

Е.В. Дубина-Чехович, младший научный сотрудник
Л.П. Евстратова, доктор сельскохозяйственных наук
О.Н. Бахмет, член-корреспондент РАН
ФИЦ «Карельский научный центр РАН»

РФ, 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
E-mail: d-chehovich@yandex.ru

УДК 631.412

DOI:10.30850/vrsn/2021/6/54-59

СУКЦЕССИОННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОФИТОЦЕНОЗА ЗАЛЕЖНЫХ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Установлено, что произошла техногенная сукцессия многолетнего разнотравно-злакового фитоценоза на мелиорированных сельскохозяйственных угодьях, находящихся вблизи горнодобывающего карьера. Цель исследований — оценка изменений ботанического состава и урожайности многолетнего агрофитоценоза на осушенных залежных землях в зоне аэротехногенного воздействия (на примере Карелии). Последние три года в фитоассоциации доминируют многолетние злаковые травы (*Bromopsis inermis* L., *Phleum pratense* L.) и разнотравье (*Urtica dioica* L., *Anthriscus sylvestris* L., *Chamaenerion angustifolium* L.). По мере удаления от карьера (100, 200, 300 м) происходит постепенная естественная смена растительности от злаковых видов трав (42,9–77,8 %) в сторону преобладания в травостое разнотравья (21,2–56,8 %) относительно контрольного участка (16,5 и 82,9 % соответственно). Недостаточное количество осадков в первой половине летнего сезона, характерное для климатических условий Карелии, наличие загрязняющих веществ в почве и на поверхности растений вызвали существенное снижение роста ценного в кормовом отношении костреца безостого (линейные показатели — 20,7–31,8 см) относительно фоновых условий (40,2 см), а также увеличение общей урожайности зеленой массы многолетних трав (13,2 – 16,4 – 22,0 т/га, фон — 28,0 т/га) с удалением от карьера.

Ключевые слова: промышленное загрязнение, горная компания, агрофитоценоз, осушенные сельскохозяйственные угодья, Карелия.

E.V. Dubina-Chekhovich, Junior Researcher
L.P. Evstratova, Grand PhD in Agricultural sciences
O.N. Bakhmet, Corresponding member of the RAS
FRC "Karelian Research Centre RAS"

RF, 185910, Respublika Kareliya, g. Petrozavodsk, ul. Pushkinskaya, 11
E-mail: d-chehovich@yandex.ru

SUCCESSIONAL TRANSFORMATION OF FALLOW RECLAIMED LANDS AGROPHYTOCENOSIS IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA UNDER AGROTECHNOGENIC IMPACT CONDITIONS

It was determined during the study that a technogenic succession of perennial gramineous motley grass phytocenosis took place on reclaimed agricultural lands near mining company. The goal of a study was to estimate the shift in botanical composition and productivity of perennial agrophytocenosis on reclaimed fallow soils under aerial technogenic influence in Karelia. Over the last three years perennial gramineous herbs (*Bromopsis inermis* L., *Phleum pratense* L.) and motley grass (*Urtica dioica* L., *Anthriscus sylvestris* L., *Chamaenerion angustifolium* L.) are dominant in phyto-association. As we move away from mining location (100, 200, 300 meters) a gradual natural shift in vegetation takes place. The quantity of gramineous herbs decreases (from 77,8 to 42,9 %) and the quantity of motley grass increases (from 21,2 to 56,8 %) as compared to a control plot (16,5 and 82,9 % accordingly). Low level of rainfall at the first half of summer, which is normal for Karelian climate, presence of polluting substances in soil and on surface caused substantial decline in growth of valuable fodder such as *Bromopsis inermis* (linear indicator 20,7–31,8 centimeters) as compared to background conditions (40,2 centimeters). Also, the mentioned above circumstances caused increase of total yield of perennial grass (13,2 – 16,4 – 22,0 tons per hectare; background – 28,0 tons per hectare) as we move away from mining location.

Key words: industrial pollution, mining company, agrophytocenosis, drained agricultural land, Karelia.

