

**Влияние инвазии борщевика Сосновского
(*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие
постагрогенных почв Европейского Северо-Востока**

© 2021. Е. М. Лаптева¹, к. б. н., доцент, зав. отделом,
И. Г. Захожий¹, к. б. н., н. с., И. В. Далькэ¹, к. б. н., зав. лабораторией,
Ю. А. Смотрина², студент, Э. А. Генрих², студент,
¹Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
²Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., д. 55,
e-mail: lapteva@ib.komisc.ru

На основе комплекса полевых и лабораторных исследований оценено влияние экспансии инвазионного вида *Heracleum sosnowskyi* на формирование постагрогенных экосистем в биоклиматических условиях средней тайги Республики Коми. Определены запасы фитомассы в самоподдерживающихся зарослях *H. sosnowskyi* и содержание в ней углерода, азота и зольных элементов. Показано, что в биоклиматических условиях средней тайги продуктивность *H. sosnowskyi* в постагрогенных экосистемах составляет в расчёте на свежий растительный материал 103,6±27,8 т/га надземных и 32,3±6,8 т/га подземных органов (или соответственно 14,5±3,9 и 7,7±1,6 т/га сухой фитомассы). Это соответствует урожайности данного вида в культуре (50–100 т/га) и существенно выше биопродуктивности (2,5–4,5 т/га сухой надземной фитомассы) растительных сообществ суходольных и пойменных лугов в регионе. Внедрение *H. sosnowskyi* в постагрогенные экосистемы Севера способствует сохранению и поддержанию почвенного плодородия за счёт ежегодного возврата с опадом значительных объёмов быстро минерализуемого растительного материала (17,4 т/га), в том числе органического углерода (7,4 т/га), азота (208 кг/га) и зольных элементов (847 кг/га).

Ключевые слова: постагрогенные экосистемы, борщевик Сосновского, инвазия, почвенное плодородие, запасы фитомассы и зольных элементов.

**Influence of *Heracleum sosnowskyi* Manden. invasion
on postagrogenic soil fertility in European North-East**

© 2021. E. M. Lapteva¹ ORCID: 0000-0002-9396-7979^{*}
I. G. Zakhozhiy¹ ORCID: 0000-0003-0918-745X^{*}, I. V. Dalke¹ ORCID: 0000-0001-5711-9916^{*}
Y. A. Smotrina² ORCID: 0000-0003-4682-7794^{*}, E. A. Genrikh² ORCID: 0000-0001-9085-4365^{*}
¹Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
²Pitirim Sorokin Syktyvkar State University,
55, Oktyabrsky Prospekt, Syktyvkar, Russia, 167001,
e-mail: lapteva@ib.komisc.ru

On the basis of field and laboratory studies, the influence of the expansion of the invasive species *Heracleum sosnowskyi* on the formation of postagrogenic ecosystems in the bioclimatic conditions of the middle taiga of the Komi Republic was evaluated. The stocks of phytomass in the self-sustaining thickets of *H. sosnowskyi* were determined, and the stocks of ash elements in them were estimated. It has been shown that under the bioclimatic conditions of the middle taiga, the productivity of *H. sosnowskyi* per green mass in postagrogenic ecosystems is 103.6±27.8 ton/ha of aboveground and 32.3±6.8 ton/ha of underground organs (or, respectively, 14.5±3.9 and 7.7±1.6 ton/ha of dry phytomass), which corresponds to the yield of this species in culture (50–100 ton/ha) and significantly higher than the bioproductivity of dry and floodplain meadows (2.5–4.5 ton/ha) in the region. The introduction of *H. sosnowskyi* into the postagrogenic

ecosystems of the North contributes to the preservation and maintenance of soil fertility due to the annual return of fast mineralized plant material with litter (17.4 ton/ha), including organic carbon (7.4 ton/ha), nitrogen (208 kg/ha) and ash elements (847 kg/ha).

Keywords: postagrogenic ecosystems, *Heracleum sosnowskyi*, invasion, soil fertility, stocks of phytomass and ash elements.

