

УДК 58.05

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ
ДЕНДРОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
PINUS SYLVESTRIS L.**

© 2019 М.Б. Фардеева, Н.А. Котова, М.В. Кожевникова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт экологии и природопользования, г. Казань (Россия)

Поступила 27.06.2019

Для фитоиндикации оползневых смещений и определения возраста оползневой активности склонов коренного берега р. Волги была предпринята попытка использовать дендрохронологический анализ *Pinus sylvestris* L. На участках условно-стабильных и активных оползневых склонов отбирались керны деревьев по каждому оползневому элементу, всего было отобрано более 60 образцов. Активизация экзогенных процессов определяется по оценке асимметрии формирования годичных колец древесины, а величина силы сигнала - на основе эксцентриситета. Первичные исследования разных оползневых склонов на основе дендрогеоморфологического анализа дали положительные результаты, что позволяет использовать их для дальнейшей оценки оползневой активности склонов.

Ключевые слова: дендрохронология, фитоиндикация, дендрогеоморфология, оползень.

Fardeeva M.B., Kotova N.A., Kozhevnikova M.V. – Preliminary results of dendrogeomorphological analysis of landscape areas using *Pinus sylvestris* L. – For the phyto-indication of landslide displacements and determining the age of landslide activity of the slopes of the Volga river, an attempt was made to use the dendrochronological analysis of *Pinus Sylvestris* L. On the sites of conditionally stable and active landslide slopes, tree cores were selected for each landslide element, more than 60 samples were selected. The activation of exogenous processes was determined by assessing the asymmetry of the formation of annual rings of wood, and the value of the signal strength - based on eccentricity. The initial studies of different landslide slopes based on dendrogeomorphological analysis gave positive results, which allows using them for further assessment of landslide activity of the slopes

Key words: dendrochronology, phyto-indication, dendrogeomorphology, landslide.

Растительные сообщества могут активно реагировать на изменения окружающей среды. Такие элементы биосистем называются *индикаторами*. Ими могут быть отдельные организмы или их сочетания (фитоценозы), присутствие которых указывает на определенные свойства окружающей среды (Викторов, Ремезова, 1988).

В анатомо-морфологическом строении растений, особенно деревьев и кустарников, накапливается информация о проявлении раз-

личных рельефообразующих процессов за последние десятки и сотни лет, что позволяет использовать индикационные признаки для датирования процессов, определения величины работы, совершенной ими за время жизни растения, расчета частоты или скорости определенного процесса. Зарубежные исследователи довольно часто используют дендрохронологические методы для определения начала оползневых процессов или их активности, определяя эти методы как «Dendrogeomorphic» – дендрогеоморфологические. По данным ряда авторов (Lang et al., 1999; Stoffeletall, 2005; Stoffel, Bollschweiler, 2008; Pánek, 2015; Šilhán, 2017) деревья дают хороший отклик на смещение грунта оползневой поверхности, который отражается не только на форме и наклоне ствола, но и на формировании годичных колец ксилемы.

Фардеева Марина Борисовна, доктор биологических наук, доцент, orchis@inbox.ru; *Кожевникова Мария Владимировна*, кандидат биологических наук, MVKozhevnikova@kpfu.ru; *Котова Наталья Андреевна*, kotova.natalia90@gmail.com

Вследствие этого, выраженная асимметрия формирования годичных колец может являться индикационным признаком, определяющим начало активности оползневых процессов, что дает возможность определить возраст оползня, активность оползневых процессов или их стабилизацию.

Цель исследования: выявить возможности использования дендрохронологического метода для фитоиндикации оползневых процессов на примере *Pinus sylvestris*. Оценить на основе дендрохронологического анализа *P. sylvestris*, произрастающей на разных элементах оползня, возраст их прошлой активности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДЕНДРОГЕОМОРФОЛОГИИ

Метод хронологии оползневых событий в Европе стал довольно применяемым в исследованиях оползневых движений на склонах (Lang et al., 1999; Pánek, 2015). Данные о прошлых проявлениях экзогенной активности имеют значение для определения уязвимости в области новых оползневых событий и могут служить в качестве основы для оценки опасности возникновения оползней и моделирования будущей оползневой деятельности и планирования землепользования (Lopez, 2012a).