Агрофитоценоз характеризуется доминированием сеянных культурных растений, эдификаторная роль которых различна в зависимости от условий выращивания, продолжительности жизни последних, их морфолого-физиологических особенностей, а также средообразования. Наиболее сильные эдификаторы в агроассоциациях — многолетние травы. Несмотря на все многообразие компонентов агрофитоценоза, главные организующие элементы его структуры — культурные и сорные растения. При этом видовой состав упрощен по сравнению с естест-

венными фитоценозами в тех же почвенно-климатических и экологических условиях. Элементы саморегуляции в таких фитоассоциациях очень слабы, их компоненты не обладают устойчивостью и способностью к самовозобновлению. [4]

В результате антропогенного воздействия могут происходить существенные изменения видового состава агрофитоценоза. Известно, что под влиянием техногенных факторов изменяется его флористический состав. Помимо сукцессионных трансформаций агроассоциаций происходят изменения

циклов многих химических элементов, которые попадая в растения из почвы и воздуха, аккумулируются в растительных тканях в значительном количестве и по трофической цепочке переходят в организм животных, а затем и человека. [3, 9, 10, 14] Однако в некоторых случаях высокий уровень техногенной нагрузки в условиях степной природной зоны может не влиять на растительный покров, но ускоряет постепенную естественную смену флоры от разнотравья в сторону преобладания в травостое злаковых трав. [2, 5]

Агрофитоценозы особенно чувствительны к различным антропогенным факторам в условиях северного земледелия (замедленное восстановление запасов органического вещества, пониженная активность процессов аммонии- и нитрификации, слабая микробиологическая активность почв и так далее). [7] Загрязнение продуктивных сельскохозяйственных угодий снижает экономическую эффективность ведения сельского хозяйства, особенно на мелиорированных землях, которые, имея большой потенциал для выращивания адаптивных кормовых культур, постепенно деградируют. Вторичная сукцессия залежных земель начинается с зарастания травянистой, а позднее и древесно-кустарниковой растительностью. [1] Но вопросы техногенной трансформации видового разнообразия растительных ассоциаций на мелиорированных землях в северных условиях остаются недостаточно изученными. [7, 8, 14]

Цель исследований — оценка изменений ботанического состава и урожайности многолетнего агрофитоценоза на осушенных залежных землях в зоне аэротехногенного воздействия (на примере Карелии).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения — многолетние травы на залежных мелиорированных сельскохозяйственных угодьях (228,5 га) с осушительной системой открытого типа (проводящие, регулирующие и нагорные каналы общей протяженностью 55 км) в зоне влияния промышленного горнодобывающего производства щебня из габбро-диабазов. В результате реконструкции мелиоративной сети (2004 год) на этих землях проводили залужение с использованием травосмесей злаковых трав (кострец безостый, тимopheвка луговая, ежа сборная).

Эксперимент заложен согласно агроклиматической классификации А.А. Романова (1961 год), в южной зоне Карелии (63° с. ш. европейской средней тайги). Почвы — среднемощные торфяно-перегонные низинные болотные. Почвообразующие породы — четвертичные отложения озерно-ледникового генезиса, в составе преобладают глины и суглинки, встречаются песчано-алевритовые отложения. Местность относится к Шуйской низине. [13]

Влияние горнодобывающего производства на сельскохозяйственные угодья оценивали на территории, примыкающей к месторождению габбро-диабазов. В карьере, разрабатываемом с 2008 года и занимающим площадь 160 га, расположены открытые участки дробления горной породы и рассева ее на фракции. Воздушными потоками

аэротехногенная пыль распространяется от источника загрязнения на большую часть водосборной площади сельскохозяйственных угодий. За счет организованного стока избыточных природных вод в зону влияния поллютантов попадают и другие водные объекты (ручей, водоприемник). Пылевые осадки мощностью до трех сантиметров оседают на поверхности почвы, где дерновый горизонт насыщен живыми и отмершими корнями, подземными частями стеблей и растительными остатками многолетних трав разной степени разложения.

Пробные площади заложены в 2018 году в зоне загрязнения на расстоянии 100, 200 и 300 м от карьера. Фоновая площадь расположена вдали от антропогенных источников. При подборе участков следовали принципу единообразия способа осушения, типа почв, растительности, сельскохозяйственного использования агрофитоценоза.