Формирование постагрогенных экосистем на залежных землях сопровождается последовательным восстановлением на них зональных типов растительных сообществ и почв, соответствующих данной биоклиматической зоне [1]. На рубеже XX–XXI веков этот процесс существенно осложнился за счёт внедрения в постагрогенные экосистемы инвазионных видов. Среди них особую обеспокоенность вызывает борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) [2–4]. В настоящее время он признан опасным для человека и животных [5, 6], способным нанести значительный вред агроландшафтам и сельхозугодьям [7]. В последние годы получены данные о роли борщевиков и других инвайдеров в трансформации циклов углерода, азота, биогенных элементов в экосистемах с их монодоминантными сообществами [8–10], протекании в почвах таких экосистем процессов нитрификации и денитрификации [11], проявлении токсичных и аллелопатических свойств [12], функционировании почвенной биоты – дрожжей [13], актиномицетов [14], нематод [15].

Цель данной работы заключалась в оценке состава и запасов фитомассы *Heracleum sosnowskyi* Manden. на залежных землях в условиях средней тайги и выявлении закономерностей изменения свойств постагрогенных почв под влиянием развития их монодоминантных зарослей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили заброшенные участки пашни, выделенные нами на территории нескольких муниципальных образований Республики Коми (РК): ключевые участки 1, 2 – муниципальное образование муниципальный район (МО МР) «Княжпогостский», 3, 4 – МО МР «Сыктывдинский», 5, 6, 7 – муниципальное образование городской округ (МО ГО) «Сыктывкар», 8 – МО МР «Прилузский». Все залежные участки приурочены к водоразделам или приречным увалам. Их почвенный покров до начала сельскохозяйственного освоения был представлен автоморфными подзолистыми почвами. В настоящее время растительный

покров на всех участках занят сообществами с доминированием *H. sosnowskyi*, ориентировочный возраст которых 7–15 лет.

Структуру и запасы фитомассы в монодоминантных зарослях *H. sosnowskyi* оценивали на одном из ключевых участков (участок 5, МО ГО «Сыктывкар») в соответствии с методическими указаниями [16]. В период бутонизации – начала цветения растений закладывали трансекту, выделяли учётные площадки размером 1,5 × 1,5 м ($n = 5$), на которых выкапывали все имеющиеся растения *H. sosnowskyi*. Подземные органы извлекали на глубину до 30 см. Растения разделяли на отдельные части (прикорневые и стеблевые листья, черешки листьев, стебли генеративных растений, стеблекорни) и высушивали до воздушно-сухого состояния. Для количественного химического анализа готовили средние пробы, составленные из индивидуальных образцов 15–20 растений. Запасы химических элементов в растительном веществе *H. sosnowskyi* рассчитывали путём умножения массы структурных компонентов на единице площади на содержание в них соответствующего элемента.

Для оценки влияния инвайдера на свойства постагрогенных почв в пределах каждого ключевого участка осуществляли отбор проб: (а) в его центральной части под моновидовыми зарослями *H. sosnowskyi*; (б) на окраине участка, где сохранена злаково-разнотравная растительность. Пробы почв отбирали на глубину 0–20 см в 25-кратной повторности (методом конверта на 5 учётных площадках). Анализировали смешанные пробы, составленные из 25 индивидуальных.

Содержание углерода ($C_{\text{общ.}}$) и азота ($N_{\text{общ.}}$) в пробах почв и растительном материале определяли в ЦКП «Хроматография» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН методом газовой хроматографии (ФР.1.31.2016.23502) на СНNS-О анализаторе EA 1110, «CE Instruments» (Италия). Определение концентрации в растительных пробах кислоторастворимых форм Ca, Mg, K и P выполняли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (M71 ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98) на спектрометре Spectro Ciros CCD, «SPECTRO Analytical Instruments» (Германия). Обмен-

ную кислотность (pH_{KCl}) почв определяли потенциометрически (ГОСТ 26483-85), содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – по Кирсанову в 0,2н HCl (ГОСТ Р 54650-2011); содержание обменных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) – вытеснением 1М KCl с последующим атомно-эмиссионным определением на ICP Spectro Ciroc CCD (ГОСТ 26487-85).

