

## Микроэлементный состав флювиогляциальных песков как фактор повышенного фиторазнообразия в полесских ландшафтах

© 2021. О. В. Шопина, магистрант, Н. Г. Кадетов, н. с.,  
И. Н. Семенов, к. г. н., с. н. с.,  
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,  
e-mail: olashopina@gmail.com

В ходе изучения восстановления растительного покрова на пройденных пожаром 2010 г. территориях Керженского заповедника (Заволжская часть Нижегородской области), в пределах эолово-водноледниковых ландшафтов обнаружены ложбины, осложнённые котловинами выдувания и всхолмлениями, занятые сообществами с участием липы и осины с повышенным фиторазнообразием. В одной из таких флювиогляциальных ложбин, в 2017 г. проведены почвенно-геоботанические исследования. Изученные дерново-подзолы отличаются от аналогичных песчаных почв северной части Евразии повышенным содержанием микроэлементов (в гумусовом горизонте в среднем содержится 1,2% Fe; 0,2% Ca; 0,7% K; 0,07% Mg; 0,03% P; 1500 мг/кг Mn; 27 мг/кг Co; 30 мг/кг Cu), что и определило повышенное флористическое разнообразие. Это подтверждается наличием *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova et V. Tichomirov, *Equisetum hyemale* L., *Trifolium montanum* L., требовательных к плодородию почв.

**Ключевые слова:** микроэлементы, подзол, фиторазнообразие, полесье, Заволжье, пожары.

## Microelemental composition of fluvioglacial sands as a factor of increased phytodiversity in the polissya landscapes

© 2021. O. V. Shopina ORCID: 0000-0001-7094-7230, N. G. Kadetov ORCID: 0000-0002-1214-5608,  
I. N. Semenov ORCID: 0000-0003-4309-2809,  
Lomonosov Moscow State University,  
1, Leninskie gory, Moscow, Russia, 119991,  
e-mail: olashopina@gmail.com

To determine the reasons for the presence of area with increased phytodiversity and resistance to fires within the Kerzhensky Reserve (Russia), field works were carried out to analyse the characteristics of the flora and soils. Within the study area (less than 4.7 km<sup>2</sup>) 169 species of vascular plants (26% of the whole reserve flora and 69% of the species found in places burnt in 2010) were found including rare species for Zavolzhie: *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova et V. Tichomirov, *Equisetum hyemale* L., *Trifolium montanum* L. et al. In the study area, the share of eutrophs and xerophytes is 10 and 5% more than in the burnt area. The share of hygrophytes is 10% less. The high levels of phytodiversity and resistance to fires allow us to consider the studied area as a refuge in the period of fires and a source of subsequent spreading of species. The Podzols of the studied area (13 pits) are characterized by common pH values, particle size and humus distribution, with the 1.5 to 2 times elevated content of microelements. According to the content in the A-horizon ( $n = 13$ ), microelements form a range: Zn (90–118 mg/kg) > Sr (82–101) > Ni (45). On the biogeochemical barrier in the A-horizon, Mn, Fe, Mg, As, Ca, P, Ti, Al, and K accumulate. In subordinate landscapes, Fe, Mn, Al, K, and As accumulate; Co and Cu dissipate. The content of Ca, K, Mg, P, Si, and Ti is similar in autonomous and subordinate landscapes. The high content of microelements results in the increased phytodiversity of the study area.

**Keywords:** microelements, Podzols, phytodiversity, Zavolzhie, fires.

Положение Керженского заповедника в центре песчаной Волжско-Ветлужской низины определяет исключительно полесский характер ландшафтов [1]. В полесьях Восточно-Европейской равнины преобладают подзолы

и дерново-подзолы, а на переувлажнённых участках – торфяные почвы. Преобладание фульватного гумуса и кислая реакция среды на фоне песчаного состава пород и почв обеспечивает повышенный потенциал миграции

и при отсутствии ёмких геохимических барьеров – обеднение субстрата элементами питания. За счёт этого подзолы выделяются среди остальных почв минимальными уровнями содержания микроэлементов. Исследование элементного состава подзолов актуально, так как для оценки уровня загрязнения районов с наихудшей экологической обстановкой востока г. Москвы в качестве фона используют именно ландшафты Полесий [2–5]. Важность правильного выбора фонового участка для сравнения позволяет избежать ошибочного отнесения территории к загрязнённой или экологически благоприятной [6].