На пробных площадях с техногенным влиянием и в фоновых условиях измеряли линейные показатели злаковых трав в фазе кущения-начала выхода в трубку, устанавливали ботанический состав травостоя согласно методики ВНИИК имени В.Р. Вильямса и Альбома растений сенокосов и пастбищ, определяли по укосам урожайность надземной биомассы растений методом сплошного учета (Доспехов Б.А., 2012). Варианты опыта на удалении 100, 200, 300 м от карьера и в фоновых условиях (1500 м) включали пробные участки (общая площадь каждого 12,5 м², учетная — 10 м²) в четырехкратной повторности.

Метеорологические условия 2018–2020 годов в первой половине периода активной вегетации растений характеризовались относительной однородностью показателей (дефицит осадков на фоне повышенной теплообеспеченности). Межкосный период в первый год проходил при сочетании высоких среднемесячных температур с недостаточным количеством осадков, в последующие два года — при сочетании пониженных температур с избыточной и низкой влагообеспеченностью соответственно.

Экспериментальные данные статистически обрабатывали с привлечением однофакторного дисперсионного анализа на основе компьютерных программ Microsoft Excel 2010 и StatGraphics Centurion XV.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав постагрогенного фитоценоза на загрязненной территории представлен 12 видами трав из 9 семейств (многолетние злаковые и бобовые компоненты), а также разнотравьем. Доминирующие представители агрофитоценоза — кострец безостый (*Bromopsis inermis* L.) — массовая доля 32,1...88,1 %, купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* L.) — 2,6...60,4 %, кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* L.) — 0,5...14,7 %, крапива двудомная (*Urtica dioica* L.) — 3,6...19,9 (табл. 1, рис. 1). В составе агроассоциаций загрязненного фитоценоза от 0,1 до 3,9 % также присутствуют хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.), таволга обыкновенная (*Filipendula* [Tourn.] Mill.), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.).

Таблица 1.

Динамика видового состава фитоценоза мелиорированных сельскохозяйственных угодий в зоне загрязнения, 2018–2020 годы

Год	Расстояние от источника загрязнения, м	Злаковые		Разнотравье			Бобовые
		кострец безостый	тимopheевка луговая	купырь лесной	кипрей узколистный	крапива двудомная	
2018	100	76,5±1,7*	10,2±1,7	4,0±0,8*	0,5±0,3	6,7±1,2	0,2±0,1
	200	42,3±1,2*	1,5±1,0	15,6±7,5*	14,1±4,8	19,3±4,8*	3,4±0,5*
	300	47,1±1,3*	2,2±1,6	43,2±2,3*	1,8±1,8	4,2±1,1	0,8±0,5
	фон	15,7±0,8	—	68,8±2,9	7,0±2,6	2,5±1,5	1,3±0,8
	HCP ₀₅	4,1	—	13,0	8,8	8,1	1,6
2019	100	73,4±0,8*	3,2±0,4	2,6±1,9*	2,0±1,8	13,7±2,6	0,6±0,4
	200	41,5±2,0*	2,6±1,3	15,2±8,9*	14,7±5,6	19,9±4,9	2,7±0,5*
	300	44,0±3,3*	3,5±1,3	44,1±3,2*	4,1±1,0	3,6±1,0	0,1±0,1
	фон	16,5±1,5	—	71,5±3,5	8,3±4,0	—	0,5±0,3
	HCP ₀₅	6,4	—	15,8	11,1	—	1,0
2020	100	70,3±2,3*	—	—	2,0±1,8	19,9±5,6	2,0
	200	88,1±3,9*	—	—	3,9±0,8	7,9±3,4	—
	300	32,1±6,8*	—	60,4±5,9	—	6,5±1,1	—
	фон	17,4±4,7	—	79,2±3,1	3,0±1,8	—	—
	HCP ₀₅	14,5	—	—	4,8	—	—

Примечание. * — достоверные различия по отношению к фону; HCP₀₅ — наименьшая существенная разница.

