New Zealand Alps. – *Radiation Measurements*, 41, 871–877.
- Pye, K., 1995. The nature, origin and accumulation of loess. *Quatern Sci Rev* 14–653–657.
- Pye, K., *Aeolian Dust and Dust Deposits*, Academic, San Diego, California, pp. 334, 1987.
- Quickert N.A., Godfrey-Smith D.I. and Casey J.L., 2003. Optical and thermoluminescence dating of Middle Stone Age and Kintampo bearing sediments at Birimi, a multi-component archaeological site in Ghana. *Quaternary Science Reviews* 22, 1291–1297.
- Ramsey, C. B., 2008. "Radiocarbon dating: revolutions in understanding". *Archaeometry*. 50 (2): 249–275.
- Rasmussen, SO, Bigler, M, Blockley, SP, Blunier, T, Buchardt, SL, Clausen, HB, Cvijanovic, I, Dahl-Jensen, D, Johnsen, SJ, Fischer, H, Gkinis, V, Guillevic, M, Hoek, WZ, Lowe, JJ, Pedro, JB, Popp, TJ, Seierstad, IK, Steffensen, JP, Svensson, A, Vallelonga, PT, Vinther, BM, Walker, MJ, Wheatley, JJ & Winstrup, M., 2014. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized

- Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews* 106: 14–28 [DOI: 10.1016/j. quascirev.2014.09.007].
- Remane, J., 2000. *International Stratigraphic Chart*. International Union of Geological Sciences, and UNESCO Division of Earth Sciences: Paris.
- Remane, J., Bassett, MG., Cowie, JW., Gohrbandt, KH., Lane, HR., Michelsen, O., Wang, Naiwen, 1996. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes* 19: 77–81.
- Remane, J., Michelsen, O., 1998. Report on the vote about the demand to lower the Plio-Pleistocene boundary (PPB). Report of the International Commission on Stratigraphy, 21 December 1998 (reproduced in Newsletter No. 6 of the International Subcommittee on Stratigraphic Classification. December 2004; 5–7).
- Renne, P.R., Sharp, W.D., Deino, A.L., Orsi, G. and Civetta, L., 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating into the historical realm: Calibration against Pliny the Younger. *Science*. 277. 1279–1280
- Rhodes E.J., 1988. Methodological considerations in the optical dating of quartz. *Quaternary Science Reviews* 7, 395–400.
- Rhodes, E.J., Singarayer, J.S., Raynal, J.-P., Westaway, K.E., Sbihi-Alaoui, F.Z., 2006. New age estimates for the Palaeolithic assemblages and Pleistocene succession of Casablanca, Morocco. – *Quaternary Science Reviews*, 25, 2569–2585.
- Rink, W. J., 1997. "Electron spin resonance (ESR) dating and ESR applications in quaternary science and archaeometry". *Radiation Measurements*, 27 (5–6): 975–1025. doi:10.1016/S1350-4487(97)00219-9
- Rio, D., Sprovieri, R., Castradori, D., Di Stefano, E., 1998. The Gelasian Stage (Upper Pliocene): a new unit of the global chronostratigraphic scale. *Episodes* 21: 82–87.
- Risø, 2017. *Luminescence training manual and presentation*.
- Rittenour, T. M., 2008. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas* 37, 613–635.

- Roberts HM. 2008. The development and application of luminescence dating to loess deposits: a perspective on the past, present and future. *Boreas* 37: 483–507 [DOI: 10.1111/j.1502–3885.2008.00057.x].
- Roberts, H. M., Muhs, D. R., Wintle, A. G., Duller, G. A. T., and Bettis, E. A., III., 2003. Unprecedented last glacial mass accumulation rates determined by luminescence dating of loess from western Nebraska. *Quaternary Research* 59, 411–419.
- Roberts, H.M. 2007. Assessing the effectiveness of the double-SAR protocol in isolating a luminescence signal dominated by quartz. *Radiation Measurements* 42, 1627 – 1636.
- Roberts, H.M., Wintle, A.G. 2001. Equivalent dose determinations for polymineralic finegrains using the SAR protocol: application to a Holocene sequence of the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)* 20, 859– 863.
- Roberts, R. G., Bird, M., Olley, J., Galbraith, R. F., Lawsen, E., Laslett, G., Yoshida, H., Jones, R., Fullagar, R., Jacobsen, G., and Hua, Q., 1998. Optical and radiocarbon dating at Jinmium rock shelter in Northern Australia. *Nature*, 393, 358–362.
- Roveri, M., Taviani, M. 2003. Calcarenite and sapropel deposition in the Mediterranean Pliocene: shallow- and deep-water record of astronomically driven climatic events. *Terra Nova* 15: 279–286.
- Rozycki, S. Z. (1991). *Loess and loess-like deposits*. Ossolineum Press, Polish Academy of Sciences, Warsaw.
- Ruhe, R. V., 1956. Geomorphic surface and the nature of soil, *Soil Sci.*, 82, 441–445.
- Ruhe, R. V., 1969. *Quaternary landscapes in Iowa*. Iowa State University Press, Ames, IO.
- Russel, R. J., 1844. Origin of loess - a reply, *Am J. Sci.*, 242, 447–450,.
- Ruth U, Bigler M, Röthlisberger R et al. 2007. Ice core evidence for a very tight link between North Atlantic and East Asian glacial climate. *Geophysical Research Letters* 34: L03706 [DOI: 10.1029/ 2006GL027876].
- Rutter, N., Ding, Z. L., Evans, M. E. and T. Liu, T. 1991. Baoji-type pedostratigraphic section, Loess Plateau, north-central China. *Quat. Sci. Rev.*, 10, 1 – 22.

- Salvador, A., 1994. International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification. Terminology and Procedure. (2nd edn). Geological Society of America: Boulder. CO.
- Salvador, A., 2006a. A stable Cenozoic geologic time scale is indispensable. *Episodes* 29: 43–45.
- Salvador, A., 2006b. The Tertiary and the Quaternary are here to stay. *Association of American Petroleum Geologists Bulletin* 90: 21–30.
- Sanderson, D. C. W., Carmichael, L. A., and Fisk, S., 1998. Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. *Food science and Technology Today*, 12(2):97–102.
- Sanzelle S., Erramli H., FaYn J. and Miallier D., 1988. The assessment of gamma dose-rate by gamma-ray field spectrometer, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 14, 209–213.
- Sarnthein, M., Bartoli, G., Prange, M., Schmitter, A., Schneider, B., Weinelt, M., Andersen, N., Garbe-Schönberg, D., 2009. Mid-Pliocene shifts in ocean overturning circulation and the onset of Quaternary-style climates. *Climates of the Past* 5: 269–283.
- Sartori, M., 2000. The Quaternary climate in loess sediments: Evidence from rock and mineral magnetic and geochemical analysis, Doctoral Thesis, ETH Zürich, pp. 231.
- Sartori, M., Heller, F., Forster, T., Borkovec, M., Hammann, J., Vincent, E. 1999. Magnetic properties of loess grain size fractions from the section at Paks (Hungary). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 116, 53–64.
- Schmidt, E.D., Machalet, B., Marković, S.B., Tsukamoto, S., Frechen, M., 2010. Luminescence chronology of the upper part of the Stari Slankamen loess sequence (Vojvodina, Serbia). *Quaternary Geochronology*, 5: 137–142.
- Schmidt, E.D., Murray, A.S., F. Sirocko, Tsukamoto, S., Frechen, M., 2011. IRSL signals from maar lake sediments stimulated at various temperatures. *Quaternary Science Journal*, 60 (1).
- Schwarcz, H.P., 1989. Uranium series dating of Quaternary deposits. *Quaternary International* 1: 7–17.
- Shackleton NJ, Berger A, Peltier WR. 1990. An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Transaction*

- Shackleton, N. J., and Opdyke, N. D. (1976). Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239 late Pliocene to latest Pleistocene. Geological Society of America Memoir 145, 449–464.
- Shen, C., Beer, J., Liu, T., et al., 1992. ^{10}Be in Chinese loess. Earth and Planetary Science Letters 109, 169–177.
- Porter, 2001
- Singer, M. J., Fine, P., Verosub, K. L., and Chadwick, O. A., 1992. Time dependence of magnetic susceptibility of soil chronosequences on the California coast. Quaternary Research 37, 323–332.
- Singhvi, A. K. and Mejdahl, V., 1985. Thermoluminescence dating of sediments. Nuclear tracks and Radiation Measurements, 10, 137–161.
- Singhvi, A. K., Porat, N., 2008. Impact of luminescence dating on geomorphological and palaeoclimate research in drylands. Boreas 37, 536–558.
- Singhvi, A.K, Williams, M.A.J., Rajaguru, S.N., Misra, V.N., Chawla, S., Stokes, S., Chauhan, N., Francis, T., Ganjoo, R.K., Humphreys, G.S., 2010. A ~200 ka record of climatic change and dune activity in the Thar Desert, India Quat Sci Rev, 29(23–24):3095–3105
- Singhvi, A.K. & Lang, A., 1998. Improvements in infra-red dating of partially bleached sediments - the “Differential Partial Bleach Technique”. Ancient TL, 16, 63–71
- Singhvi, A.K., Bronger, A., Sauer, W. and Pant, R.K., 1989. Thermoluminescence dating of loess–paleosols sequences in the Carpathian Basin east–central Europe: a suggestion for a revised chronology. Chem. Geol. Isotope Geoscience Section 73, 306–317.
- Singhvi, Ashok K., Stokes, S.C., Chauhan, N., 2011. Changes in natural OSL sensitivity during single aliquot regeneration procedure and their implications for equivalent dose determination. Geochronometria 38:231–241
- Smalley, I. J. (1995). Making the material: the formation of siltsized primary mineral particles for loess deposits. Quaternary Science Reviews 14, 645–651.
- Smalley, I.J., Markovic, S.B., O’Hara-Dhand, K. 2010. The INQUA Loess Commission as a Central European Enterprise. Central European Journal of Geosciences, 2 (1), 3–8.

- Smith B.W., Aitken M.J., Rhodes E.J., Robinson P.D. and Geldard D.M., 1986. Optical dating: methodological aspects. *Radiation Protection Dosimetry* 17, 229–233.
- Smith, B. W., 1988. Zircon from sediments: a combined OSL and TL auto-regenerative dating technique. *Quaternary Science Reviews*, 7, 401–406.
- Smith, G. D., 1942. Illinois loess: variations in its properties and distribution, a pedologic interpretation. University of Illinois Agricultural Experiment Station Bulletin 490, 139–184.;
- Spasov, S., 1998. Umweltmagnetismus und Löss: Das Profil von Novaya Etuliya, Moldavien, Diplomarbeit, ETH-Zürich, unpublished, pp. 61.
- Spooner N.A. and Questiaux D.G., 1990. Optical dating - Achenheim beyond the Eemian using green/infrared stimulation. In *Synopsis from a Workshop on Long and Short Range Limits in Luminescence Dating*, Oxford, April 1989. RLAHA Occasional Publication Publication No. 9, 97–103.
- Spooner, N. A. and Allsop, A., 2000. The spatial variation of dose rate from $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta sources for use in luminescence dating. *Radiation Measurements*, 32:49–56.
- Spooner, N.A. 1994. On the optical dating signal from quartz. *Radiat. Meas.* 23, 2/3, 593–600.
- Spooner, N.A., 1992. Optical dating – preliminary-results on the anomalous fading of luminescence from feldspars. *Quaternary Science Reviews*, 11, 139–145.
- Steininger, FF., Aubry, MP., Berggren, WA., Biolzi, M., Borsetti, AM., Cartlidge, JE., Cati, F., Corfield, R., Gelati, R., Iaccarino, S., Napoleone, C., Ottner, F., Rögl, F., Roetzel, R., Spezzaferri, S., Tateo, F., Villa, G., Zevenboom, D., 1997. The global stratotype section and point (GSSP) for the base of the Neogene. *Episodes* 20: 23–28.
- Stevens T, Armitage SJ, Lu H et al. 2006. Sedimentation and diagenesis of Chinese loess: implications for the preservation of continuous, high-resolution climate records. *Geology* 34: 849–852.
- Stevens T, Lu H, Thomas DSG et al. 2008. Optical dating of abrupt shifts in the Late Pleistocene East Asian monsoon. *Geology* 36: 415–418 [DOI: 10.1130/G24524A.1]. Thiel et al., 2014

- Stevens T, Lu H. 2009. Optical dating as a tool for calculating sedimentation rates in Chinese loess: comparisons to grain-size records. *Sedimentology* 56: 911–934.
- Stevens, T., Adamic, G., Bird, A.F. & Lu, H., 2013. An abrupt shift in dust source on the Chinese Loess Plateau revealed through high sampling resolution OSL dating. *Quaternary Science Reviews*, vol. 82, pp. 121–132
- Stevens, T., Buylaert, J.P., Lu, H., Thiel, C., Murray, A., Frechen, M., Yi, S., Zeng, L. 2016. Mass accumulation rate and monsoon records from Xifeng, Chinese Loess Plateau, based on a luminescence age model. *Journal of Quaternary Science*, 31(4) 391–405, DOI: 10.1002/jqs.2848
- Stevens, T., Marković, S. B., Zech, M., Hambach, U., Sümeđi, P. 2011. Dust deposition and climate in the Carpathian Basin over an independently dated last glacial-interglacial cycle. *Quaternary Science Reviews* 30, 662–681.
- Stevens, T., Marković, S.B., Zech, M., Hambach, U., Sümeđi, P., 2011. Dust deposition and climate in the Carpathian Basin over an independently dated last glacial-interglacial cycle. *Quat. Sci. Rev.* 30, 662–681.
- Sticher, H., 1997. *Allgemeine Bodenkunde, Vorlesungsskript*, ETH Zürich.
- Stokes S., 1994. The timing of OSL sensitivity changes in a natural quartz. *Radiation Measurements* 23, 601–605.
- Stoneham D. and Stokes S., 1991. An investigation of the relationship between the 110oC TL peak and optically stimulated luminescence in sedimentary quartz. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 18, 119–123.
- Stuut, J.-B., Smalley, I., O’Hara-Dhand, K., 2009. Aeolian dust in Europe: african sources and European deposits. *Quaternary International* 198, 234e245.
- Sugisaki, S., Buylaert, J.-P., Murray, A., Tsukamoto, S., Nogi, Y., Miura, H., Sakai, S., Iijima, K., Sakamoto, T., 2010. High resolution OSL dating back to MIS 5e in the central Sea of Okhotsk. *Quaternary Geochronology* 5, 293–298.
- Sun, J.M., 2002. Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese Loess Plateau, *Earth and Planetary Science Letters*, 203, pp. 845–859.

- Thiel, C., Buylaert, J.-P., Murray, A.S., Terhorst, B., Hofer, I., Tsukamoto, S. & Frechen, M., 2011a. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – Testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol. *Quaternary International*, 234: 23–31.
- Thiel, C., Terhorst, B., Jaburová, I., Buylaert, J.P., Murray, A.S., Fladerer, F.A., Damm, B., Frechen, M. & Ottner, F., 2011b. Sedimentation and erosion processes in Middle to Late Pleistocene sequences exposed in the brickyard of Langenlois/Lower Austria. *Geomorphology* doi: 10.1016/j.geomorph.2011.02.011.
- Thiel, C., Buylaert, J.-P., Murray, A.S., Terhorst, B., Hofer, I., Tsukamoto, S. & Frechen, M., Sprafke, T., 2011b. Investigating the chronostratigraphy of prominent palaeosols in Lower Austria using post-IR IRSL dating. *Quaternary Science Journal* 60:1, 137–152 / DOI 10.3285/eg.60.1.10
- Thomas D.S.G., Brook G., Shaw P., Bateman M., Haberyan K., Appleton C., Nash D., McLaren S. and Davies F., 2003. Late Pleistocene wetting and drying in the NW Kalahari: an integrated study from the Tsodilo Hills, Botswana. *Quaternary International*, 104, 53–67.
- Thompson, W.G., Goldstein, S.L., 2006. A radiometric calibration of the SPECMAP timescale. *Quat. Sci. Rev.* 25, 3207–3215.
- Thomsen, K.J., 2004. *Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry using Single Grains of Quartz extracted from Unheated Materials*. PhD Thesis, Radiation Research Department, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
- Timar, A., Vandenberghe, D., Panaiotu, E.C., Panaiotu, C.G., Necula, C., Cosma, C., Van den haute, P., 2010. Optical dating of Romanian loess using fine-grained quartz. *Quaternary Geochronology*, 5, 143–148.
- Timar-Gabor, A., Constantin, D., Marković, S.B., Jain, M., 2014. Extending the area of investigation of fine versus coarse quartz optical ages from the Lower Danube to the Carpathian Basin. *Quaternary International*, 388:19, 168–176
- Tite M. S. and Waine J., 1962. Thermoluminescent dating: a re-appraisal, *Archaeometry*, 5, 53–79.

