

ДИНАМИКА ЦЕЛЛЮЛОЗОРАЗРУШАЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ЭМБРИОЗЕМОВ В ФИТОГЕННОМ ПОЛЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ОТВАЛАХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Уфимцев В.И.¹, Беланов И.П.²

¹ФГБУН Институт экологии человека СО РАН, Кемерово, Россия, E-mail: uwy2079@gmail.com

²ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, E-mail: bel_ivan@rambler.ru

Изучена динамика активности почвенных микроорганизмов, ответственных за разрушение целлюлозы в эмбриоземах под влиянием сосны обыкновенной на отвалах угольной промышленности. Использован аппликационный метод с применением обеззоленных фильтров в трехкратной повторности. Рассмотрены следующие варианты эксперимента: зона фитогенного поля – подкрановая, прикрановая, внешняя; ориентация по сторонам света – северная, южная; глубина закладки элементов – в приповерхностном слое и на глубине 10 см. В качестве контроля выбраны деревья сосны, произрастающие на зональных почвах. Проведен корреляционный анализ связи разрушения целлюлозы с погодными условиями с учетом зонирования фитогенных полей. Установлена прямая зависимость от суммы эффективных температур и обратная – от гидротермического коэффициента. Определена высокая величина целлюлозоразрушающей активности в подкрановой и внешней зонах и сниженная – в прикрановой.

Ключевые слова: целлюлозоразрушающая активность почвы, фитогенное поле, сосна обыкновенная, отвалы вскрышных пород, эмбриоземы

DYNAMICS OF ACTIVITY OF DESTRUCTION CELLULOSE IN EMBRYOZEMS IN THE PHYTOGENOUS FIELD OF THE SCOTS PINE ON DUMPS OF THE COAL INDUSTRY

Ufimtsev V.I.¹, Belanov I.P.²

¹Institute of Human ecology SB RAS, E-mail: uwy2079@gmail.com

²Institute of soil science and agrochemistry SB RAS, E-mail: bel_ivan@rambler.ru

Dynamics of activity of the soil microorganisms responsible for destruction of cellulose in the embryozems of dumps under the influence of a scots pine is studied. The application method with use of the deashed filters in triple frequency is used. The following options of experiment are considered: a zone of a phytozenous field – internal zone, a transitional zone and external; orientation on parts of the world – northern, southern; depth of a laying of elements – in a surface layer and at a depth of 10 cm. As control the pine trees growing on zone soils are chosen. The correlation analysis of communication of destruction of cellulose with weather conditions taking into account zoning of phytozenous fields is carried out. Direct dependence on the sum of effective temperatures and the return – from hydrothermal coefficient is established. The high size of activity of destruction cellulose in internal and external zones and lowered – in transitional zone is determined.

Keywords: activity of destruction cellulose of soil, phytozenous field, pine ordinary, dumps, embryozems

Формирование фитогенных полей деревьев сопровождается изменением экологических условий в пределах влияния особей [1, 6]. Зональность фитогенных полей характеризуется, прежде всего, различиями подчиненного растительного покрова, обусловленного как прямым воздействием, путем распределения атмосферных осадков, изменением освещенности и другими факторами, так и опосредовано, через влияние на почвенные процессы [4]. Зональные почвы, обладающие высокой буферностью, характеризуются устойчивостью к изменениям под влиянием деревьев [8], однако молодые почвы – эмбриоземы – плодородие которых находится в зачаточном состоянии, могут претерпевать серьезные изменения.

Отвалы угольной промышленности на начальном этапе своего существования как базисы наземных экосистем характеризуются крайне слабыми процессами почвообразования, с преобладанием процессов физического выветривания горных пород. По мере зарастания отвалов возрастает значение биологического фактора, который состоит в преобразовании почвенного профиля корнями растений, формировании растительного опада, активизации деятельности почвенной микрофлоры. Интегральным показателем активности последней может служить деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, поскольку целлюлоза является главным компонентом клеточных стенок высших растений и ее содержание в растительном опаде достигает 40-70 % массы сухого вещества [5].

Целью настоящей работы явилось изучение целлюлозоразрушающей активности эмбриоземов в пределах различных зон фитогенных полей деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на участках рекультивации отвалов угольной промышленности в Кузбассе.