Преобладание вышеуказанных видов связано с их биологическими требованиями к условиям произрастания. Кострец безостый хорошо растет на осушенных торфяниках, слабокислых и нейтральных почвах при средней и повышенной их обеспеченности азотом, фосфором, калием, со стабильным увлажнением, выдерживает близкое залегание грунтовых вод. Корневая система растения мощная, мочковатая, уходящая в почву на глубину до двух метров, благодаря чему данный злак засухоустойчив. Тимофеевка луговая из-за устойчивости к холоду, влаге и тяжелым почвам также хорошо растет на осушенных торфяниках, переносит значительную кислотность почв (рН 4,5...5,0). Купырь лесной — экологически адаптированный вид местной природной флоры, мезофит, встречается на почвах различной реакции, но лучше развивается в нейтральных кислотно-щелочных условиях. Кипрей узколистный хорошо растет на почвах богатых гумусом и элементами минерального питания, отдает предпочтение сухим торфяникам с рН 4,5...5,0. Крапива двудомная и кипрей узколистный — нитрофильные растения, выбирают нейтральную или слабокислую среду, для первой кислые или чрезмерно щелочные почвы не благоприятны. [6]

По результатам оценки ботанического состава выявили существенное изменение массовой доли компонентов травостоя на разном расстоянии от карьера (табл. 2, рис. 2). Под влиянием техногенной нагрузки на исследуемой территории постепенно произошла естественная смена флоры от злаковых трав в сторону преобладания в травостое малоценного в кормовом отношении разнотравья. По мере удаления от карьера с подкислением почвенного раствора (рН 4,6...5,3) и высвобождением P₂O₅ (114, 6...207,2 мг/кг) из почвы массовая доля злакового компонента постепенно уменьшалась с 77,8 до 42,9 %, а разнотравья, наоборот, увеличивалась с 21,2 до 56,8 %. Несмотря на аэрогенное загрязне-

ние территории содержание злаковых трав в урожае зеленой массы травостоя в 2,6...4,7 раза превышало соответствующие показатели фоновой площади, где установлены более низкая концентрация биогенных соединений фосфора, калия и снижение кислотности почвы. В фоновых условиях доля участия разнотравья в урожае надземной биомассы увеличилась в 1,5...3,9 раза.

Выявленные особенности распространения травянистых растений обусловлены не только антропогенной трансформацией почв, восприимчивостью компонентов агрофитоценоза к пылевому

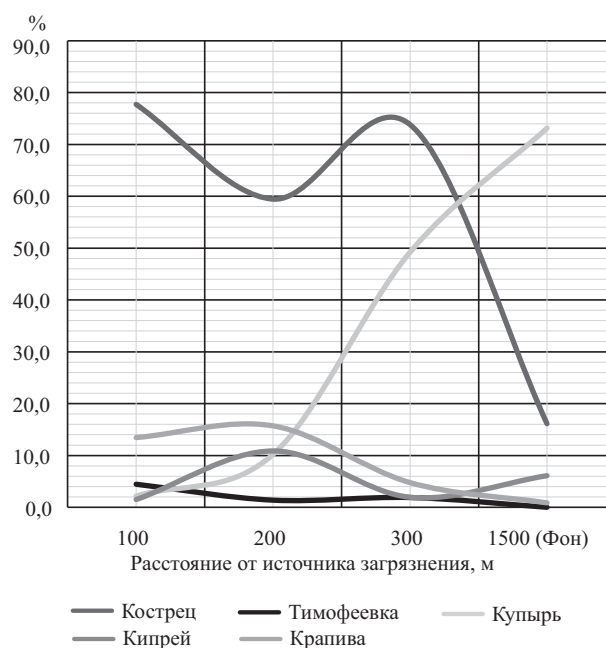


Рис. 1 Динамика развития основных компонентов агрофитоценоза в зоне воздействия горнодобывающего производства в среднем за трехлетний период, %.

загрязнению в результате седиментации пылевых частиц, мощностью корневой системы, но и особенностями развития вегетативных побегов. У костреца безостого они образуются из узла кушения, который расположен на глубине до 2,5 см. Для представителей гемикриптофитов (тимopheевка луговая, кипрей узколистный) характерно расположение почек возобновления, из которых развиваются побеги, на уровне поверхности почвы. В исследовании при двуукосной системе использования травостоя на 100 м от карьера резко уменьшается массовая доля *Ph. pratense*, и полностью элиминирует к третьему году изучения на всех пробных площадях. Вероятно, это связано с сочетанием нескольких неблагоприятных агроклиматических и антропогенных факторов: бесснежной, морозной зимой 2019–2020 годов и многолетним мощным пылевым воздействием горнодобывающего производства.