Для оценки потенциальной скорости разложения фитомассы *H. sosnowskyi* выполнили модельный лабораторный эксперимент, для которого использовали образцы почв, отобранные из бывшего пахотного горизонта (глубина 0–20 см) на ключевом участке 5 (МО ГО «Сыктывкар») в его центральной части с монодоминантным сообществом *H. sosnowskyi* ($pH_{KCl} = 5,6$ ед.; $C_{общ.} = 6,4\%$; $N_{общ.} = 0,40\%$) и на окраине участка с разнотравно-злаковой растительностью ($pH_{KCl} = 5,8$ ед.; $C_{общ.} = 2,8\%$; $N_{общ.} = 0,17\%$). В качестве растительного материала использовали надземную и подземную фитомассу *H. sosnowskyi* (центр заросли) и злаково-разнотравного сообщества (окраина залежного участка). Растительный материал измельчали до 1–2 см, для надземной части *H. sosnowskyi* готовили средние пробы из листьев, их черешков и стеблей в соотношении 1,2 : 2,1 : 1,8, для злаково-разнотравного сообщества – усредняли всю надземную массу растений. Воздушно-сухую фитомассу (2,0 г) помещали в пакеты из нейлоновой сетки и размещали между двух слоёв почвы в чашках Петри. Экспонировали в термостате (температура +28 °С, влажность почвы 60% от полной влагоёмкости) в течение 30 сут. Скорость разложения растительного материала оценивали по убыли массы и выражали в процентах от начальной массы образца. Повторность проведения опыта для каждого варианта – 5-кратная.

Достоверность различий в свойствах постагрогенных почв, формирующихся под монодоминантными зарослями *H. sosnowskyi* и разнотравно-злаковыми сообществами, оценивали на основе *T*-критерия Вилкоксона. Для оценки влияния различных факторов (почва, растительное сообщество, структурный компонент фитомассы) на скорость разложения растительного материала применяли дисперсионный анализ ANOVA. В тексте и на рисунке приведены средние арифметические значения и их стандартные отклонения.

Результаты и обсуждение

В РК интродукция *H. sosnowskyi* осуществлена в 60-е годы прошлого столетия [17].

В условиях развала сельского хозяйства (начиная с 1990-х гг. XX в.), отсутствия обработки почв пахотных угодий, контроля за посевами борщевика, этот вид, благодаря своим биологическим свойствам (высокая семенная продуктивность, отавность, функциональная пластичность) [3, 18, 19], начал активно внедряться на нарушенные территории и в постагрогенные экосистемы, постепенно образуя на них монодоминантные заросли.

Результаты проведённых нами исследований показали, что в биоклиматических условиях средней тайги *H. sosnowskyi* на залежных землях формирует в расчёте на свежую растительную массу порядка $103,6 \pm 27,8$ т/га надземной (листья, черешки, стебли генеративных растений) и $32,3 \pm 6,8$ т/га подземной (стеблекорни) фитомассы (или в расчёте на сухое вещество соответственно $14,5 \pm 3,9$ и $7,7 \pm 1,6$ т/га). Известно, что *H. sosnowskyi* достаточно чувствителен к условиям произрастания, в частности, обеспеченности почв влагой [19, 20]. При оптимальных условиях урожайность его зелёной массы может достигать в культуре 110–226 т/га [21], в естественных сообществах на Центральном Кавказе она составляет порядка 6,7 т/га сухой надземной фитомассы [22]. В агробиоклиматических условиях РК урожайность зелёной массы в посевах *H. sosnowskyi* достигала 50–100 т/га [17]. Таким образом, в постагрогенных экосистемах РК его продуктивность близка к верхней границе потенциально возможной продуктивности данного вида в культуре и существенно превосходит биологическую продуктивность надземной фитомассы растительных сообществ суходольных и пойменных лугов (2,5–4,5 т/га сухой массы).

В структуре фитомассы самоподдерживающихся в условиях залежи монодоминантных сообществ *H. sosnowskyi* ведущую роль играют надземные органы. На долю листьев с черешками приходится 42,4% общей сухой фитомассы, стеблей генеративных растений – 22,9%. Вклад подземных органов существенно ниже – 34,8%, из них 21,9% приходится на стеблекорни иматурных и виргинильных растений, 12,9% – на стеблекорни генеративных особей. Ежегодно около 78,1% фитомассы *H. sosnowskyi* (надземная часть растений и стеблекорни генеративных растений) отмирает, обеспечивая поступление в почву значительного количества (17,4 т/га) органического вещества. Следует отметить, что преобладание массы надземных органов над массой корневой системы – характерная

черта структурного состава фитомассы многих инвазионных видов [23].

Структурные компоненты фитомассы *H. sosnowskiyi* существенно различаются по химическому составу (табл. 1). В листьях и черешках по сравнению со стеблями генеративных побегов выше содержание N, P, Ca, Mg и ниже – K. Следует обратить внимание на очень высокое содержание в надземной фитомассе растений, особенно в листьях и их черешках, Ca – до 45 г/кг. Подземные органы имматурных и виргинильных растений в отличие от корневой системы генеративных особей характеризуются более высокой концентрацией N и P, но уступают им по аккумуляции таких элементов, как K, Ca и Mg.