Материал и методы исследования

Объекты исследования – одиночные деревья сосны обыкновенной 25-27 летнего возраста, произрастающие на отвалах Кедровского разреза Кузнецкого угольного бассейна (подзона северной лесостепи). Отвалы – спланированные участки лесной рекультивации, сложенные из гетерогенной смеси песчаников, алевролитов, углистых частиц и незначительным вкраплением лессовидных суглинков. Во фракционном составе поверхностного слоя эмбриоземов (0-10 см) преобладают каменистая (размер частиц 3-10 мм) – в среднем 28,6-38,4 %, и гравийная (1-3 мм) – 24,1-38,3 %, фракции, присутствует 14,4-20,5 % глыбистых фракций (> 10 мм), доля мелкозема (< 1 мм) составляет 17,8-18,9 %. Контрольный участок заложен на территории Кузбасского ботанического сада (г. Кемерово), в культурах сосны обыкновенной 20-летнего возраста, произрастающих на тяжелосуглинистых высокогумусных лугово-черноземных почвах с близким (2-3 м) залеганием грунтовых вод.

Травянистый покров местообитаний отвалов сформирован как под влиянием древостоев сосны обыкновенной, так и в результате самозарастания. На открытых участках и внекрупных пространствах преобладают *Dactylis glomerata*, *Calamagrostis epigeios*, *Melilotus officinalis*, *Centaurea scabiosa*, *Agrostis gigantea*, которые образуют травостой с проективным покрытием 70-100 %. Общее количество видов на 100 м² – 28-35. В сомкнутых древостоях и подкрупных пространствах преобладают *Pinus sylvestris* (подрост), *Poa angustifolia* и *Fragaria vesca*, проективное покрытие которых составляет 5-90 %, в зависимости от сомкнутости крон и экспозиции по отношению к дереву. Прочие виды представлены единично, при отсутствии трех вышеуказанных доминантов проективное покрытие не формируется.

Исследования проводились с мая по октябрь 2015 года. Активность целлюлозоразрушающей микрофлоры изучена при помощи аппликационного метода [2] с использованием обеззоленных фильтров (ТУ 6-09-1678-95 Ø 12,5 см). Индикаторный элемент составлялся из трех фильтров, которые помещались отдельно друг от друга в один конверт из капроновой сетки с размером ячеек 2×2 мм, скрепленный металлическими скобами. Индикаторные элементы размещались одновременно в подкороновой, прикороновой и внешних зонах фитогенных полей по северным и южным трансектам модельных деревьев в приповерхностном слое почвы (1-2 см), поскольку поступление органических остатков происходит на поверхность, и на глубину 10 см, где формируется основная масса всасывающих корней травянистых растений. Индикаторные элементы устанавливались 10 числа каждого месяца, начиная с 10 мая, сроком на 1 месяц – при установке новых элементов предыдущие изымались. После экспонирования элементы очищались от почвы, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались.

Для оценки динамики температурного режима и распределения влаги в течение вегетационного периода в каждой зоне фитогенных полей проводились измерения температуры, при помощи системы «Termochron», и осадков, с помощью полевых дождемеров. При получении данных за весь вегетационный период проводилось сравнение между вариантами эксперимента и корреляционный анализ динамики целлюлозоразрушающей активности с количеством осадков и суммой эффективных температур. Математическая обработка результатов проведена с помощью программ MS Excel® и Untitled.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика целлюлозоразрушающей активности имеет высокую вариабельность в течение вегетационного периода (табл. 1). В первый месяц вегетации (май) скорость разрушения целлюлозы на отвале минимальна, составляет 3-11 % в приповерхностном слое и 2-6 % на глубине 10 см, что в 1,5-2 раза ниже, чем в контроле. Очевидно, это связано с быстрой активизацией микробиологического компонента на контроле в условиях высокого содержания гумуса, в первую очередь, за счет анаэробных бактерий, ответственных за разрушение целлюлозы. В то же время, на эмбриоземах, с очень низким содержанием органического вещества, активизация биоты происходит значительно медленнее. Однако уже на данном этапе на поверхности процесс разложения протекает интенсивнее, чем на глубине 10 см, но прямо пропорционально – коэффициент корреляции между двумя обеими группами данных равен 0,74.