Кострец безостый, обладая высокими кормовыми достоинствами среди многолетних трав, наиболее продуктивен в условиях стабильного увлажнения. Степень облиственности, количество вегетативных удлинённых и укороченных побегов, а также их линейные параметры определяют биомассу кормовой культуры. Недостаточное количество осадков в первой половине летнего периода, характерное для климатических условий Карелии [12], наличие загрязняющих веществ в почве и на поверхности растений вызвали существенное снижение линейных значений костреца безостого по сравнению с фоном (рис. 3). Независимо от пылевой нагрузки показатели роста костреца относительно выравнены, о чем свидетельствует коэффициент вариации, изменяющийся в пределах средней и верхней нормы.

Пылевое загрязнение надземного растительного покрова вызвало интенсивное побегообразо-

вание злакового компонента, поэтому при оценке урожайности кормовой массы костреца безостого с привлечением дисперсионного анализа выявлены существенные различия по сравнению с фоном. В неодинаковые по метеорологическим условиям полевые сезоны (2018–2020 годы) установленная тенденция изменения линейных и урожайных показателей костреца безостого повторяется: по мере удаления от источника загрязнения увеличиваются показатели длины стебля, однако его массовая доля в общем урожае зеленой массы уменьшается с 46,5 до 43,9 % за счет снижения содержания культуры в травостое. С увеличением расстояния от горнодобывающего карьера установлено достоверное повышение урожайности зеленой массы многолетних трав (13,2 – 16,4 – 22,0 т/га) по отношению к фоновой зоне (28,0 т/га), в основном за счет разнотравья. Отсутствие поллютантов на последней обусловило превышение формирования в 1,3...2,1 раза биомассы кормовых трав за два укоса относительно соответствующих значений на загрязненной территории. Растительные остатки, входящие в состав дернового слоя, имеют нейтральную реакцию среды, быстро разлагаются, образуя рыхлую, богатую гумусом и хорошо аэрируемую подстилку, что повышает трофность почвы. Подобные изменения в верхнем почвенном горизонте благоприятны для большинства произрастающих растений и способствуют увеличению урожая их биомассы. [11]

Техногенная сукцессия многолетнего разнотравно-злакового агрофитоценоза характеризуется невысоким видовым разнообразием и сопровождается доминированием компонентов травостоя – костреца безостый, крапива двудомная, купырь лесной, кипрей узколистный. С увеличением расстояния от карьера происходит постепенная естественная смена флоры от злаковых трав в сторону преобладания разнотравья (массовая доля 21,2 –

Таблица 2.
Линейные и урожайные показатели костреца безостого в зоне аэротехногенного влияния, 2018–2020 годы

Расстояние от источника загрязнения, м	Год	Длина стебля костреца, $\bar{x}, s\bar{x}$, см	V, %	Урожайность многолетних трав, т/га			
				общая	НСР ₀₅	в том числе костреца безостого	НСР ₀₅
100	2018	25,2±1,2*	10,2	22,3±1,1*	2,4	17,0±1,7*	4,0
200		34,2±2,3*	11,5	27,4±0,6*		11,6±1,2*	
300		40,6±2,1*	17,1	33,9±0,5*		16,0±1,3*	
Фон		46,9±3,9	21,5	42,2±0,4		6,6±0,8	
100	2019	12,6±0,9*	13,6	3,0±0,2*	1,7	2,2±0,8	6,4
200		19,0±2,2*	12,6	6,2±0,2*		2,6±2,0	
300		25,9±2,1*	14,7	8,7±1,0		3,8±3,3	
Фон		37,6±3,0	18,1	15,0±0,8		2,5±1,5	
100	2020	20,2±2,0*	16,7	14,3±0,2*	2,2	10,0±2,2*	14,5
200		24,5±2,8*	18,6	15,4±0,6*		13,6±1,5*	
300		28,1±3,0*	19,2	23,6±1,7		7,6±1,8	
Фон		38,0±5,2	27,2	26,9±0,7		4,7±1,5	
100	Среднее за три года	20,7	–	13,2	–	9,7	–
200		27,9		16,4		9,3	
300		31,8		22,0		9,1	
Фон		40,2		28,0		4,6	

Примечание. $\bar{x}$ – среднее арифметическое; $s\bar{x}$ – ошибка средней арифметической; V – коэффициент вариации.