- Tomoda, Y., 2010. Gravity at sea - A memoir of a marine geophysicist. Proceedings of the Japan Academy. Series B. Physical and Biological Sciences. 86(8). 769–787. <http://doi.org/10.2183/pjab.86.769>
- Trandafir, O., Timar-Gabor, A., Schmidt, C., Veres, D., Anghelinu, M., Hambach, U., Simon, S. 2015. OSL dating of fine and coarse quartz from a Palaeolithic sequence on the Bistrita Valley (Northeastern Romania). Quaternary Geochronology 30, 487–492. DOI: 10.1016/j.quageo.2014.12.005
- Tsatskin, A., Heller, F., Hailwood, E. A., Gendler, T. S., Hus, J., Montgomery, P., Sartori, M. and Virina, E. I., 1998. Pedosedimentary division, rock magnetism and chronology of the loess/paleosol sequence at Roxolany (Ukraine), Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoec., 143, 111–133.
- Tsoar, H., Pye, K., 1987. Dust transport and the question of desert loess formation. Sedimentology 34, 139–153
- Tsukamoto, S., Murray, A. S., Huot, S., Watanuki, T., Denby, P. M., Bøtter-Jensen, L., 2007. Luminescence property of volcanic quartz and the use of red isothermal TL for dating tephra. – Radiation Measurements, 42, 190–197.
- Ugumori, T. and Ikeya, M., 1980. Luminescence of CaCO₃ under N₂ laser excitation and application to archaeological dating. Japanese Journal of Applied Physics 19, 459–465.
- Újvári, G., Kovács, J., Varga, G., Raucsik, B., Marković, S.B., 2010. Dust flux estimates for the Last Glacial Period in East Central Europe based on terrestrial records of loess deposits: a review. Quaternary Science Reviews 29, 3157–3166.
- Újvári, G., Molnar, M., Novothny, A., Pall-Gergely, B., Kovacs, J., Varhegyi, A., 2014. AMS ¹⁴C and OSL/IRSL dating of the Dunaszekcső loess sequence (Hungary): chronology for 20 to 150 ka and implications for establishing reliable age-depth models for the last 40 ka. Quaternary Science Reviews 106, 140–154.
- Van den haute P., Frechen, M., Buylaert J.-P., Vandenberghe D. and De Corte F., 2003. The Last Interglacial palaeosol in the Belgian loess belt: TL age record. Quaternary Science Reviews 22, 985–990.

- Vanacker, V., von Blanckenburg, F., Govers, G., Campforts, B., Molina, A., Kubik, P.W., 2015. "Transient river response. captured by channel steepness and its concavity". *Geomorphology*, 228: 234–243. doi:10.1016/j.geomorph.2014.09.013
- Vancraeynest L., 1998. Bijdrage tot de studie van de thermoluminescentie-dateringsmethode en toepassing op archeologisch keramiek en eolische sedimenten. Doctoraatsthesis, Universiteit Gent.
- Vandenberge, D., 2004. Investigation of the optically stimulated luminescence dating method for application to young geological sediments. PhD Thesis, Department of Analytical Chemistry Institute for Nuclear Sciences, Universiteit Gent.
- Vandenbergh, D., De Corte, F., Buylaert, J.-P., Kučera, J., Van den haute, P., 2008. On the internal radioactivity in quartz. *Radiation Measurements*, 43. 771 – 775.
- Verosub, K. L., Fine, P., Singer, M. J., and TenPas, J., 1993. Pedogenesis and paleoclimate: interpretation of the magnetic susceptibility record of Chinese loess-paleosol sequences. *Geology* 21, 1011–1014.
- Verosub, K.L., 1977. Depositional and postdepositional processes in the magnetization of sediments, *Review of Geophysics and Space Physics*, 15, 129–143.
- Versteegh GJM. 1997. The onset of major Northern Hemisphere glaciations and their impact on dinoflagellate cysts and acritarchs from the Singa section, Calabria (southern Italy) and DSDP Holes 607/607A (North Atlantic). *Marine Micropaleontology* 30: 319–343.
- Virina, E. I., Udartzev, V. P., Faustoff, S. S. and Chernova, L. M., 1990. Palaeomagnetic stratigraphy of loess sediments of the Precaucasus region. In: Abstracts, VII Allunion Conference on the Quaternary: Methods of Research, Stratigraphy and Ecology, 1, 120–121, Tallin, Estonia.
- Virlet-d' Aoust, P. H., 1857. Observations sur un terrain d' origine météorique ou de transport aérien qui existe au Mexique, et sur le Phénomène des trombees de poussière auquel il doit principalement son origine. *Geol. Soc. Fr. Bull.*, 2nd ser., 16, 417–431.
- Visocekas, R., 1985. Tunneling radiative recombination in Labradorite – its association with anomalous fading of Thermoluminescence. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 10, 521–529.

- von Richthofen, F., 1882. On the mode of origin of the loess, *Geological Magazine*, 9, pp. 293–305.
- Wagner G.A., 1998. Age determination of young rocks and artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 466p., ISBN: 3–540–63436–3.
- Wagner, G.A., Glasmacher, U.A, Greilich, S., 2005. Spatially resolved dose rate determination in rocks and ceramics by neutron-induced fission tracks. *Radiation Measurements*, 40, 26–31.
- Walker JD, Geissman JW. (compilers). 2009. Geologic time scale: Geological Society of America. *GSA Today* April/May: 60–61.
- Walker M, Johnsen S, Rasmussen SO, Popp T, Steffensen J-P, Gibbard P, Hoek W, Lowe J, Andrews J, Björck S, Cwynar LC, Hughen K, Kershaw P, Kromer B, Litt T, Lowe DJ, Nakagawa T, Newnham R, Schwander J. 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science* 24: 3–17.
- Walker, JD., Geissman, JW., 2009. Geologic time scale: Geological Society of America. *GSA Today* April/May: 60–61.
- Walker, M.J.C, 2005. *Quaternary Dating Methods*. Wiley and Sons, 286 pp.
- Wallinga, J., Bos, A.J.J., Dorenbos, P., Murray, A.S., Schokker, J., 2007. A test case for anomalous fading correction in IRSL dating. *Quaternary Geochronology*, 2, 216–221.
- Wallinga, J., Murray, A. S., and Wintle, A. G., 2000. The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse grain feldspar. *Radiation Measurements*, 32, 529–533.
- Wallinga, J., Murray, A.S. & Bøtter-Jensen, L., 2002. Measurement of the dose in quartz in the presence of feldspar contamination. – *Radiation Protection Dosimetry*, 101. 367–370.
- Walsh, SL., 2006. Hierarchical subdivision of the Cenozoic Era: a venerable solution. and a critique of current proposals. *Earth-Science Reviews* 78: 207–237.
- Walsh, SL., 2008. The Neogene: origin. adoption evolution and controversy. *Earth-Science Reviews* 89: 42–72.

- Wang, X.L., Lu, Y.C., Wintle, A.G., 2006b. Recuperated OSL dating of fine-grained quartz in Chinese loess. *Quaternary Geochronology*, 1, 89–100.
- Wang, X.L., Wintle, A.G., Lu, Y.C., 2006a. Thermally transferred luminescence in fine-grained quartz from Chinese loess. Basic observations. *Radiation Measurements*, 41, 649–658.
- Wang, X.L., Wintle, A.G., Lu, Y.C., 2007. Testing a single-aliquot protocol for recuperated OSL dating. *Radiation Measurements*, 42, 380–391.
- Wang, Y., Lin, Z., Lei, X. and Wang, S., 1987. Fabric and other physico-mechanical properties of loess in Shaanxi Province, China, *Catena Suppl.*, 9, 1–10.
- Warren S.E., 1978. Thermoluminescence dating of pottery: an assessment of the dose-rate from rubidium. *Archaeometry*, 20, 69–70.
- Westgate, J., Sandhu, A., Shane, P., 1997. Fission-Track Dating. In: Taylor R.E., Aitken M.J. (eds) *Chronometric Dating in Archaeology. Advances in Archaeological and Museum Science*. vol 2, Springer, Boston, MA.
- Wiedemann, E., 1888. "Über Fluorescenz und Phosphorescenz. I. Abhandlung" (On fluorescence and phosphorescence. first paper). *Annalen der Physik*. 34: 446–463.
- Williams, M. L. & Jercinovic, M. J., 2002. Microprobe monazite geochronology: putting absolute time into microstructural analysis. *Journal of Structural Geology*, 24(6), 1013–1028.
- Wintle A. G. and Dijkmans J. W. A., 1988. Dose-rate comparisons of sands for thermoluminescence dating, *Acient TL* 6, 15–17.
- Wintle A.G. and Murray A.S., 1997. The relationship between quartz thermoluminescence, photo-transferred thermoluminescence, and optically stimulated luminescence. *Radiat. Meas.* 27, 611–624.
- Wintle A.G. and Murray A.S., 1998. Towards the development of a preheat procedure for OSL dating. *Radiat. Meas* 29, 81–94.
- Wintle A.G. and Murray A.S., 2000. Quartz OSL: Effects of thermal treatment and their relevance to laboratory procedures. *Radiation Measurements* 32, 387–400.

- Wintle A.G., 1973. Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature* 245, 143–144.
- Wintle, A. G., 1990. A review of current research on TL dating of loess. *Quaternary Science Reviews*, 9, 385–397.
- Wintle, A. G. and Huntley, D. J., 1979. Thermoluminescence dating of a deep-sea ocean core. *Nature*, 279, 710–712.
- Wintle, A. G. and Huntley, D.J., 1980. Thermoluminescence dating of ocean sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17, 348–360.
- Wintle, A. G., 1975. Thermal quenching of thermoluminescence in quartz. *Geophysics J.R. Astr. Soc.*, 41:107–113.
- Wintle, A. G., 1993. Luminescence dating of aeolian sands: an overview. In *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems* (ed. K. Pye), Special Publication no. 72, pp. 49–58. Geological Society, London.
- Wintle, A.G, Murray, A.S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41, 369–391.
- Wintle, A.G. & Huntley, D.J., 1980. Thermoluminescence dating of ocean sediments. – *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17: 348–360.
- Wintle, A.G. & Murray, A.S., 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. – *Radiation Measurements*, 41, 369–391.
- Wintle, A.G. & Murray, A.S., 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41, 369–391.
- Wintle, A.G., 1973. Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245: 143–144
- Wright, J. S., 2001. Desert' loess versus 'glacial' loess: quartz silt formation, source areas and sediment pathways in the formation of loess deposits. *Geomorphology* 36, 231–256.

- Zaérate, M.A., 2003 Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22, 1987–2006.
- Zalasiewicz, J. & Williams, M. 2012. *The Goldilocks Planet: An Earth History of Climate Change*. Oxford University Press. 303 pp.
- Bowman, 1995
- Zalasiewicz, J.A., Smith, A., Brenchley, P., Evans, J., Knox, R., Riley, N., Gale, A., Rushton, A., Gibbard, P., Hesselbo, S., Marshall, J., Oates, M., Rawson, P., and Trewin, N., 2004a, Simplifying the stratigraphy of time: *Geology*, v. 32, no. 1, p. 1–4, doi: 10.1130/G19920.1.
- Zalasiewicz, J.A., Smith, A., Brenchley, P., Evans, J., Knox, R., Riley, N., Gale, A., Rushton, A., Gibbard, P., Gregory, F.J., Hesselbo, S., Marshall, J., Oates, M., Rawson, P., and Trewin, N., 2004b, Simplifying the stratigraphy of time: Comments and Reply: REPLY: *Geology*, p. e60–e61, doi: 10.1130/0091–7613–32.1.e61.
- Zalasiewicz, J.A., Williams, M., Smith, A., Barry, T.L., Bown, P.R., Rawson, P., Brenchley, P., Cantrill, D., Gale, A., Gibbard, P.L., Gregory, F.J., Hounslow, M., Knox, R., Powell, P., Waters, C., Marshall, J., Oates, M., Stone, P., and Trewin, N., 2007, The scale-dependence of strata-time relations: Implications for stratigraphic classification: *Stratigraphy*, v. 4, p. 139–144.
- Zech, R., Zech, M., Marković, S. B., Hambach, U., Huang, Y., 2013. Humid glacials, arid interglacials? Critical thoughts on pedogenesis and paleoclimate based on multi-proxy analyses of the loessepaleosol sequence Crvenka, Northern Serbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 387, 165–175.
- Zimmerman J., 1971. The radiation-induced increase of the 100°C thermoluminescence sensitivity of fired quartz. *Journal of Physics C: Solid State Physics* 4, 3265–3276.
- Zöller L. and Pernicka E., 1989. A note on overcounting in alpha-counters and its elimination, *Ancient TL* 7, 11–14.
- Zöller, L. and Wagner, G. A., 1990. Thermoluminescence dating of loess. *Quaternary International*, 7/ 8, 119–128.

www.cenieh.es/en/laboratories/electron-spin-resonance

<http://geology.com>

www.sanu.ac.rs

<http://sgi1.isprambiente.it/geositiweb/gssp/lavrica.htm>

www.teara.govt.nz/en/photograph/8394/loess

13. ДОДАЦИ

Табела Д1. Седиментационе стопе и MAR за секцију Велики сурдук.