В Заволжском Полесье леса катастрофически горят с периодичностью 30–40 лет. После одного из таких пожаров 2010 г. обнаружилась протяжённая ложбина, осложнённая котловинами выдувания и всхолмлениями, занятые комплексом сообществ с участием *Tilia cordata* Mill. и *Populus tremula* L. с повышенным фиторазнообразием [7]. Отличительные черты этого комплекса – значительная сохранность состава и структуры сообществ; высокая фитоценотическая роль широколиственных и «южноборовых» видов; большое число охраняемых и редких видов [8]: *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova et V. Tichomirov, *Equisetum hyemale* L. и *Trifolium montanum* L., которые требовательны к плодородию почв и тяготеют к карбонатным породам. Обнаруженное местообитание *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., включённого в Красную книгу России, является вторым в заповеднике и Нижегородской области [9]. Установление причин формирования здесь липово-сосновых лесов и повышенного флористического богатства важно для совершенствования подходов к сохранению биоразнообразия и понимания эволюции местного растительного покрова.

Цель работы – выявить особенности почвенно-геохимических условий Полесий Керженского заповедника, определивших повышенное фиторазнообразие.

### Материал и методы исследований

В 2017 г. на водоразделе рек Большая Чёрная и Пугай исследована флювиогляциальная ложбина и прилегающее к ней водораздельное пространство (рис. 1, см. цв. вкладку): два на фоновой территории в окрестностях ложбины (с сохранившейся после пожаров растительностью и полностью выгоревшей)

и два в пределах ложбины на всхолмлениях и котловинах выдувания. Территорию слагают флювиогляциальные пески, подстилаемые моренными суглинками. На негоревших в 2010 г. территориях растительность представлена сосново-(осиново)-берёзовыми (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *B. alba* L.) лесами, а на выгоревших участках – подростом берёзы. Почвы всех обследованных мест представлены дерново-подзолами.

На каждом участке проводили геоботанические описания по стандартной методике [10], закладывали разрез с опробованием почв. Кроме того, выполняли маршрутные флористические наблюдения. Образцы почв ( $n = 57$ ) отделяли от корней, растирали и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм. Величину pH определяли на приборе «Эксперт-01» в суспензии при помешивании (соотношение почва:вода составило 1:2,5), содержание органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) – титриметрически по И.В. Тюрину с фенилантраниловой кислотой; гранулометрический состав – дифрактометрически в образцах, обработанных 4% раствором  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , на приборе «Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus»; валовое содержание элементов – рентген-флуоресцентным методом на приборе «Спектроскан Макс – GV» (нижний порог обнаружения Ni – 10, Cr – 83, Zn – 10, Pb – 8, Sr – 50 мг/кг). Рассчитывали коэффициент радиальной дифференциации  $R$  (отношение содержания элемента в горизонте к его содержанию в породе), проводили  $t$ -тест различий среднего для почв разных групп.

### Результаты и обсуждение

**Геохимические особенности почв.** В песчаных дерново-подзолах заповедника преобладает средний песок (табл.). В горизонте ВF почв котловин выдувания увеличивается содержание фракций пыли и ила (перераспределение мелкой пыли наиболее контрастно).

Кислотность максимальна в почвах фоновых участков с сохранившейся после пожаров растительностью. Минимальные значения pH здесь могут быть связаны с некомпенсированным выносом оснований в кислой среде дерново-подзолов. Кислотность минимальна в почвах выгоревших участков котловины в пределах ложбины и фоновых участков за счёт сгорания растительности и поступления оснований (прежде всего, соединений калия) [11].

Содержание  $C_{\text{орг}}$  максимально в почвах котловин в пределах ложбины (табл.), что,