* – достоверные различия по отношению к фону при уровне значимости $P > 0,5$.

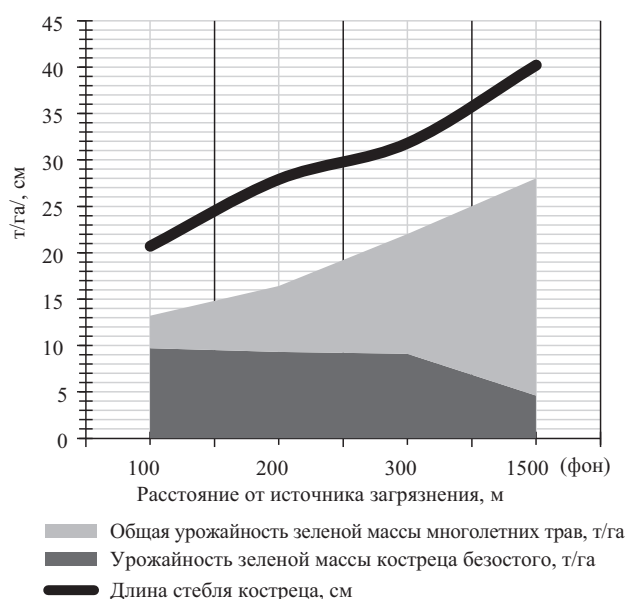


Рис. 2. Линейные показатели костреца безостого и соотношение его зеленой массы к общей урожайности агрофитоценоза в условиях аэротехногенного воздействия.

.39,4 – 56,8 %) по отношению к фоновым условиям (82,9 %). Агроклиматические особенности местности и загрязнение поллютантами поверхности почвы и растений вызвали существенное снижение роста костреца безостого (линейные показатели – 20,7...31,8 см) относительно фона (40,2 см), а также увеличение общей урожайности зеленой массы многолетних трав (13,2 – 16,4 – 22,0 т/га, фон – 28,0 т/га) с удалением от карьера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аверина, М.В. Вторичные сукцессии на землях из-под сельскохозяйственного пользования на территории Кенозерского национального парка/ М.В. Аверина, П.А. Феклистов, С.В. Третьяков, О.Д. Кононов // Вестник КрасГу. – 2016. – № 5. – С. 25–32.
2. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга / Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, В.А. Чаплыгин и др. // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24. – № 3 (76). – С. 43–55.
3. Безель, В.С. Химическое загрязнение: перенос химических элементов в надземную фитомассу травянистых растений / В.С. Безель, Т.В. Жуйкова // Расс J Ecol. – 2007. – № 38. – С. 238–246.
4. Ботаническая география с основами экологии растений / Под. редак. Б.С. Родионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1994. – С. 153–165.
5. Голубева, Л.В. Трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях: монография / Л.В. Голубева, Е.Н. Наквасина. – Архангельск: КИРА, 2017. – 152 с.
6. Дмитриева, С.И. Растения сенокосов и пастбищ. / С.И. Дмитриева, В.Г. Игловикова, Н.С. Конюшков, В.М. Раменская. – М.: «Колос», 1974. – 196 с.
7. Землянский, В.А. Растительность тундр Северного Ямала в условиях антропогенной трансформации / В.А. Землянский // Биоразнообразие экосистем крайнего севера: инвентаризация, мониторинг, охрана. III Всерос. науч. конф.: 20–24 ноября 2017 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия: тезисы докладов. – Сыктывкар: Издательство ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. – 328 с.
8. Иванов, А.Л. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / А.Л. Иванов, А.А. Завалин и др. – М.: РАСХН, 2008. – 64 с.
9. Изменение агрегатного состава различных типов почв в ходе залежной сукцессии Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 2017. – Вып. 88. – С. 47–74.
10. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях/ А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
11. Кравченко, Р.В. Растительные остатки и плодородие почв/ Р.В. Кравченко, М.Т. Куприченко // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 79 (05). – С. 1–10.
12. Назарова, Л.Е. Атмосферные осадки в Карелии / Л.Е. Назарова // Труды Карельского научного центра РАН, 2015. – № 9. – С. 114–120.
13. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщество, виды / ред. А.Н. Громцев, С.П. Китаев, О.Л. Кузнецов и др. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. – 262 с.
14. Vincent, Q. Assessment of derelict soil quality: Abiotic, biotic and functional approaches/ Q. Vincent, A. Auclerc, T. Beguiristain, C. Leyval // Science of The Total Environment, – 2018. – Vol. 613–614. – P. 990–1002.