Дубина (cm)	Просечна старосг (a)	Просечна старосг (ka)	Сед. стопа (cm/a)	Сед. стопа (cm/ka)	Сед. стопа (m/a)	MAR (g/m ² /a)
9,5	-28,4	-0,0284	0,434782609	434,7826087	0,004347826	6521,73913
14,5	-16,9	-0,0169	0,434782609	434,7826087	0,004347826	6521,73913
19,5	-5,4	-0,0054	0,310559006	310,5590062	0,00310559	4658,385093
24,5	10,7	0,0107	0,087108014	87,10801394	0,00087108	1306,620209
29,5	68,1	0,0681	0,087565674	87,56567426	0,000875657	1313,485114
34,5	125,2	0,1252	0,01102779	11,02779003	0,000110278	165,4168505
39,5	578,6	0,5786	0,001243101	1,243100791	1,2431E-05	18,64651186
44,5	4600,8	4,6008	0,001243781	1,243781095	1,24378E-05	18,65671642
49,5	8620,8	8,6208	0,001369188	1,369187798	1,36919E-05	20,53781697
54,5	12272,6	12,2726	0,01438435	14,38434983	0,000143843	215,7652474
59,5	12620,2	12,6202	0,01419245	14,19244962	0,000141924	212,8867443
64,5	12972,5	12,9725	0,015037594	15,03759398	0,000150376	225,5639098
69,5	13305	13,305	0,028409091	28,40909091	0,000284091	426,1363636
74,5	13481	13,481	0,028506271	28,50627138	0,000285063	427,5940707
79,5	13656,4	13,6564	0,028835063	28,83506344	0,000288351	432,5259516
84,5	13829,8	13,8298	0,029325513	29,3255132	0,000293255	439,8826979
89,5	14000,3	14,0003	0,029291154	29,29115407	0,000292912	439,3673111
94,5	14171	14,171	0,027979855	27,9798545	0,000279799	419,6978176
99,5	14349,7	14,3497	0,021321962	21,32196162	0,00021322	319,8294243
104,5	14584,2	14,5842	0,021026072	21,02607233	0,000210261	315,3910849
109,5	14822	14,822	0,019849146	19,84914649	0,000198491	297,7371973
114,5	15073,9	15,0739	0,012751849	12,75184902	0,000127518	191,2777353
119,5	15466	15,466	0,012813942	12,81394157	0,000128139	192,2091235
124,5	15856,2	15,8562	0,013390466	13,39046599	0,000133905	200,8569898
129,5	16229,6	16,2296	0,020136931	20,13693113	0,000201369	302,053967
134,5	16477,9	16,4779	0,020024029	20,02402883	0,00020024	300,3604325
139,5	16727,6	16,7276	0,019944156	19,94415636	0,000199442	299,1623454
144,5	16978,3	16,9783	0,020024029	20,02402883	0,00020024	300,3604325
149,5	17228	17,228	0,019928258	19,92825827	0,000199283	298,9238741
154,5	17478,9	17,4789	0,020104544	20,10454363	0,000201045	301,5681544
159,5	17727,6	17,7276	0,02078138	20,78137988	0,000207814	311,7206983
164,5	17968,2	17,9682	0,020669698	20,66969822	0,000206697	310,0454733
169,5	18210,1	18,2101	0,020226537	20,22653722	0,000202265	303,3980583
174,5	18457,3	18,4573	0,015403574	15,40357363	0,000154036	231,0536044
179,5	18781,9	18,7819	0,015465512	15,46551191	0,000154655	231,9826786
184,5	19105,2	19,1052	0,015342129	15,34212949	0,000153421	230,1319423
189,5	19431,1	19,4311	0,012382368	12,38236751	0,000123824	185,7355126
194,5	19834,9	19,8349	0,012484395	12,48439451	0,000124844	187,2659176
199,5	20235,4	20,2354	0,011558021	11,55802127	0,00011558	173,370319

204,5	20668	20,668	0,00675767	6,757669955	6,75767E-05	101,3650493
209,5	21407,9	21,4079	0,00669344	6,693440428	6,69344E-05	100,4016064
214,5	22154,9	22,1549	0,006936737	6,936736959	6,93674E-05	104,0510544
219,5	22875,7	22,8757	0,008215577	8,215576733	8,21558E-05	123,233651
224,5	23484,3	23,4843	0,008153947	8,15394651	8,15395E-05	122,3091977
229,5	24097,5	24,0975	0,008516437	8,516436723	8,51644E-05	127,7465508
234,5	24684,6	24,6846	0,012761613	12,76161307	0,000127616	191,424196
239,5	25076,4	25,0764	0,012594458	12,59445844	0,000125945	188,9168766
244,5	25473,4	25,4734	0,012531328	12,53132832	0,000125313	187,9699248
249,5	25872,4	25,8724	0,012330456	12,33045623	0,000123305	184,9568434
254,5	26277,9	26,2779	0,012345679	12,34567901	0,000123457	185,1851852
259,5	26682,9	26,6829	0,012843565	12,84356537	0,000128436	192,6534806
264,5	27072,2	27,0722	0,016139445	16,1394448	0,000161394	242,091672
269,5	27382	27,382	0,016005122	16,00512164	0,000160051	240,0768246
274,5	27694,4	27,6944	0,015156108	15,15610791	0,000151561	227,3416187
279,5	28024,3	28,0243	0,010141988	10,14198783	0,00010142	152,1298174
284,5	28517,3	28,5173	0,010058338	10,05833836	0,000100583	150,8750754
289,5	29014,4	29,0144	0,010288066	10,28806584	0,000102881	154,3209877
294,5	29500,4	29,5004	0,009520183	9,520182788	9,52018E-05	142,8027418
299,5	30025,6	30,0256	0,009419744	9,419743783	9,41974E-05	141,2961567
304,5	30556,4	30,5564	0,009423294	9,423294384	9,42329E-05	141,3494158
309,5	31087	31,087	0,009022014	9,022013713	9,02201E-05	135,3302057
314,5	31641,2	31,6412	0,008895214	8,895214375	8,89521E-05	133,4282156
319,5	32203,3	32,2033	0,009059612	9,059612249	9,05961E-05	135,8941837
324,5	32755,2	32,7552	0,009187799	9,187798603	9,1878E-05	137,8169791
329,5	33299,4	33,2994	0,009114109	9,11410864	9,11411E-05	136,7116296
334,5	33848	33,848	0,009271278	9,271277582	9,27128E-05	139,0691637
339,5	34387,3	34,3873	0,009310987	9,310986965	9,31099E-05	139,6648045
344,5	34924,3	34,9243	0,009316192	9,316191541	9,31619E-05	139,7428731
349,5	35461	35,461	0,009410879	9,410878976	9,41088E-05	141,1631846
354,5	35992,3	35,9923	0,009290227	9,290226682	9,29023E-05	139,3534002
359,5	36530,5	36,5305	0,009314456	9,314456036	9,31446E-05	139,7168405
364,5	37067,3	37,0673	0,009525624	9,525623928	9,52562E-05	142,8843589
369,5	37592,2	37,5922	0,010127608	10,12760786	0,000101276	151,9141179
374,5	38085,9	38,0859	0,01022704	10,22704029	0,00010227	153,4056044
379,5	38574,8	38,5748	0,010300783	10,30078286	0,000103008	154,5117429
384,5	39060,2	39,0602	0,010183299	10,18329939	0,000101833	152,7494908
389,5	39551,2	39,5512	0,010117361	10,11736139	0,000101174	151,7604209
394,5	40045,4	40,0454	0,010245902	10,24590164	0,000102459	153,6885246
399,5	40533,4	40,5334	0,010706638	10,70663812	0,000107066	160,5995717
404,5	41000,4	41,0004	0,010638298	10,63829787	0,000106383	159,5744681
409,5	41470,4	41,4704	0,010850694	10,85069444	0,000108507	162,7604167
414,5	41931,2	41,9312	0,013034411	13,03441084	0,000130344	195,5161627
419,5	42314,8	42,3148	0,013099293	13,09929264	0,000130993	196,4893896

424,5	42696,5	42,6965	0,013234516	13,23451562	0,000132345	198,5177343
429,5	43074,3	43,0743	0,013010669	13,01066875	0,000130107	195,1600312
434,5	43458,6	43,4586	0,012953368	12,95336788	0,000129534	194,3005181
439,5	43844,6	43,8446	0,01294666	12,94665976	0,000129467	194,1998964
444,5	44230,8	44,2308	0,013095862	13,09586171	0,000130959	196,4379256
449,5	44612,6	44,6126	0,012976901	12,97690112	0,000129769	194,6535167
454,5	44997,9	44,9979	0,013007284	13,00728408	0,000130073	195,1092612
459,5	45382,3	45,3823	0,012771392	12,77139208	0,000127714	191,5708812
464,5	45773,8	45,7738	0,012807377	12,80737705	0,000128074	192,1106557
469,5	46164,2	46,1642	0,012899897	12,8998968	0,000128999	193,498452
474,5	46551,8	46,5518	0,013003901	13,00390117	0,000130039	195,0585176
479,5	46936,3	46,9363	0,012856776	12,85677552	0,000128568	192,8516328
484,5	47325,2	47,3252	0,013419216	13,41921632	0,000134192	201,2882448
489,5	47697,8	47,6978	0,013154433	13,15443304	0,000131544	197,3164957
494,5	48077,9	48,0779	0,01321004	13,21003963	0,0001321	198,1505945
499,5	48456,4	48,4564	0,01336541	13,36541032	0,000133654	200,4811548
504,5	48830,5	48,8305	0,01182872	11,82872013	0,000118287	177,430802
509,5	49253,2	49,2532	0,011930327	11,93032689	0,000119303	178,9549034
514,5	49672,3	49,6723	0,011717835	11,71783454	0,000117178	175,7675182
519,5	50099	50,099	0,010708931	10,70893125	0,000107089	160,6339687
524,5	50565,9	50,5659	0,010588734	10,58873359	0,000105887	158,8310038
529,5	51038,1	51,0381	0,010711225	10,71122536	0,000107112	160,6683805
534,5	51504,9	51,5049	0,010162602	10,16260163	0,000101626	152,4390244
539,5	51996,9	51,9969	0,010044194	10,04419446	0,000100442	150,6629168
544,5	52494,7	52,4947	0,010141988	10,14198783	0,00010142	152,1298174
549,5	52987,7	52,9877	0,010561893	10,56189269	0,000105619	158,4283904
554,5	53461,1	53,4611	0,010504202	10,50420168	0,000105042	157,5630252
559,5	53937,1	53,9371	0,010683761	10,68376068	0,000106838	160,2564103
564,5	54405,1	54,4051	0,01023751	10,23751024	0,000102375	153,5626536
569,5	54893,5	54,8935	0,010322048	10,32204789	0,00010322	154,8307184
574,5	55377,9	55,3779	0,010548523	10,54852321	0,000105485	158,2278481
579,5	55851,9	55,8519	0,010626993	10,62699256	0,00010627	159,4048884
584,5	56322,4	56,3224	0,010681478	10,68147832	0,000106815	160,2221747
589,5	56790,5	56,7905	0,011025358	11,02535832	0,000110254	165,3803749
594,5	57244	57,244	0,010688328	10,68832835	0,000106883	160,3249252
599,5	57711,8	57,7118	0,010477787	10,47778709	0,000104778	157,1668064
604,5	58189	58,189	0,01059322	10,59322034	0,000105932	158,8983051
609,5	58661	58,661	0,012195122	12,19512195	0,000121951	182,9268293
614,5	59071	59,071	0,012059817	12,05981669	0,000120598	180,8972504
619,5	59485,6	59,4856	0,012559658	12,55965838	0,000125597	188,3948757
624,5	59883,7	59,8837	0,017247327	17,24732666	0,000172473	258,7099
629,5	60173,6	60,1736	0,016795432	16,79543164	0,000167954	251,9314746
634,5	60471,3	60,4713	0,017241379	17,24137931	0,000172414	258,6206897
639,5	60761,3	60,7613	0,02354049	23,54048964	0,000235405	353,1073446
644,5	60973,7	60,9737	0,023299161	23,29916123	0,000232992	349,4874185

649,5	61188,3	61,1883	0,023386342	23,38634238	0,000233863	350,7951356
654,5	61402,1	61,4021	0,027337343	27,33734281	0,000273373	410,0601422
659,5	61585	61,585	0,027247956	27,2479564	0,00027248	408,719346
664,5	61768,5	61,7685	0,027159153	27,15915263	0,000271592	407,3872895
669,5	61952,6	61,9526	0,027100271	27,100271	0,000271003	406,504065
674,5	62137,1	62,1371	0,027427318	27,42731761	0,000274273	411,4097641
679,5	62319,4	62,3194	0,026709402	26,70940171	0,000267094	400,6410256
684,5	62506,6	62,5066	0,023277467	23,27746741	0,000232775	349,1620112
689,5	62721,4	62,7214	0,023463163	23,46316283	0,000234632	351,9474425
694,5	62934,5	62,9345	0,023618328	23,61832782	0,000236183	354,2749173
699,5	63146,2	63,1462	0,023310023	23,31002331	0,0002331	349,6503497
704,5	63360,7	63,3607	0,023288309	23,28830927	0,000232883	349,324639
709,5	63575,4	63,5754	0,022946306	22,94630564	0,000229463	344,1945847
714,5	63793,3	63,7933	0,020964361	20,96436059	0,000209644	314,4654088
719,5	64031,8	64,0318	0,021114865	21,11486486	0,000211149	316,722973
724,5	64268,6	64,2686	0,021258503	21,2585034	0,000212585	318,877551
729,5	64503,8	64,5038	0,021026072	21,02607233	0,000210261	315,3910849
734,5	64741,6	64,7416	0,021249469	21,24946876	0,000212495	318,7420314
739,5	64976,9	64,9769	0,021231423	21,23142251	0,000212314	318,4713376
744,5	65212,4	65,2124	0,021579629	21,57962883	0,000215796	323,6944325
749,5	65444,1	65,4441	0,021579629	21,57962883	0,000215796	323,6944325
754,5	65675,8	65,6758	0,021862702	21,86270223	0,000218627	327,9405334
759,5	65904,5	65,9045	0,022391402	22,3914017	0,000223914	335,8710255
764,5	66127,8	66,1278	0,022291574	22,29157379	0,000222916	334,3736068
769,5	66352,1	66,3521	0,022331398	22,33139795	0,000223314	334,9709692
774,5	66576	66,576	0,020542317	20,54231717	0,000205423	308,1347576
779,5	66819,4	66,8194	0,020686802	20,68680182	0,000206868	310,3020273
784,5	67061,1	67,0611	0,020416497	20,41649653	0,000204165	306,2474479
789,5	67306	67,306	0,018076645	18,07664497	0,000180766	271,1496746
794,5	67582,6	67,5826	0,017979144	17,97914419	0,000179791	269,6871629
799,5	67860,7	67,8607	0,018241518	18,24151769	0,000182415	273,6227654
804,5	68134,8	68,1348	0,01896094	18,96094046	0,000189609	284,4141069
809,5	68398,5	68,3985	0,018768769	18,76876877	0,000187688	281,5315315
814,5	68664,9	68,6649	0,018566654	18,56665429	0,000185667	278,4998143
819,5	68934,2	68,9342	0,019968051	19,96805112	0,000199681	299,5207668
824,5	69184,6	69,1846	0,020226537	20,22653722	0,000202265	303,3980583
829,5	69431,8	69,4318	0,020088389	20,08838891	0,000200884	301,3258337
834,5	69680,7	69,6807	0,019786308	19,78630787	0,000197863	296,7946181
839,5	69933,4	69,9334	0,019904459	19,9044586	0,000199045	298,566879
844,5	70184,6	70,1846	0,020145044	20,14504432	0,00020145	302,1756648
849,5	70432,8	70,4328	0,019677292	19,6772924	0,000196773	295,1593861
854,5	70686,9	70,6869	0,019646365	19,64636542	0,000196464	294,6954813
859,5	70941,4	70,9414	0,019809826	19,80982567	0,000198098	297,1473851
864,5	71193,8	71,1938	0,019992003	19,9920032	0,00019992	299,880048

869,5	71443,9	71,4439	0,019976029	19,97602877	0,00019976	299,6404315
874,5	71694,2	71,6942	0,019904459	19,9044586	0,000199045	298,566879
879,5	71945,4	71,9454	0,021213407	21,21340687	0,000212134	318,2011031
884,5	72181,1	72,1811	0,021213407	21,21340687	0,000212134	318,2011031
889,5	72416,8	72,4168	0,021588946	21,58894646	0,000215889	323,8341969
894,5	72648,4	72,6484	0,024319066	24,31906615	0,000243191	364,7859922
899,5	72854	72,854	0,023375409	23,37540907	0,000233754	350,631136
904,5	73067,9	73,0679	0,02310536	23,10536044	0,000231054	346,5804067
909,5	73284,3	73,2843	0,023212628	23,21262767	0,000232126	348,189415
914,5	73499,7	73,4997	0,023180343	23,18034307	0,000231803	347,705146
919,5	73715,4	73,7154	0,023062731	23,06273063	0,000230627	345,9409594
924,5	73932,2	73,9322	0,021505376	21,50537634	0,000215054	322,5806452
929,5	74164,7	74,1647	0,021450021	21,45002145	0,0002145	321,7503218
934,5	74397,8	74,3978	0,021422451	21,42245073	0,000214225	321,3367609
939,5	74631,2	74,6312	0,02016129	20,16129032	0,000201613	302,4193548
944,5	74879,2	74,8792	0,020449898	20,44989775	0,000204499	306,7484663
949,5	75123,7	75,1237	0,020267531	20,26753141	0,000202675	304,0129712
954,5	75370,4	75,3704	0,02078138	20,78137988	0,000207814	311,7206983
959,5	75611	75,611	0,020145044	20,14504432	0,00020145	302,1756648
964,5	75859,2	75,8592	0,019809826	19,80982567	0,000198098	297,1473851
969,5	76111,6	76,1116	0,015128593	15,12859304	0,000151286	226,9288956
974,5	76442,1	76,4421	0,01427348	14,27347987	0,000142735	214,1021981
979,5	76792,4	76,7924	0,014463408	14,46340758	0,000144634	216,9511137
984,5	77138,1	77,1381	0,012873326	12,87332647	0,000128733	193,099897
989,5	77526,5	77,5265	0,012843565	12,84356537	0,000128436	192,6534806
994,5	77915,8	77,9158	0,01300052	13,00052002	0,000130005	195,0078003
999,5	78300,4	78,3004	0,013164824	13,16482359	0,000131648	197,4723539
1004,5	78680,2	78,6802	0,013034411	13,03441084	0,000130344	195,5161627
1009,5	79063,8	79,0638	0,012990387	12,99038711	0,000129904	194,8558067
1014,5	79448,7	79,4487	0,01210947	12,10946961	0,000121095	181,6420441
1019,5	79861,6	79,8616	0,012171373	12,17137293	0,000121714	182,570594
1024,5	80272,4	80,2724	0,012062726	12,06272618	0,000120627	180,9408926
1029,5	80686,9	80,6869	0,010808474	10,80847384	0,000108085	162,1271077
1034,5	81149,5	81,1495	0,010780509	10,78050884	0,000107805	161,7076326
1039,5	81613,3	81,6133	0,010599958	10,5999576	0,000106	158,999364
1044,5	82085	82,085	0,009828976	9,828975821	9,82898E-05	147,4346373
1049,5	82593,7	82,5937	0,009792401	9,792401097	9,7924E-05	146,8860165
1054,5	83104,3	83,1043	0,009966115	9,966115208	9,96612E-05	149,4917281
1059,5	83606	83,606	0,010277492	10,27749229	0,000102775	154,1623844
1064,5	84092,5	84,0925	0,01012966	10,12965964	0,000101297	151,9448947
1069,5	84586,1	84,5861	0,010119409	10,11940903	0,000101194	151,7911354
1074,5	85080,2	85,0802	0,010313531	10,31353135	0,000103135	154,7029703
1079,5	85565	85,565	0,010369141	10,36914144	0,000103691	155,5371215
1084,5	86047,2	86,0472	0,010152284	10,15228426	0,000101523	152,284264
1089,5	86539,7	86,5397	0,008141996	8,141996418	8,142E-05	122,1299463