Таблица / Table

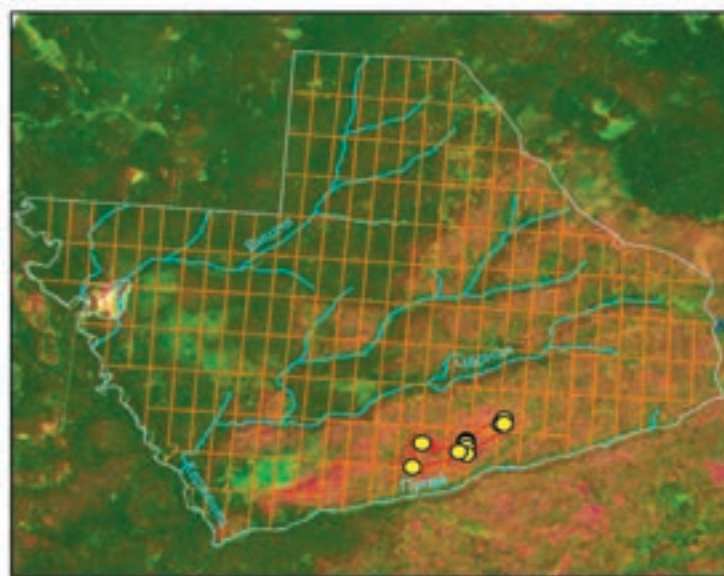
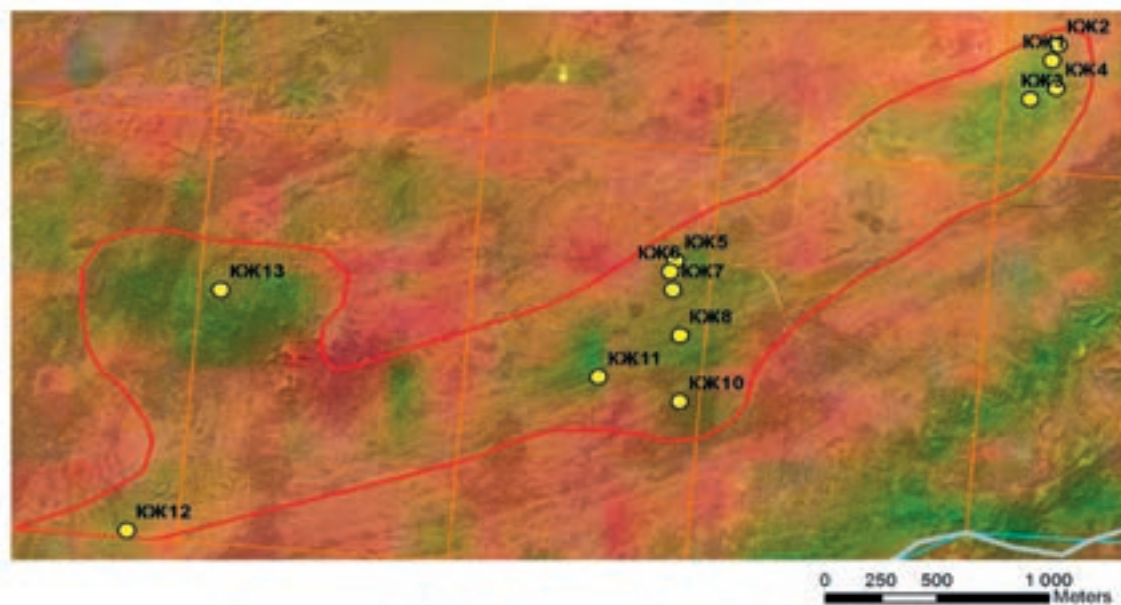
Распределение гранулометрических фракций, C<sub>орг.</sub> (%), химических элементов (%) и величины рН (ед.) в дерново-подзолах Керженского заповедника  
Distribution of granulometric fractions, total organic carbon (TOC) (%), chemical elements (%) and pH (units) in Podzols of Kerzhensky natural reserve