Таблица 1

Убыль массы индикаторных элементов после экспозиции, %

Зоны ФП*	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
Север										
П	7	6	54	27	58	35	79	60	18	11
ПК	8	5	51	17	44	30	42	21	14	7
В	5	3	49	23	49	39	73	66	21	13
Юг										
П	3	4	61	30	44	41	83	77	23	15
ПК	3	2	34	18	23	19	25	29	12	9
В	11	4	70	37	41	27	66	52	14	8
Контроль										
П	12	11	65	70	50	40	67	46	22	21
ПК	16	7	71	55	52	43	78	52	18	19
В	18	9	70	61	53	39	66	39	15	14

*Зоны фитогенного поля: П – подкроновая, ПК – прикroновая, В - внешняя

В июне в приповерхностном слое наблюдается первый пиковый период разрушения целлюлозы, выраженный как на эмбриоземах, так и в контроле. На контроле убыль массы, как правило, значительно (65-71 %), чем на эмбриоземах по северной трансекте и в подкroновой и внешней зонах южной трансекты (49-61 %). Минимальная убыль отмечается в прикroновой зоне южной трансекты (34 %). На глубине 10 см убыль массы также возрастает, в контроле она сопоставима с показателями на поверхности, на эмбриоземах возрастает существенно медленнее, здесь она в 2-2,5 раза ниже. Это свидетельствует об активизации аэробных организмов на поверхности эмбриоземов и их незначительной роли на глубине 10 см.

В июле на поверхности наблюдается снижение роста убыли и ее некоторый спад, по всем вариантам и в контроле. На глубине 10 см в эмбриоземах северной трансекты динамика роста убыли сохраняется, на 25-40 %, а в контроле и на южной трансекте – снижается на 8-20 %. Сниженные показатели подкroновой зоны южной трансекты сохраняются. В августе отмечается рост и второй пик целлюлозоразрушающей активности, как в контроле, так и в эмбриоземах, она достигает 66-83 % убыли элементов за месяц. Этому благоприятствуют, очевидно, формирование нового опада травянистых растений и оптимизация увлажнения при достаточно высокой сумме эффективных температур в этом месяце. Исключение составляют прикroновые зоны обеих трансект, где она остается на прежнем уровне или снижается (на глубине 10 см по северной трансекте). В сентябре отмечается повсеместное снижение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов – в 2,5-5 раз. В контроле снижение убыли менее выражено, до 14-22 %, более существенное снижение отмечается в подкroновых и внешних зонах обеих трансект – 8-21 %, максимальное снижение выражено в прикroновых зонах – до 7-14 %.

Таким образом, целлюлозоразрушающая активность в эмбриоземах в течение вегетационного периода имеет более сжатые сроки, при этом в пиковые периоды ее величина не ниже, чем в зональных почвах. Максимальной активностью обладает приповерхностный слой эмбриоземов – с глубиной величина разрушения целлюлозы резко снижается. Различия между зонами фитогенных полей отмечаются как в динамике, так и по величине – минимальными параметрами характеризуется прикромовая зона.

При оценке динамики разрушения целлюлозы следует провести сравнение с динамикой факторов внешней среды, ведущими из которых являются сумма эффективных температур (ΣT , °C) и сумма осадков (ΣX , мм) за исследуемый период. Общая динамика ΣT , °C соответствует температурному режиму с максимальной среднесуточной температурой в июле (рис. 1). Максимальная ΣT , °C на северной трансекте отмечается во внешней зоне, на южной – в прикромовой зоне. Последнее связано с низким проективным покрытием травостоя при достаточно высокой степени инсоляции. Минимальная ΣT , °C отмечается в подкромовой зоне с подветренной северной стороны.