С учётом количественных параметров образующейся в постагрогенных экосистемах средней тайги фитомассы *H. sosnowskiyi* в составе её органического вещества аккумулируется углерода более 9 т/га, кальция – до 500 кг/га, азота и калия – около 300 кг/га, фосфора и магния – соответственно 77 и 66 кг/га (табл. 1). Основная часть углерода и зольных элементов входит в состав надземной фитомассы и ежегодно включается в биологический круговорот вещества и энергии. В монодоминантных зарослях *H. sosnowskiyi* интенсивность биологического круговорота практически полностью определяется процессами поступления и трансформации фитомассы, формируемой растениями борщевика.

Скорость трансформации растительных остатков определяется многими факторами, в первую очередь, биологической активностью

и гидротермическим режимом почв, а также химическим составом органического вещества мортмассы [24]. Результаты проведённого нами модельного опыта свидетельствуют о том, что вне зависимости от свойств почвы скорость разложения фитомассы разнотравно-злакового сообщества была существенно ниже по сравнению с образцами растительной массы *H. sosnowskiyi* (рис.). За 30 сут убыль фитомассы надземных и подземных органов *H. sosnowskiyi* составила соответственно 45 и 65%, для образцов разнотравно-злаковой растительности данные показатели варьировали в пределах 21–25%. Различия в скорости разложения растительной массы *H. sosnowskiyi* и злаково-разнотравного сообщества обусловлены, в первую очередь, особенностями их химического состава. Известно, что надземная часть *H. sosnowskiyi* характеризуется высоким содержанием легко минерализуемых соединений, прежде всего, сахаров [17]. Их корневая система также содержит значительное количество лабильных, легкоокисляемых соединений, она является основным источником легкодоступного органического вещества в почвах и подвергается деструкции специфическими дрожжевыми сообществами со значительной долей видов, обладающих высокой гидролитической активностью [13]. Результаты многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) показали, что скорость разложения органического вещества зависела от ботанического состава фитомассы (*H. sosnowskiyi* × разнотравно-злаковая растительность: $F = 1111,5, p < 0,0001$) и типа растительного

Таблица 1 / Table 1

Содержание (г/кг) и запасы (кг/га) элементов в фитомассе *H. sosnowskiyi*
Content (g/kg) and stocks (kg/ha) of elements in *H. sosnowskiyi* phytomass

Элемент Chemical element	Листья и черешки растений Leaves and petioles of plants		Стебли генеративных растений Stems of generative plants		Стеблекорни имматурных и виргинильных растений Roots of immature and virginal plants		Стеблекорни генеративных растений Roots of generative plants	
	I	II	I	II	I	II	I	II
C	415±15	3915	443±16	2240	419±15	2044	429±15	1224
N	16,3±1,8	153,8	4,5±0,9	22,8	20,1±2,2	98,0	11,0±1,2	31,5
P	4,8±1,4	44,8	1,3±0,4	6,3	4,0±1,2	19,5	2,4±0,7	6,8
K	8,5±3,5	80,2	22±9	108,7	16±6	76,8	22±9	61,6
Ca	45±14	424,5	8,2±2,5	41,2	2,5±0,8	12,6	5,5±1,7	15,8
Mg	4,9±1,5	45,8	1,2±0,4	5,8	1,8±0,5	8,8	1,9±0,5	5,5

Примечание: I – содержание элемента, II – запасы элемента; ±Δ означает границы интервала абсолютной погрешности метода измерения при $P \geq 0,95$.

Note: I – content of element, II – stocks of element; ±Δ means the boundaries of the interval of the absolute error of the measurement method at $P \geq 0.95$