Горизонт Horiz- zon	Гранулометрический состав (мм) Granulometric fractions (mm)			pH	C <sub>орг.</sub> TOC	Ti	Fe	Ca	Al	P	K	Mg	Mn*	Co*	Cu*				
	1- 0,5	0,25- 0,05	0,05- 0,005													0,01- 0,005	0,005- 0,001	< 0,001	
Фоновый участок под лесной растительностью / Unburned background forest																			
AY	3,8/14	19,6/84	18,8/67	18,8/41	11,9/32	20,7/77	5,9/101	4,9/6	<b>1,45/38</b>	0,16/5	1,06/61	<b>0,25/25</b>	1,7/10	0,03/36	0,67/10	0,06/35	<b>1385/88</b>	31/19	33/21
E	4,8/92	<b>23,6/91</b>	17,8/60	<b>25,3/92</b>	12,2/49	13,8/44	2,5/39	5/8	0,61/100	0,18/16	0,77/24	0,17/11	1,7/13	0,02/13	0,69/15	0,05/77	830/37	<b>32/18</b>	31/17
BF	5,1/92	23/91	<b>19,7/48</b>	10,4/94	12,3/67	23,7/63	5,8/57	5,4/5	0,29/88	0,15/38	0,58/21	0,17/15	<b>2,4/22</b>	<b>0,04/49</b>	0,77/15	<b>0,11/38</b>	221/32	28/8	33/28
C	<b>6,2/142</b>	20,3/102	18/62	7,1/97	7,9/104	18,5/96	5,3/111	5,5/5	0,08/75	0,09/18	0,37/16	0,14/11	1,5/11	0,01/52	0,55/9	0,05/49	134/33	30/9	34/8
D	0/-	0,3/-	9/-	15,2/-	20,4/-	44,4/-	10,6/-	4,7/-	0,12/-	<b>0,24/-</b>	<b>1,26/-</b>	0,22/-	3,7/-	0,01/-	<b>0,96/-</b>	0,25/-	252/-	24/-	43/-
Выгоревший фоновый участок / Burned background area																			
AY	3,1/91	34,9/20	<b>28,2/7</b>	13,9/25	8,4/17	9,5/23	1,8/27	5/4	<b>1,08/28</b>	0,14/46	<b>1,18/39</b>	0,2/4	<b>1,9/23</b>	<b>0,04/44</b>	<b>0,61/2</b>	<b>0,08/6</b>	<b>1474/43</b>	24/13	26/7
E	7,1/2	39,4/5	15,9/15	8,4/2	10,3/3	15,6/1	3,3/8	5,4/2	0,28/23	<b>0,15/65</b>	0,79/1	0,15/15	1,9/40	0,03/34	0,61/31	0,07/105	690/54	28/15	32/-
BF	4,2/130	28,1/6	13,8/2	<b>19,2/38</b>	<b>13,2/33</b>	<b>25,2/1</b>	<b>6,5/21</b>	<b>5,7/0</b>	0,09/21	0,11/44	0,4/39	0,14/26	1,6/35	0,02/37	0,56/25	0,06/52	106/36	<b>28/18</b>	<b>33/16</b>
C	<b>10,2/105</b>	33,1/1	20,3/91	5,9/118	8,1/100	17,1/70	4,8/52	5,5/5	0,03/135	0,08/44	0,39/4	0,14/8	1,5/1	0,03/61	0,54/16	0,05/40	125/8	26/9	29/8
Котловины ложбины / Craters in the hollow																			
AY	5/92	33,9/13	<b>28/19</b>	14,5/20	8,3/11	8,8/13	1,6/18	5/10	<b>1,32/9</b>	0,21/29	1,44/64	<b>0,29/23</b>	2,0/13	0,04/22	0,81/13	0,07/63	<b>2079/82</b>	27/9	29/14
E	8,3/45	39,8/9	20,6/17	8,2/20	8,9/16	11,8/13	2,3/15	5,1/9	0,27/21	0,19/28	0,72/65	0,18/22	1,8/24	0,02/71	0,73/13	0,05/53	800/85	24/18	14/71
BHF	6,6/-	35,6/-	17,5/-	10,1/-	10,1/-	16,7/-	3,4/-	5/-	0,7/-	0,31/-	1,14/-	0,23/-	4,4/-	<b>0,06/-</b>	1,07/-	0,21/-	254/-	34/-	44/-
BF	4,8/86	27,4/16	13,8/17	5,2/49	10,3/12	<b>30,8/16</b>	7,6/18	<b>5,7/0</b>	0,08/81	0,1/57	0,41/8	0,21/10	1,6/18	0,02/3	0,59/11	0,07/22	254/20	28/12	23/3
C	<b>9,2/112</b>	35,9/13	27/18	7,3/90	4,6/86	11,8/62	3,7/73	5,3/9	0,07/64	0,12/79	0,48/56	0,17/31	2,1/51	0,02/63	0,69/43	0,09/75	254/41	28/14	29/7
D	1/173	13/110	17,8/10	<b>22,6/42</b>	<b>11,1/19</b>	26,5/18	8/24	4,5/9	0,16/43	<b>0,48/23</b>	<b>2,33/28</b>	0,31/8	<b>6,0/21</b>	0,02/13	<b>1,52/13</b>	<b>0,46/18</b>	254/16	30/15	<b>58/6</b>
Всхолмления ложбины / Uplands in the hollow																			
AY	8,2/64	<b>35,9/8</b>	24,2/37	11,2/28	7,1/53	10,6/85	2,6/10	5/5	1,33/30	<b>0,2/39</b>	<b>0,83/34</b>	<b>0,27/40</b>	1,9/28	0,03/25	<b>0,75/26</b>	0,06/98	<b>843/52</b>	<b>30/16</b>	31/11
E	13/91	27,5/87	26/17	<b>11,9/111</b>	8,4/125	10,7/116	2/107	5,3/2	0,3/53	0,11/77	0,57/74	0,14/84	1,3/70	0,02/72	0,53/69	0,04/128	601/75	20/68	19/70
BF	16,8/71	31,1/66	<b>26,4/4</b>	8,1/148	6,3/139	8,6/108	1,7/97	5,4/3	0,15/44	0,12/29	0,54/26	0,17/18	<b>2,2/17</b>	<b>0,04/19</b>	0,71/10	<b>0,08/44</b>	228/52	30/11	<b>43/4</b>
C	<b>18,5/88</b>	27,8/84	21,9/19	6,3/148	<b>7,9/158</b>	<b>13/146</b>	<b>2,8/137</b>	<b>5,7/2</b>	0,06/48	0,08/41	0,34/19	0,2/55	1,5/17	0,02/51	0,6/12	0,06/63	114/31	26/13	36/18

Примечание: слева от черты – среднее значение, справа – коэффициент вариации, %. Поужирный – максимальные содержания в разрезе, курсив – минимальные содержания, прочерк – отсутствие информации для единичных измерений, \* – мг/кг.

Note: Left from the line – mean, right – coefficient of variance, %. In bold – maximum content, italics – minimum, dash – not available for single measurement; \* – mg/kg.

**О. В. Шопина, Н. Г. Кадетов, И. Н. Семенов**  
**«Микроэлементный состав флювиогляциальных песков**  
**как фактор повышенного фиторазнообразия**  
**в полесских ландшафтах». С. 154.**



Легенда / Legend

— Сетка квадратов / Square grid  
— Реки / Rivers

0 2 500 5 000 10 000  
Meters

— Исследуемый участок / Research site  
● Почвенные разрезы / Soil pits

**Рис. 1.** Расположение исследованного участка (красный контур), жёлтые точки – почвенные разрезы  
**Fig. 1.** Location of the study area (red line), yellow dots are cross-sections

вероятно, связано с большим количеством травянистого опада, и минимально в почвах выгоревшего фонового участка в связи с минерализацией органического вещества при высоких температурах [12–15].

Изученные дерново-подзолы обогащены микроэлементами относительно фоновых почв тайги на песчаных отложениях [16]. Особенно высокие уровни характерны для почв котловин в пределах ложбины, что может увеличивать фиторазнообразие за счёт видов, требовательных к качеству среды обитания.

По латеральному распределению элементы образуют 3 группы. Fe, Mn, Al, K, As, накапливающиеся в подчинённых ландшафтах, хорошо мигрируют и могут аккумулироваться на латеральном биогеохимическом барьере. Содержание Co и Cu повышено в автономных ландшафтах по сравнению с подчинёнными за счёт их интенсивного выноса в гидроморфных условиях. Ca, K, Mg, P, Si и Ti имеют сходное содержание в автономном и подчинённом ландшафте: Ti и Si за счёт слабой подвижности, а Ca, P, K и Mg – из-за выноса «избытков» соединений, постоянное остаточное количество которых поддерживается привнесом в почву с растительным опадом [16]. По особенностям радиальной дифференциации (подстрочный индекс – значения  $R$ ) выделяются  $Mn_{14,7}$ ,  $Fe_{4,1}$ ,  $Mg_{2,8}$ ,  $As_{2,0}$ ,  $Ca_{1,9}$ ,  $P_{1,8}$ ,  $Ti_{1,4}$ ,  $Al_{1,3}$ ,  $K_{1,2}$ , накапливающиеся на биогеохимическом барьере гумусового (АУ) горизонта. Малоподвижный  $Si_{1,0}$  распределён равномерно (рис. 2).

В детектируемых количествах Cr, Ni, Zn, Pb и Sr обнаружены в подстилающих породах (Cr – 120, Ni – 46–65, Pb – 25, Sr – 112, Zn – 84 мг/кг), так как суглинки обогащены микроэлементами по сравнению с песками. Элементы ярко выраженного биогенеза [17] обнаружены в горизонте АУ отдельных разрезов: Ni – 45, Zn – 90–118 мг/кг. Sr присутствует в значимых количествах (82–101 мг/кг) только в почвах ложбины, куда, вероятно поступает с латеральными потоками вещества.

В горизонте АУ изученных почв среднее содержание Mn, Co и Cu превосходит в 1,5; 4,0 и 1,5 раза соответственно типичные уровни по дерново-подзолам полесских ландшафтов Восточной Европы [16]. Содержание Ni, Pb и Zn в горизонте АУ превышает содержание в почвах Украинского полесья [18], а Mn, Sr, Cr, Pb, Cu и Ni – Белорусского полесья [19], что, вероятно, является одной из причин повышенного фиторазнообразия в рамках анализируемых сообществ Керженского заповедника.

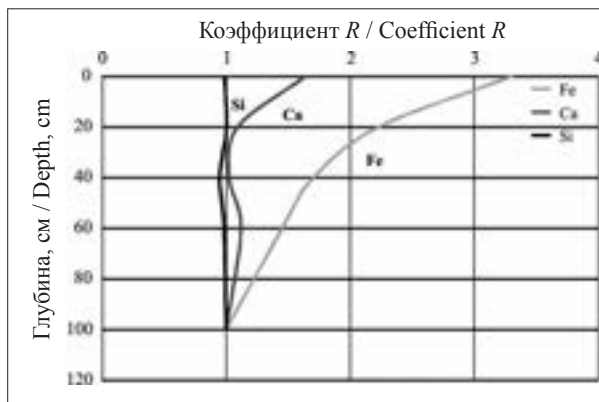


Рис. 2. Радиальное распределение Fe, Ca и Si в дерново-подзолах в значениях коэффициента  $R$   
 Fig. 2. Vertical distribution Fe, Ca and Si in Podzols (normalized to the content in the C-horizon)

**Особенности растительного покрова.**

Данные по почвам согласуются с проведённым анализом растительного покрова. Нами встречено 169 видов *Tracheophyta* из 51 семейства, что составляет 26% видов флоры заповедника в целом и 69% видов, встреченных на выгоревших в 2010 г. территориях. При этом исследуемый участок, занимая менее 1% площади заповедника, не отличается большим разнообразием местообитаний [7], что позволяет связать высокое флористическое богатство с уникальностью эдафических условий, например, повышенным содержанием микроэлементов, при сбалансированном уровне которых увеличивается устойчивость фитоценоза к негативным факторам среды: вредителям и пожарам [17]. На выгоревших в 2010 г. территориях относительно изученного участка меньше видов, требовательных к трофности почв: доля эвтрофов на 10% выше, доля гигрофитов и ксеромезофитов составляет 6,6% против 17,6% и 15,1% по сравнению с 11,5% соответственно. Таким образом, эту территорию можно рассматривать как своеобразный рефугиум в период возгораний и источника последующего расселения видов, особенно важного для ксеромезофитов-мезофитов и эвтрофов-мезотрофов – групп видов, типичных для юга широколиственно-лесной зоны и лесостепи, а также местных липово-сосновых лесов [20].

**Заключение**

Формирование во флювиогляциальной ложбине Керженского заповедника богатых во флористическом отношении растительных сообществ (169 видов) с участием широколиственных пород связано с обогащённостью микроэлементного состава материнских

флювиогляциальных песков. Сочетание условий местообитания, спектров видов по факторам увлажнения, трофности и эколого-ценотическим группам позволяет рассматривать обследованный участок не только как территорию, богатую редкими для Заволжья видами, но и как уникальный рефугиум послепожарного расселения видов неморального и южноборового комплексов.

Представления о высокой ценности и богатстве территории флювиогляциальной ложбины подтверждаются данными о микроэлементной обеспеченности местных песчаных дерново-подзолов, более свойственной суглинистым почвам подтайги. Особенно высокие уровни характерны для почв котловин в пределах ложбины, вероятно, из-за дополнительного поступления элементов с латеральными потоками. Таким образом, повышенные уровни содержания микроэлементов в песчаных подзолах могут способствовать увеличению биологического разнообразия за счёт заселения субстрата видами, требовательными к качеству среды.

