

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission IV  
 Titel der Tagung: Horizonte des Bodens  
 Veranstalter: DBG  
 Termin/Ort der Tagung: 2.-7. September 2017, Göttingen  
 Berichte der DGB: <http://www.dbges.de>

## Chronosequenzielle Entwicklung post-agrarischer Luvisole der Laubwaldzone Russlands: Vegetation, Bodenentwicklung, C-Sequestrierung, C-Pools.

<sup>1</sup>O. Kalinina, <sup>2</sup>S.V.Goryachkin, <sup>4</sup>P. Kuner, <sup>1</sup>J. Küper, <sup>3</sup>I. Kurganova, <sup>3</sup>V. Lopes de Gerenyu, <sup>2</sup>D.I.Lyuri, <sup>4</sup>Y. Kuzyakov, <sup>1</sup>L. Giani

### Zusammenfassung

Postagrarische Veränderungen der Vegetation, Böden, C-Sequestrierung und C-Pools wurden anhand von drei Luvisol-Chronosequenzen entlang des Nord – Mitte – Süden Gradienten der Laubwaldregion Russlands untersucht. Böden und Vegetation entwickelten sich nach der Auffassung in Richtung natürlicher Ausprägung: Luvisol unter Eichenwald mit Krautschicht. Dabei bekam der ehemaligen Ap-Horizont eine neue morphologische und chemische Stratifizierung ähnlich wie in natürlichen Luvisolen. Der Ap-Horizont war nach 120 Jahren durch Farbe, Gefüge und Lagerungsdichte noch erkennbar. C-Vorräte stiegen im Oberboden (5 cm) von 0.8 bis 1.7 kg m<sup>-2</sup> (Norden), von 1.3 bis 1.9 kg m<sup>-2</sup> (Mitte) und von 1.4 bis 2.3 kg m<sup>-2</sup> (Süden). Die C-Akkumulation wurde mit zunehmender Bodentiefe geringer. Die Zunahme des Gesamt-C verlief in signifikant positiver Korrelation mit der C-Akkumulation in aktiven (freie partikuläre organische Material (POM); POM in Aggregaten) und passiven (C in Tonfraktion) C-Pools (g kg<sup>-1</sup>). Durch den Einbau des neuen C nahm das <sup>14</sup>C-Alter des C in der Tonfraktion und in Aggregaten ab. Das deutet darauf hin, dass beide C-Pools (aktiv und passiv) auf die Umnutzung sensitiv reagieren.

<sup>1</sup>CvO Universität Oldenburg, PF 2503, 26111 Oldenburg, Deutschland

<sup>2</sup>Institut für Geographie, Russische Akademie der Wissenschaft, Moskau, Russland

<sup>3</sup>Institut für Bodenwissenschaften, Russische Akademie der Wissenschaften, Pushchino, Russland

<sup>4</sup>Georg-August-Universität Göttingen, 37077 Göttingen

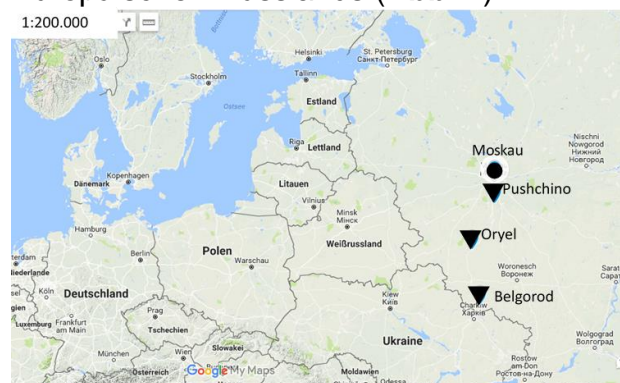
## Luvisol, Chronosequenze, Pflanzensukzession, Bodenentwicklung, C-Sequestrierung, C-Pools

### Einleitung

Russland besitzt den größten Anteil (ca. 580.000 km<sup>2</sup>) aufgelassener Ackerflächen, davon sind Luvisole stark betroffen (Lyuri et al, 2010; Kurganova et al., 2014). Im großen Teil werden die aufgelassene landwirtschaftliche Flächen sich selbst überlassen. Sie gehen in die Sukzession der natürlichen Ausprägung (Restaurierung). In postagrarischen Luvisolen wurde Pflanzensukzession, Bodeneigenschaften, C-Sequestrierung und C-Pools anhand von drei Chronosequenzen untersucht.