1094,5	87153,8	87,1538	0,008188667	8,188666885	8,18867E-05	122,8300033
1099,5	87764,4	87,7644	0,00823859	8,238589553	8,23859E-05	123,5788433
1104,5	88371,3	88,3713	0,008099789	8,099789405	8,09979E-05	121,4968411
1109,5	88988,6	88,9886	0,008108985	8,108984755	8,10898E-05	121,6347713
1114,5	89605,2	89,6052	0,008135373	8,1353726	8,13537E-05	122,030589
1119,5	90219,8	90,2198	0,008177952	8,177952241	8,17795E-05	122,6692836
1124,5	90831,2	90,8312	0,008190008	8,19000819	8,19001E-05	122,8501229
1129,5	91441,7	91,4417	0,008222332	8,222331853	8,22233E-05	123,3349778
1134,5	92049,8	92,0498	0,008296001	8,296001327	8,296E-05	124,4400199
1139,5	92652,5	92,6525	0,008063216	8,06321561	8,06322E-05	120,9482342
1144,5	93272,6	93,2726	0,008119519	8,119519324	8,11952E-05	121,7927899
1149,5	93888,4	93,8884	0,008269931	8,269930533	8,26993E-05	124,048958
1154,5	94493	94,493	0,008290499	8,290499088	8,2905E-05	124,3574863
1159,5	95096,1	95,0961	0,008280888	8,280887711	8,28089E-05	124,2133157
1164,5	95699,9	95,6999	0,006662225	6,662225183	6,66223E-05	99,93337775
1169,5	96450,4	96,4504	0,006615507	6,615506748	6,61551E-05	99,23260122
1174,5	97206,2	97,2062	0,006537657	6,537656904	6,53766E-05	98,06485356
1179,5	97971	97,971	0,005365383	5,365382552	5,36538E-05	80,48073828
1184,5	98902,9	98,9029	0,005423582	5,423581733	5,42358E-05	81,353726
1189,5	99824,8	99,8248	0,005466273	5,466273095	5,46627E-05	81,99409643
1194,5	100739,5	100,7395	0,00498008	4,980079681	4,98008E-05	74,70119522
1199,5	101743,5	101,7435	0,005061241	5,061241016	5,06124E-05	75,91861524
1204,5	102731,4	102,7314	0,004926594	4,926593753	4,92659E-05	73,8989063
1209,5	103746,3	103,7463	0,003445899	3,44589938	3,4459E-05	51,6884907
1214,5	105197,3	105,1973	0,003445899	3,44589938	3,4459E-05	51,6884907
1219,5	106648,3	106,6483	0,003353679	3,353678986	3,35368E-05	50,30518479
1224,5	108139,2	108,1392	0,002367088	2,367088008	2,36709E-05	35,50632012
1229,5	110251,5	110,2515	0,002372817	2,372817008	2,37282E-05	35,59225513
1234,5	112358,7	112,3587	0,002442002	2,442002442	2,442E-05	36,63003663
1239,5	114406,2	114,4062	0,002713999	2,713998806	2,714E-05	40,70998209
1244,5	116248,5	116,2485	0,002710027	2,7100271	2,71003E-05	40,6504065
1249,5	118093,5	118,0935	0,002733137	2,733136548	2,73314E-05	40,99704821
1254,5	119922,9	119,9229	0,002761363	2,761363009	2,76136E-05	41,42044513
1259,5	121733,6	121,7336	0,00273224	2,732240437	2,73224E-05	40,98360656
1264,5	123563,6	123,5636	0,002759991	2,759991168	2,75999E-05	41,39986752
1269,5	125375,2	125,3752	0,002620545	2,620545073	2,62055E-05	39,3081761
1274,5	127283,2	127,2832	0,002588796	2,588795692	2,5888E-05	38,83193538
1279,5	129214,6	129,2146	0,002701534	2,701534472	2,70153E-05	40,52301707
1284,5	131065,4	131,0654	0,004143875	4,143875352	4,14388E-05	62,15813028
1289,5	132272	132,272	0,004119974	4,119973632	4,11997E-05	61,79960448
1294,5	133485,6	133,4856	0,004201681	4,201680672	4,20168E-05	63,02521008
1299,5	134675,6	134,6756	0,004951476	4,95147554	4,95148E-05	74,2721331
1304,5	135685,4	135,6854	0,004879953	4,879953152	4,87995E-05	73,19929729
1309,5	136710	136,71	0,004978096	4,978096376	4,9781E-05	74,67144564

1314,5	137714,4	137,7144	0,004191466	4,191466175	4,19147E-05	62,87199262
1319,5	138907,3	138,9073	0,004132915	4,132914531	4,13291E-05	61,99371797
1324,5	140117,1	140,1171	0,004180602	4,180602007	4,1806E-05	62,7090301
1329,5	141313,1	141,3131	0,004365287	4,365287236	4,36529E-05	65,47930854
1334,5	142458,5	142,4585	0,004351231	4,351231398	4,35123E-05	65,26847098
1339,5	143607,6	143,6076	0,004404898	4,404898247	4,4049E-05	66,0734737
1344,5	144742,7	144,7427	0,004459508	4,45950767	4,45951E-05	66,89261506
1349,5	145863,9	145,8639	0,004489136	4,48913629	4,48914E-05	67,33704435
1354,5	146977,7	146,9777	0,004598547	4,598546859	4,59855E-05	68,97820289
1359,5	148065	148,065	0,004679019	4,679019278	4,67902E-05	70,18528916
1364,5	149133,6	149,1336	0,004538441	4,538440592	4,53844E-05	68,07660888
1369,5	150235,3	150,2353	0,004512635	4,512635379	4,51264E-05	67,68953069
1374,5	151343,3	151,3433	0,00448109	4,481089801	4,48109E-05	67,21634702
1379,5	152459,1	152,4591	0,004532681	4,532680627	4,53268E-05	67,99020941
1384,5	153562,2	153,5622	0,004584212	4,584211974	4,58421E-05	68,76317961
1389,5	154652,9	154,6529	0,005265929	5,265929437	5,26593E-05	78,98894155
1394,5	155602,4	155,6024	0,00526482	5,26482047	5,26482E-05	78,97230704
1399,5	156552,1	156,5521	0,005333902	5,333902283	5,3339E-05	80,00853424
1404,5	157489,5	157,4895	0,00530504	5,305039788	5,30504E-05	79,57559682
1409,5	158432	158,432	0,005299979	5,2999788	5,29998E-05	79,499682
1414,5	159375,4	159,3754	0,005375188	5,375188132	5,37519E-05	80,62782197
1419,5	160305,6	160,3056	0,005811251	5,811250581	5,81125E-05	87,16875872
1424,5	161166	161,166	0,005683756	5,683755826	5,68376E-05	85,25633739
1429,5	162045,7	162,0457	0,005964452	5,964451867	5,96445E-05	89,466778
1434,5	162884	162,884	0,006734007	6,734006734	6,73401E-05	101,010101
1439,5	163626,5	163,6265	0,006850253	6,850253459	6,85025E-05	102,7538019
1444,5	164356,4	164,3564	0,006839945	6,83994528	6,83995E-05	102,5991792
1449,5	165087,4	165,0874	0,00731208	7,312079555	7,31208E-05	109,6811933
1454,5	165771,2	165,7712	0,007211885	7,211885187	7,21189E-05	108,1782778
1459,5	166464,5	166,4645	0,007386615	7,386615453	7,38662E-05	110,7992318
1464,5	167141,4	167,1414	0,008517888	8,517887564	8,51789E-05	127,7683135
1469,5	167728,4	167,7284	0,008359806	8,359806052	8,35981E-05	125,3970908
1474,5	168326,5	168,3265	0,008549932	8,549931601	8,54993E-05	128,248974
1479,5	168911,3	168,9113	0,010288066	10,28806584	0,000102881	154,3209877
1484,5	169397,3	169,3973	0,010285949	10,28594939	0,000102859	154,2892409
1489,5	169883,4	169,8834	0,010360547	10,36054704	0,000103605	155,4082056
1494,5	170366	170,366	0,011279044	11,27904354	0,00011279	169,1856531
1499,5	170809,3	170,8093	0,0112765	11,27649977	0,000112765	169,1474966
1504,5	171252,7	171,2527	0,011325028	11,32502831	0,00011325	169,8754247
1509,5	171694,2	171,6942	0,012336541	12,33654083	0,000123365	185,0481125
1514,5	172099,5	172,0995	0,012132977	12,13297743	0,00012133	181,9946615
1519,5	172511,6	172,5116	0,011901928	11,90192811	0,000119019	178,5289217
1524,5	172931,7	172,9317	0,012224939	12,22493888	0,000122249	183,3740831
1529,5	173340,7	173,3407	0,012103607	12,10360687	0,000121036	181,5541031
1534,5	173753,8	173,7538	0,012007685	12,00768492	0,000120077	180,1152738

1539,5	174170,2	174,1702	0,012584948	12,5849484	0,000125849	188,774226
1544,5	174567,5	174,5675	0,012588117	12,58811682	0,000125881	188,8217523
1549,5	174964,7	174,9647	0,012671059	12,6710593	0,000126711	190,0658895
1554,5	175359,3	175,3593	0,014108352	14,10835214	0,000141084	211,6252822
1559,5	175713,7	175,7137	0,014355441	14,35544071	0,000143554	215,3316107
1564,5	176062	176,062	0,014084507	14,08450704	0,000140845	211,2676056
1569,5	176417	176,417	0,014526438	14,52643812	0,000145264	217,8965718
1574,5	176761,2	176,7612	0,014480162	14,48016218	0,000144802	217,2024327
1579,5	177106,5	177,1065	0,01438435	14,38434983	0,000143843	215,7652474
1584,5	177454,1	177,4541	0,014943216	14,94321578	0,000149432	224,1482367
1589,5	177788,7	177,7887	0,014863258	14,86325803	0,000148633	222,9488704
1594,5	178125,1	178,1251	0,015037594	15,03759398	0,000150376	225,5639098
1599,5	178457,6	178,4576	0,01548467	15,48467018	0,000154847	232,2700526
1604,5	178780,5	178,7805	0,015384615	15,38461538	0,000153846	230,7692308
1609,5	179105,5	179,1055	0,015518312	15,51831161	0,000155183	232,7746741
1614,5	179427,7	179,4277	0,015625	15,625	0,00015625	234,375
1619,5	179747,7	179,7477	0,015590895	15,59089492	0,000155909	233,8634238
1624,5	180068,4	180,0684	0,015822785	15,822278481	0,000158228	237,3417722
1629,5	180384,4	180,3844	0,0166334	16,63339987	0,000166334	249,500998
1634,5	180685	180,685	0,01676727	16,76727029	0,000167673	251,5090543
1639,5	180983,2	180,9832	0,016789792	16,78979181	0,000167898	251,8468771
1644,5	181281	181,281	0,017624251	17,62425097	0,000176243	264,3637645
1649,5	181564,7	181,5647	0,017229497	17,2294969	0,000172295	258,4424535
1654,5	181854,9	181,8549	0,017730496	17,73049645	0,000177305	265,9574468
1659,5	182136,9	182,1369	0,018443379	18,44337883	0,000184434	276,6506824
1664,5	182408	182,408	0,017979144	17,97914419	0,000179791	269,6871629
1669,5	182686,1	182,6861	0,017806268	17,80626781	0,000178063	267,0940171
1674,5	182966,9	182,9669	0,018608113	18,60811314	0,000186081	279,1216971
1679,5	183235,6	183,2356	0,018328446	18,32844575	0,000183284	274,9266862
1684,5	183508,4	183,5084	0,018545994	18,54599407	0,00018546	278,189911
1689,5	183778	183,778	0,017385257	17,3852573	0,000173853	260,7788595
1694,5	184065,6	184,0656	0,017433752	17,43375174	0,000174338	261,5062762
1699,5	184352,4	184,3524	0,017730496	17,73049645	0,000177305	265,9574468
1704,5	184634,4	184,6344	0,017513135	17,51313485	0,000175131	262,6970228
1709,5	184919,9	184,9199	0,017599437	17,59943682	0,000175994	263,9915523
1714,5	185204	185,204	0,017458101	17,45810056	0,000174581	261,8715084
1719,5	185490,4	185,4904	0,017211704	17,21170396	0,000172117	258,1755594
1724,5	185780,9	185,7809	0,017193948	17,19394773	0,000171939	257,909216
1729,5	186071,7	186,0717	0,017301038	17,30103806	0,00017301	259,5155709
1734,5	186360,7	186,3607	0,017806268	17,80626781	0,000178063	267,0940171
1739,5	186641,5	186,6415	0,017818959	17,81895937	0,00017819	267,2843906
1744,5	186922,1	186,9221	0,018024513	18,02451334	0,000180245	270,3677001
1749,5	187199,5	187,1995	0,017325017	17,32501733	0,00017325	259,8752599
1754,5	187488,1	187,4881	0,017780939	17,78093883	0,000177809	266,7140825