Дендрохронологические методы дают более высокую точность дат массовых перемещений, вплоть до субгодового разрешения (Stoffel et al., 2005). Эти методы основаны на способности деревьев, подверженных воздействию оползневой активности (наклон ствола, повреждение корня), регистрировать внешние нарушения в последовательностях годичных колец (Shroder, 1978). Нарушения роста могут быть вызваны и другими воздействиями – например, атака насекомых, изменение климата, загрязнение воздуха. Тщательный отбор деревьев, в том числе и с эталонных ненарушенных участков, а также пространственная информация о нарушенных деревьях, позволяют осуществлять сравнительный дендргеоморфологический анализ (Stoffel et al., 2005).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными объектами исследования были популяции *P. sylvestris* на двух оползневых участках коренного берега р. Волга, которые визуально отличались степенью облесенности и устойчивости. Сбор полевых материалов производили в Верхнеуслонском районе РТ ст. Дачная (М.Б. Фардеева – 2009 г., 2016 г.) и в Камско-Устьинском районе вблизи с. Сюкеево (Н.А. Котова, М.Б. Фардеева, М.В. Кожевни-

кова – 2018 г.). Оба участка приурочены к Приволжскому возвышенно-равнинному региону широколиственных лесов (Бакин и др., 2000)

Участок 1 «Дачная» – условно-стабильный оползень. Территория исследования на данном участке с севера и с юга ограничивается двумя глубокими большими оврагами. Большая доля (83.3%) лесных видов указывает на хорошее состояние лесных фитоценозов по элементам всего оползневого тела и характеризует оползень как устойчивый. Склон практически полностью зарос лесом, в том числе надоползневой откос. На коренном склоне дубово-сосновый снытьево-осоковый лес, на оползневом теле сформировались липняки с кленом и осиной снытьево-пролесниковые или копытневые. Участок 2 «Камкое Устье» – активный оползень, где на коренном склоне произрастает посадка сосны, возрастом около 50 лет, выявляется трещиноватость бровки, надоползневой откос практически лишен растительности. По оползневому телу только на I-ой ступени и внизу надоползневого откоса отмечены клеовник и липняк с кленом. Доля лесных видов составляет 41.7%, на группу луговых видов приходится 46.7% всей флоры. Западнее исследуемого участка располагается новый оползень, что свидетельствует об активизации оползневых процессов.

Для дендргеоморфологического анализа пробы были отобраны в двух местах. Одна группа деревьев росла на коренном склоне – данную группу планировалось рассматривать как контрольную, вторая группа деревьев росла непосредственно на оползневых элементах. Из каждого дерева с помощью бура было извлечено четыре керны: один с верхнего радиуса ($R - a$), один с нижнего радиуса ($R - c$) и два - перпендикулярно наклону ствола ($R - b$ и $R - d$).

Все образцы контрольных деревьев и деревьев на оползневых элементах были обработаны в соответствии со стандартными процедурами (Stoffel, Bollschweiler, 2008). Керны были высушены, приклеены к древесным подложкам и отшлифованы, чтобы сделать все кольца явными. Производился подсчет годичных колец, измерялась их ширина (точность 0,01 мм) под бинокулярным микроскопом с использованием дендрохронологического полуавтоматического измерительного комплекса Lintab 6. После коррекции ряда годичных колец были идентифицированы сигналы геоморфологических смещений. Согласно ряду авторов, наиболее чувствительным показателем оползневых движений является эксцентриситет (асимметрия) годичных колец деревьев (Wistuba et al., 2015;

Šilhán, 2017). В данном исследовании расчет эксцентриситета годичного кольца (e) производился по методу Braam et al. (1987) как:

$$e = \frac{x - y}{x + y};$$

где x – ширина кольца по верхнему или нижнему радиусу, y – ширина кольца, перпендикулярная x .

Для дальнейшей оценки интенсивности сигнала полученным значениям эксцентриситета присваивался балл от 0 до 2 в зависимости от величины значения e : $e \geq 0.5$ – балл 2, $e = 0.25-0.5$ – балл 1, $e \leq 0.25$ – балл 0. В зависимости от последовательности баллов в ряду годичных колец оценивалась интенсивность ответного сигнала: 0-0-2-2 – очень сильный сигнал, 0-0-2-1 – сильный сигнал, 0-0-1-2 – слабый сигнал, 0-0-1-1 – очень слабый сигнал (Šilhán, 2016, 2017).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