LIST OF SOURCES

1. Averina, M.V. Vtorichnye sukcesii na zemlyah iz-pod sel'skohozyajstvennogo pol'zovaniya na territorii Kenozer'skogo nacional'nogo parka/ M.V. Averina, P.A. Feklistov, S.V. Tret'yakov, O.D. Kononov // Vestnik KrasGau. – 2016. – № 5. – S. 25–32.
2. Akkumulyaciya tyazhelyh metallov raznotravnoj stepnoj rastitel'nost'yu po dannym mnogoletnego monitoringa / T.M. Minkina, S.S. Mandzhieva, V.A. Chaplygin i dr. // Aridnye ekosistemy. – 2018. – T. 24. – № 3 (76). – S. 43–55.
3. Bezel', V.S. Himicheskoe zagryaznenie: perenos himicheskikh elementov v nadzemnuyu fitomassu travyanistyh rastenij / V.S. Bezel', T.V. Zhujkova // Rass J Ecol. – 2007. – № 38. – S. 238–246.
4. Botanicheskaya geografiya s osnovami ekologii rastenij / Pod. redak. B.S. Rodionova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1994. – S. 153–165.
5. Golubeva, L. V. Transformaciya postagrogennyh zemel' na karbonatnyh otlozheniyah: monografiya / L.V. Golubeva, E.N. Nakvasina. – Arhangel'sk: KIRA, 2017. – 152 s.
6. Dmitrieva, S.I. Rasteniya senokosov i pastbishch. / S.I. Dmitrieva, V.G. Iglovikova, N.S. Konyushkov, V.M. Ramenskaya. – M.: «Kolos», 1974. – 196 s.
7. Zemlyanskij, V.A. Rastitel'nost' tundr Severnogo Yamala v usloviyah antropogennoj transformacii / V.A. Zemlyanskij // Bioraznoobrazie ekosistem krajnego severa: inventarizaciya, monitoring, ohrana. III Vseros. nauch. konf.: 20–24 noyabrya 2017 g., Syktvykar, Respublika Komi, Rossiya: tezis dokladov. – Syktvykar: Izdatel'stvo IB Komi NC UrO RAN, 2017. – 328 s.
8. Ivanov, A.L. Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel', vybyvshih iz aktivnogo sel'skohozyajstvennogo oborota / A.L. Ivanov, A.A. Zavalin i dr. – M.: RASKHN, 2008. – 64 s.

9. Izmenenie agregatnogo sostava razlichnyh tipov pochv v hode zaleznoj suksessii Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva, 2017. — Vyp. 88. — S. 47–74.
10. Kabata-Pendias, A. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah/ A. Kabata-Pendias, H. Pendias. — M.: Mir, 1989. — 439 s.
11. Kravchenko, R.V. Rastitel'nye ostatki i plodorodie pochv/ R.V. Kravchenko, M.T. Kuprichenkov // Nauchnyj zhurnal KubGAU. — 2012. — № 79 (05). — S. 1–10.
12. Nazarova, L.E. Atmosfernye osadki v Karelii / L.E. Nazarova // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN, 2015. — № 9. — S. 114–120.
13. Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestvo, vidy / red. A.N. Gromcev, S.P. Kitaev, O.L. Kuznecov i dr. — Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2003. — 262 s.
14. Vincent, Q. Assessment of derelict soil quality: Abiotic, biotic and functional approaches/ Q. Vincent, A. Auclerc, T. Beguiristain, C. Leyval // Science of The Total Environment. — 2018. — Vol. 613–614. — P. 990–1002.