1759,5	187769,3	187,7693	0,017799929	17,7999288	0,000177999	266,998932
1764,5	188050,2	188,0502	0,016778523	16,77852349	0,000167785	251,6778523
1769,5	188348,2	188,3482	0,016909029	16,90902942	0,00016909	253,6354413
1774,5	188643,9	188,6439	0,01676727	16,76727029	0,000167673	251,5090543
1779,5	188942,1	188,9421	0,015969339	15,96933887	0,000159693	239,540083
1784,5	189255,2	189,2552	0,015767897	15,76789656	0,000157679	236,5184484
1789,5	189572,3	189,5723	0,015787812	15,78781181	0,000157878	236,8171771
1794,5	189889	189,889	0,015847861	15,84786054	0,000158479	237,7179081
1799,5	190204,5	190,2045	0,015959145	15,95914459	0,000159591	239,3871688
1804,5	190517,8	190,5178	0,015703518	15,70351759	0,000157035	235,5527638
1809,5	190836,2	190,8362	0,01460707	14,60706982	0,000146071	219,1060473
1814,5	191178,5	191,1785	0,014823599	14,82359917	0,000148236	222,3539875
1819,5	191515,8	191,5158	0,014814815	14,81481481	0,000148148	222,2222222
1824,5	191853,3	191,8533	0,013679891	13,67989056	0,000136799	205,1983584
1829,5	192218,8	192,2188	0,013583265	13,58326542	0,000135833	203,7489813
1834,5	192586,9	192,5869	0,013691128	13,69112815	0,000136911	205,3669222
1839,5	192952,1	192,9521	0,013831259	13,83125864	0,000138313	207,4688797
1844,5	193313,6	193,3136	0,013927577	13,9275766	0,000139276	208,913649
1849,5	193672,6	193,6726	0,013561161	13,56116084	0,000135612	203,4174125
1854,5	194041,3	194,0413	0,011123471	11,12347052	0,000111235	166,8520578
1859,5	194490,8	194,4908	0,011173184	11,17318436	0,000111732	167,5977654
1864,5	194938,3	194,9383	0,011314777	11,3147771	0,000113148	169,7216565
1869,5	195380,2	195,3802	0,012132977	12,13297743	0,00012133	181,9946615
1874,5	195792,3	195,7923	0,012059817	12,05981669	0,000120598	180,8972504
1879,5	196206,9	196,2069	0,012174336	12,1743365	0,000121743	182,6150475
1884,5	196617,6	196,6176	0,01199904	11,99904008	0,00011999	179,9856012
1889,5	197034,3	197,0343	0,011910434	11,91043354	0,000119104	178,6565031
1894,5	197454,1	197,4541	0,012033694	12,03369434	0,000120337	180,5054152
1899,5	197869,6	197,8696	0,012192148	12,19214826	0,000121921	182,8822238
1904,5	198279,7	198,2797	0,012180268	12,18026797	0,000121803	182,7040195
1909,5	198690,2	198,6902	0,012233912	12,23391241	0,000122339	183,5086861
1914,5	199098,9	199,0989	0,011893435	11,89343482	0,000118934	178,4015224
1919,5	199519,3	199,5193	0,011907597	11,90759705	0,000119076	178,6139557
1924,5	199939,2	199,9392	0,012007685	12,00768492	0,000120077	180,1152738
1929,5	200355,6	200,3556	0,012138869	12,13886866	0,000121389	182,0830299
1934,5	200767,5	200,7675	0,012135922	12,13592233	0,000121359	182,038835
1939,5	201179,5	201,1795	0,012233912	12,23391241	0,000122339	183,5086861
1944,5	201588,2	201,5882	0,01216545	12,16545012	0,000121655	182,4817518
1949,5	201999,2	201,9992	0,01226392	12,26391955	0,000122639	183,9587932
1954,5	202406,9	202,4069	0,012062726	12,06272618	0,000120627	180,9408926
1959,5	202821,4	202,8214	0,011587486	11,58748552	0,000115875	173,8122827
1964,5	203252,9	203,2529	0,011568718	11,56871819	0,000115687	173,5307728
1969,5	203685,1	203,6851	0,011523392	11,52339249	0,000115234	172,8508873
1974,5	204119	204,119	0,011253657	11,25365744	0,000112537	168,8048616
1979,5	204563,3	204,5633	0,011412919	11,41291942	0,000114129	171,1937914

1984,5	205001,4	205,0014	0,011271416	11,27141569	0,000112714	169,0712353
1989,5	205445	205,445	0,010513036	10,51303616	0,00010513	157,6955425
1994,5	205920,6	205,9206	0,010624734	10,62473438	0,000106247	159,3710157
1999,5	206391,2	206,3912	0,010989011	10,98901099	0,00010989	164,8351648
2004,5	206846,2	206,8462	0,010734221	10,7342207	0,000107342	161,0133104
2009,5	207312	207,312	0,010725011	10,72501073	0,00010725	160,8751609
2014,5	207778,2	207,7782	0,010755001	10,75500108	0,00010755	161,3250161
2019,5	208243,1	208,2431	0,010829543	10,82954299	0,000108295	162,4431449
2024,5	208704,8	208,7048	0,010647359	10,64735945	0,000106474	159,7103918
2029,5	209174,4	209,1744	0,010720412	10,72041166	0,000107204	160,806175
2034,5	209640,8	209,6408	0,010766581	10,76658053	0,000107666	161,498708
2039,5	210105,2	210,1052	0,01075963	10,75962987	0,000107596	161,394448
2044,5	210569,9	210,5699	0,010778185	10,77818495	0,000107782	161,6727743
2049,5	211033,8	211,0338	0,011353315	11,35331517	0,000113533	170,2997275
2054,5	211474,2	211,4742	0,01139731	11,39731023	0,000113973	170,9596535
2059,5	211912,9	211,9129	0,011384335	11,38433515	0,000113843	170,7650273
2064,5	212352,1	212,3521	0,011128422	11,12842199	0,000111284	166,9263298
2069,5	212801,4	212,8014	0,011223345	11,22334456	0,000112233	168,3501684
2074,5	213246,9	213,2469	0,0110011	11,00110011	0,000110011	165,0165017
2079,5	213701,4	213,7014	0,010890873	10,89087345	0,000108909	163,3631017
2084,5	214160,5	214,1605	0,010775862	10,77586207	0,000107759	161,637931
2089,5	214624,5	214,6245	0,010752688	10,75268817	0,000107527	161,2903226
2094,5	215089,5	215,0895	0,011210762	11,21076233	0,000112108	168,161435
2099,5	215535,5	215,5355	0,0109218	10,92179991	0,000109218	163,8269987
2104,5	215993,3	215,9933	0,010886131	10,88613107	0,000108861	163,291966
2109,5	216452,6	216,4526	0,011454754	11,45475372	0,000114548	171,8213058
2114,5	216889,1	216,8891	0,011327594	11,32759402	0,000113276	169,9139103
2119,5	217330,5	217,3305	0,011348162	11,3481616	0,000113482	170,222424
2124,5	217771,1	217,7711	0,011775789	11,77578898	0,000117758	176,6368347
2129,5	218195,7	218,1957	0,011742602	11,74260216	0,000117426	176,1390324
2134,5	218621,5	218,6215	0,011904762	11,9047619	0,000119048	178,5714286
2139,5	219041,5	219,0415	0,011764706	11,76470588	0,000117647	176,4705882
2144,5	219466,5	219,4665	0,011657729	11,65772907	0,000116577	174,8659361
2149,5	219895,4	219,8954	0,011582117	11,58211721	0,000115821	173,7317582
2154,5	220327,1	220,3271	0,011145787	11,14578689	0,000111458	167,1868034
2159,5	220775,7	220,7757	0,01107665	11,07665042	0,000110767	166,1497563
2164,5	221227,1	221,2271	0,010993843	10,99384345	0,000109938	164,9076517
2169,5	221681,9	221,6819	0,010399334	10,39933444	0,000103993	155,9900166
2174,5	222162,7	222,1627	0,01039501	10,3950104	0,00010395	155,9251559
2179,5	222643,7	222,6437	0,010384216	10,38421599	0,000103842	155,7632399
2184,5	223125,2	223,1252	0,009596929	9,596928983	9,59693E-05	143,9539347
2189,5	223646,2	223,6462	0,009673051	9,67305088	9,67305E-05	145,0957632
2194,5	224163,1	224,1631	0,009507511	9,507510934	9,50751E-05	142,612664
2199,5	224689	224,689	0,009160865	9,160864786	9,16086E-05	137,4129718

2204,5	225234,8	225,2348	0,00913242	9,132420091	9,13242E-05	136,9863014
2209,5	225782,3	225,7823	0,009243853	9,243852838	9,24385E-05	138,6577926
2214,5	226323,2	226,3232	0,009254118	9,254118083	9,25412E-05	138,8117712
2219,5	226863,5	226,8635	0,00923361	9,233610342	9,23361E-05	138,5041551
2224,5	227405	227,405	0,009496676	9,496676163	9,49668E-05	142,4501425
2229,5	227931,5	227,9315	0,009846396	9,846396219	9,8464E-05	147,6959433
2234,5	228439,3	228,4393	0,009926544	9,926543578	9,92654E-05	148,8981537
2239,5	228943	228,943	0,009809692	9,809691976	9,80969E-05	147,1453796
2244,5	229452,7	229,4527	0,010006004	10,0060036	0,00010006	150,090054
2249,5	229952,4	229,9524	0,009972078	9,972078181	9,97208E-05	149,5811727
2254,5	230453,8	230,4538	0,009850276	9,850275808	9,85028E-05	147,7541371
2259,5	230961,4	230,9614	0,009230201	9,230201218	9,2302E-05	138,4530183
2264,5	231503,1	231,5031	0,009145784	9,145783794	9,14578E-05	137,1867569
2269,5	232049,8	232,0498	0,009723843	9,723842863	9,72384E-05	145,8576429
2274,5	232564	232,564	0,009673051	9,67305088	9,67305E-05	145,0957632
2279,5	233080,9	233,0809	0,009611688	9,611687812	9,61169E-05	144,1753172
2284,5	233601,1	233,6011	0,009779492	9,779491621	9,77949E-05	146,6923743

Табела Д2. . Сажетак информација о дубини, шифрама узорка, сувим алфа, бета и гама дозним стопама, концентрацијама радионуклида и укупним дозним стопама свих мерених узорка са секције Лингтаи.

Дубина (cm)	Узорак (шифра)	Алфа (Gy/ka)	Бета (Gy/ka)	Гама (Gy/ka)	U-238	Ra-226	²¹⁰ Pb (Bq k ⁻¹)	²³² Th (Bq k ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq k ⁻¹)	Укупна дозна стопа	De (Gy)	n	Старост (ka)
20	H18101	0,254±0,011	2,39±0,05	1,60±0,06	43±6	42,5±1,0	47,9±7,0	56±1,0	660±17	3,58±0,58	55,20±1,25	6	1,6±0,27
60	H18102	0,217±0,011	2,18±0,05	1,40±0,06	28±6	41,2±1,3	37,5±7,1	49±1,0	623±18	3,53±0,20			
70	H18103	0,230±0,010	2,14±0,05	1,43±0,05	24±6	40,1±1,2	44,0±6,3	50±0,9	589±16	3,50±0,20	68,94±3,02	6	15,6±1,53
80	H18104	0,227±0,009	2,27±0,05	1,47±0,05	32±6	40,3±0,9	38,1±6,2	53±0,9	649±16	3,49±0,20	64,11±1,51	9	21,6±1,40
90	H18105	0,217±0,009	2,21±0,05	1,41±0,05	26±5	41,1±1,1	34,3±5,8	51±0,9	639±16	3,62±0,21	82,90±1,15	6	15,4±0,99
100	H18106	0,215±0,012	2,29±0,06	1,43±0,07	40±7	41,3±1,4	32,5±7,8	52±1,1	674±19	3,68±0,21	75,09±2,07	6	17,4±1,21
110	H18107	0,257±0,010	2,37±0,05	1,61±0,06	38±6	41,5±1,0	50,8±6,4	56±1,0	650±16	3,74±0,22	75,86±1,16	4	15,0±0,97
120	H18108	0,232±0,006	2,27±0,03	1,48±0,03	29±3	41,1±0,6	40,5±3,6	53±0,6	640±10	3,82±0,23	81,38±1,75	6	15,0±0,95
130	H18109	0,252±0,012	2,55±0,06	1,65±0,07	33±7	42,5±1,2	46,9±7,9	57±1,1	732±20	3,71±0,22	83,38±3,14	6	18,1±1,38
140	H18110	0,226±0,011	2,26±0,05	1,46±0,06	32±6	41,1±1,1	35,2±7,1	54±1,0	648±17	3,75±0,22	115,22±2,20	5	17,3±1,14
150	H18111	0,256±0,010	2,45±0,05	1,61±0,06	33±6	45,9±1,2	49,5±6,4	55±1,0	681±17	3,97±0,24	98,19±1,28	9	22,1±1,40
160	H18112	0,249±0,007	2,38±0,04	1,57±0,04	25±4	44,0±0,8	44,6±4,4	56±0,7	666±12	3,87±0,22	86,85±4,24	6	18,9±1,30
170	H18113	0,259±0,008	2,48±0,04	1,65±0,04	40±5	43,3±0,8	46,5±5,0	59±0,8	696±14	4,07±0,25	99,36±0,87	9	19,6±1,24
180	H18114												
200	H18115	0,230±0,011	2,24±0,05	1,47±0,06	29±7	41,0±1,4	38,3±7,3	54±1,1	633±18	4,10±0,24	118,00±3,50	6	22,8±1,67
210	H18116	0,275±0,011	2,70±0,05	1,77±0,06	38±6	47,5±1,0	47,1±6,9	64±1,0	764±18	3,95±0,23	116,64±2,79	12	28,1±1,80
220	H18117	0,240±0,007	2,38±0,04	1,54±0,04	25±4	41,7±0,9	43,5±4,8	54±0,7	676±13	3,80±0,22	113,16±2,80	6	24,9±1,56
230	H18118	0,256±0,010	2,39±0,05	1,61±0,06	38±6	40,6±0,9	50,2±6,4	56±0,9	661±16	3,94±0,22	123,01±2,30	3	22,9±1,79
240	H18119	0,270±0,011	2,65±0,05	1,75±0,06	36±6	43,2±1,0	48,9±7,1	62±1,1	751±18	3,83±0,23	133,67±2,36	5	25,2±1,54
250	H18120												
260	H18121	0,263±0,014	2,50±0,07	1,67±0,08	34±9	43,8±1,4	45,4±9,5	62±1,4	700±22	3,94±0,23	125,09±2,16	6	30,8±2,18
270	H18122	0,273±0,013	2,69±0,06	1,76±0,08	38±8	46,0±1,3	46,9±8,7	64±1,2	767±21	3,73±0,22	125,69±2,11	6	27,4±1,84
280	H18123	0,254±0,011	2,47±0,06	1,62±0,06	33±7	43,6±1,4	47,0±7,5	57±1,1	697±19	3,76±0,22	139,68±5,43	12	28,7±1,90
290	H18124	0,255±0,013	2,50±0,06	1,64±0,07	28±7	42,8±1,2	46,5±8,3	58±1,2	708±20	3,88±0,22	148,27±5,44	5	33,0±2,14
300	H18125	0,264±0,011	2,43±0,05	1,65±0,06	28±6	41,2±1,3	56,2±7,0	55±1,0	662±18	3,72±0,22	151,96±1,41	9	35,5±2,28
310	H18126	0,244±0,012	2,47±0,06	1,60±0,07	35±7	41,2±1,2	39,7±8,1	59±1,2	713±19	3,74±0,22	144,76±3,05	6	30,5±2,04
320	H18127	0,242±0,012	2,41±0,06	1,57±0,07	43±7	41,6±1,4	40,1±7,9	57±1,1	691±20	3,67±0,21	122,19±8,53	6	33,7±2,20
330	H18128	0,251±0,013	2,50±0,07	1,63±0,08	31±8	41,0±1,6	46,5±8,8	57±1,3	713±22	3,71±0,23	150,97±2,18	6	33,6±2,19
340	H18129	0,276±0,011	2,58±0,05	1,74±0,06	44±7	44,5±1,1	51,1±7,1	63±1,1	713±18	3,71±0,23	160,45±2,74	6	38,0±2,78
350	H18130	0,237±0,014	2,52±0,07	1,56±0,08	29±8	47,7±1,7	34,1±8,9	58±1,3	740±23	3,88±0,22	153,42±6,14	6	40,4±2,91

360	H18131									3,71±0,23			
370	H18132	0,256±0,010	2,51±0,05	1,65±0,06	29±6	43,2±1,0	42,5±6,4	61±1,0	713±17	3,70±0,23	167,85±4,98	6	37,3±2,39
380	H18133	0,245±0,014	2,38±0,07	1,57±0,08	32±8	39,1±1,6	46,8±8,8	55±1,3	670±22	3,10±0,18	164,26±2,64	6	31,5±2,91
390	H18134	0,257±0,015	2,56±0,07	1,67±0,08	39±9	42,8±1,4	43,2±9,8	61±1,4	733±23	3,70±0,23	138,96±3,39	6	48,7±3,03
400	H18135	0,252±0,007	2,53±0,04	1,64±0,04	36±4	43,0±0,8	42,1±4,4	60±0,7	725±12	3,70±0,23	115,73±12,95	6	51,7±3,26
410	H18136	0,266±0,015	2,58±0,07	1,70±0,09	39±9	43,9±1,9	47,9±10	61±1,5	726±24	3,75±0,22	151,40±2,52	6	49,5±3,60
420	H18137	0,254±0,009	2,53±0,04	1,65±0,05	36±5	42,4±0,8	42,1±5,6	61±0,9	724±14	3,70±0,23	125,87±8,85	6	38,7±3,25
430	H18138	0,255±0,012	2,53±0,06	1,65±0,07	35±7	42,3±1,4	43,3±7,7	60±1,1	722±20	3,69±0,23	133,62±3,06	6	44,7±3,03
440	H18139	0,222±0,006	2,20±0,06	1,44±0,04	27±16	38,2±1,2		58±1,3	633±22	3,30±0,19	131,17±5,48	6	43,8±2,76
450	H18140	0,255±0,011	2,36±0,05	1,60±0,06	44±6	40,7±1,0	48,8±7,0	57±1,0	649±17	3,69±0,23	134,45±1,62	6	42,1±2,74
460	H18141	0,245±0,007	2,37±0,05	1,56±0,04	50±18	44,5±1,4		61±1,5	670±20	3,69±0,23	133,25±5,89	3	35,1±4,46
470	H18142	0,254±0,012	2,48±0,06	1,64±0,07	33±7	40,7±1,4	45,0±7,6	59±1,1	705±19	3,79±0,22	142,22±1,96	3	45,9±2,87
480	H18143	0,222±0,006	2,36±0,05	1,50±0,04	37±14	37,5±1,1		58±1,2	702±20	3,69±0,23	150,26±5,92	6	33,2±3,11
490	H18144	0,261±0,009	2,52±0,05	1,67±0,05	34±6	42,7±0,9	47,3±6,2	60±0,9	709±16	3,69±0,23	133,62±3,06	6	35,2±2,32
500	H18145												
510	H18146	0,234±0,014	2,24±0,07	1,49±0,08	33±8	37,9±1,6	42,6±8,9	54±1,3	627±21	3,68±0,23	134,45±1,62	3	38,7±2,41
520	H18147												
540	H18148	0,214±0,016	2,27±0,07	1,44±0,09	23±9	37,1±1,5	28,2±10,3	56±1,4	673±23	3,58±0,58	142,22±1,96	3	41,0±2,57
560	H18149	0,212±0,006	2,14±0,06	1,40±0,04	53±21	35,0±1,6		56±1,7	621±22	3,53±0,20	150,26±5,92	3	41,0±2,99

Табела ДЗ. Резултати протоколарних тестова, D_e вредности и израчунате старости узорака са секције Лингтаи.

Узорак (шифра)	Дубина (cm)	D_e (Gy)	Однос рецикловања	Рекулерација (% природне)	n D_e	D_r	n D_r	OSL старост (ка)
H18101	20	55,20±1,25	0,945±0,051	0,97±0,28	6			1,6±0,27
H18102	60							
H18103	70	68,94±3,02	0,980±0,021	0,77±0,01	6			15,6±1,53
H18104	80	64,11±1,51	0,997±0,007	0,58±0,04	9			21,6±1,40
H18105	90	82,90±1,15	0,973±0,013	0,72±0,08	6			15,4±0,99
H18106	100	75,09±2,07	0,960±0,006	0,73±0,12	6			17,4±1,21
H18107	110	75,86±1,16	0,964±0,027	0,63±0,10	4			15,0±0,97
H18108	120	81,38±1,75	0,963±0,024	0,42±0,02	6			15,0±0,95
H18109	130	83,38±3,14	0,943±0,019	0,69±0,08	6			18,1±1,38
H18110	140	115,22±2,20	1,013±0,018	0,81±0,23	5			17,3±1,14
H18111	150	98,19±1,28	0,979±0,020	0,47±0,05	9			22,1±1,40
H18112	160	86,85±4,24	0,970±0,015	0,77±0,17	6			18,9±1,30
H18113	170	99,36±0,87	0,993±0,012	0,54±0,02	9			19,6±1,24
H18114	180							
H18115	200	118,00±3,50	1,067±0,009	0,57±0,11	6			22,8±1,67
H18116	210	116,64±2,79	0,964±0,012	0,67±0,04	12			28,1±1,80
H18117	220	113,16±2,80	0,973±0,014	0,54±0,04	6			24,9±1,56
H18118	230	123,01±2,30	0,930±0,038	0,69±0,20	3			22,9±1,79
H18119	240	133,67±2,36	0,938±0,010	0,77±0,03	5			25,2±1,54
H18120	250							
H18121	260	125,09±2,16	0,943±0,003	0,95±0,02	6	0,984±0,026	4	30,8±2,18
H18122	270	125,69±2,11	0,940±0,000	1,00±0,06	6	0,945±0,009	4	27,4±1,84
H18123	280	139,68±5,43	0,943±0,007	0,84±0,03	12			28,7±1,90
H18124	290	148,27±5,44	0,930±0,017	1,02±0,03	5	1,007±0,021	4	33,0±2,14
H18125	300	151,96±1,41	0,952±0,005	0,92±0,04	9	1,015±0,015	4	35,5±2,28
H18126	310	144,76±3,05	0,977±0,009	1,07±0,04	6	1,011±0,012	4	30,5±2,04
H18127	320	122,19±8,53	0,960±0,006	0,99±0,03	6	0,981±0,013	4	33,7±2,20
H18128	330	150,97±2,18	0,960±0,026	0,94±0,02	6	0,998±0,003	4	33,6±2,19
H18129	340	160,45±2,74	0,987±0,009	0,75±0,03	6	0,977±0,024	4	38,0±2,78
H18130	350	153,42±6,14	0,987±0,009	0,73±0,01	6	0,772±0,258	4	40,4±2,91
H18131	360					1,063±0,011	4	
H18132	370	167,85±4,98	0,970±0,006	0,98±0,02	6	1,032±0,009	4	37,3±2,39
H18133	380	164,26±2,64	0,955±0,024	1,00±0,14	6			31,5±2,91
H18134	390	138,96±3,39	0,983±0,007	0,95±0,04	6	1,000±0,010	4	48,7±3,03
H18135	400	115,73±12,95	0,967±0,009	0,92±0,02	6	1,043±0,012	4	51,7±3,26
H18136	410	151,40±2,52	0,987±0,003	0,89±0,05	6	1,030±0,013	4	49,5±3,60
H18137	420	125,87±8,85	0,983±0,007	0,73±0,02	6	1,032±0,013	4	38,7±3,25
H18138	430	133,62±3,06	0,967±0,007	0,74±0,03	6	1,058±0,014	4	44,7±3,03
H18139	440	131,17±5,48	0,970±0,010	0,72±0,02	6	1,042±0,008	4	43,8±2,76
H18140	450	134,45±1,62	0,987±0,003	0,79±0,02	6	1,057±0,011	4	42,1±2,74
H18141	460	133,25±5,89	0,973±0,045	0,95±0,02	3			35,1±4,46
H18142	470	142,22±1,96	0,960±0,010	0,71±0,02	3			45,9±2,87

H18143	480	150,26±5,92	0,977±0,057	1,99±0,38	6			33,2±3,11
H18144	490	133,62±3,06	1,005±0,010	1,00±0,08	6			35,2±2,32
H18145	500		0,953±0,003	1,09±0,16	3			34,6±2,58
H18146	510	134,45±1,62	0,967±0,012	1,18±0,09	3			38,7±2,41
H18147	520		0,983±0,020	1,31±0,16	3			38,4±2,89
H18148	540	142,22±1,96	1,047±0,028	0,78±0,40	3			41,0±2,57
H18149	560	150,26±5,92	0,957±0,007	1,11±0,05	3			41,0±2,99

Табела Д4. Подаци о дистрибуцији величине зрна за секцију Лингтаи.

Узорковање просечна дубина	Волуметријски просек	Волуметријска медијана	Фракција <5,5 μm	Фракција силт: 5,5 до 63 μm	Фракција 5,5 до 16 μm	Фракција 16 до 44 μm	Фракција 44 до 63 μm	Фракција 63 до 160 μm
0,01								
0,06	21,63410989	14,80147954	27,94031089	67,58495032	24,32178016	33,79499767	9,468172487	4,456191099
0,11	21,60013136	14,18616559	27,48244428	68,54957511	23,61908456	35,00327678	9,927213769	3,947172388
0,16	20,88872806	14,87121342	28,49087577	67,75488782	23,89227536	34,27189909	9,590713371	3,739575972
0,21	20,82028827	14,57393066	28,07905009	68,17502221	23,76726872	35,00998414	9,397769341	3,745499735
0,26	22,27942054	14,02257905	26,9157902	68,19358574	23,86978675	34,52001329	9,803785704	4,877744348
0,31	23,8858242	15,88182324	25,59747072	68,30634606	23,46566478	34,53257312	10,30810816	6,054260046
0,36	20,81987805	12,41323798	28,76404664	67,50634735	23,7793645	34,19028237	9,53670048	3,722824718
0,41	20,83361594	14,63406928	28,0067068	68,30613733	23,9611825	34,88488555	9,460069278	3,68673687
0,46	22,36387527	16,0744465	26,54560131	68,97734568	22,86202448	35,74990751	10,36541369	4,467004852
0,51	21,92690005	14,04325906	27,27804049	68,33086471	23,5363368	34,61195414	10,18257377	4,379481665
0,56	22,39382418	15,56709419	24,20797661	71,516735	24,14140306	37,33534143	10,03999051	4,271851158
0,61	21,57196245	14,59852472	26,41398466	69,19506458	25,5514773	33,76799326	9,87559403	4,388776705
0,66	22,64550714	16,18420004	25,78139839	69,36664114	23,81728014	35,32942097	10,21994002	4,833316811
0,71	21,06016228	14,85215728	27,34013405	68,69346409	25,1133791	34,05804559	9,522039395	3,95924919
0,76	22,0523511	16,12266694	24,22352022	71,63611873	25,2187941	36,46027652	9,95704811	4,135105539
0,81	21,80973769	13,7782925	25,08082054	70,83098196	25,26941688	35,92101604	9,640549039	4,080099796
0,86	20,35692532	12,81756224	27,69395097	68,72850731	25,86674448	33,66586225	9,195900581	3,577012301
0,91	23,07019257	15,22333798	23,79837257	71,38970127	23,98153224	36,53917288	10,86899615	4,810351622
0,96	22,10573491	13,71008186	25,13477583	70,51161517	25,06643106	35,07220517	10,37297894	4,351674619
1,01	21,60076104	13,7480211	25,18154085	70,92539627	25,10193948	35,88273339	9,940723408	3,890986646
1,06	21,73174575	16,03959689	24,18676667	71,95752556	25,09768886	37,16780039	9,692036315	3,854461874
1,11	22,66936264	15,99981133	23,03057146	72,7322562	24,21476865	37,8395166	10,67797096	4,236879952

1,16	20,76968699	14,85109992	26,16928041	70,08234165	26,42453385	34,58139767	9,076410124	3,747369079
1,21	21,69528536	16,10035956	23,85883585	72,39089423	25,5315757	37,19602376	9,663294777	3,749343142
1,26	20,07303379	13,43189668	27,91807345	68,69558756	27,15515893	32,87819618	8,662232441	3,375763781
1,31	20,57931353	14,73733086	25,9902696	70,39621802	26,3840734	34,93015284	9,081991771	3,613405213
1,36	20,78887728	14,00875482	24,19508266	72,52211804	26,69875325	37,17622327	8,64714152	3,281918291
1,41	19,29452851	13,29700307	26,63919367	70,44216742	28,48650959	33,84320128	8,112456549	2,918638911
1,46	18,77408592	11,79762074	28,15044487	69,01128929	28,83224733	32,27609724	7,902944727	2,838265834
1,51	19,20944545	11,90159179	28,74276664	67,89635625	28,23229664	31,55304707	8,111012539	3,360068722
1,56	20,46677878	12,45188032	25,84856245	70,58386317	27,17110119	34,78283462	8,629927358	3,566376565
1,61	21,15054651	13,69697179	24,33711662	72,23352307	25,85289465	37,0438702	9,33675821	3,428896857
1,66	21,28606849	16,29445262	23,96709659	72,6086918	25,81436184	37,44784925	9,346480713	3,423601416
1,71	18,92052515	11,70036662	28,54945984	68,48724083	28,07209851	32,63374586	7,781396459	2,963059025
1,76	20,68127618	16,3018929	23,94510199	73,21690817	25,84525795	38,46223241	8,909417809	2,837907656
1,81	19,16014011	13,28026997	27,46180124	69,78874698	27,55577666	34,37839367	7,85457665	2,749227353
1,86	18,78073267	11,38248465	28,02943409	69,29737213	28,05352037	33,67406925	7,569782518	2,672986159
1,91	18,40904967	11,56937101	28,5470122	69,15409292	27,85839894	33,64765696	7,648037026	2,298894876
1,96	19,95432582	14,87020439	26,60122995	70,57943151	26,07998464	35,69214497	8,807301905	2,819338538
2,01	19,28252687	13,20278528	28,15193677	69,12155877	26,48221982	34,46491531	8,174423638	2,726323791
2,06	18,16196236	11,87445527	29,69710528	68,22300852	27,1900306	33,38629663	7,64668129	2,079766024
2,11	19,96485664	14,50742984	26,30461561	71,35154705	25,5967738	36,82447635	8,930296892	2,343510203
2,16	18,22994733	13,11451046	28,04561104	71,01118831	26,48473253	36,02512123	8,501334557	0,943200644
2,21	18,94921201	14,75108274	26,46945472	72,36315334	26,02945384	37,4059587	8,927740803	1,167391944
2,26	19,13345454	12,99157472	27,80720256	69,91781875	26,37225301	35,50593846	8,039627284	2,274597532
2,31	19,68995881	14,44853326	25,85418085	72,05595941	25,96550815	37,56558035	8,524870907	2,089859742
2,36	18,79825902	12,52614548	26,71886072	72,01681421	26,48206791	36,81621028	8,718536021	1,264325067
2,41	18,38590541	12,07719853	28,28688296	69,72956733	27,50280901	34,4517646	7,774993717	1,983549712

2,46	18,80484518	13,30569972	27,81424539	70,21342296	27,17110612	35,18669197	7,85562487	1,972064935
2,51	20,74350749	14,09344438	26,04010236	70,8034228	24,95199449	36,25439871	9,597029594	3,156291363
2,56	18,65794828	13,38166839	27,98995191	69,64093875	27,18487574	34,69371822	7,762344788	2,369109347
2,61	17,89930013	11,39548355	28,35003065	70,42299368	27,75384619	34,62112009	8,048027398	1,226975663
2,66	20,31473734	14,28402008	25,47701344	71,58551271	25,97330287	36,74393782	8,868272018	2,937473853
2,71	21,61266566	15,38758419	23,48339633	73,4192834	24,49006432	38,1831998	10,74601929	3,097320271
2,76	20,27467334	14,16669868	25,45288489	71,86857997	25,74785827	36,87517105	9,245550658	2,678535138
2,81	22,12506855	16,80801335	22,74636521	73,96331827	24,0395545	38,64399388	11,27976989	3,290316512
2,86	19,79359235	14,76619876	26,04442852	71,415865	26,46800128	36,10923367	8,838630058	2,53970648
2,91	19,25043893	13,19611148	27,8509518	69,53615036	26,84706662	34,75396688	7,935116859	2,611550094
2,96	20,23852504	14,41469371	25,85459955	71,35427771	25,84510584	36,35102442	9,158147447	2,791122738
3,01	20,15885809	14,61066254	25,94862239	71,2003648	26,19555023	36,13112747	8,873687105	2,850832171
3,06	18,97101402	13,4147735	27,73608762	69,82232478	27,5019312	34,21988409	8,100509488	2,44146517
3,11	17,7345872	12,11086147	29,79638827	68,29284291	27,87217048	33,23805772	7,182614704	1,91076882
3,16	18,20188252	11,46956461	29,01991156	69,13464183	27,00362871	34,50942819	7,621584927	1,845446616
3,21	18,01396915	11,86046855	28,99716148	69,12935672	28,13101378	33,46717731	7,531165634	1,873481801
3,26	17,60666298	12,21290305	29,59737774	68,64907784	28,46284704	32,9956456	7,1905852	1,753544426
3,31	21,60780415	16,28751102	24,78956079	71,3519529	24,99015889	36,25431529	10,10747872	3,858308707
3,36	19,72172151	13,1310104	26,42372968	70,67061896	26,68390515	36,03468395	7,952029856	2,905547527
3,41	18,909883	12,82695111	26,67222217	71,42696239	27,27384927	35,92986412	8,223248994	1,900815443
3,46	19,03890196	12,91008046	27,69942729	70,10689752	26,27464656	35,5294164	8,302834557	2,193675187
3,51	19,61094931	14,05746227	26,88905018	70,68624617	25,83444503	36,08991594	8,761885201	2,424703655
3,56	17,62038615	12,04181372	29,5541807	68,88445714	27,9925528	33,64836244	7,243541903	1,56136216
3,61	17,94185553	11,78734259	29,59115438	68,69126012	27,21502837	34,00940745	7,466824306	1,717528118
3,66	21,52084324	15,62670564	23,81797409	73,16371775	24,63209058	38,1945045	10,33712267	3,018166891
3,71	16,47499287	10,68574885	31,21952808	68,08300963	28,26423306	32,93045298	6,888323596	0,697462287