P. sylvestris на оползне «Дачная» представлена преимущественно особями g_2 , согласно дендрохронологическому анализу календарный возраст популяции – около 140 лет. Из-за недостатка освещенности возобновление сосны в современных условиях дубово-липового леса отсутствует, единично отмечен подрост только на 1 ступени. Популяция *P. sylvestris* на оползне «Камское Устье» представлена, согласно дендрохронологическому анализу, 48-50-летними соснами, которые, по-видимому,

посадили после сильного оползания грунта. Это дает возможность предположить, что возраст последнего оползания около 55 лет. Популяция сосны более или менее устойчива и хорошо возобновляется – доля j и im особей составляет 20-60% на коренном склоне и бровке. На надоползневом откосе календарный возраст крупных *P. sylvestris* 35-36 лет, доля j и im около 70-85%.

Анализируя полученные дендрограммы *P. sylvestris* на 2-х участках оползней, отмечается асимметрия ствола, которая вызывается активностью сползания грунта. Поэтому для определения активности оползания, отраженного в отклике роста древесины в виде асимметрии нарастания годичных колец, мы и пытались выявить даты предыдущих смещений.

На примере дендрограмм (рис.1) *P. sylvestris* оползня «Камское-Устье» сделаем предварительные заключения. Первые признаки оползневой активности отмечаются у деревьев, произрастающих на бровке коренного склона, уже в 1976-1977 гг. Вероятнее всего, именно в этот период произошло основное смещение оползневых масс. В 1977 г. отмечено максимальное значение коэффициента эксцентриситетности роста годичных колец (радиусы $c-b$) $e=0.76$. Тем не менее, слабые отклики (0-0-1-2) на подвижки грунта отмечались в период 1974-1976 гг. и 1984-1985 гг.

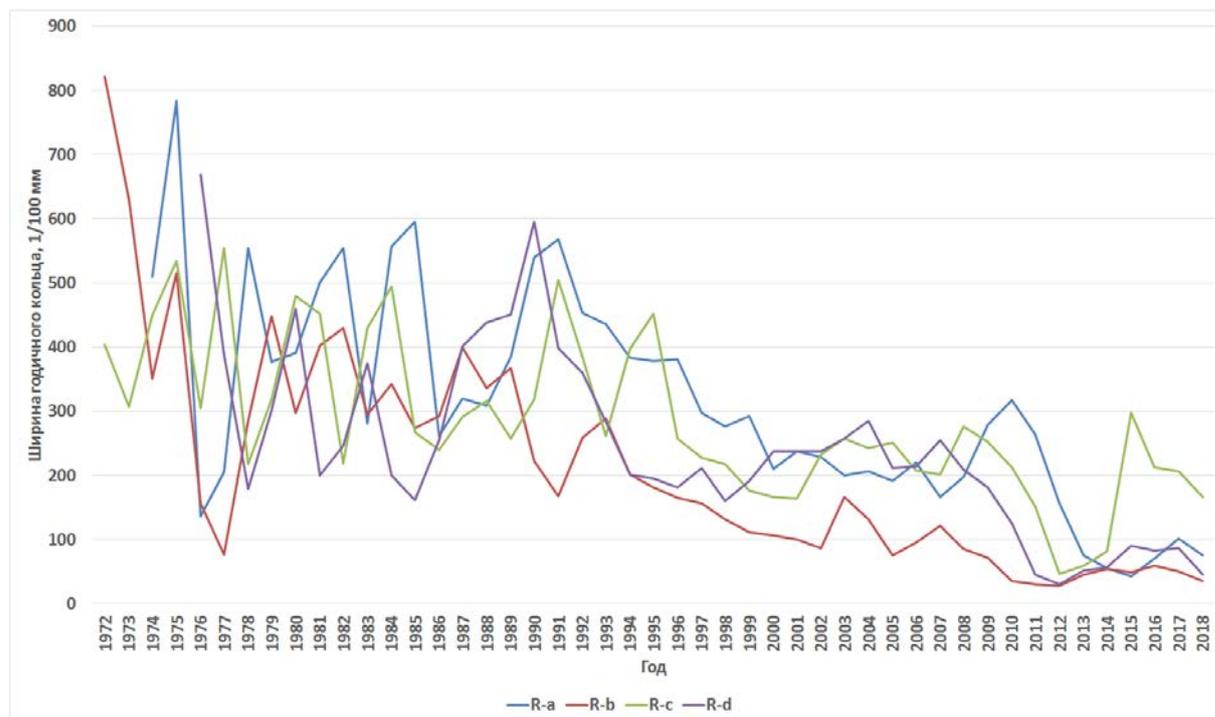


Рис. 1 Дендрограммы *P. sylvestris* (Бровка, «Камское-Устье»)