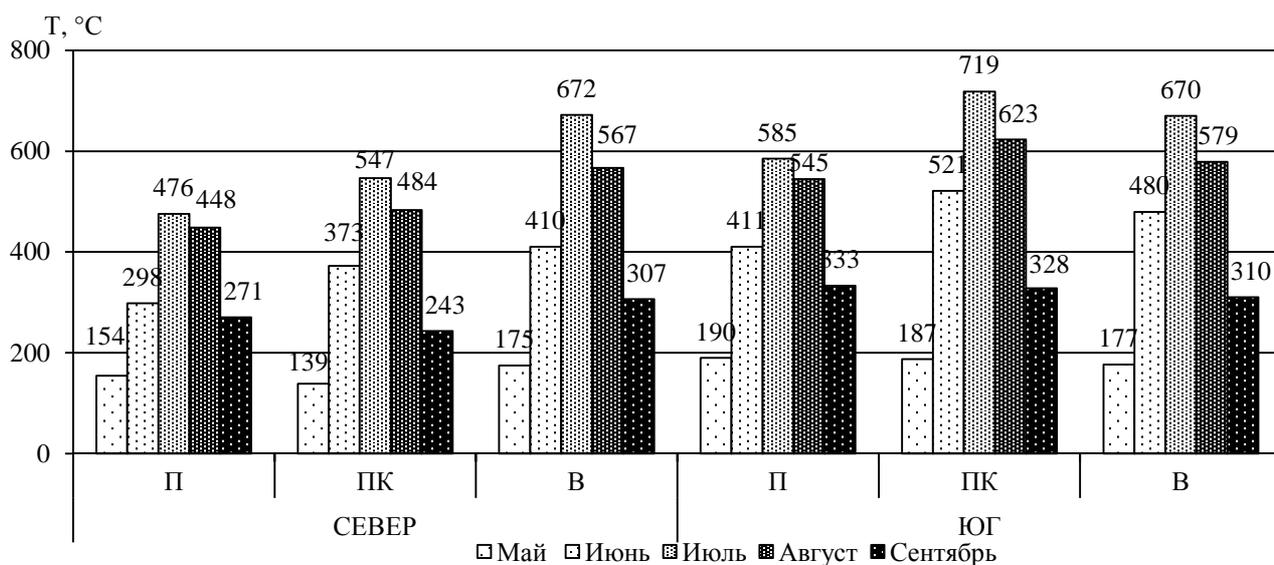


Рис. 1. Сумма эффективных температур (выше +10°C) в почвенном слое по зонам фитогенных полей П – подкромовая, ПК – прикромовая, В – внешняя

Увлажнение зон фитогенных полей характеризуется крайней неравномерностью (рис. 2). Максимальное количество осадков на обеих трансектах выпадает в прикромовой зоне, минимальное, в 2-2,5 раза ниже – в подкромовой.