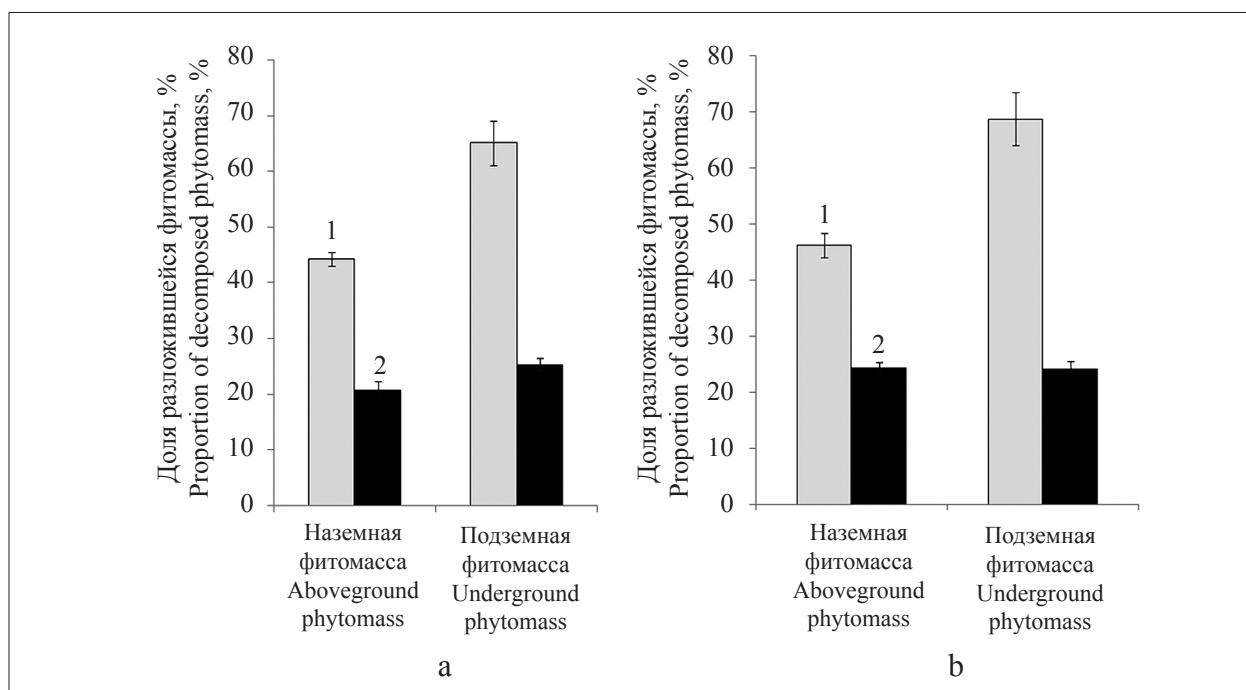


Рис. Интенсивность разложения фитомассы *Heracleum sosnowskyi* (1) и разнотравно-злакового сообщества (2) в образцах почвы (0–20 см), отобранных из центральной части залежного участка (a) и его окраины (b) / **Fig.** Intensity of decomposition of the phytomass of *Heracleum sosnowskyi* (1) and the grass-cereal community (2) in soil samples (0–20 cm) taken from the central part (a) and peripheral part (b) of the fallow area

Таблица 2 / Table 2

Физико-химические свойства верхнего горизонта постагрогенной почвы (0–20 см) залежных участков, $\bar{X} \pm \Delta$
 Physicochemical properties of the upper horizon of postagrogenic soils (0–20 cm) of abandoned arable land, $\bar{X} \pm \Delta$

Номер участка Number of plot	Координаты Coordinates	pH _{KCl} , единиц units	C _{общ.} C _{total}	N _{общ.} N _{total}	Подвижные формы Available forms		Обменные основания Exchangeable cations	
					P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
					мг/г / mg/g		мг/кг / mg/kg	
1	N62.2687° E50.6618°	5,8±0,1 5,8±0,1	29±4 35±5	2,2±0,4 2,3±0,5	351±88	174±35	8,2±0,6	2,0±0,2
					682±171	284±50	10,3±0,8	2,1±0,2
2	N62.3354° E50.6900°	4,9±0,1 5,1±0,1	18±3 20±4	1,8±0,4 2,1±0,4	236±35	140±28	7,2±0,5	1,8±0,2
					325±49	206±41	6,0±0,5	1,4±0,1
3	N62.0062° E50.6363°	5,1±0,1 4,6±0,1	28±4 42±6	1,8±0,4 2,2±0,4	670±167	560±112	5,7±0,4	2,1±0,2
					1281±320	526±105	5,4±0,4	1,3±0,1
4	N62.7768° E51.1064°	4,8±0,1 5,5±0,1	26±4 49±7	2,0±0,4 3,3±0,7	324±81	137±27	8,4±0,6	2,7±0,2
					688±172	132±26	12,2±0,9	2,6±0,2
5	N62.6459° E50.7313°	5,8±0,1 5,6±0,1	28±4 64±6	1,7±0,3 4,0±0,8	174±44	164±33	10,2±0,8	4,6±0,3
					468±117	311±62	18,3±1,4	2,5±0,2
6	N62.6442° E50.7653°	4,3±0,1 4,8±0,1	10±2 15±4	1,0±0,2 1,3±0,3	169±42	174±35	4,3±0,4	1,2±0,1
					348±87	304±61	5,6±0,4	1,1±0,1
7	N61.6658° E50.7611°	4,9±0,1 5,6±0,1	17±4 30±4	1,3±0,3 2,2±0,4	303±76	85±17	8,5±0,6	1,6±0,2
					919±230	269±54	12,0±0,9	2,2±0,2
8	N59.6392° E49.3808°	4,7±0,1 4,7±0,1	13±3 21±3	1,2±0,4 1,8±0,2	129±32	165±33	7,8±0,6	1,7±0,2
					240±60	333±67	10,1±0,8	2,4±0,2