С начала XXI столетия (2004 г.) вновь фиксируются отклики древесины *P. sylvestris* на подвижки грунта, отраженные в эксцентриситете роста, которые отмечаются вплоть до 2018 г. с некоторыми периодами стабильности – 2013-2014 гг. (рис. 2). В 2010 г. и 2015 г. отмечалось максимальное значение эксцентриситета по радиусам $c-b$ – 0.72, что обусловлено, по-видимому, катастрофическими природными

явлениями. 2010 год – аномальная засуха, которая способствовала разломам высыхающего грунта, 2015 г. напротив – большое количество осадков (49.5; 97.2; 71.7 мм – в июне, июле, августе соответственно), которое превышало в 3 раза среднее количество осадков летнего периода. Это способствовало интенсификации размывания по трещинам и смывания грунта оползневого тела.

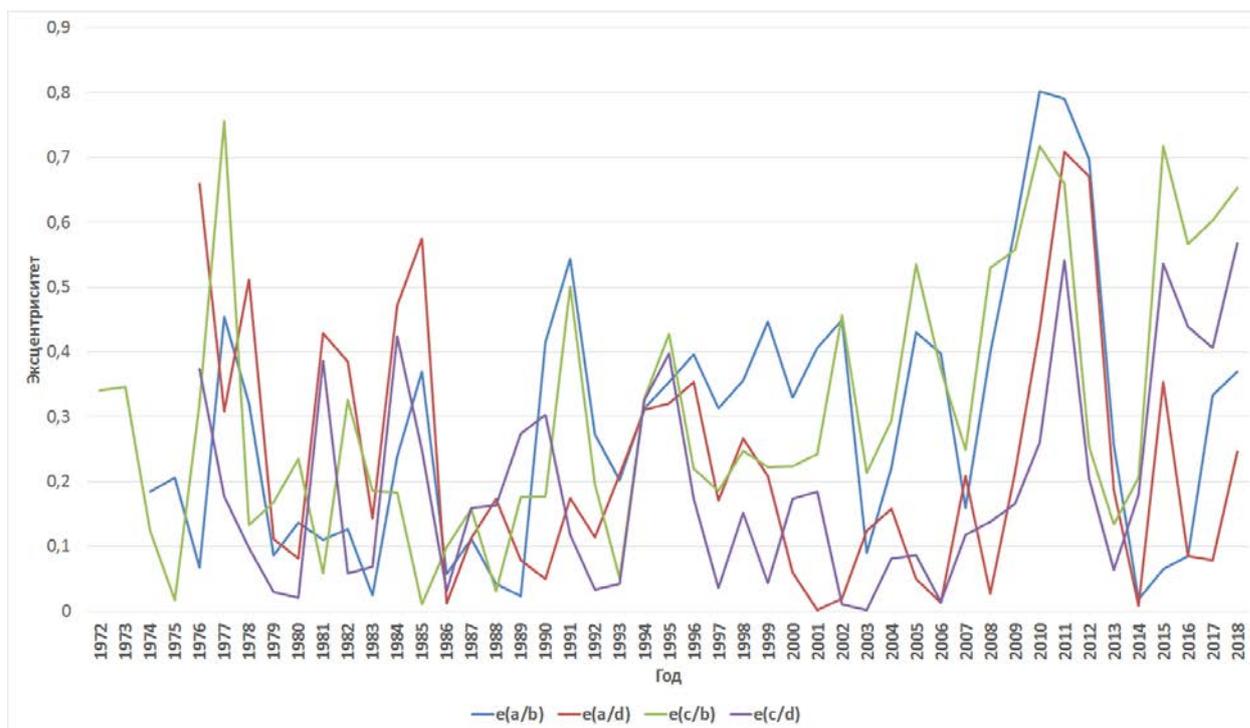


Рис. 2. Эксцентриситет годовых колец *P. sylvestris* (Бровка, «Камское-Устье»)

Среднее значение эксцентриситета в указанные временные рамки – 0.54, исключая периоды стабильности. На дендрограмме видно (рис. 1), что в 2010 г. годовое кольцо шире по радиусам a и c , « c » – в сторону склона смещения, в то время как по радиусу b отмечается минимальное значение ширины кольца. Так же наблюдаются высокие значения эксцентриситета по радиусам $a-b$ в 2008-2013 гг. В данный период значение эксцентриситета годовых колец достигает 0.8 в 2010 г., в этом же году, как отмечалось выше, наблюдается максимальное значение « e » (0.72) по радиусам $c-b$.

У сосны, произрастающей по надоползневному откосу, не отмечено сильной асимметрии ствола. Коэффициенты эксцентриситета годовых колец низкие, не превышают 0.4 по всем рассматриваемым радиусам, максимальный эксцентриситет равняется 0.32 в 1989 г. и 0.34 по радиусам $c-d$ в 2011 г. Слабые отклики так же отмечены в 2003 г. (радиусы $c-b$ и $c-d$), в 2008 и 2009 гг. Возможно, отсутствие эксцентриситета роста древесины указывает на сни-

жение интенсивности оползневых процессов надоползневого склона, что в дальнейшем привело к разрастанию молодых сосен на данном участке.

В целом, до 1995 г. наблюдаются более низкие значения прироста годовых колец сосны по радиусу c , по сравнению с остальными, что говорит о не очень благоприятных абиотических условиях надоползневого элемента. Напротив, начиная с 1996 г., отмечаются более высокие значения прироста годовых колец, это особенно ярко выражено в 2003 г., когда отмечается максимальный прирост ксилемы и ширина годового кольца по радиусу c составляет 0.782 мм, что так же является максимальной шириной по всем радиусам.

При анализе дендрограмм *P. sylvestris* оползня «Дачная» установлено, что при формировании годовых колец у деревьев коренного склона, как правило, отмечаются длительные периоды со слабо и очень слабо выраженной асимметрией, что характеризует участок как условно-стабильный. Наиболее продолжи-

тельный интервал проявлений слабых ответных сигналов – 11 лет, с 1912 г. по 1922 г. Однако у одного из изученных деревьев, расположенного на границе коренного склона и бровки, значения эксцентриситета выше 0.5 отмечаются 5 раз. Причем повторяющиеся сильные отклики

на подвижки грунта первоначально отмечались на бровке в 1941 г. и 1943 г., а затем в 1942 г. и 1944 г. отмечаются и у пограничного дерева, с максимальным эксцентриситетом – 0.6-0.64, что является выраженным диагностическим признаком активизации оползневых процессов.