*Результаты обобщены в рамках проекта РНФ № 19-77-30004.*

### References

1. Volkova N.I., Gradoboev G.A., Zhuchkova V.K. Landscape map of the Kerzhensky natural reserve // Trudy GPBZ "Kerzhenskiy". V. 3. Nizhniy Novgorod: Zapovenik "Kerzhenskiy", 2003. P. 5–11 (in Russian).
2. Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-term dynamics of urban soil pollution with heavy metals in Moscow // Applied and Environmental Soil Science. 2016. No. 4. P. 1–10. doi: 10.1155/2016/5602795
3. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Vlasov D.V. Benzo[a]pyrene in urban environments of eastern Moscow: pollution levels and critical loads // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. No. 3. P. 2217–2227. doi: 10.5194/acp-17-2217-2017
4. Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Long-term dynamics of anthropogenic solonchicity in soils of the Eastern okrug of Moscow under the impact of deicing salts // Eurasian Soil Science. 2017. No. 50. P. 84–94. doi: 10.1134/S106422931701010
5. Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Korlyakov I.D., Kasimov N.S. Contamination of urban soils with heavy metals as affected by building development // Science of the Total Environment. 2018. No. 636. P. 854–863. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.308
6. Tobratov S.A. Integral parameter of critical loads as a basis for environmental regulation of landscapes contamination with heavy metals // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 2. P. 33–37 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-2-033-037
7. Kadetov N.G. Floristic features of communities with participation of lime and ash on after-forestfire territories of Zavolzhie // Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologiy. 2018. V. 27. No. 4 (1). P. 131–136 (in Russian).
8. Ogureeva G.N., Leonova N.B., Buldakova E.V., Kadetov N.G., Arkhipova M.V., Miklyaeva I.M., Bocharnikov M.V., Dudov S.V., Ignatova E.A., Ignatov M.S., Muchnik E.E., Urbanavichus G.P., Danilenko A.K., Rumyantsev V.Yu., Emelyyanova L.G., Leontieva O.A., Romanov A.A., Konstantinov P.A. The biomes of Russia (scale: 1:7 500 000). WWF-RUSSIA, Moskva, 2018.
9. Urbanavichute S.P. New place of growth *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. in the reserve "Kerzhenskiy" // Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika "Kerzhenskiy". V. 8. Nizhniy Novgorod: Zapovenik "Kerzhenskiy", 2016. P. 174–180.
10. Methods of studying forest communities. Sankt-Peterburg: NIIKhimii SPbGU, 2002. 240 p. (in Russian).
11. Dymov A.A., Abakumov E.V., Bezkorovaynaya I.N., Prokushkin A.S., Kuzyakov Ya.V., Milanovsky E.Yu. Impact of forest fire on soil properties (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 4. P. 13–23. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-013-023
12. Tsibart A.S., Gennadiev A.N. The influence of fires on the properties of forest soils in the Amur River basin (the Norskiy Reserve) // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. No. 7. P. 783–792. doi: 10.1134/S1064229308070028
13. Dymov A.A., Gabov D.N. Pyrogenic alterations of podzols at the North-East European part of Russia: morphology, carbon pools, PAH content // Geoderma. 2015. V. 241. P. 230–237. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.11.021
14. Dymov A.A., Dubrovskiy Yu.A., Gabov D.N. Pyrogenic changes in iron alluvial podzols in the middle taiga of the Komi Republic // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47. P. 47–56. doi: 10.1134/S1064229314020045
15. Dymov A.A., Dubrovskiy Yu.A., Gabov D.N., Zhangurov E.V., Nizovtsev N.A. Fire impact on soil organic matter in spruce stand in Northern Taiga // Lesovedeniye. 2014. No. 6. P. 26–36 (in Russian).
16. Semenov I.N., Kasimov N.S., Terskaya E.V. Lateral distribution of metal forms in tundra, taiga and forest steppe catenae of the East European plain // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2016. No. 3. P. 29–39 (In Russian).
17. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. London: CRC Press, Boca Raton, 2010. 331 p.
18. Samchuk A.I., Ogar' T.V., Dmitrienko K.E. Fractions of heavy metals in the soils of Ukrainian Polesye // Poshukova ta ekologichna geokhimiya. 2007. No. 1 (6). P. 43–45 (in Russian).
19. Pozdnyak S.S. Heavy metals background concentration in soils and plants of the central area of Belarus // Izvestiya Tuls'kogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki. 2011. V. 1. P. 254–264 (in Russian).
20. Bohn U., Gollub G., Hettwer C., Neuhäuslová Z., Raus T., Schlüter H., Weber H. Map of the Natural Vegetation of Europe, scale 1:2 500 000. Bundesamt für Naturschutz, Münster, 2004.