3,76	18,53323275	13,5435969	28,83289571	69,39106555	26,48482477	34,73319108	8,173049705	1,775898423
3,81	16,0200724	11,01221379	31,42607307	67,94324484	29,37319004	32,14768316	6,422371644	0,630682092
3,86	17,64527174	11,59181666	29,12140695	69,70995265	27,28303825	34,89074101	7,536173396	1,168640405
3,91	19,2647647	12,57179322	26,92840318	71,09606319	26,31909877	36,17999064	8,596973776	1,975518796
3,96	19,07207019	13,3111707	28,55172773	69,2330181	26,12028816	34,68579665	8,426933288	2,214365485
4,01	18,36848057	13,45441833	28,56834657	69,44852178	26,64573204	35,05316846	7,749621279	1,983131652
4,06	19,6763735	14,82941382	26,80318068	70,9115034	25,78781624	36,42807849	8,695608678	2,284882875
4,11	19,60304381	14,48554275	26,41855224	71,64882058	25,43677253	37,44457988	8,767468161	1,932627178
4,16	18,34441798	13,01269978	27,57749751	71,33933553	26,69346917	36,24599288	8,399873474	1,083166959
4,21	20,74309635	13,80126945	24,83473156	72,46023467	25,57390551	37,19630953	9,690019633	2,704550975
4,26	19,47447107	14,63485216	26,49474708	71,78733243	25,66540779	37,08799147	9,033933179	1,717920484
4,31	20,06485155	14,34186696	25,70980176	71,79393572	25,86205764	36,84134239	9,090535694	2,496262513
4,36	21,09995677	13,82421202	24,70389473	71,93194843	25,75057289	36,76790463	9,413470909	3,363989431
4,41	22,11921663	15,68170592	24,0427321	72,16120168	24,54238735	37,10888937	10,50992496	3,794638964
4,46	19,53520591	12,81642234	26,68490331	70,81887036	27,13628958	35,23554058	8,447040199	2,495653248
4,51	20,00106803	12,83517477	27,15230681	69,79300404	26,59349365	34,25096205	8,948548336	3,053568156
4,56	20,94035292	13,6848755	24,78757487	72,09336257	25,37290425	37,08623726	9,634221059	3,119049326
4,61	20,06686844	14,73589466	25,5432401	71,72031096	26,94226282	35,94378784	8,834260301	2,7360034
4,66	18,31246994	11,95182627	28,38251898	69,36754548	29,09803381	32,72064524	7,548866426	2,249393316
4,71	20,48106479	14,46730746	25,49212844	71,38854622	26,34772088	35,95537938	9,085445966	3,119037494
4,76	18,1753352	11,84751722	28,54878718	69,3819354	28,63019231	33,16322384	7,588519251	2,069277423
4,81	21,1728807	14,60290247	24,67860769	71,99875005	25,4563005	37,05806235	9,484387203	3,321712834
4,86	20,13287613	14,56291165	25,58612731	71,57818392	26,49464084	36,35093709	8,732606	2,835532836
4,91	19,8902781	12,52829497	25,95952481	71,02620587	27,29577474	35,33528315	8,395147971	3,014198178
4,96	20,72331269	14,29909715	25,39417152	71,2048892	26,07367744	36,03155003	9,099661723	3,400655686
5,01	19,0835486	13,5275306	27,36871424	69,92281056	28,18967446	33,70921111	8,023924982	2,708373882

5,06	20,46380651	14,76379714	25,63200358	70,91529846	26,89249495	35,4189186	8,603884912	3,451816741
5,11	19,2875386	13,06915476	26,66126411	70,57371533	27,91872717	34,67239845	7,982589709	2,765020556
5,16	19,31561172	13,34479074	27,11970724	69,98633994	28,02114916	33,82776711	8,137423673	2,893933359
5,21	21,38743845	13,71402236	24,67801214	71,46931112	25,54252982	36,40269785	9,524083454	3,852540882
5,26	20,32840429	12,59938582	26,3937898	69,92599026	26,95192552	34,96363286	8,010431883	3,679348714
5,31	19,71414676	13,11179464	27,14894462	69,57589629	27,34038359	33,93773417	8,297778532	3,275086783
5,36	20,08467131	14,70107481	25,75596577	71,27816917	26,62006723	36,08212886	8,57597308	2,965865059
5,41	21,16498572	13,87119671	24,91130776	71,42355935	25,63938992	36,33438263	9,449786799	3,665120322
5,46	19,88461837	12,56517781	26,27833473	70,76632651	27,02611451	35,25975506	8,480456944	2,954825096
5,51	19,85487549	12,56202679	26,20830691	70,82435585	27,08013281	35,42598826	8,318234787	2,966913473
5,56	21,3380484	16,1298062	23,82177214	72,30887438	25,61838292	37,87144822	8,819043241	3,869353483
5,61	21,67399606	15,77625433	24,0781665	72,32077765	24,67188794	37,57020159	10,07868812	3,600887906
5,66	21,25802354	13,81403862	24,9759254	71,49142591	25,4580285	36,64366658	9,389730835	3,531499337
5,71	20,36532947	14,30779965	25,47722135	71,6546233	26,03559379	36,59485258	9,024176928	2,867603484
5,76	22,73733511	17,70770961	22,75043283	73,17468682	23,81150051	38,32707737	11,03610895	4,074830597
5,81	21,98918996	15,68194002	23,97510778	72,18062849	24,60719746	37,28101495	10,29241608	3,843939039
5,86	20,80025501	13,78405115	24,99545888	71,94284707	25,37597046	37,29256089	9,274315726	3,061553022
5,91	22,17473002	15,56672821	23,70172904	72,32689784	24,65242008	37,39604736	10,2784304	3,970496515
5,96	22,76002553	17,61259138	22,52351261	73,34003765	23,84520555	38,7444963	10,7503358	4,136404943
6,01	19,89276111	12,54649738	26,43677795	70,61729843	26,81746733	35,46433518	8,335495915	2,945356487
6,06	20,85979767	13,68701426	24,20285508	73,02510763	25,96702525	37,65749918	9,400583192	2,768409708
6,11	20,09995085	14,28725386	25,31201562	71,91953908	26,15766957	37,15175661	8,610112902	2,768445303
6,16	19,64803005	12,71181386	26,31674791	70,81471654	27,32943501	35,29113452	8,194147009	2,868535555
6,21	21,24356677	14,55961137	24,40441275	72,3969977	25,64035001	36,99430876	9,762338932	3,19725025
6,26	21,63029707	15,92701236	24,13579811	72,34665138	24,91736299	37,50322696	9,926061423	3,516571938
6,31	23,07791303	17,06118898	21,53518259	74,27873717	23,72705884	39,64827568	10,90340264	4,185782751

6,36	23,80826225	16,54321695	21,25782682	74,21661232	23,13414142	39,66352998	11,41894092	4,524232888
6,41	22,43959106	15,99466646	23,02889774	73,06596655	24,14696472	38,42816258	10,49083925	3,904165126
6,46	23,38196597	17,08418131	21,84864461	73,82731356	23,50974582	39,29118758	11,02638016	4,322366514
6,51	19,92685627	12,88952001	27,06639204	69,75595377	26,82285142	34,32436468	8,608737677	3,177192481
6,56	23,28193605	16,87735351	21,33150488	74,4543102	23,47769583	40,28801813	10,68859624	4,213360344
6,61	18,71454528	13,28866553	27,36178431	70,44468987	27,69036696	35,23780385	7,516519066	2,193525816
6,66	18,02416393	11,84056088	28,70841337	69,13731156	28,65846301	33,63502911	6,843819434	2,154032624
6,71	18,42774537	12,57394928	26,44716683	72,72949048	26,97479133	37,47413324	8,280565908	0,82334269
6,76	18,10628641	13,31442211	27,28477721	71,22968026	28,03166942	35,92547187	7,272538977	1,485542531
6,81	20,93317555	15,55977222	23,30927447	74,37648731	24,90134761	39,75864847	9,716491229	2,314110051
6,86	15,99816749	11,0543442	31,25023051	67,88786209	29,98754387	31,77328886	6,127029358	0,861907408
6,91	17,58282018	11,4156122	29,16050273	68,78430298	26,75022075	34,50743018	7,526652052	2,055194286
6,96	22,37506529	17,62486358	22,29994481	74,07104616	23,97290205	39,4213211	10,67682301	3,629009028
7,01	15,86880284	10,87770224	30,57338109	68,90701541	30,36893388	32,51074984	6,027331688	0,519603498
7,06	17,03516887	11,60839299	28,68144255	70,58093505	28,26048212	35,58310792	6,737345012	0,737622402
7,11	17,56116284	13,54294755	28,97038592	70,18478157	26,62139303	36,17121287	7,392175671	0,844832512
7,16	17,67995266	11,78664992	29,93711689	68,53707819	26,88329357	34,54477729	7,10900733	1,525804926
7,21	16,4821351	10,37298685	30,58014016	68,70042003	28,4295365	33,61363407	6,657249454	0,719439812
7,26	22,38376734	15,95569461	23,67147079	72,65738365	23,44949404	38,43127975	10,77660986	3,669871946
7,31	22,33049083	16,00573187	23,3895219	72,49756054	23,78865872	37,98912164	10,71978018	4,112917561
7,36	19,24608712	13,25284708	28,78928084	68,23326755	25,86197083	34,07183114	8,299465585	2,977348443
7,41	16,52958241	10,73369114	31,57178072	67,6079618	28,00656398	32,46887663	7,132521189	0,820257481
7,46	19,43756029	13,29688527	27,14547934	70,44393479	25,87338628	35,83100585	8,739542662	2,410585873
7,51	16,0548756	11,10859479	31,73917756	67,33034343	29,26589213	32,07219571	5,992255599	0,930479009
7,56	16,13115033	11,04820567	32,29069479	66,97929705	28,17696709	32,0984336	6,703896358	0,730008165
7,61	15,46780339	9,731830894	33,49707294	65,91427949	28,76006993	31,03203953	6,122170028	0,588647573

7,66	20,96786299	16,13205174	25,65161676	71,50110327	23,8232975	37,24574772	10,43205805	2,847279968
7,71	20,51031157	14,64980985	26,27733528	71,13912391	23,94930108	37,35985828	9,829964553	2,583540802
7,76	16,18607644	10,91248249	31,95974649	67,25405372	28,25430753	32,364399	6,635347191	0,786199792
7,81	18,26720639	12,78844461	28,9577399	69,25674809	26,59339491	34,92140772	7,741945454	1,785512012
7,86	14,11584756	9,218921932	36,24130823	63,3845673	30,13981961	28,19911168	5,045636009	0,374124475
7,91	15,84865696	10,62467741	32,3961741	66,85172456	29,04169049	31,44784989	6,362184183	0,752101332
7,96	17,65612269	11,76509881	29,96124567	68,50470177	26,92545619	34,37413292	7,205112663	1,533995443
8,01	16,86956022	10,76255773	32,16095484	66,5282662	27,1143921	32,25594408	7,157930023	1,310778962
8,06	19,72694927	14,58484865	26,65327027	70,93347966	25,43732882	36,52381729	8,972333546	2,413250078
8,11	23,92620755	19,45705371	22,05382403	73,32040278	21,64714329	39,34374926	12,32951023	4,625615166
8,16	20,51574935	14,7250178	25,2223481	72,12449736	25,17408938	37,6793157	9,271092286	2,653128937
8,21	20,18455325	14,24732283	26,78815975	70,70065277	24,48946406	36,2079927	10,00319601	2,511187485
8,26	21,18247108	14,64227051	26,10219588	70,44611069	24,10706997	36,12460564	10,21443508	3,451564309
8,31	15,12256332	7,832343209	36,82093444	61,94223815	28,80219432	27,02900377	6,111040059	1,236752693
8,36	25,47626715	18,63295818	21,45554655	72,19719379	21,1953388	37,88753993	13,11431506	6,346912062
8,41	20,63392582	14,03905395	25,81925795	71,18413093	25,07674954	36,38957693	9,717804459	2,996611123
8,46	23,96153763	16,64035877	22,30142346	72,75565768	22,39659498	38,19535436	12,16370833	4,94224116
8,51	24,33321832	19,51665217	22,03189122	72,9088669	21,86851556	38,49576742	12,54458393	5,05849301
8,56	20,60189458	14,80904387	27,94658018	68,63347639	24,37306076	34,09487864	10,16553698	3,419943435
8,61	20,54473732	14,2215462	26,18585032	70,56985041	25,11767592	35,97655086	9,475623622	3,244299275
8,66	26,23921581	20,87697927	20,21496252	73,64098164	20,1793723	39,18740478	14,27420456	6,143593389
8,71	27,14513669	20,67949299	20,29169297	72,07689993	20,00168972	37,42218006	14,65303016	7,630655812
8,76	20,30423284	14,5421724	27,58323397	69,68704298	24,22902745	35,63366278	9,824352745	2,729643862
8,81	18,84187646	13,2921177	28,60143026	69,21318521	26,26438729	34,11856353	8,8302344	2,185384522
8,86	22,60257464	15,73584404	25,75582574	69,24450755	23,02501011	35,20912849	11,01036895	4,99966671
8,91	20,0532079	14,56500728	26,29781626	70,94233314	25,75546812	35,61869117	9,56817385	2,759850595