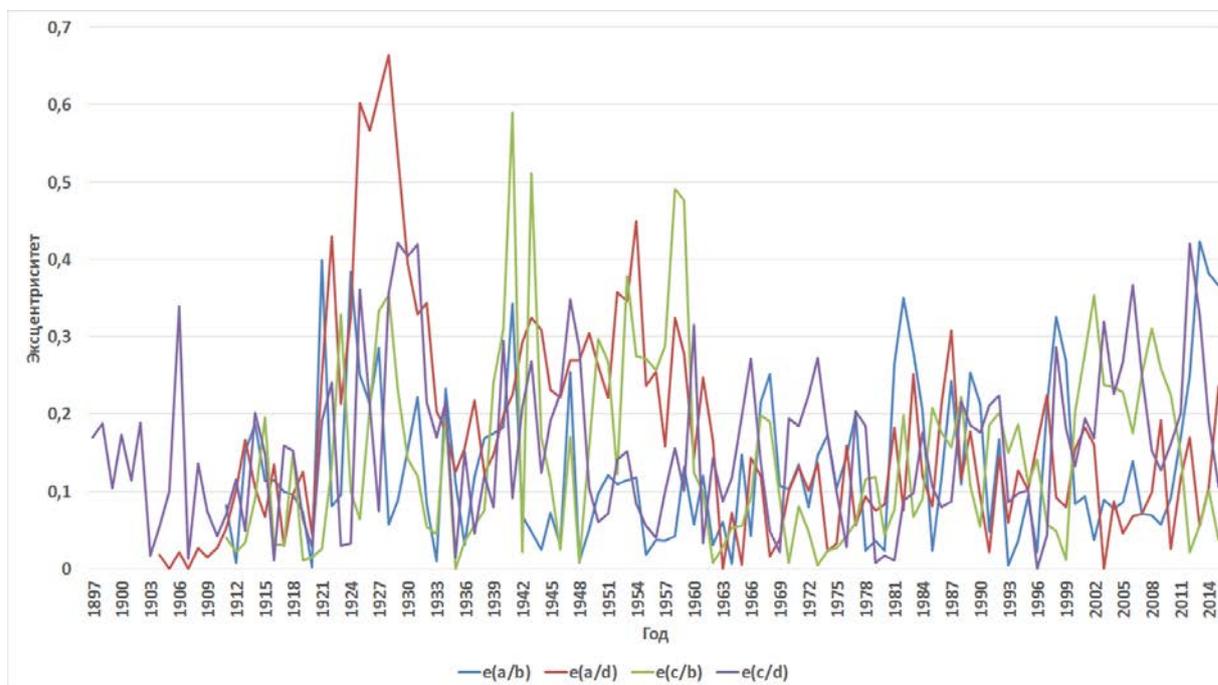


Рис. 3 Эксцентриситет годичных колец *P. sylvestris* (Бровка, «Дачная»)

Бровка оползня закономерно характеризуется большей активностью оползневых процессов. Периоды с асимметричным формированием колец ксилемы встречаются чаще и имеют большую продолжительность. Самая высокая активность оползневых процессов на бровке отмечена в период с 1924 г. по 1929 г. Максимальные значения «*e*» 0.62 в 1924 г. и 0.64 в 1928 г. по радиусам *a/d*. Далее следует период относительной стабильности с очень слабыми ответными сигналами или их отсутствием. После чего отмечен второй период оползневой активности – 1940 по 1944 гг. В целом, последующий период (по 1960 г.) характеризуется меньшей интенсивностью ответных сигналов. С 1984 г. по настоящее время на обоих элементах оползня фиксируется стабилизация оползневых процессов с редкими и единичными проявлениями активности, о чем свидетельствуют значения «*e*» менее 0.25.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты дендргеоморфологического анализа подтверждают ранее высказанные предположения об условной стабильности оползневых склонов, основанные на эколого-ценотической оценке фитоценозов и популя-

ционном анализе разных видов деревьев. В целом можно сказать, что метод дендрохронологического анализа с определением эксцентриситетности роста годичных колец дает более четкую информацию о прошлых грунтовых смещениях и может использоваться для фитоиндикации возраста и активности оползней. Точность определения оползневой активности методом дендргеоморфологии может быть увеличена в ходе дальнейшей работы путем накопления массивов данных для статистического анализа, выявления закономерностей и более точного отсеивания сигналов, не связанных с подвижками грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакин О.В., Рогова Т.В., Ситников А.П. Сосудистые растения Татарстана. Казань: Изд-во КазГУ, 2000. 496 с.
- Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника: Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 168 с.
- Braam R.R., Weiss E.E.J., Burrough P.A. Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology // Catena. 1987. V. 14. P. 573-584.
- Lang A, Moya J, Corominas J, Schrott L, Dikau R. Classic and new dating methods for assessing the

temporal occurrence of mass movements // *Geomorphology*. 1999. V. 30. P. 33-52.

Lopez-Saez J, Corona C, Stoffel M, Schoeneich P, Berger F. Probability maps of landslide reactivation derived from tree-ring records: PraBellon landslide, southern French Alps // *Geomorphology*. 2012. V. 138. P. 189-202.

Pánek T. Recent progress in landslide dating: a global overview // *Progress in Physical Geography*. 2015. V. 39. P. 168-198.

Shroder J.F. Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah // *Quaternary Research*. 1978. V. 9. P. 168-185.

Šilhán K. How different are the results acquired from mathematical and subjective methods in dendrogeomorphology? Insights from landslide movements // *Geomorphology*. 2016. V. 253. P. 189-198.

Šilhán K. Dendrogeomorphic chronologies of landslides: Dating of true slide movements? // *Earth Surface Processes Landforms*. 2017. V. 42. P. 2109-2118.

Stoffel M, Bollschweiler M. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2008. V. 8. P. 187-202.

Stoffel M, Lièvre I, Monbaron M, Perret S. Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Valais, Swiss Alps) – a dendrochronological approach // *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2005. V. 49. P. 89-106.

Wistuba M, Malik I, Wójcicki K, Michalowicz P. Coupling between landslides and eroding stream channels reconstructed from spruce tree rings (examples from the Carpathians and Sudetes – Central Europe) // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2015. V. 40. P. 293-312.