### Material

Das Klima der Laubwaldregion ist mäßig kontinental mit Jahresmitteltemperaturen von +5.4 - +6.0 °C; die Niederschläge sind ca. 570 mm im Jahr (Karelin et al., 2017). Die Chronosequenzen repräsentieren den nördlichen, mittleren und südlichen Abschnitt der Laubwaldregion im Europäischen Russlands (**Abb. 1**).



Verändert nach: Google My Maps

**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet (Google My Maps)

Die Angaben zu Chronosequenzen sind in Tabelle 1. Als Referenzen dienen aktuelle Ackerstandorte und nie agrarisch genutzte Waldböden. Die Chronosequenzen im Norden und im Süden zeigen anthropogene Einflüsse mit Mahd. Mit Ausnahme eines Standortes (Mitte 120 Jahre sandig-lehmige Schluff) sind die Böden als toniger Schluff charakterisiert.

### Methoden

Die bodenkundliche Standard-Analytik wurde nach Blume et. al. (2011) durchgeführt. Der C-N-Gehalte wurden mittels C/N/S Analysator (CHNS-Analyser Flash EA) bestimmt. Für die C-Modellierung

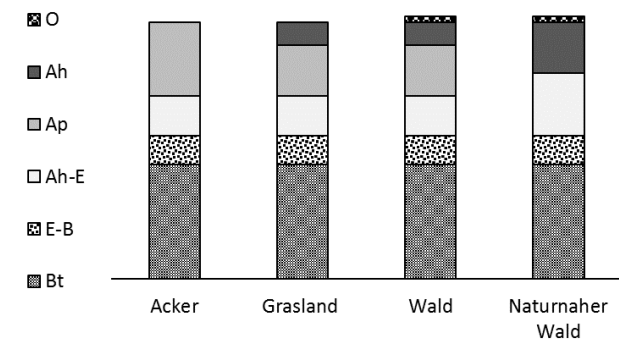
wurde das ROMUL\_Hum Modell angewendet (Komarov et al. 2017). Fraktionen der aktiven und passiven C-Pools wurde mittels Dichtefraktionierung nach Steffens et al., (2009) isoliert. Für zwei Fraktionen (C in Aggregaten und C in Ton) wurde <sup>14</sup>C Radiocarbon AMS Analyse (CAIS 0.5 MeV) durchgeführt.

**Tab. 1:** Lage und Korngrößenzusammensetzung den Standorten in Chronosequenzen.

| Standorte in Chronosequenzen | Koordinaten |           | Korngröße |           |       |
|------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------|
|                              | N           | E         | 63 µm     | 63 - 2 µm | <2 µm |
| %                            |             |           |           |           |       |
| <b>Norden-Pushchino</b>      |             |           |           |           |       |
| Acker                        | 54°49'43"   | 37°34'07" | 3.0       | 77.0      | 20.0  |
| 9 Jahre                      | 54°49'43"   | 37°34'08" | 2.7       | 77.4      | 19.8  |
| 13 Jahre                     | 54°49'44"   | 37°34'06" | nd        |           | nd    |
| 22 Jahre                     | 54°49'54"   | 37°33'40" | 3.2       | 76.1      | 20.7  |
| 37 Jahre                     | 54°50'06"   | 37°34'32" | 6.7       | 75.5      | 17.8  |
| Naturnaher Wald              | 54°50'05"   | 37°34'22" | 5.9       | 72.3      | 21.8  |
| <b>Mitte-Oryel</b>           |             |           |           |           |       |
| Acker                        | 52°54'50"   | 35°23'38" | 15.2      | 70.7      | 14.1  |
| 13 Jahre                     | 52°58'52"   | 35°15'06" | 1.0       | 86.6      | 13.0  |
| 66 Jahre                     | 52°52'28"   | 35°53'03" | 0.3       | 86.6      | 13.7  |
| 120 Jahre                    | 52°55'25"   | 35°19'53" | 35.0      | 49.5      | 15.5  |
| <b>Süden-Belgorod</b>        |             |           |           |           |       |
| Acker                        | 50°37'57"   | 35°58'52" | 8.2       | 66.3      | 25.5  |
| 12 Jahre                     | 50°35'53"   | 35°57'59" | 27.0      | 60.6      | 12.4  |
| 32 Jahre                     | 50°36'04"   | 35°57'56" | 20.1      | 64.9      | 14.9  |
| 42 Jahre                     | 50°36'33"   | 35°58'01" | 12.0      | 70.7      | 17.3  |
| Naturnaher Wald              | 50°37'56"   | 35°58'48" | 7.4       | 71.1      | 21.5  |

## Ergebnisse und Diskussion

Die Pflanzensukzession entwickelte sich in die Richtung der Klimax Vegetation - Eichenwald mit Krautschicht. Der Übergang vom Grasstadium zum Eichenwald entwickelte sich über Birken (Norden und Mitte) oder über Esche (Süden).

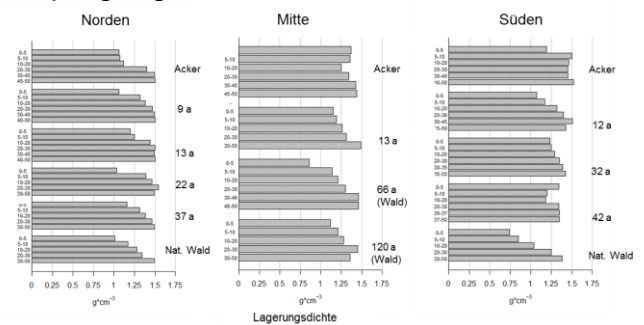


|       | Postagrarischen Phasen |                |               |         |
|-------|------------------------|----------------|---------------|---------|
|       | Norden                 | 0              | 9 - 22 - 37 a |         |
| Mitte | 0                      | 13 a           | 66 - 120 a    | > 65 a  |
| Süden | 0                      | 12 - 32 - 42 a |               | > 100 a |

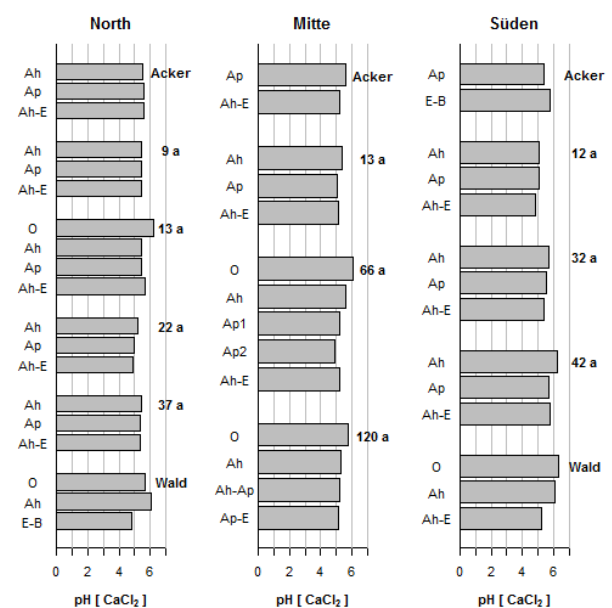
**Abb. 2:** Schema der Bodenentwicklung und Dauer der Sukzessionsstadien in Chronosequenzen. Horizonten nach WRB (2014)

Profilmorphologisch bildeten sich stark durchwurzelte Ah-Horizonte unter Grasvegetation und ein mullartiger O-Horizont unter der Waldvegetation (Abb. 1). Die Pflugsohle war nicht deutlich ausgeprägt, allerdings war der Ap-Horizont

durch Farbe, Gefüge und Lagerungsdichte nach 120 Jahren Auflassung noch gut erkennbar. Das Bodengefüge entwickelte sich schnell von blockartigen Strukturen zu einem Krümelgefüge. Die Lagerungsdichte änderte sich nicht wesentlich während des Wiesestadiums; Auflockerung und Stratifizierung kam erst mit Waldentwicklung nach 66 Jahren (Mitte) (Abb. 3). Die pH-Werte (CaCl<sub>2</sub>) änderten sich mit 5.5-6.0 nicht wesentlich im Verlauf der Restaurierung (Abb. 4); jedoch stellten sich eine Zunahme im Ah-Horizont und eine Abnahme im unteren Ap-Bereich bei auftretender Waldvegetation (Mitte 66 Jahre) ein. Die Entwicklung einer vertikalen Stratifizierung in Ap-Horizonten ähnlich wie in natürlichen Luvisolen und die Wiederherstellung der natürlichen Eigenschaften zeigte eine Bodenentwicklung in Richtung natürlicher Ausprägung.



**Abb. 3:** Lagerungsdichte im Oberboden (0-30 cm)



**Abb. 4:** pH-Werte (CaCl<sub>2</sub>) im Oberbodenhorizonten.

Eine Stratifizierung wurde auch bezüglich C-Verteilung festgestellt, die durch C-Akkumulation im neuen Ah-Horizont und im

mullartigen O-Horizont charakteristisch war (Abb. 5). Durch die C-Anreicherung war der Oberboden mit Nährstoffen angereichert. Die Anreicherung von pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium mit zunehmender Restaurierung ist am Beispiel der Nord-Chronosequenz gezeigt (Abb. 6). Eine vorherige Düngung hatte einen erhöhten P-Gehalt im Standort 37 Jahre zur Folge.

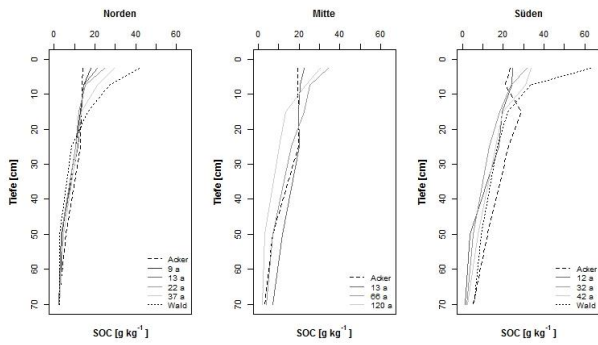


Abb. 5: Vertikale C-Verteilung in den Chronosequenzen.

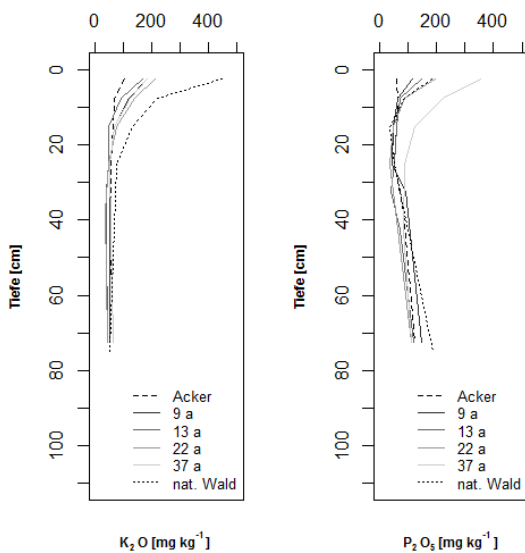


Abb. 6: Vertikale Verteilung der pflanzenverfügbaren P und K in Norden-Chronosequenz.

Restaurierung führte zur Wiederherstellung der natürlichen C-Vorräte und hatte eine Zunahme der C-Vorräte zur Folge (Abb. 7). C-Vorräte stiegen im Oberboden (5 cm) von 0.8 bis 1.7 kg m<sup>-2</sup> (Nord), von 1.3 bis 1.9 kg m<sup>-2</sup> (Mitte) und von 1.4 bis 2.3 kg m<sup>-2</sup> (Süd). Die C-Zunahmen wurden mit zunehmender Bodentiefe geringer und ab 20-30 cm durch die Standortsunterschiede nivelliert. Die C-Modellierung ergab eine C-Zunahme im Norden und eine unveränderte C-Dynamik in der Mitte (Abb. 8). Für den Süden wurde die C-Dynamik für drei

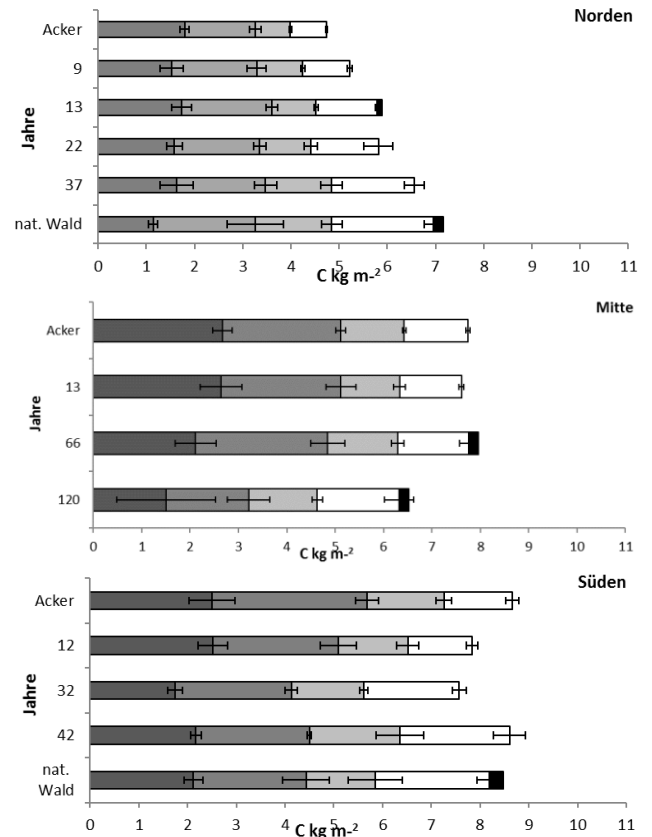
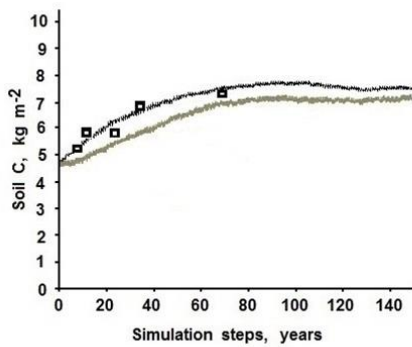


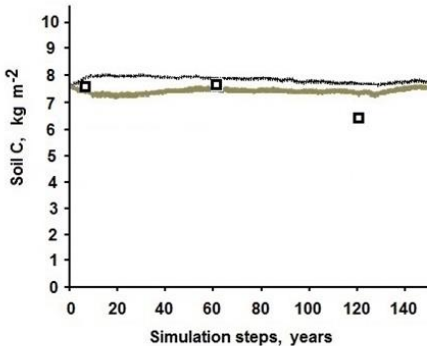
Abb. 7: C-Vorräte im Auflagehorizont (■) und im Oberboden 0 – 5 cm (□), 5 - 10 cm (▨); 10 – 20 cm (▩); 20-30 cm (▧).

unterschiedlich degradierte Ackerstandorte modelliert. Die Modellierung ergab eine C-Zunahme für degradierten Ackerstandort und eine C-Abnahme für humusreichen Acker. Demzufolge war die C-Dynamik im engen Zusammenhang mit dem initialen C-Vorrat im Acker. Entsprechend der Modellierung wirkte die Mahdnutzung negativ auf die C-Akkumulation. Nach ca. 150 Jahren wurden die vergleichbar mit dem quasi natürlichen Zustand C-Vorräte erreicht. Diese Zeit entspricht der Dauer der Pflanzensukzession bis zum voll entwickelten Wald.

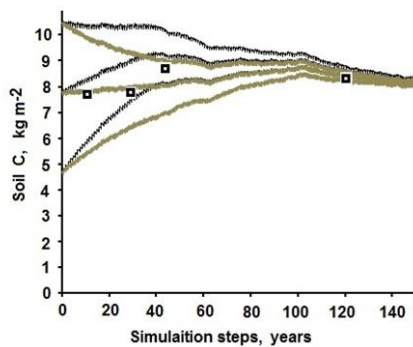
Kohlenstoff wurde überwiegend in Ton (34 – 60% von Gesamt-C) und in Aggregaten (14 – 38% von Gesamt-C) sequestriert (Tab. 2). Die C-Sequestration war durch die Pflanzensukzession beeinflusst. Die Waldvegetation förderte eine C-Sequestrierung in aktiven C-Pools (POM in Aggregaten). Während der Restaurierung wurde eine C-Anreicherung in Tonfraktion und in Aggregaten festgestellt die in einer signifikant positiven Korrelation zum Gesamt-C verlief ( $R^2=0.90-0.98$ ,  $p<0.05$ ).



Norden



Mitte



Süden

**Abb. 8:** Modellierung der C-Dynamik ( $\text{kg C m}^{-2}$ ) für Oberböden (30 cm). C-Vorräte ohne Mahdphase ( — ), C-Vorräte mit Mahdphase ( — ); Tatsächlich gemessene C-Vorräte ( □ ).

**Tab. 2:** C-Gehalt im Oberboden (0-5 cm), C-Gehalt und  $^{14}\text{C}$  Alter in Fraktionen während der Restaurierung.

| Chronosequenzen | Gesamt-C           | C-Fraktion         |                    | C-Fraktion            |                    |       |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------|
|                 |                    | Freie POM          | Aggregate POM      | $^{14}\text{C}$ Alter | C-Ton              |       |
|                 | $\text{g kg}^{-1}$ | $\text{g kg}^{-1}$ | $\text{g kg}^{-1}$ | Jahre                 | $\text{g kg}^{-1}$ | Jahre |
| <b>Norden</b>   |                    |                    |                    |                       |                    |       |
| Acker           | 13.6               | 1.1                | 1.9                | 1200                  | 8.1                | 2660  |
| 9 Jahre         | 15.0               | 1.0                | 2.7                | nb                    | 8.1                | nb    |
| 22 Jahre        | 22.4               | 2.2                | 3.9                | <200                  | 11.7               | 750   |
| 37 Jahre        | 25.3               | 3.0                | 5.9                | <200                  | 11.7               | 450   |
| Nat. Wald       | 35.6               | 2.9                | 7.0                | <200                  | 17.3               | <200  |
| <b>Mitte</b>    |                    |                    |                    |                       |                    |       |
| Acker           | 17.3               | 2.3                | 3.2                |                       | 10.3               | 1670  |
| 13 Jahre        | 18.5               | 2.1                | 4.7                | 720                   | 10.0               | nb    |
| 66 (Wald)       | 28.1               | 3.0                | 11.1               | <200                  | 11.5               | 320   |
| 120 (Wald)      | 23.1               | 2.9                | 8.6                | nb                    | 10.0               | nb    |
| <b>Süden</b>    |                    |                    |                    |                       |                    |       |
| Acker           | 18.0               | 1.9                | 2.9                | 600                   | 11.1               | 1680  |
| 12 Jahre        | 18.3               | 3.4                | 3.3                | nb                    | 9.2                | nb    |
| 32 Jahre        | 28.8               | 4.1                | 7.9                | <200                  | 11.8               | 310   |
| 42 Jahre        | 32.2               | 3.7                | 8.4                | <200                  | 14.2               | 390   |
| Nat. Wald       | 50.3               | 5.0                | 22.5               | <200                  | 17.2               | 370   |

POM - partikuläres organisches Material  
nb – nicht bestimmt

Eine Ausnahme bildete die Mitte-Chronosequenz aufgrund des Körnungseffektes. Trotz der C-Zunahme in Fraktionen, war die natürliche C-Verteilung am Ende der Norden- und Süden-Chronosequenzen nicht erreicht. Durch den Einbau von neuem C nahm das durchschnittliche  $^{14}\text{C}$ -Alter des C in aktiven (POM in Aggregaten) und passiven (C in Tonfraktion) Pools während der Restaurierung ab.

### Schlussfolgerung

Während der postagrarischen Restaurierung entwickelten sich die Böden und die Vegetation in Richtung natürlicher Ausprägung: Luvisol unter Eichenwald mit Krautschicht. Die Restaurierung der Böden hatte eine C-Akkumulation in aktiven als auch in passiven C-Pools zur Folge. Allerdings war die komplette Restaurierung sogar nach 120 Jahren nicht sichtbar, was darauf hindeutet, dass die postagrarische Restaurierung ein sehr langer Prozess ist.

### Literature

- Blume, H-P., Stahr, K., Leinweber, P., 2011. Bodenkundliches Praktikum. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Karelin, D. V., Goryachkin, S. V., Kudikov, A. V., Lopes de Gerenyu, V. O., Lunina, V. N., Dolgikh, A. V., Lyuri D. I., 2017. Changes in Carbon Pool and CO<sub>2</sub> Emission in the Course of Postagrogenic Succession on Gray Soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. Eurasian Soil Science. 50 (5), 559–572.
- Komarov, A., Chertov, O., Bykhovets, S., Shaw, C., Nadporozhskaya, M., Frolov, P., Shashkov, M., Shanin, V., Grabarnik, P., Pripulina, I., Zubkova, E. 2017. Romul\_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing. Ecological Modelling 345, 113–124.
- Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Six, J., Kuzyakov, Y., 2014. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. Global Change Biology. 20, 938 - 947. Doi: 10.1111/gcb.12379

Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A.,  
Denisenko E.A., Nefedova T.G., 2010.  
Dynamics of agricultural lands of Russia  
in XX century and postagrogenic  
restoration of vegetation and soils. Geos,  
Moscow. 420 p. (in Russian)  
Steffens, M., Kölbl, A., Kögel-Knabner, I.,  
2009. Alteration of soil organic matter

pools and aggregations in semiarid  
steppe topsoils as driven by OM input.  
European Journal of Soil Science. 60(2),  
198–212.

**Die Projekt wurde durch die Deutsche  
Forschungsgemeinschaft (GI 171/27-1)  
gefördert.**