8,96	21,04221233	13,83212264	26,29240987	70,33889893	24,16821562	36,49115435	9,679528964	3,367754565
9,01	21,04889179	14,52917961	27,18401355	68,9915085	24,6233066	34,03050957	10,33769233	3,824343024
9,06	21,69405536	15,83783769	24,5929347	71,73199145	24,29335531	36,78374131	10,65489484	3,675073847
9,11	23,97304646	19,64897092	21,48572459	73,92490974	22,37039784	39,43784467	12,11666724	4,588884305
9,16	23,82364576	17,48886918	23,27864551	71,68619635	23,09936448	36,22422576	12,36260612	5,031763078
9,21	22,63340542	17,72402662	23,45202316	72,57509879	23,15475996	37,9392186	11,48112023	3,972878044
9,26	23,42174542	17,42480058	23,18638352	71,9291484	22,95597714	37,17007966	11,8030916	4,88446808
9,31	24,60852861	16,6390706	22,88790839	71,46734071	22,33069639	35,95327854	13,18336578	5,644381367
9,36	25,69978127	18,27137727	20,52623334	73,70132128	21,41858521	38,47060029	13,81213578	5,771135895
9,41	25,48330962	18,95857237	21,62262973	72,44197584	21,49194805	37,57299738	13,37703041	5,92537333
9,46	21,90236732	14,20697342	25,76002548	69,76162196	25,4015882	33,15228941	11,20774435	4,478169259
9,51	25,28120596	19,05128387	22,008878	71,92862665	21,64047972	36,64653103	13,6416159	6,062116101
9,56	25,79850297	18,35555476	20,80097888	72,99906743	21,31672139	38,2731398	13,40920624	6,199152706
9,61	27,71349308	23,66124385	18,95331871	73,82042208	19,60106383	39,12980036	15,0895579	7,220907942
9,66	24,44983551	16,51411883	22,15418829	72,36029076	22,49473171	37,12139979	12,74415927	5,485301987
9,71	26,09644604	18,46105755	20,86026649	72,43121912	21,52388188	37,47915756	13,42817968	6,706203011
9,76	25,55062328	18,54665765	20,80499474	73,1217699	21,5673314	38,31696169	13,23747681	6,072425425
9,81	24,70810386	19,53035134	21,89583029	72,44103184	22,26503239	37,24252168	12,93347778	5,663081692
9,86	24,94857184	18,91999745	21,00781112	73,55709122	21,8767014	38,80488648	12,87550334	5,434579413
9,91	23,80832705	16,98360942	22,92484796	72,1385442	22,50510103	37,72800579	11,90543738	4,936204562
9,96	23,43286529	17,71495823	23,35989216	71,70068232	23,41994039	36,6284571	11,65228483	4,938831255
10,01	25,00205012	19,42458342	22,09153476	72,05067303	21,94018175	37,14426166	12,96622962	5,856223801
10,06	23,04040796	17,66117187	23,24773892	72,48223186	23,3461134	37,75853088	11,37758758	4,269189256
10,11	24,63573306	18,23884929	19,89507618	75,58551811	21,54452977	41,25141829	12,78957005	4,519405704
10,16	22,46051737	15,30544865	24,51045725	71,37692975	23,44210135	36,67910653	11,25572187	4,112492813
10,21	23,30811595	15,00910024	24,35129226	70,64529842	23,14193257	35,7410673	11,76229854	5,002630145

10,26	23,00845201	17,40712978	22,90665408	72,99545373	23,20507522	38,22456608	11,56581243	4,097771272
10,31	23,74556103	16,68617334	22,40829624	73,13535523	22,57504408	38,43351062	12,12680053	4,455727212
10,36	22,56152007	17,8553645	23,443557	72,82901756	23,52707947	37,99107187	11,31086622	3,727271475
10,41	23,97874132	19,39632647	21,3977802	74,29037817	22,20033112	39,74966954	12,34037751	4,311585887
10,46	22,56027227	17,39230016	21,67500837	74,85003288	24,11358647	39,86497701	10,8714694	3,474958747
10,51	22,84293981	17,1420559	21,5731829	74,95061229	23,70632222	40,58895437	10,6553357	3,474947047
10,56	20,14963559	14,74941938	26,99721536	70,29037817	25,32442378	35,55280616	9,413148234	2,712212948
10,61	19,47580921	12,83819587	27,58165765	69,93964712	26,1488224	34,61885687	9,171967846	2,478695229
10,66	21,94954258	16,9192533	22,09283197	74,89297251	24,70449628	39,9751103	10,21336593	3,013924959
10,71	19,90015017	12,9965361	27,69410982	69,32200089	26,31309562	34,06438174	8,944523528	2,983889293
10,76	20,34436406	14,43837414	26,19986871	70,7983492	25,49828097	36,09483434	9,205233885	3,001533457
10,81	18,94183244	13,55552905	28,12860506	69,32771225	27,26087746	33,55199196	8,514842833	2,543682686
10,86	19,13103473	12,71941455	26,80600202	71,52311121	26,77556668	35,26328521	9,484259321	1,670886766
10,91	20,72510138	14,26164119	25,8199626	70,73928362	25,53809481	35,96669868	9,234490131	3,440753784
10,96	18,56784683	12,45370432	28,57148629	69,89991598	26,83646387	33,75416267	9,309289443	1,528597724
11,01	19,45172976	13,10498982	27,85563907	69,4092326	26,45369983	33,95142576	9,004107014	2,735128323
11,06	19,5923992	13,24080599	28,24683106	68,80629925	26,31019743	33,72993774	8,766164079	2,946621411
11,11	20,01367659	14,86284932	26,17435318	70,9599456	26,53745003	35,34788533	9,074610239	2,865701222
11,16	20,2077581	12,54693729	27,0234671	69,79542239	26,05714437	34,57255704	9,165720981	3,180968605
11,21	19,79763419	12,84347641	27,17710949	69,86378491	26,62527151	34,25171124	8,986802157	2,9591056
11,26	20,24771338	14,86088351	26,78154595	70,0373101	25,83117308	34,95201137	9,254125645	3,18114395
11,31	19,55711833	13,40964885	28,5290121	68,42137307	26,37118412	33,10029084	8,949898113	3,049582981
11,36	21,36111746	15,88797232	23,10517116	73,66781495	25,80071167	38,17018199	9,696921293	3,22689133
11,41	20,17110972	12,54663132	27,86544528	69,01542835	25,0840374	34,20824349	9,723147462	3,119126372
11,46	20,30781681	12,61792651	27,75487053	68,85704656	25,36549092	34,00005674	9,491498905	3,387975636
11,51	20,65950927	14,43812312	25,90460338	70,82138475	25,82674739	35,39104169	9,603595669	3,273925904

11,56	20,90153909	14,11651127	25,86499304	70,69450769	25,17456195	35,75617825	9,76376749	3,44049927
11,61	20,76932447	14,65365086	27,00913058	69,26387156	25,10377498	34,47190005	9,688196522	3,726111999
11,66	20,91715129	14,08686609	25,75392066	70,89589781	25,22386836	35,51413265	10,1578968	3,350181534
11,71	23,7101337	19,0577577	20,22452167	76,01981103	22,42051957	41,83607297	11,7632185	3,755667296
11,76	23,20882094	16,99178116	21,62400781	74,16009784	23,47519191	39,55787378	11,12703215	4,215878974
11,81	22,91982273	17,80119004	23,0370922	72,56009903	23,74296455	37,76250221	11,05463227	4,402630935
11,86	22,591104	15,96895371	23,13993269	72,69051706	24,00700489	37,75867695	10,92483522	4,16955025
11,91	23,22096681	17,07084769	21,98457567	73,77808015	23,39970903	38,92350172	11,45486941	4,237344179
11,96	22,69852049	15,13072605	23,97273742	71,54877296	23,62454374	36,76282071	11,16140851	4,478489618
12,01	24,83774602	18,20794012	18,82843747	76,45966118	22,02471997	42,28076374	12,15417747	4,711671278
12,06	22,06700165	13,94877588	26,54611636	68,84813407	24,09438119	34,09174358	10,6620093	4,604415984
12,11	23,9123932	17,36914207	24,01775309	70,47028348	22,28863817	36,02579732	12,15584799	5,511210422

Извор: Perić et al. 2017.

БИОГРАФИЈА



Зоран Перић је рођен 18. 10. 1974. године у Пожаревцу. Основну школу „Херој Роса Трифуновић“ је завршио у Александровцу, а гимназију „Јован Шербановић“ у Пожаревцу. Након завршене гимназије полаже пријемни испит на Филолошком факултету у Београду, смер: немачки језик и књижевност. На одслужењу војног рока бива рањен, након чега се налазио на дугогодишњем лечењу и опоравку, тако да студије на Филолошком факултету никада није започео.

Након потпуног опоравка, из љубави према природи и лову, 2007. године, уписује V степен на шумарској школи у Краљеву, смер: специјалиста за ловство. Након осам месеци завршава школовање са највишим оценама. Том приликом упознаје др Зорана Ристића на чији наговор уписује Природно-математички факултет у Новом Саду, смер: менаџер у ловном туризму. Током друге године студија, додатно уписује и смер: менаџер у туризму. После одслушаних предавања из предмета „Природне основе туризма“, код др Слободана Марковића, у њему се буди интересовање за физичку географију.

По завршетку основних студија, где оба смера завршава истовремено са просечном оценом 9,57, уписује мастер студије на смеру: мастер - професор географије. Током прве године мастер студија полаже сву предвиђену разлику предмета као и обавезне предмете са смера. Мастер студије завршава 2013. године са просечном оценом 9,76. Исте године уписује докторске студије смер: доктор наука-геонауке. Упоредо са докторским, полаже и разлику испита за основне студије на смеру: дипломирани професор географије. Основне професорске студије завршава 2015. године са просечном оценом 9,31.

У марту 2016. године, по препоруци др Слободана Марковића и др Тома Стивенса, започиње рад на пројекту датирања Тителског лесног језгра, у Нордијској лабораторији за

луминесцентно датирање у Данској. Током првог боравка, завршава обуку за лабораторијски рад и хемијску припрему узорака, као и техничко усавршавање у руковању TL/OSL читачима, након чега му се додељује Risø сертификат.

Током другог боравка у Рисо лабораторијама, у периоду од децембра 2016. године до јуна 2017. године, као један од инструктора, активно учествује у обуци за технике и методе луминесцентног датирања. Пројекат успешно приводи крају у мају 2017. године. У августу 2017. године, добија редовно запослење у луминесцентној лабораторији на институту Макс Планк у Мајнцу (Немачка).

Област истраживања Зорана Перића је физичка географија, са фокусом на геохронологију и методу луминесцентног датирања. Аутор је и коаутор у више радова објављеним у домаћим и међународним часописима. Такође је учесник више домаћих и међународних конференција из области геонаука.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ГЕОГРАФИЈУ, ТУРИЗАМ И ХОТЕЛИЈЕРСТВО

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број:

РБР

Идентификациони број:

ИБР

Тип документације:

ТД

Монографска документација

Тип записа:

ТЗ

Текстуални штампани материјал

Врста рада:

ВР

Докторска дисертација

Аутор:

АУ

Зоран М. Перић

Ментор:

МН

др Слободан Марковић, дописни члан
САНУ, редовни професор, Природно-
математички факултет, Нови Сад

Наслов рада:

НР

Детаљна луминесцентна хронологија
последња два глацијално-интерглацијална
циклуса Тителског лесног платоа

Језик публикације:

ЈП

Српски/ћирилица

Језик извода:

ЈИ

Српски/Енглески

Земља публикације:

ЗП

Србија

Уже географско подручје:

УГП

Војводина

Година:

ГО

2017.

Издавач:

ИЗ

Ауторски репринт

Место и адреса: МА	ПМФ, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад
Физички опис рада: ФО	13 поглавља, 350 страна, 108 прилога, 29 табела, 7 карата
Научна област: НО	Географија
Научна дисциплина: НД	Физичка географија
Предметна одредница/ кључне речи: ПО	Лес, квартал, геохронологија, луминесценција, луминесцентно датирање, акумулационе стопе, MAR
УДК:	
Чува се: ЧУ	Библиотека Департмана за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад.
Важна напомена: ВН	Нема
Извод: ИЗ	

Еолски седименти представљају идеалан материјал за примену методе луминесцентног датирања. Један од главних разлога је њихов минеролошки састав који углавном чине кварц и фелдспат. Ови минерали поседују читав низ луминесцентних карактеристика који их чине погодним за луминесцентно датирање а поред тога, могуће је релативно једноставно извршити њихову екстракцију и сепарацију од других неминералних састојака. У случају лесних платоа (еолски транспортованих седимената), може се претпоставити да су индивидуална минерална зрна била потпуно изложена сунчевој светлости и да су у довољној мери ресетована пре депозиције. Истраживана секција Велики сурдук на Тителском лесном платоу, изабрана је за датирање, на основу своје моћности, високе стопе седиментације и комплетности које овај локалитет чине најдетаљнијим палеоклиматским архивом последња два глацијално-интерглацијална циклуса у овом делу Европе.

Употребом класичног SAR протокола за датирање утврђено је да кварцна зрна са Тителског лесног платоа представљају прецизне дозиметре до ~ 120 Gy, после чега долази до очигледног zasiћења сигнала. Највиша утврђена доза фелдспата измерена модификованим SAR пост-IRIR^{200,290} протоколом је била $854,0 \pm 24$ Gy. Пост-IRIR^{200,290} протокол није утврдио сатурацију код минералних зрна фелдспата, што је умногомо подигло поуздану старосну границу за датирање на секцији Велики сурдук, а највероватније и на осталим лесним профилима у Србији. Примена различитих протокола и мерења аплицираних на различите групе минерала и њихове фракције дају овим истраживањима далекосежан методолошки значај. На овај начин је доказано да у поменутом временском опсегу OSL датирање грубог кварца даје поуздане старосне процене до $35,8 \pm 3,7$ ка док су зрна фелдспата датирана до чак $237,7 \pm 12,8$ ка. Кварц има апсолутно највећу подударност са очекиваним геолошким временом до MIS 2 за разлику

од фелдспата који показује бољу подударност са претпостављеном геолошком хронологијом до MIS 7.

Датум прихватања теме:

20. 10. 2016.

ДП

Датум одбране:

ДО

Чланови комисије:

1. Проф. др Миливој Гаврилов, редовни професор, ПМФ, Нови Сад, председник

2. Проф. др Слободан Б. Марковић, дописни члан САНУ, редовни професор, ПМФ, Нови Сад, ментор

3. Проф. др Радислав Тошић, редовни професор, ПМФ, Бања Лука, члан

**UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF NATURAL
SCIENCES & MATHEMATICS**

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monographic documentation

Type of record:

TR

Printed material

Contents code:

CC

PhD Thesis

Author:

AU

Zoran M. Perić

Mentor:

MN

dr Slobodan B. Marković, corresponding
member of SANU, full professor, Faculty of
Sciences, Novi Sad

Title:

XI

Detailed luminescence chronology of the last
two glacial-interglacial cycles from the Titel
loess core

Language of text:

LT

Serbian/ Cyrillic

Language of abstract:

LA

Serbian/English

Country of publication:

CP

Serbia

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2017.

Publisher:

PU

Author's reprint

Publik place: PP	PMF, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Serbia
Physical description: PD	13 chapters, 350 pages, 108 figures, 29 tables, 7 maps
Scientific field: SF	Geography
Scientific discipline: SD	Physical Geography
Key words: UC	Loess, quaternary, geochronology, luminescence, luminescence dating, akumulation rates, MAR
HD note:	
Holding data: HD	Library of the Department of Geography, Tourism and Hotel Management, Novi Sad, Serbia
Note: NO	None

Abstract:
AB

Aeolian sediments represent an ideal material for the application of the luminescence dating method. One of the main reasons is their mineralogical composition which consists mainly of quartz and feldspars. These minerals possess a whole range of luminescence characteristics that make them suitable for luminescence dating, and in addition, it is relatively easy to extract and separate them from other non-mineral ingredients. In the case of loess plateaus (eolically transported sediments), it can be assumed that individual mineral grains were completely exposed to sunlight and were sufficiently bleached before deposition. The investigated section Veliki surduk on the Titel loess plateau was chosen for dating, based on its thickness, the high rate of sedimentation and completeness which makes this site one of the most detailed paleoclimatic archives of the last two glacial and interglacial cycles in this part of Europe.

Using the classic SAR protocol for dating, it has been found that the quartz grains from the Titel loess plateau are precise dosimeters up to ~120 Gy, followed by an apparent saturation of the signal. The highest established dose of feldspars measured by the modified SAR post-IRIR^{200,290} protocol was 854.0±24 Gy. The post-IRIR^{200,290} protocol did not determine the saturation of feldspar minerals, which has largely raised the age limit for luminescence dating at the Veliki surduk section, and most probably, also on other loess profiles in Serbia. The application of various protocols and measurements applied to different groups of minerals and their fractions give these research a far-reaching methodological significance. In this way, it has been proven that in the mentioned time range, OSL dating of coarse grain quartz yields reliable age estimates up to 35.8±3.7 k while the feldspar grains are dated to as high as 237.7±12.8 ka. Quartz has the highest match with the expected geological age to MIS 2 as opposed to feldspar, which shows better correspondance with the assumed geological chronology to MIS 7.

Accepted by the Scientific Board on:

20. 10. 2016.

Defended:

Thesys Defend Board:

1. PhD Milivoj Gavrilov, full professor at Faculty of Sciences, President of board.

2. PhD Slobodan B. Marković, corresponding member of SANU, full professor at Faculty of Sciences, Novi Sad, Menthor

3. PhD Radislav Tošić, full professor at Faculty of Sciences, Banja Luka, Member