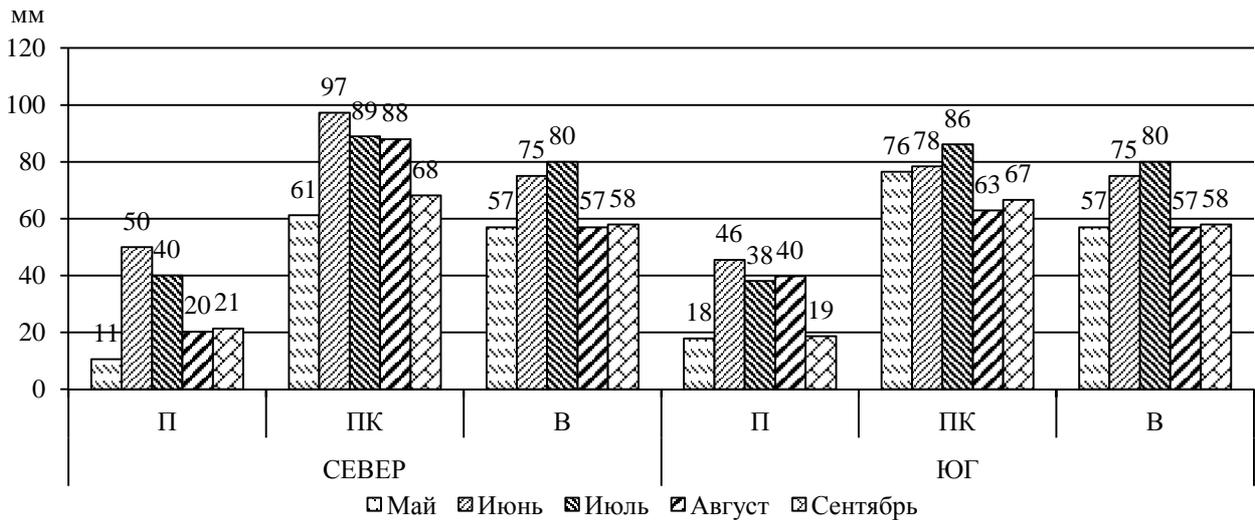


Рис. 2. Распределение осадков (мм) по зонам фитогенных полей

Важное значение имеет интегрированный показатель увлажнения и температурного режима – гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) (рис. 3). По его величине резко выделяется прикромовая зона, где ГТК > 1 в течение всего вегетационного периода, а в мае достигает 4,1-4,4, что характеризует избыточное увлажнение данной зоны. В подкромовой зоне, наоборот, ГТК < 1, за исключением июня – для данной зоны характерен выраженный ксероморфизм.

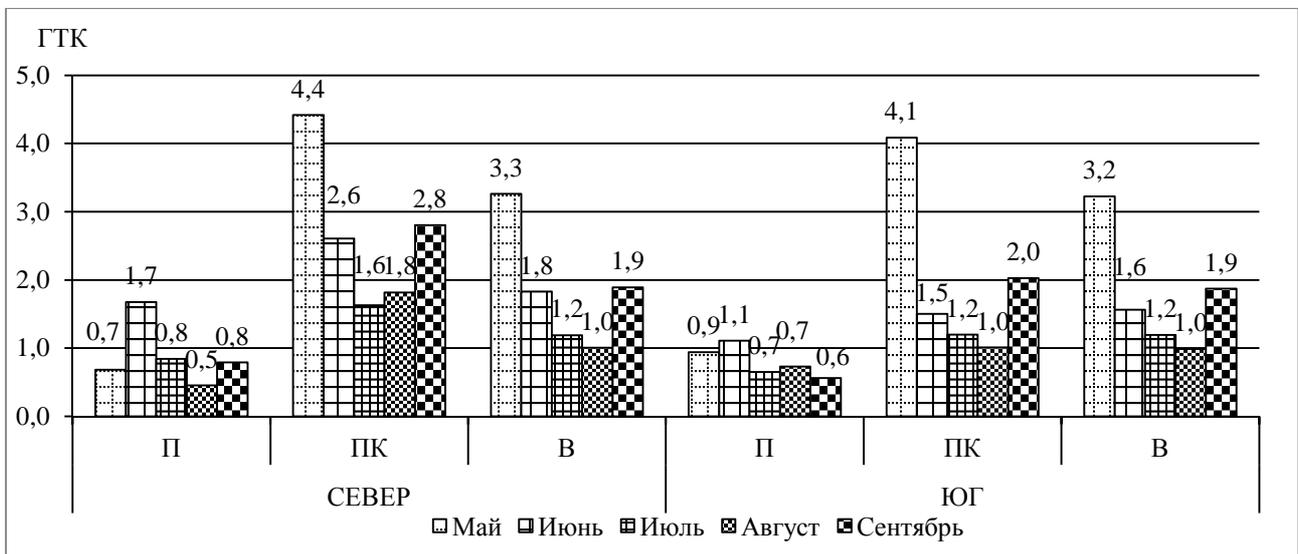


Рис. 3. Гидротермический коэффициент по зонам фитогенных полей

Корреляционный анализ данных с погодными условиями показывает высокую степень влияния температурного фактора – наблюдается прямая зависимость от суммы эффективных температур ($r = 0,55-0,77$), на южных трансектах она несколько ниже, чем на северных (табл. 2). Динамика целлюлозоразрушающей активности в общих чертах повторяет

ход температуры в течение вегетационного периода, за исключением июля, когда активность убыви целлюлозы замедляется. Это может быть связано с негативным влиянием критически высоких температур (свыше +30°C) – в прикромовой зоне южной трансекты, так и со снижением количества прошлогодней морт-массы, при отсутствии опада текущего года.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (r , при $p = 5\%$) между погодными условиями и динамикой разрушения целлюлозы