Примечание. В числителе приведены значения для почв под разнотравно-злаковыми сообществами, в знаменателе – для почв под монодоминантными зарослями *Heracleum sosnowskyi*; $\bar{X} \pm \Delta$ – среднее арифметическое \pm доверительный интервал для P = 0,95.

Note. The numerator shows the values for soils under grass-cereal community (association), in the denominator – for soils under monodominant communities of *Heracleum sosnowskyi*; $\bar{X} \pm \Delta$ – arithmetic mean for the sample \pm confidence interval for P = 0.95.

субстрата (надземная × подземная фитомасса: $F = 129,4, p < 0,0001$). Свойства почвы не оказали значимого влияния на интенсивность разложения растительных образцов (почва под зарослями *H. sosnowskyi* × почва под разнотравно-злаковой растительностью: $F = 0,2, p = 0,697$).

Внедрение *H. sosnowskyi* в постагрогенные экосистемы, ежегодное поступление с его растительным опадом значительного количества органического материала (около 17,3 т/га сухой массы), богатого зольными элементами (табл. 1) и быстро минерализуемого почвенной микробиотой (рис.), в условиях подзоны средней тайги РК обуславливают весьма благоприятное влияние на плодородие бывших агродерново-подзолистых почв, выведенных из режима сельскохозяйственного использования. Физико-химические исследования почв ключевых участков (табл. 2) показали, что в результате экспансии *H. sosnowskyi* на залежные участки наблюдается достоверно значимое увеличение в слое 0–20 см постагрогенных почв (бывшие пахотные горизонты) содержания органического углерода (T -критерий Вилкоксона: $T = 0,00, Z = 2,52, p = 0,012$), азота ($T = 0,00, Z = 2,52, p = 0,012$), подвижных форм фосфора ($T = 0,00, Z = 2,52, p = 0,012$) и калия ($T = 3,00, Z = 2,10, p = 0,036$), обменного кальция ($T = 3,00, Z = 2,10, p = 0,036$). Выявленные закономерности в изменении обменной кислотности и содержания обменных форм магния в почвах исследованных участков не установлено.

Полученные нами результаты противостоят данным [14], свидетельствующим о снижении содержания почвенного органического вещества в дерново-подзолистых почвах при внедрении *H. sosnowskyi* в разнотравно-луговые сообщества. Причины разной ответной реакции почв на вторжение инвазионных видов растений носят комплексный характер [25, 26]. Интенсивность и направленность их трансформации могут определяться как различиями экосистем в параметрах почвенного плодородия перед началом вторжения чужеродных растений [27], так и длительностью воздействия инвазионных видов на аборигенные сообщества [28]. В частности, на примере *Heracleum mantegazzianum* показано, что его экспансия в экосистемы с низким уровнем почвенного плодородия приводит к возрастанию содержания в почвах органического углерода, азота, фосфора и калия, а при изначально высоком их содержании в почвах – к их снижению [27], что может быть обуслов-

лено интенсификацией микробиологической деятельности.

Заключение

Таким образом, впервые для Республики Коми проведено изучение продуктивности монодоминантных сообществ *Heracleum sosnowskyi*, сформированных на залежных землях после вывода пахотных угодий из сельскохозяйственного производства. Оценено влияние экспансии этого инвазивного вида на параметры почвенного плодородия постагрогенных почв. Установлено, что в биоклиматических условиях средней тайги продуктивность монодоминантных сообществ *H. sosnowskyi*, развитых на залежных землях, составляет в расчёте на зелёную массу $103,6 \pm 27,8$ т/га надземных и $32,3 \pm 6,8$ т/га подземных органов (или соответственно $14,5 \pm 3,9$ и $7,7 \pm 1,6$ т/га сухой фитомассы). Полученные данные о продуктивности самоподдерживающихся сообществ *H. sosnowskyi* в постагрогенных экосистемах Севера соответствуют урожайности этого вида в культуре и существенно превышают биопродуктивность травянистых луговых сообществ, формирующихся в регионе на пойменных и суходольных лугах. Преобладание в структуре фитомассы *H. sosnowskyi* надземных (65,3%) органов над подземными (34,8%) способствует возврату в почвы постагрогенных экосистем значительного количества быстро минерализуемого органического вещества ($C_{орг} 7,4$ т/га), азота (208 кг/га) и зольных элементов (847 кг/га). Это обуславливает поддержание почвенного плодородия в постагрогенных экосистемах средней тайги и сохранение на высоком уровне содержания в них почвенного углерода, азота, подвижных форм фосфора, калия и обменного кальция по сравнению с аналогичными почвами, занятыми злаково-разнотравными сообществами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Коми в рамках научного проекта № 20-44-110009 р_а «Влияние инвазии борщевика Сосновского (Heracleum sosnowskyi) на плодородие почв и состав почвенных микробных сообществ в постагрогенных экосистемах Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми)», а также частично – в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номер гос. регистрации: АААА-А17-117033010038-7 и АААА-А17-117122290011-5).

References

1. Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.I., Karavanova E.I. The dynamics of carbon pools and biological activity of retic albic podzols in southern taiga during the postagrogenic evolution // Eurasian Soil Science. 2021. V. 54. No. 3. P. 337–351. doi: 10.1134/S1064229321030108
2. Bogdanov V.L., Nikolaev R.V., Shmeleva I.V. Invasion of an ecologically dangerous plant of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) on the territory of the European part of Russia // Regional ecology. 2011. No. 1–2 (31). P. 43–52 (in Russian).
3. Kondratiev M.N., Budarin S.N., Larikova Yu.S. Physiological and ecological mechanisms of invasive penetration of Sosnowskyi hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in unexploitable agroecosystems // Izvestiya timiryazevskoy selskohozyaystvennoy akademii. 2015. No. 2. P. 36–49 (in Russian)
4. Tovstik E.V., Adamovich T.A., Rutman V.V., Kantor G.Ya., Ashikhmina T.Ya. Identification of the thickets of *Heracleum sosnowskyi* using Earth remote sensing data // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 2. P. 35–37. doi: 10.25750/1995-4301-2018-2-035-037
5. Weryszko-Chmielewska E., Chwil M. Localisation of furanocoumarins in the tissues and on the surface of shoots of *Heracleum sosnowskyi* // Botany. 2017. V. 95. No. 11. P. 1057–1070. doi: 10.1139/cjb-2017-0043
6. Jaworek A.K., Michalek K., Wojas-Pelc A. Phytophotodermatitis caused by *Heracleum sosnowskyi* with erythema multiforme-like lesions // Przeglad Dermatologiczny. 2017. V. 104. No. 1. P. 16–21. doi: 10.5114/dr.2017.66218
7. Luneva N.N., Konechnaya G.Yu., Smekalova T.N., Chukhina I.G. On the status of the species Sosnowsky hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden. on the territory of the Russian Federation // Bulletin of plant protection. 2018. No. 3 (97). P. 10–15 (in Russian).
8. Vanderhoeven S., Dassonville N., Meerts P. Increased topsoil mineral nutrient concentrations under exotic invasive plants in Belgium // Plant and Soil. 2005. V. 275. No. 1–2. P. 169–179. doi: 10.1007/s11104-005-1257-0
9. Liao C., Peng R., Luo Y., Zhou X., Wu X., Fang C., Li B. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis // New Phytologist. 2008. V. 177. No. 3. P. 706–714. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02290
10. Weidenhamer J.D., Callaway R.M. Direct and indirect effects of invasive plants on soil chemistry and ecosystem function // J. Chem. Ecol. 2010. V. 36. No. 1. P. 59–69. doi: 10.1007/s10886-009-9735-0
11. Carey C.J., Blankinship J.C., Eviner V.T., Malmstrom C.M., Hart S.C. Invasive plants decrease microbial capacity to nitrify and denitrify compared to native California grassland communities // Biol. Invasions. 2017. V. 19. No. 10. P. 2941–2957. doi: 10.1007/s10530-017-1497-y
12. Chegodaeva N.D., Maskaeva T.A., Labutina M.V. Allelopathic influence of Sosnowsky hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) on cultivated plants // Fundamentalnye issledovaniya. 2015. No. 2–26. P. 5845–5849 (in Russian).
13. Glushakova A.M., Kachalkin A.V., Chernov I.Y. Soil yeast communities under the aggressive invasion of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. No. 2. P. 201–207. doi: 10.1134/S1064229315020040
14. Tovstik E.V., Shirokih I.G., Soloveva E.S., Shirokih A.A., Ashikhmina T.Ya., Savinykh V.P. The change in soil actinobiote under the influence of *Heracleum sosnowskyi* invasion // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 4. P. 114–118 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-114-118
15. Matveeva E.M., Sushchuk A.A., Kalinkina D.S. Soil nematode communities under monoculture agroecosystems (example of the Republic of Karelia) // Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 2015. No. 2. P. 16–32 (in Russian). doi: 10.17076/eco16
16. Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. Methodological guidelines for the study of dynamics and biological circulation in phytocenoses. Leningrad: Nauka, 1967. 143 p. (in Russian).
17. Mishurov V.P., Volkova G.A., Portnyagina N.V. Introduction of useful plants in the middle taiga subzone of the Komi Republic (Itogi raboty botanicheskogo sada za 50 let. V. 1). Sankt-Peterburg: Nauka, 1999. 216 p. (in Russian).
18. Dalke I.V., Chadin I.F., Zakhozhiy I.G., Malyshov R.V., Maslova S.P., Tabalenkova G.N., Golovko T.K. Traits of *Heracleum sosnowskyi* plants in monostand on invaded area // PLOS ONE. 2015. V. 10. No. 11. Article No. e0142833. doi: 10.1371/journal.pone.0142833
19. Veselkin D.V., Ivanova L.A., Ivanov L.A., Mikryukova M.A., Bolshakov V.N., Betekhtina A.A. Rapid use of resources as a basis of the *Heracleum sosnowskyi* invasive syndrome // Doklady Biological Sciences. 2017. V. 473. No. 1. P. 53–56. doi: 10.1134/S0012496617020041
20. Afonin A.N., Luneva N.N., Li Y.S., Kotsareva N.V. Ecological-geographical analysis of distribution pattern and occurrence of cow-parsnip (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) with respect to area aridity and its mapping in European Russia // Russian Journal of Ecology. 2017. V. 48. No. 1. P. 86–89. doi: 10.1134/S1067413617010039
21. Satsyperova I.F. *Heracleum* species of the USSR – new fodder plants. Leningrad: Nauka, 1984. 223 p. (in Russian).
22. Tappeiner U., Cernusca A. Model simulation of spatial distribution of photosynthesis in structurally differing plant communities in the Central Caucasus // Ecological Modelling. 1998. V. 113. No. 1–3. P. 201–223. doi: 10.1016/S0304-3800(98)00144-6
23. Kleunen M., Weber E., Fischer M. A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant

species // Ecology letters. 2010. V. 13. No. 2. P. 235–245. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01418.x

24. Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship // Oikos. 1997. V. 79. No. 3. P. 439–449. doi: 10.2307/3546886

25. Ehrenfeld J.G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes // Ecosystems. 2003. V. 6. No. 6. P. 503–523. doi: 10.1007/s10021-002-0151-3

26. Levine J.M., Vila M., Antonio C.M.D., Dukes J.S., Grigulis K., Lavorel S. Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions // Proceedings of the Royal Soci-

ety of London. Series B: Biological Sciences. 2003. V. 270. No. 1517. 775–781. doi: 10.1098/rspb.2003.2327

27. Dassonville N., Vanderhoeven S., Vanparys V., Hayez M., Gruber W., Meerts P. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe // Oecologia. 2008. V. 157. No. 1. P. 131–140. doi: 10.1007/s00442-008-1054-6

28. Jandová K., Klinerová T., Müllerová J., Pyšek P., Pergl J., Cajthaml T., Dostál P. Long-term impact of *Heracleum mantegazzianum* invasion on soil chemical and biological characteristics // Biology and Biochemistry. 2014. V. 68. P. 270–278. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.10.014