Трансекта	Глубина, см	$\Sigma T, ^\circ C$	$\Sigma X, мм$	ГТК
Север	0	0,77	0,12	-0,54
	10	0,74	0,05	-0,58
Юг	0	0,55	-0,01	-0,5
	10	0,61	-0,11	-0,56

Зависимость целлюлозоразрушающей активности от осадков не наблюдается, $r = -0,11-0,12$. Так, в сентябре, когда сумма осадков относительно летних месяцев остается практически неизменной, активность почвенных сапрофитов значительно падает, реагируя на динамику температур. Также и в прикромовой зоне, куда попадает лишь 18-65 % влаги осадков относительно внешних зон фитогенных полей, в июне, июле и августе целлюлозолитическая активность эмбриоземов не ниже, чем во внешних зонах фитогенных полей.

Имеет место обратная зависимость средней степени с гидротермическим коэффициентом – $r = -0,5-0,58$, что объясняет сниженную микробиологическую активность в прикромовой зоне южных экспозиций и высокую – в подкромовой зоне с дефицитным водным режимом. И хотя ряд исследований показывают, что корневые выделения сосны сдерживают активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов [3], на изучаемом этапе развития сосняков это не подтверждается. Возможно, подобное явление характерно для прикромовой зоны, в эмбриоземах которой сосредоточена большая корневая масса сосны, а количество опада, являющегося средой для почвенной микрофлоры – в десятки раз меньше. В то же время известно, что между азотфиксирующей способностью и разложением клетчатки есть прямолинейная корреляция [7]. Сосна обладает выраженной микотрофностью, поэтому, возможно, подавление микрофлоры корневыми выделениями в молодых посадках нивелируется высокой азотфиксирующей способностью грибов-симбионтов.

Выводы

1. Величина целлюлозоразрушающей активности эмбриоземов в подкромовых и внешних зонах фитогенных полей сосны обыкновенной сопоставима с таковой в насаждениях на зональных почвах. Календарный диапазон высокой активности микробиоты

эмбриоземов ограничен тремя летними месяцами, в мае и сентябре активность резко снижена.

2. Динамика целлюлозоразрушающей активности эмбриоземов имеет прямо пропорциональную зависимость от суммы активных температур и обратно пропорциональную от гидротермического коэффициента. Связь динамики разрушения целлюлозы с динамикой осадков не выявлена.

3. Активность разрушения целлюлозы в прикромовых зонах снижена вследствие повышенного ГТК, а также критически высоких температур на поверхности и, вероятно, низкой величиной растительного опада.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 14-04-31088

Список литературы

1. Ипатов В. С. Фитогенные поля одиночных деревьев некоторых пород в одном экотопе // Бот. журнал, 1997. – Т. 92, № 8. – С. 1186-1192.
2. Методы стационарного исследования почв. [Под ред. А.А. Роде, Н.А. Ногина, И.Н. Скрынниковой]. – М., 1977. – С. 277-280/
3. Наплекова Н. Н., Лашинский Н. Н., Ронгинская А. В. Аэробное разложение целлюлозы в почвах и ризосфере дикорастущих растений // Изд-во СО АН СССР. – Вып. 2. – № 10. – М.: 1972. – С. 10-16.
4. Паркина И.М. Особенности биологической активности почвы в фитогенном поле березы повислой // Вестник СамГУ. – № 7 (47), 2006. – С. 148-153.
5. Пряженникова О.Е. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды // Вестник КемГУ. – №3 (47), 2011. – С. 10-13.
6. Уранов А. А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. – Т. 1. – М.-Л.: Наука, 1965. – С. 251-254.
7. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / под ред. В. М. Курачева. – Новосибирск: Наука, сиб. отд-е, 1992. – 305 с.
8. Lyons A. Pines do not damage soils // Agriculture fisheries forestry. – Tasmania, 2001. – P. 1-4.

Рецензенты:

Куприянов А.Н., д.б.н., профессор, зав. отд. Кузбасский ботанический сад, Кемеровский научный центр СО РАН, г. Кемерово;

Андроханов В.А., д.б.н., зам. директор по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск.