

УДК 631.433.3

## ЭФФЕКТЫ ФИТОГЕННОГО ПОЛЯ СОСНЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

© 2021 г. О. В. Трефилова<sup>а</sup>, \*, И. П. Беланов<sup>б</sup>, В. И. Уфимцев<sup>с</sup>, Д. Ю. Ефимов<sup>д</sup>

<sup>а</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037 Россия

<sup>б</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, просп. Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630099 Россия

<sup>с</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,  
Ленинградский просп., 10, Кемерово, 650065 Россия

<sup>д</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
пос. Борок, 109, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742 Россия

\*E-mail: ovtrefilova\_ilsoran@mail.ru

Поступила в редакцию 28.11.2018 г.

После доработки 27.07.2020 г.

Принята к публикации 08.12.2020 г.

В рамках настоящей работы предпринята попытка оценить характер (однотипность или уникальность) влияния дерева на почвы в различных климатических условиях. Для достижения цели исследования подобрана серия опорных полигонов, где одна и та же древесная порода — сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — развивается в разных эколого-географических районах (ЭГР): остепненном; северном лесостепном и среднегорном таежном, но в условиях близкого эдафического фона. Формирование насаждений происходит на слаборазвитых почвах отвалов. Это молодые почвы, для которых процессы формирования “педопамяти” (по Таргульяну) только запускаются, что позволило оценивать непосредственное влияние современного древостоя на почвы. Методологической основой работы служит концепция фитогенного поля (ФП). Показано, что влияние отдельно стоящего дерева сосны II класса возраста распространяется на 131–155 м<sup>2</sup> и только 10–13% данной площади находится в подкроновом пространстве — зоне максимального воздействия источника ФП. Сопоставление степени проявления прямых и косвенных эффектов ФП (параметры радиально-концентрического рисунка ФП, степень освещенности, запас лесной подстилки и фитомассы, интенсивность почвенного дыхания, температура и влажность почвы) и корреляционный анализ биогенных и абиогенных параметров позволяют сделать вывод о неоднотипности влияния сосны на молодые почвы угольных отвалов при разной степени увлажнения. Радиально-концентрические рисунки проекции изучаемых фитогенных полей различаются по площади прикромовой зоны. Увеличение площади прикромовой зоны в избыточно увлажненном среднегорно-таежном ЭГР позволяет предполагать, что воздействие сосны на почвы отвалов в этих условиях проявляется более интенсивно.

**Ключевые слова:** фитогенное поле, рекультивация промышленных отвалов, взаимодействие “лес — почва”, дыхание почв, лесная подстилка, культуры сосны.

DOI: 10.31857/S0024114821020091

Исследования различных аспектов взаимодействия в системе “лес — почва” имеют более чем вековую историю (Binkley, 1995). Возросший в последнее время интерес к данной проблеме во многом является следствием развития биогеоэкологического направления в почвоведении (Головенко, 1977; Смагин, 1989, 1996; Федорец и др., 2006; Карпачевский и др., 2007; Бобровский, 2010; Лукина и др., 2010; и др.). С позиции данного направления лесной фитоценоз рассматривается как пример мощного “давления жизни” (по В.И. Вернадскому) на биокосную материю. Именно в этих условиях можно ожидать наиболее силь-

ного проявления роли биотического фактора в почвообразовательном процессе, эволюции почв и почвенного покрова (Орловский, 1968; Зонн, 1983; Карпачевский и др., 2007; и др.).

Прижизненное направленное воздействие фитоценозов на среду прежде всего определяется материально-энергетическим метаболизмом (по: Дылис и др., 1964) формирующих его видов растений-эдификаторов. Изменение растением среды тем значительнее, чем крупнее это растение, и чем продолжительнее его влияние (Ястребов, Лычная, 1993; Hokkanen et al., 1995; Кожевников, 1998). Поэтому особое внимание исследователей

привлекают деревья, средообразующая роль которых хорошо выражена, усиливается в ходе роста растения и длительно существует (Самойлов, Тархова, 1993; Демьянов, 1996; Журавлёва и др., 2012).

Часть пространства, в пределах которого среда приобретает новые свойства, определяемые присутствием в ней особи конкретного вида, А.А. Уранов (1965) назвал “фитогенное поле” (ФП). Характеристики среды, которые изменяются в отклике на рост и развитие вида-эдификатора, и посредством трансформации, которых источник ФП контролирует видовой состав, продуктивность и пространственное распределение растений подчиненных ярусов, состав и численность беспозвоночных животных, грибов и бактерий, режимы и свойства почв – рассматриваются как эффекты ФП (Уранов, Михайлова, 1974; Кожевников, 1998).

Воздействие дерева на среду распространяется неравномерно в пределах ФП. Наиболее значимое влияние отдельно стоящего дерева, как правило, регистрируется в приствольном и подкроновом пространствах, по мере удаления от ствола напряженность поля ослабевает (Уранов, Михайлова, 1974; Демьянов, 1980; Крышень, 2000; Ипатов, 2007; Ипатов и др., 2009). В структуре ФП, организованного градиентом напряженности воздействия эдификатора, как правило, выделяются радиально-концентрические круги, именуемые тессерами (Лукина и др., 2010), микрозонами (Маслов, 1986; и др.) или зонами (Уфимцев и др., 2016). В сомкнутых насаждениях ФП деревьев перекрываются, а их радиально-концентрическая дифференциация оказывается ограниченной (Крышень, 2000).

Для обозначения участков, в пределах которых проявляется средообразующая роль деревьев, используются и другие термины: “экологическое поле” (Wu et al. 1985; Walker et al., 1989); “сфера средообразующего воздействия” (Работнов, 1984); “эда-сфера” (Быков, 1978) и т.д. По мнению большинства авторов, термин, предложенный А.А. Урановым, по сути, имеет тот же экологический смысл, синонимичен, но при этом он получил более широкое распространение и считается удобным (Кожевников, 1998; Крышень, 2000; Ипатов и др., 2009). Возможно, именно поэтому концепция ФП довольно активно развивается в настоящее время, обсуждается и формализуется ее теоретическая основа (Демьянов, 1996; Ястребов, 1996; Кожевников, 1998; Крышень, 2000; Жукова, 2012; Горелов, 2013; и др.). Более детальные сведения по истории и о современном состоянии изучения ФП представлены в работе Е.В. Черняевой и В.П. Викторова (2016).

Изначально концепция привлекалась только для изучения межвидовых взаимодействий растений и горизонтальной структуры фитоценозов, т.е. воздействие источника ФП оценивалось по поведению других видов или вида, так называемых растений-фитомеров (Уранов, Михайлова, 1974; Галанин, 1980; Маслов, 1986; Ястребов, Лычная, 1993). Позднее при изучении фитогенных полей предметом исследования стали и параметры среды (или эффекты ФП), в том числе освещенность, количество осадков и опада, мощность подстилки, температура и влажность почвы, почвенные свойства (кислотность, концентрация обменных оснований, биологическая активность, содержание гумуса, азота и др.), трансформируя которые источник ФП влияет на соседние растения (Самойлов, 1983; Hokkanen et al., 1995; Finzi et al., 1998; Priha et al., 1999; Паркина, 2006; Пуртова, Зимица, 2007; Ипатов, 2007; Ипатов и др., 2009; Лебедева и др., 2009; Chodak, Niklińska, 2010; Журавлева и др., 2012; Прокушкин и др., 2004; и др.).

Применительно к изучению взаимодействий леса и почвы привлечение концепции ФП нельзя считать чем-то новым. Она перекликается с учением о парцеллярной структуре биогеоценоза, сформулированным Н.В. Дылисом с соавт. (1964) и получившим свое развитие в работах по почвоведению (Карпачевский, 1977, 1981; Ведрова, 1980; Федорец и др., 2006; Карпачевский и др., 2007; Лукина и др., 2010; и др.), а также и с теорией экологического поля (Wu et al., 1985; Walker et al., 1989).

Результаты наиболее всестороннего изучения вопросов влияния леса на почвы, в основном, получены при проведении полевых многолетних экспериментов. Таких экспериментов в мире не много. Наиболее известные из них: эксперименты с тремя древесными породами в Финляндии (Priha et al., 1999); шестью – в Дании (Vesterdal et al., 2008, 2012), четырнадцатью – в Польше (Reich et al., 2005); в России – это 100-летний опыт Н.В. Орловского с шестью породами в условиях одного эдафического фона (Shugalei, 2005; Vedrova, 2005; Меньило, 2006; Ведрова, Решетникова, 2014; и др.) и эксперимент с географическими культурами сосны обыкновенной, дополнительно используемый для оценки влияния климатипов на трансформацию почвенных свойств (Наумова и др., 2009).

Все упомянутые эксперименты проводятся на почвах, имеющих многовековую историю почвообразования. Как справедливо замечает С.В. Зонн (1983), не всегда известно имеют ли почвы лесной генезис на всем протяжении своего формирова-

ния или стали лесными в результате поселения лесной растительности. Фактически, влияние древесных растений на свойства почв в таких условиях оценивается “от исходного” их состояния. При этом изучается воздействие древесных растений на почвы применительно к отдельно взятым условиям местообитания. В то же время остается не ясным, насколько однозначным окажется действие одного и того же вида растения на материнскую породу и почву в различных климатических условиях? Поставленный еще в работах С.В. Зонна (1954) вопрос не нашел исчерпывающего ответа и по мнению D. Binkley (1995) остается ключевым в развитии исследований взаимодействия компонентов системы “лес — почва”.

Приведенные ниже результаты получены в ходе исследований, где одна и та же древесная порода — сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — развивается в разных климатических условиях. Спецификой постановки исследований служит формирование насаждений на почвах техногенных ландшафтов. В отличие от природных аналогов, их называют почвами с практически полностью трансформированной матрицей (Солнцева и др., 1990). Это молодые почвы, для которых процессы формирования “педопамяти” (Таргульян, 2008) только запускаются. При этом, начальная “точка отсчета” в их формировании известна, как и тип растительности, при котором развиваются почвообразовательные процессы.

Перед авторами стоял ряд задач: 1) Оценивая и сопоставляя эффекты фитогенного поля сосны, определить, в пределах какой площади поверхности проявляются влияние источника фитогенного поля; 2) Изучая направленность и интенсивность проявления эффектов фитогенного поля сосны, произрастающей в разных климатических условиях, оценить характер (однотипность или уникальность) влияния породы на почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на территории Кузнецкой котловины, биогеографическая структура которой представлена чередованием степных, лесостепных и таежных районов. Неоднородность климатических условий здесь определяется меридиональной протяженностью горных систем Салаира и Кузнецкого Алатау (рис. 1), представляющих значимое орографическое препятствие для влажных воздушных масс, поступающих с северо- и юго-запада, и вызывающих конденсацию осадков на наветренных макросклонах (Трофимов, 1975). Таким образом, на сравнительно небольшом расстоянии для проведения исследова-

ний доступны различные по климатическим условиям районы (Экологическая карта ..., 1995).

Кроме того, в пределах Кузнецкой котловины активно ведется добыча угля открытым способом, что предполагает извлечение на дневную поверхность и складирование в отвалы пород, слабо затронутых процессами почвообразования. При восстановлении нарушенных земель в лесохозяйственном направлении отвалы рекультивируются без нанесения потенциально-плодородных и плодородных слоев почвы и, чаще всего, засаживаются культурами сосны обыкновенной (Уфимцев, 2017). Широкое использование древесной породы при искусственном лесовосстановлении на породных отвалах обусловлено ее высокой толерантностью к низкой трофности и слабой влагообеспеченности молодых почв (Уфимцев, 2017).

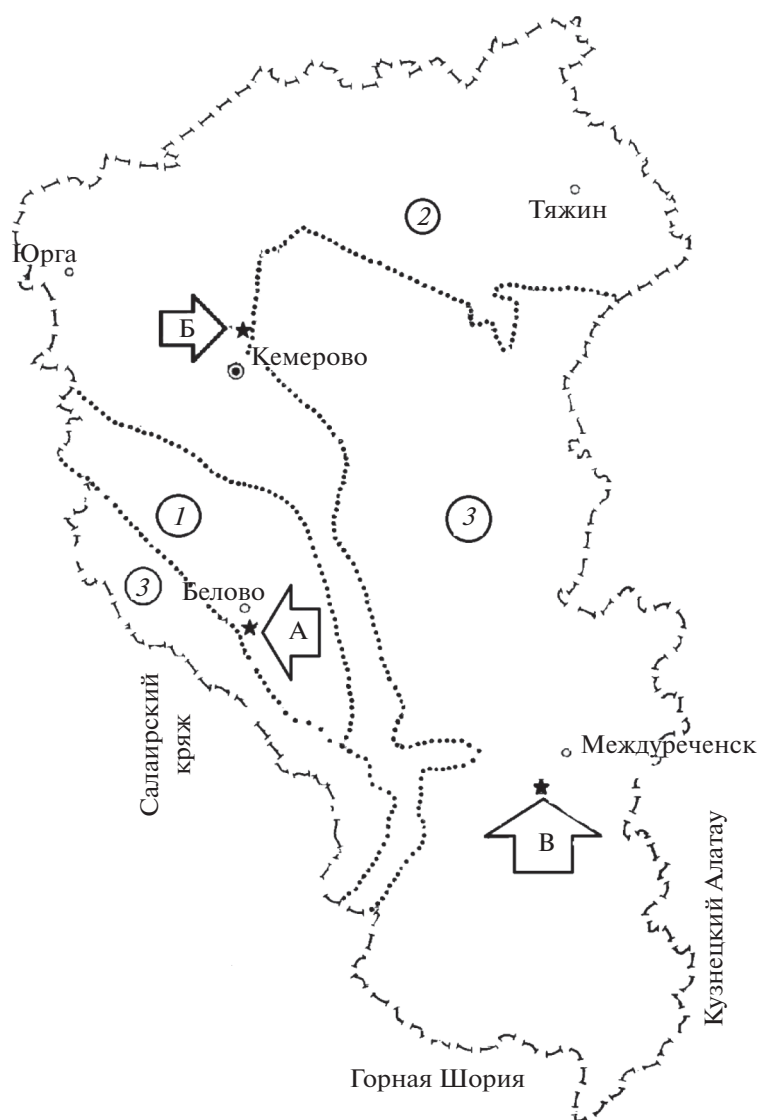
Таким образом, в пределах Кузнецкой котловины удалось подобрать опорные полигоны, которые характеризуют формирование искусственных сосновых биогеоценозов на слаборазвитых лесных почвах в различных эколого-географических районах (ЭГР): центральный остепненный (54°16'09" с.ш.; 86°09'00" в.д.) — “Бачатский”<sup>1</sup>; северный лесостепной (55°32'33" с.ш.; 86°04'11" в.д.) — “Кедровский” и среднегорный таежный (53°42'01" с.ш.; 88°06'27" в. д.) — “Красногорский” (рис. 1).

Для характеристики гидротермических условий опорных полигонов (рис. 2) привлекались значения среднесуточной температуры и осадков, фиксируемых на метеостанциях, ближайших к объектам исследования, за период 2012–2017 гг. (архив сайта <https://gp5.ru>). Анализ полученных параметров (рис. 2) подтверждает выше упомянутую особенность климата Кузнецкой котловины: при близких величинах суммы температур вегетационного периода, наблюдаются существенные различия ЭГР по сумме осадков. Рассчитанный по Г.Т. Селянинову гидротермический коэффициент (ГТК) для засушливых условий центрального остепненного ЭГР составил 1.0<sup>2</sup>, 1.4 — для северного лесостепного — умеренная степень увлажнения и 2.2 — в пределах среднегорно-таежного — избыточное увлажнение.

По результатам маршрутно-рекогносцировочных исследований растительного покрова анализируемых полигонов, подобраны массивы искусственных сосновых насаждений, соответствующие I–II классам бонитета, II классу возраста, I категории жизненного состояния. В пределах

<sup>1</sup> Опорные полигоны обозначены по названиям угольных разрезов, на отвалах которых проводились исследования.

<sup>2</sup> Градации гидроряды приняты по В.Р. Волобуеву (1963).



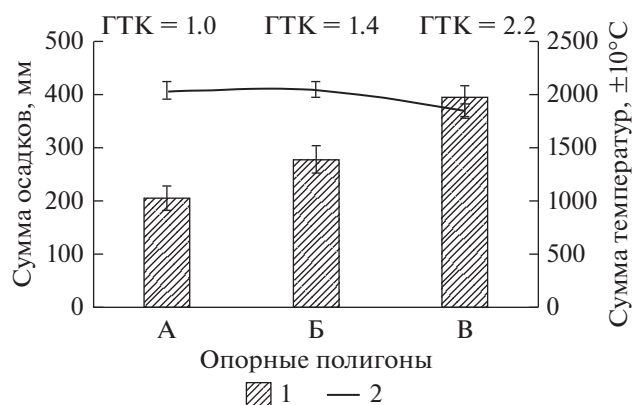
**Рис. 1.** Географическое положение опорных полигонов проведения исследований: “Бачатский” (А), “Кедровский” (Б), “Красногорский” (В), расположенных в различных ЭГР: центральном остепненном (1), северном лесостепном (2) и среднегорно-таежном (3).

каждого из них выбиралось 3 модельных дерева сосны обыкновенной. Таксационные параметры модельных деревьев опубликованы ранее (Уфимцев и др., 2016).

Для исключения мешающего влияния других деревьев исследования проводились на примере фитогенных полей, образованных отдельно стоящими деревьями сосны. Данное допущение считаем оправданным, поскольку исследования направлены (как сказано выше) на изучение эффектов ФП сосны на почвы в различных климатических условиях.

Согласно современной классификации (Классификация ..., 2004), с учетом системы таксономических единиц почв, составленной для почв

угольных отвалов Кемеровской области (Брагина, 2016), культуры изучаемых опорных полигонов формируются на гумусово-слаборазвитых, натечно-карбонатных, литостратных скелетно-гетерогенных техногенных петроземах. По результатам оценки ряда параметров эдафического фона петроземы, формирующиеся в различных ЭГР Кузнецкой котловины, мало различаются между собой. Аналогичные выводы сделаны П.С. Брагиной с соавт. (2014) при изучении слаборазвитых почв в различных районах Кузбасса. Это нейтральные и слабощелочные почвы (рН 7.2–7.9, коэффициент вариации –  $C.V. = 4\%$ ), легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава. Содержание валового азота составляет 0.360–



**Рис. 2.** Гидротермические условия опорных полигонов: “Бачатский” (А), “Кедровский” (Б), “Красногорский” (В); 1 и 2 — соответственно, сумма средне многолетних осадков и температур периода вегетации. Приведены средние и их стандартные ошибки.

0.364%, фосфора и калия — варьирует от  $62 \pm 11$  до  $201 \pm 40 \text{ мг кг}^{-1}$  (С.В. = 42–48%) и от  $6 \pm 1$  до  $15 \pm 2 \text{ мг кг}^{-1}$  (С.В. = 26–44%) соответственно.

В практике изучения ФП нет единого мнения по процедуре выделения отдельных структурных единиц и их количества (Демьянов, 1980, 1996; Крышень, 2000). В пределах проекции радиально-концентрического рисунка ФП на поверхности почвы мы выделяли три отдельные зоны: подкروновую, прикroновую и внешнюю.

Внешние границы концентрических кругов подкroновой и прикroновой зон сосны визуально хорошо различимы по изменению характеристик напочвенного покрова (видовой состав, обилие и др.), а также градиенту распределения запасов подстилки. Радиусы зон измерялись в северном и южном направлениях. На основании полученных величин по формуле эллипса рассчитывали площади зон. Границу внешней зоны определяли по дальности распространения корней растения-эдификатора (Левичев, 1975; Демьянов, 1980). По данным (Орлов, Кошельков, 1971), горизонтальные корни сосны могут распространяться на расстояние в 3 раза большее радиуса кроны.

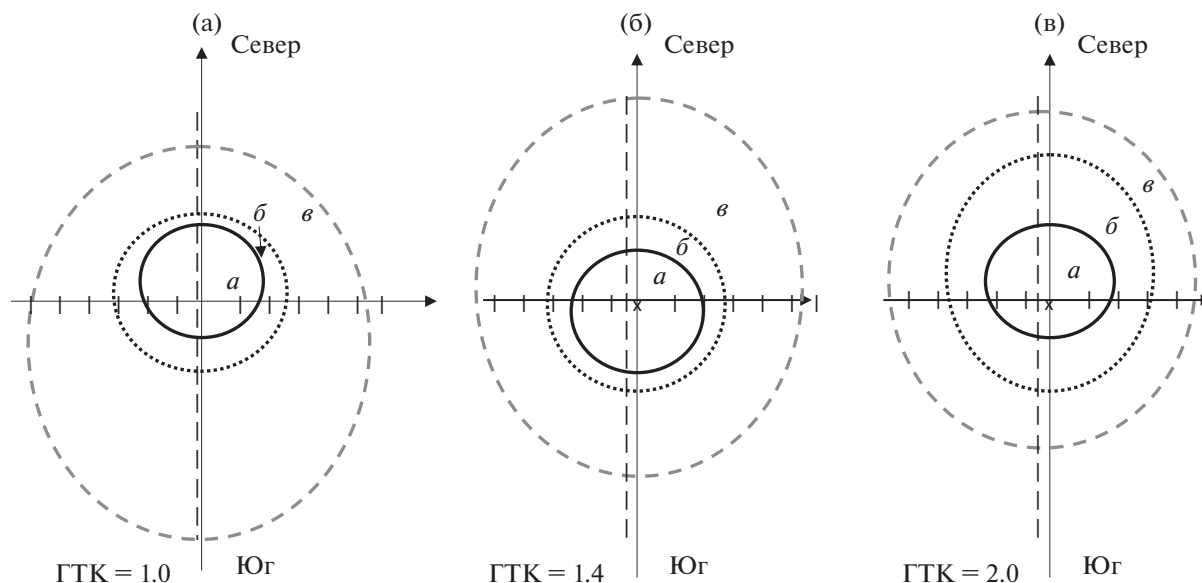
Несмотря на то, что по влиянию на почвы древесные растения в значительной степени превосходят травянистые (Журавлева и др., 2012), факт определённого влияния видов напочвенного покрова на свойства поверхностных почвенных горизонтов не отрицается (Бганцова, 1991; Карпачевский и др., 2007; Лебедева и др., 2009). По данным В.И. Уфимцева с соавт. (2016) напочвенный покров в пределах ФП изучаемых моделей сосны, несмотря на произрастание в различных ЭГР, характеризуется высокой мерой сходства.

Учитывая, что на начальных этапах эволюции почва находится в определяющей зависимости от внешних факторов, накапливает биогенную энергию и вещество (Смагин, 1996), логично предположить, что влияние сосны на почвы, прежде всего, будет проявляться в специфике радиального перераспределения органического вещества и пространственном градиенте интенсивности биологических процессов.

Чтобы определить (установить) различия в пространственном перераспределении фитомассы напочвенного покрова и детрита по зонам ФП модельных деревьев в различных климатических условиях, на радиальных трансектах в северном и южном направлениях от ствола сосны в трехкратной повторности для каждого направления отбирались укосы с учетной площадки  $30 \times 60 \text{ см}$ . Запасы подстилки сосредоточены только в подкroновой зоне, их также учитывали для северной и южной экспозиции ( $n = 3$ ) на площадках  $30 \times 30 \text{ см}$ . В лаборатории отобранные образцы высушивали, взвешивали. Запасы фитомассы (в абсолютно сухом веществе) пересчитывали на площадь соответствующих зон ФП.

Интенсивность почвенного дыхания, как интегрального показателя биологических процессов молодых почв проводили методом закрытых (статичных) камер объемом  $0.125 \text{ м}^3$ , площадки-основания для которых устанавливались в каждой зоне ФП в трехкратной повторности. Для предотвращения перегрева камеры ее поверхность покрывали фольгированным теплоизолирующим материалом. Площадка-основание камеры с водяным замком врезалась на глубину не менее 15 см, перед его установкой надземная фитомасса травяно-кустарничкового яруса предварительно скашивалась. На всех опорных полигонах замеры проводились в полдень при одинаковых погодных условиях. В камере устанавливался автоматический логгер-самописец SenseAir (Швеция), фиксирующий температуру воздуха ( $^\circ\text{C}$ ) и концентрацию  $\text{CO}_2$ . Для создания равномерной газовой среды в камере был установлен портативный вентилятор. Время насыщения камеры составляло для каждого опыта 1 ч. В дальнейшем концентрацию  $\text{CO}_2$  рассчитывали по уравнению Клапейрона–Менделеева с учетом температуры газа непосредственно в момент измерения. Содержание влаги оценивали весовым методом в лаборатории. Для этого отбирались образцы почвы. Температура и влажность почвы фиксировалась для слоя 0–10 см.

Освещенность в пределах проекции ФП измерялась по подзонам Люксметром TESTO 540 (Германия).



**Рис. 3.** Схема радиально-концентрической проекции зон фитогенного поля ( $a$  — подкروновая,  $b$  — прикroновая и  $v$  — внешняя) для модельных деревьев изучаемых ЭГР: центральный остепненный (а), северный лесостепной (б) и среднегорный таежный (в). Представлены средние биометрические параметры фитогенных полей в масштабе 1 : 200 с учетом сторон света (север и юг).

Для зависимых количественных переменных (интенсивность почвенного дыхания, запас подстилки и фитомассы) рассчитывались стандартные статистики: среднее, медиана, ошибка среднего значения, стандартное отклонение, коэффициенты вариации.

Статистический анализ проводился с помощью программного пакета PAST (Hammer et al., 2001). Нормальность распределения оценивалась по критерию Шапиро–Уилка. Для этого критерия, а также при проведении однофакторного дисперсионного, рангового корреляционного анализа Спирмена, тестов сравнения дисперсий (Левена) и множественного сравнения средних (Тьюки) использовался уровень достоверности 0.05 (Кобзарь, 2006; McDonald, 2014).

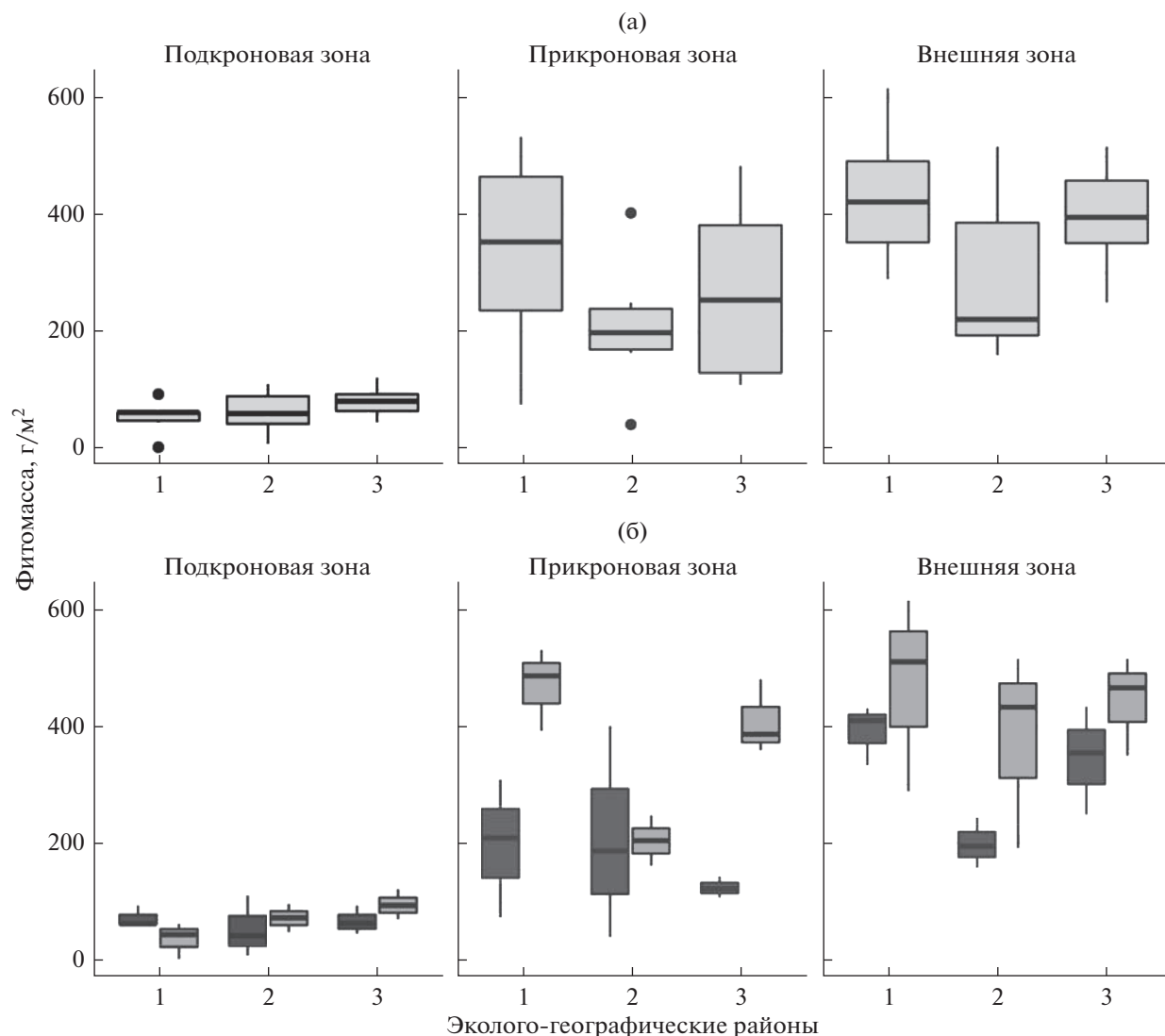
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Площадь зон проекции ФП.** Согласно классификации Е.Н. Журавлевой с соавт. (2012), изучаемые нами модельные деревья сосны обладают средней силой влияния. Средообразующая роль эдификатора наиболее полно проявляется в пределах подкroновой зоны. Ее площадь в пределах проекции радиально-концентрического рисунка ФП модельных деревьев на поверхности почвы в различных эколого-географических районах оценивается, в целом, близкими величинами (рис. 3). Отмечается тенденция к увеличению площади подкroновой зоны с ростом величины ГТК:  $15 \text{ м}^2$  — для

модельных деревьев в центральном остепненном районе (ГТК = 1.0),  $16 \text{ м}^2$  — в лесостепном (ГТК = 1.4) и  $17 \text{ м}^2$  — в среднегорно-таежном ЭГР (ГТК = 2.0). Различия между полученными значениями площадей подкroновой зоны не превышают 10%.

Согласно расчетам, общая площадь проекции радиально-концентрического рисунка ФП изучаемых модельных деревьев составляет:  $155 \text{ м}^2$  — в остепненном,  $141$  и  $131 \text{ м}^2$  в лесостепном и среднегорно-таежном ЭГР, соответственно. Несмотря на то, что величины общей площади ФП являются расчетными, а при их получении привлекалась закономерность, полученная в естественных сосняках, есть основания полагать, что мы не далеки от истины. Так, по данным А.И. Лукьянец (1975), площадь поверхности, занимаемая корневыми системами 12-летних сосен первого бонитета на угольных отвалах севера Свердловской области, составила  $108 \text{ м}^2$ . Раскапывались корневые системы сосен диаметром 10 см, что почти в 2 раза меньше, чем диаметры изучаемых нами модельных деревьев.

В структуре проекции ФП на долю подкroновой зоны приходится от 10 до 13% общей площади. Подкroновую зону отличает наиболее низкий уровень освещенности: от 4 до 12 тыс. лк, что составляет 5–15% от показателей, полученных на открытом пространстве (фоне). Травяной покров здесь сильно разрежен, его общее проективное



**Рис. 4.** Вариабельность запаса фитомассы напочвенного покрова в зонах фитогенного поля сосен в различных ЭГР: центральный остепненный (1), северный лесостепной (2) и среднегорный таежный (3). Анализ проведен без учета (а) и с учетом (б) влияния экспозиции фитогенного поля: темная заливка – север, светлая – юг. Обозначены: медиана – линия внутри коробки; 25 и 75% квартили – границы коробки; минимальные и максимальные значения внутри “ограды” – усы; “●” – значения (выбросы), превышающие 1.5 межквартильных расстояния.

покрытие варьирует в широких пределах: от 0 до 60%. Доминантами выступают *Poa angustifolia* L. и *Fragaria vesca* L.

**Фитодетрит и фитомасса в пределах проекции ФП.** Запас надземной фитомассы напочвенного покрова в пределах подкроновой зоны ФП модельных деревьев одного ЭГР изменяется в широких пределах: от 2 до 92 г м<sup>-2</sup> в засушливых условиях центрального остепненного ЭГР; от 7 до 108 и от 61 до 119 г м<sup>-2</sup> в умеренно и избыточно увлажненных ЭГР соответственно (рис. 4). По результатам ANOVA средние значения фитомассы подкроновой зоны ФП изучаемых ЭГР статистически не различаются ( $F = 1.07$ ,  $p = 0.367$ ). На

изменчивость фитомассы травянистого покрова подкроновой зоны экспозиция ФП не влияет ( $F = 0.05$ ,  $p = 0.822$ ).

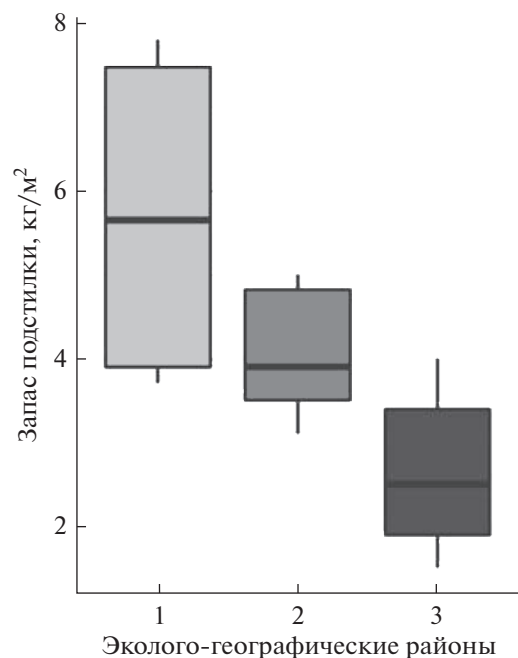
Почвы подкроновой зоны, особенно в южной экспозиции ФП, в меньшей степени обеспечены влагой, что, вероятно, обусловлено более низким (на 25–40% по сравнению с открытым пространством, вне ФП) количеством поступающих осадков. Определенный вклад в иссушение поверхностных слоев вносит и корневая система подроста сосны. Несмотря на то, что он угнетен, его высота ограничивается высотой прикрепления кроны (10–50 см), густота подроста может достигать 50 экз. м<sup>-2</sup>.

Индикаторным признаком подкороновой зоны является сплошной, довольно мощный (5–15 см) слой лесной подстилки, сформированной преимущественно за счет опада сосны. Морфологически подстилка подразделяется на 2 подгоризонта: опада, на долю которого приходится 30–40%, и ферментации. Подгоризонт гумификации не имеет сплошного распространения, его относительное участие не превышает 10%. Фитогенные поля модельных деревьев эколого-географических районов достоверно различаются по запасу подстилки ( $F = 7.43$ ,  $p = 0.006$ ) на поверхности почвы, при этом средние оценки запаса снижаются с увеличением величины ГТК (рис. 5).

Масса растительных остатков подстилки увеличивается по мере приближения к источнику ФП. Так, в условиях центрального остепненного ЭГР запас подстилки у границы подкороновой зоны составляет 3.7–3.8 кг м<sup>-2</sup>, а на учетных площадках, расположенных вблизи ствола сосны – 7.6–8.0 кг м<sup>-2</sup>. В северном лесостепном ЭГР при умеренной степени увлажнения запас подстилки изменяется по направлению к стволу от 3.1–3.5 до 5 кг м<sup>-2</sup>, а в пределах избыточно увлажненного среднегорно-таежного ЭГР (ОП “Красногорский”) – от 1.5–1.8 до 3.6–4.0 кг м<sup>-2</sup>.

Изменчивость запаса подстилки значимо и с высокой силой связи коррелирует с температурой ( $r_s = -0.85$ ,  $p = 0.007$ ) и влажностью ( $r_s = -0.87$ ,  $p = 0.005$ ) почвы подкороновой зоны ФП, что может указывать на значимую роль сосны в регулировании процессов аккумуляции растительных остатков лесной подстилки.

Полученные средние показатели запаса подстилки в подкороновой зоне ФП модельных деревьев согласуются с данными литературных источников, характеризующих накопление массы органогенного горизонта почв в искусственных сосняках II класса возраста. Так, для культур сосны, формирующихся на отвалах Назаровского угольного разреза, запасы подстилки изменяются в пределах от 1.3 до 3.3 кг м<sup>-2</sup> (Шугалей, Чупрова, 2015). В опытном Серебряноборском лесничестве (Московская область) запасы органогенного горизонта в мертвopoкpoвнoй парцелле достигали 3–3.5 кг м<sup>-2</sup> (Бганцова, 1983). В лесостепной зоне Приобья на одном квадратном метре поверхности почвы сосредоточено от 2.3 до 3.0 кг растительных остатков (Габеев, 1990). Аналогичные показатели, но для естественных 20-летних сосновых молодняков Енисейской равнины (средняя тайга) составляют 1.6–3.8 кг м<sup>-2</sup> (Трефилова, Ведрова, 2018). Наши оценки выше величин, полученных А.В. Почикаловым с соавт. (2015) в 15–33-летних культурах на отвалах фосфоритового



**Рис. 5.** Вариабельность запаса подстилки в подкороновой зоне фитогенных полей модельных деревьев, произрастающих в центральном остепненном (1), северном лесостепном (2) и среднегорном таёжном ЭГР (3). Обозначены: медиана-линия внутри коробки; 25 и 75% квантили-границы коробки; минимальные и максимальные значения внутри “ограды” – усы.

рудника Хорловского месторождения (Московская область) – 0.3–0.8 кг м<sup>-2</sup>, М.Г. Семечкиной (1983) – 0.6 кг м<sup>-2</sup> для сосновых молодняков разнотравного типа в лесостепной зоне Средней Сибири и А.С. Курочкиным (1983) для Ленинградской области – от 0.5 до 2 кг м<sup>-2</sup>. Различия могут быть обусловлены спецификой как условий биотопа, так и методических подходов, используемых при учете запаса подстилки.

Вторая зона ФП – прикороновая, простирается от границы прямой проекции края кроны модельного дерева на 0.8–3 м. В центральном остепненном и северном лесостепном ЭГР на долю прикороновой зоны приходится 11–13% общей площади проекции ФП. В условиях избыточного увлажнения среднегорно-таежного ЭГР прикороновая зона занимает уже 31% ФП, а ее площадь в 2.4 и 2.2 раза больше аналогичных показателей в ОП “Бачатский” и “Кедровский”, соответственно.

Согласно опубликованным данным (Волокитина, 1979) и результатам собственных наблюдений (Уфимцев и др., 2016) на край кроны сосны, как правило, приходятся участки более высокой концентрации атмосферных осадков. Здесь количество осадков достигает 150–180% от фоновых значений, полученных для северной и 100–120% – для

южной экспозиции. Условия повышенного увлажнения, вероятно, способствовали развитию мохового покрова — общее проективное покрытие яруса в пределах прикромовой зоны достигает 100%. В числе доминантов выступают три вида: *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Polytrichum juniperinum* Hedw. и *Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al.

На фоне увеличения освещенности прикромового пространства до 35–68 тыс. лк, более активно развивается и травянистый покров. Количество видов, формирующих покров, не изменяется — 7–15, преобладает *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (общее проективное покрытие составляет 70–100%). Средние величины запаса надземной фитомассы в прикромовой зоне по сравнению с подкромовой возрастают в 3–6 раз. Однако по результатам ANOVA средние значения фитомассы прикромовых зон ФП, формирующихся в различных ЭГР, статистически не различаются ( $F = 1.04$ ,  $p = 0.379$ ). При анализе изменчивости фитомассы в прикромовой зоне отчетливо проявляется влияние экспозиции ФП ( $F = 15.69$ ,  $p = 0.002$ , см. рис. 4).

Подрост в прикромовой зоне единичный — 1–3 шт.  $\text{м}^{-2}$ , в большинстве своем (60–80%) сомнительный, разновозрастный. Высота молодых сосен изменяется от 15 до 140 см.

По мере перехода во внешнюю зону ФП модельных сосен, влияние эдификатора ослабевает, освещенность возрастает до фонового уровня 66–81 тыс. лк, проективное покрытие мохового покрова снижается до 10–40%, активно развиваются подрост и травяной покров. Преобладающая часть подраста (80–100%) является жизнеспособной. В зависимости от возраста высота деревьев подраста может изменяться в пределах от 60 до 460 см. Видовой состав травяного покрова представлен 17–25 видами, из них в пределах центрального остепненного ЭГР доминируют *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth и *Poa angustifolia*, в северном лесостепном и среднегорно-таежном ЭГР — *Dactylis glomerata* L. и *Centaurea scabiosa* L., *Melilotus officinalis* имеет повсеместное распространение и встречается во всех ЭГР, однако его общее проективное покрытие ниже, чем в прикромовой зоне, и не превышает 10–30%.

По сравнению с прикромовой зоной средние запасы надземной фитомассы напочвенного покрова внешней зоны увеличиваются на 28–40%. Внешние зоны ФП модельных деревьев, формирующихся в различных климатических условиях, схожи по среднему запасу надземной фитомассы напочвенного покрова ( $F = 2.16$ ,  $p = 0.15$ ). Из числа факторов, определяющих пространственную изменчивость запаса надземной фитомассы, можно

выделить экспозицию ФП ( $F = 5.04$ ,  $p = 0.044$ ). Масса напочвенного покрова в южной части внешней зоны изучаемых ФП выше значений, полученных для северной экспозиции (рис. 4).

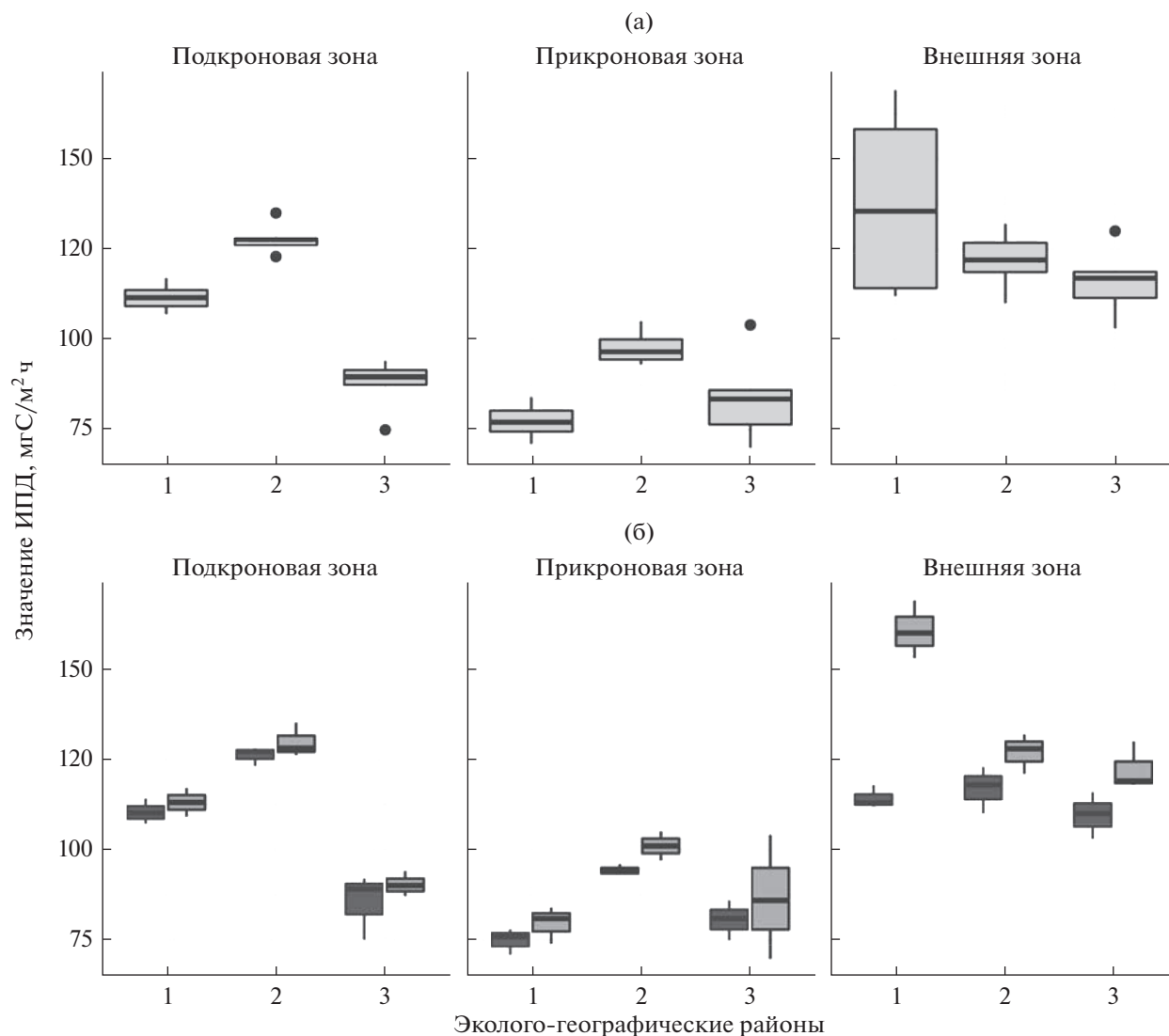
Необходимо отметить, что отсутствие статистически значимых различий в средних значениях надземной фитомассы напочвенного покрова всех зон ФП сопоставляемых опорных полигонов является дополнительным подтверждением близкой трофности эдафического фона отвалов.

Принимая во внимание, что практически вся напочвенная фитомасса травяного покрова в течение вегетационного сезона постепенно перейдет в состав фитодетрита, а продуктивность травяных сообществ в пределах ФП контролируется модельным деревом-эдификатором, мы попытались сравнить ЭГР по общей массе отмерших растительных остатков, взяв за основу величины запаса фитомассы и площадь соответствующей зоны. Согласно полученным данным, в пределах ФП центрального остепненного ЭГР сосредоточено 161 кг растительных остатков, как поступающих со свежими порциями опада, так и ранее накопленных в составе лесной подстилки. Для северного лесостепного ЭГР эта величина равна 101, а в среднегорном таежном — 85 кг. Примерно половина (55–67%) данного количества сосредоточена в пределах подкромовой зоны, т.е. в наибольшей степени подконтрольно влиянию дерева.

**Интенсивность почвенного дыхания.** Результаты сопоставления оценок интенсивности почвенного дыхания (ИПД) по ЭГР (рис. 6) указывают на значительный уровень их дифференциации в подкромовой ( $F = 97.7$ ,  $p < 0.001$ ) и прикромовой зонах ( $F = 10.73$ ,  $p = 0.001$ ) ФП модельных деревьев. Средние значения ИПД внешней зоны ФП в изучаемых ЭГР отличаются меньшим варьированием значений и слабыми общими (на уровне тенденции) различиями ( $F = 2.71$ ,  $p = 0.099$ ). Полученные численные результаты сравнений хорошо согласуются с визуальной оценкой различий (рис. 6): наиболее высокие средние показатели ИПД зарегистрированы в подкромовой и прикромовой зонах ФП сосен северного лесостепного ЭГР.

Значимое влияние экспозиции на изменчивость ИПД отсутствует как в подкромовой ( $F = 2.53$ ,  $p = 0.138$ ), так и прикромовой ( $F = 2.39$ ,  $p = 0.148$ ) зонах ФП анализируемых эколого-географических районов. Во внешней зоне, где влияние ФП существенно сглаживается, отмечается сильное воздействие экспозиции на изменчивость значений ИПД ( $F = 60.69$ ,  $p < 0.001$ ).

Межзональные изменения ИПД в изучаемых эколого-географических районах имеют схожий, “U-образный” характер: величины почвенного



**Рис. 6.** Вариабельность интенсивности почвенного дыхания в зонах проекции фитогенного поля сосен в центральном остепненном (1), северном лесостепном (2) и среднегорном таежном ЭГР (3). Анализ проведен без учёта (а) и с учётом (б) влияния экспозиции фитогенного поля: темная заливка — север, светлая — юг. Обозначены: медиана-линия внутри коробки; 25 и 75% квантили-границы коробки; минимальные и максимальные значения внутри «ограды» — усы; «●» — значения (выбросы), превышающие 1.5 межквартильных расстояния.

дыхания постепенно снижаются по мере перехода от подкроновой к прикроновой зоне и вновь возрастают во внешней зоне. Механизм пространственной дифференциации ИПД в пределах ФП модельных деревьев пока не ясен. Полагаем, что данное явление может быть обусловлено различиями подкроновой и прикроновой зон ФП по массе и биохимическому составу разлагающегося материала, а также развитием мохового покрова в пределах более обеспеченной атмосферными осадками прикроновой зоны. Более низкие показатели ИПД на участках, покрытых моховым покровом, по сравнению с травяным, получены и в работе (Sedia et al., 2005).

В целом, полученные оценки ИПД согласуются с литературными данными. Интенсивность потока  $\text{CO}_2$  для молодых почв 25-летних отвалов Назаровского угольного разреза (Красноярский край, лесостепная зона) изменяется в пределах от  $70 \pm 21$  до  $107 \pm 35 \text{ мг С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$  (Наумов, 2009). Аналогичный показатель для отвалов Хорловского месторождения фосфотитов под 22–25-летними культурами сосны в первый год проведения исследования в среднем составил —  $202 \pm 75$ , а в следующий — только  $19 \pm 4 \text{ мг С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$  (Почиалов и др., 2015). Немногом выше оказались показатели ИПД в приспевающих сосняках Ангаро-Енисейского региона, формирующихся на дерно-

во-подзолистой и серой лесной оподзоленной почвах: 128 и 145 мг С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup> соответственно (Со-рокин и др., 1985). В округе Бадфорд штата Флорида (США) на бедных песчаных почвах, под 9- и 29-летними плантациями *Pinus palustris* Mill. средний за период вегетации поток углекислоты достигал 99 ± 14 и 135 ± 20 мг С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup> соответственно (Ewel et al., 1986). По данным июля, ИПД в 16-летнем разреженном разнотравно-злаковом сосняке на постагrogenном агроземе иллювиально-железистом в течение двух лет наблюдения изменялась в пределах 120–180 мг С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup> (Люри и др., 2013).

Корреляционный анализ данных ИПД показал наличие средней положительной связи между изменчивостью значений интенсивности почвенного дыхания прикромовой и подкромовой ( $r_s = 0.55, p = 0.014$ ), а также внешней и прикромовой ( $r_s = 0.18, p = 0.003$ ) и внешней и подкромовой ( $r_s = 0.30, p = 0.036$ ) зон ФП. Из этого следует, что регистрируемый уровень ИПД регулируется воздействием одного определенного вида-эдификатора. Таким образом, есть основания полагать, что интенсивность почвенного дыхания, в данном случае может рассматриваться как интегральный эффект ФП, позволяющий на более “тонком” уровне оценить влияние деревьев на техногенные молодые почвы.

**Выводы:** 1. На основании полученных данных, можно утверждать, что эффекты ФП отдельно стоящих модельных деревьев сосны (II класса возраста), со средней силой влияния (по: Журавлева и др., 2012) распространяются как минимум в пределах 131–155 м<sup>2</sup> и только 10–13% данной площади находится в подкромовом пространстве — зоне максимального воздействия источника ФП. Радиально-концентрические рисунки изучаемых фитогенных полей различаются по площади прикромовой зоны. Увеличение площади прикромовой зоны в избыточно увлажненном среднегорном таежном ЭГР позволяет предполагать, что воздействие сосны на почвы отвалов в этих условиях проявляется более интенсивно.

2. Запас лесной подстилки в подкромовой зоне убывает по мере увеличения степени увлажнения: от 89 кг при ГТК = 1.0 до 45 кг — ГТК = 2.2. Сильная отрицательная корреляционная связь изменчивости запаса подстилки с температурой в подкромовой и влажностью в подкромовой и прикромовой зонах ФП указывает на значимую роль сосны в регулировании процессов аккумуляции растительных остатков.

3. Зоны ФП модельных деревьев, формирующихся в различных ЭГР, схожи по среднему запасу надземной массы напочвенного покрова. В

определении пространственной изменчивости запаса ведущая роль отводится экспозиции ФП, которая четко проявляется только в прикромовой и внешней зонах. Фитомасса напочвенного покрова в южной части зон выше значений, полученных для северной экспозиции.

4. Общей закономерностью является снижение разброса показателей интенсивности почвенного дыхания по мере удаления от источника фитогенного поля. Наиболее высокие показатели интенсивности почвенного дыхания зарегистрированы в северном лесостепном эколого-географическом районе (условия умеренного увлажнения).

5. Приведенный анализ эффектов ФП показал, что характер влияния сосны на молодые почвы отвалов, формирующиеся в условиях увлажнения различной степени, при определенном сходстве параметров нельзя считать полностью однотипным.

\* \* \*

За ценные советы при обсуждении материала публикации авторы выражают благодарность доктору биологических наук Э.Ф. Ведровой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бганцова В.А. Связь травяного покрова с запасом подстилки в сосновых культурах. // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 19.
- Бганцова В.А. Влияние травянистых растений на свойства почвы в лесном БГЦ // Почвоведение. 1991. № 10. С. 60–78.
- Бобровский М.В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 359 с.
- Брагина А.С. Почвообразование на отходах горнодобывающих предприятий Кемеровской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 25.00.23. М. 2016. 23 с.
- Брагина П.С., Цибарт А.С., Завадская М.П., Шаранова А.В. Почвы на отвалах вскрышных пород в лесостепной и горно-таежной зонах Кузбасса // Почвоведение. 2014. № 7. С. 878–889.
- Быков Б.А. Геоботаника. Алма-Ата: Наука, 1978. 288 с.
- Ведрова Э.Ф. Влияние сосновых насаждений на свойства почв. Новосибирск: Наука, 1980. 104 с.
- Ведрова Э.Ф., Решетникова Т.В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.
- Волобуев В.Р. Экология почв (очерки). Баку: Изд-во Акад. наук АзССР, 1963. 260 с.
- Волokitина А.В. Особенности распределения осадков под пологом хвойного леса // Лесоведение. 1979. № 2. С. 40–48.
- Габеев В.Н. Экология и продуктивность сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1990. 229 с.
- Галанин А.В. Влияние фитогенного поля на распределение растений // Экология. 1980. № 6. С. 76–78.

- Головенко С.В. Экологическое почвоведение-предмет и метод // Методология и методика почвенных и ландшафтно-геохимических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1977. С. 25–37.
- Горелов А.М. Фитогенное поле и его структура // Электронный журн. “Вестник Московского государственного областного университета”. 2013. № 1. С. 1–9.
- Демьянов В.А. Анализ ценотической роли листовенницы Гмелина на крайнем северном пределе распространения древесной растительности (Таймыр) // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 7. С. 926–937.
- Демьянов В.А. Представление о фитогенном поле растений и проблема сущности фитоценоза // Известия РАН. Серия биологическая. 1996. № 3. С. 359–363.
- Дылис Н.В., Уткин А.И., Успенская И.М. О горизонтальной структуре лесных биогеоценозов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1964. Т. 30. Вып. 4. С. 65–72.
- Жукова Л.А. Концепция фитогенных полей и современные аспекты их изучения // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1(6). С. 1462–1465.
- Журавлева Е.Н., Ипатов В.С., Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю. Изучение растительности на лугах под влиянием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2012. Вып. 2. Сер. 3. С. 3–12.
- Зонн С.В. К вопросу о взаимодействии лесной растительности с почвами // Почвоведение. 1954. № 4. С. 51–60.
- Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 168 с.
- Ипатов В.С. Фитогенные поля одиночных деревьев некоторых пород в одном экотопе // Ботанический журн. 2007. Т. 92. № 8. С. 1186–1192.
- Ипатов В.С., Журавлёва Е.Н., Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю. Фитогенное поле *Picea abies*, *P. obovate* (Pinaceae) // Ботанический журн. 2009. Т. 94. № 4. С. 558–568.
- Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
- Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ташинова Л.Н., Руденко Р.Н. Почвенный покров и парцеллярная структура лесного биогеоценоза // Лесоведение. 2007. № 6. С. 107–113.
- Классификация и диагностика почв России / Сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
- Кожеевников Ю.П. О концепции фитогенного поля // Известия АН. Серия биологическая. 1998. № 3. С. 356–362.
- Крышень А.М. Фитогенное поле: теория и проявление в природе // Известия АН. Серия биологическая. 2000. № 4. С. 437–443.
- Курочкин А.С. Динамика запасов и состав лесной подстилки в плантационных культурах сосны обыкновенной. Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 108.
- Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю., Ипатов В.С. Фитогенное поле герани лесной *Geranium sylvaticum* (Geraniaceae) // Ботанический журн. 2009. Т. 94. № 6. С. 833–847.
- Левичев И.Г. О динамике травянистых микрогруппировок в фисташниках Бадхыза (Туркменская ССР) // Ботанический журн. 1975. Т. 60. № 7. С. 969–976.
- Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва–растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
- Лукиянец А.И. Архитектоника и фитомасса корневой системы естественных сосняков на железнодорожных отвалах Богославского и Веселовского месторождений бурого угля // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. координационного совещания. Тарту, 1975. С. 151–157.
- Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В. Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1060–1072.
- Маслов А.А. О взаимодействии фитогенных полей деревьев в сосняке чернично-брусничном // Ботанический журн. 1986. Т. 71. № 12. С. 1646–1652.
- Меньяло О.В. Влияние древесных пород Сибири на образование и потребление  $N_2O$  // Известия РАН. Серия биологическая. 2006. № 5. С. 606–612.
- Наумов А.В. Дыхание почв: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.
- Наумова Н.Б., Макарикова Р.П., Тараканов В.В., Кузьмина Н.А., Новикова Т.Н., Милютин Л.И. Влияние климатических типов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сибирский экологический журн. 2009. № 2. С. 287–292.
- Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 323 с.
- Орловский Н.В. Послесловие. Лес и почва: Тр. Всесоюз. научн. конф. по лесному почвоведению. Красноярск: Красноярское книж. издательство, 1968. С. 593.
- Паркина И.Н. Особенности биологической активности почвы в фитогенном поле березы повислой // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. 2006. № 7(47). С. 148–152.
- Почикалов А.В., Ларин Я.А., Арешин А.В., Карелин Д.В. Компоненты бюджета углерода в лесных посадках при рекультивации открытых горных выработок // Лесоведение. 2015. № 6. С. 447–457.
- Прокушкин С.Г., Бугаенко Т.Н., Сорокин Н.Д., Каверзина Л.Н., Зырянова О.А. Роль фитогенного поля листовенницы допозарной генерации в формировании эдафических условий на гари // Известия АН. Серия биологическая. 2004. № 1. С. 49–58.
- Пуртова Л.Н., Зимина М.П. Изменчивость физико-химических показателей бурых лесных почв в пределах фитогенных полей деревьев (юг Дальнего Востока) // Почвоведение. 2007. № 1. С. 31–37.
- Работнов Т.А. О конкуренции между растениями в растительных сообществах // Бюллетень Московского общества испытателей природы Отдел биологический. 1984. Т. 89. Вып. 5. С. 82–93.
- Самойлов Ю.И. Структура фитогенного поля на примере одиночных дубов *Quercus robur* (Fagaceae) // Ботанический журн. 1983. Т. 68. № 8. С. 1022–1034.
- Самойлов Ю.И., Тархова Т.Н. Анализ фитогенных полей одиночных деревьев с использованием метода главных компонент // Ботанический журн. 1993. Т. 78. № 5. С. 61–77.

- Семечкина М.Г. Запасы подстилки в сосняках разнотравных островных лесостепей Средней Сибири. Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 182.
- Смагин А.В. Почва как результат самоорганизации биогеоценоза // Доклады АН СССР. 1989. Т. 308. № 3. С. 729–731.
- Смагин А.В. Биогеоценотическое направление в почвоведении // Почвоведение. 1996. № 3. С. 298–309.
- Солнцева Н.П., Герасимова М.И., Рубилина Н.Е. Морфогенетический анализ техногенно-преобразованных почв // Почвоведение. 1990. № 8. С. 124–129.
- Сорокин Н.Д., Горбачев В.Н., Гиголян Д.К. Микробиоценозы и биологическая активность лесных почв Ангаро-Енисейского региона // Биологическая активность лесных почв. Красноярск: Институт леса и древесины, 1985. С. 35.
- Таргульян О.В. Память почв: общие подходы к проблеме // Память почв: почвы как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий. Отв. ред. Таргульян О.В., Горячкин С.В. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. С. 24–57.
- Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф. Минерализационный поток углерода в постпирогенных сосняках Среднего Енисея // Лесоведение. 2018. № 3. С. 210–224.
- Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск. 1975. 300 с.
- Уранов А.А. Фитогенное поле. Проблемы современной ботаники. М. Л.: Наука. 1965. Т. 1. С. 251–254.
- Уранов А.А., Михайлова Н.Ф. Из опыта изучения фитогенного поля *Stipa pennata* L. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1974. Т. LXXIX(5). С. 151–159.
- Уфимцев В.И. Опыт и современное состояние лесной рекультивации в Кузбассе // Сибирский лесной журн. 2017. № 4. С. 12–27.
- Уфимцев В.И., Беланов И.П., Куприянов О.А. Экологическая роль фитогенных полей сосны обыкновенной на отвалах угольной промышленности // Сибирский экологический журн. 2016. № 1. С. 164–175.
- Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Солодовников А.Н. Пространственная изменчивость почвенного покрова в сосняке лишайниковом // Лесоведение. 2006. № 3. С. 64–79.
- Черняева Е.В., Викторов В.П. История и современное состояние изучения фитогенных полей // Социально-экологические технологии. 2016. № 1. С. 89–105.
- Шугалей Л.С., Чупрова В.В. Почвообразование в техногенных ландшафтах. Красноярск: Красноярский гос. аграрный ун-т, 2015. 239 с.
- Экологическая карта Кемеровской области. Масштаб 1 : 500000. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1995. Л. 1.
- Ястребов А.Б. Напряженность фитогенных полей деревьев в лишайниково-зеленомошных сосняках // Экология. 1996. № 1. С. 3–9.
- Ястребов А.Б., Лычная Н.В. Исследование фитогенных полей деревьев в лишайниково-зеленомошных сосняках // Ботанический журнал. 1993. Т. 78. № 5. С. 78–92.
- Binkley D. The influence of tree species on forest soils: Processes and patterns // Proceeding of the Trees and Soil Workshop. Eds.: Mead D.J., Cornforth I.S. Canterbury: Lincoln University Press, 1995. P. 1–33.
- Chodak M., Niklińska M. The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils // Biology & Fertility of Soils 2010. V. 46. P. 555–566.
- Ewel K.C., Cropper W.P., Jr., Gholz H.L. Soil CO<sub>2</sub> evolution in Florida slash pine plantations. I. Changes through time // Canadian J. Forest Research. 1986. V. 17. P. 325–329.
- Finzi A.C., Canham C.D., Breemen N.V. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations // Ecology Applications. 1998. № 8(2). P. 447–454.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4. № 1. P. 9.
- Hokkanen T.J., Järvinen E., Kuuluvainen T. Properties of top soil and relationship between soil and trees in a boreal Scots pine stand // Silva Fennica. 1995. V. 29(3). P. 189–203.
- McDonald J.H. Handbook of Biological Statistics, 3rd ed. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland: 2014. 299 p.
- Priha O., Lehto T., Smolander A. Mycorrhizas and C and N transformations in the rhizospheres of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* seedlings // Plant and Soil. 1999. V. 206. P. 191–204.
- Reich P.B., Oleksyn J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species // Ecology Letters. 2005. V. 8. № 8. P. 811–818.
- Sedia E.G., Ehrenfeld J.G. Differential effects of lichens, mosses and grasses on respiration and nitrogen mineralization in soils of the New Jersey Pinelands // Oecologia. 2005. V. 144. № 1. P. 137–147.
- Shugalei L.S. The Siberian afforestation experiment: history, methodology, and problems // Tree species effects on soil: implications for global change: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Trees and Soil Interactions, Implications to Global Climate Change August 2004 Krasnoyarsk, Russia. Series IV: Earth environmental sciences / Ed. by D. Binkley, O. Menyail. Amsterdam: IOS Press and Springer 2005. 2005. P. 257–268.
- Vedrova E.F. Biochemistry of carbon and nitrogen in the Siberian afforestation experiment // Tree species effects on soil: implications for global change: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Trees and Soil Interactions, Implications to Global Climate Change August 2004 Krasnoyarsk, Russia. Series IV: Earth environmental sciences / Ed. by D. Binkley, O. Menyail. Amsterdam: IOS Press and Springer 2005. P. 257–268.
- Vesterdal L., Elberling B., Christiansen J.R., Callesen I., Schmidt I. K. Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species // Forest Ecology and Management. 2012. V. 264. P. 185–196.
- Vesterdal L., Schmidt I. K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species // Forest Ecology & Management. 2008. V. 255. P. 35–48.
- Walker J., Sharpe P.J.H., Penridge L.K., Wu H. Ecological field theory: the concept and field tests // Vegetation. 1989. V. 83. P. 81–95.
- Wu H., Sharpe P.J.H., Walker J., Penridge L.K. Ecological field theory (EFT): A spatial analysis of resource interference among plants // Ecological Modelling. 1985. № 29. P. 215–243.

## Pine's Phytogenic Field's Effects in Different Climate Conditions

O. V. Trefilova<sup>1, \*</sup>, I. P. Belanov<sup>2</sup>, V. I. Ufimtsev<sup>3</sup>, and D. Yu. Efimov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, 660037 Russia

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian branch of RAS,  
Akademika Lavrent'eva prosp., 8/2, Novosibirsk, 630099 Russia

<sup>3</sup>Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS,  
Leningradsky prosp., 10, Kemerovo, 650065 Russia

<sup>4</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS,  
Borok stl., 109, Nekouzsky district, Yaroslavl Oblast, 152742 Russia

\*E-mail: ovtrefilova\_ilsoran@mail.ru

In the framework of this work, an attempt has been made to assess the nature (uniformity or uniqueness) of the trees' influence on soils in various climatic conditions. To achieve the goal of the study, a series of reference polygons was selected, where a single tree species – Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – has been developing in different ecological and geographical regions (EGR) (steppe; northern forest-steppe and middle-mountain taiga), but with a similar edaphic background. The formation of stands occurs on the underdeveloped soils of the dumps. These are young soils in which the processes of the “soil memory” formation (according to Targulian) is just starting, which made it possible to assess the direct influence of the present stand on the soils. The methodological basis of the work is the concept of phytogenic field (PF). It is shown that the influence of a solitary pine tree of the second age class extends to 131–155 m<sup>2</sup>, and only 10–13% of this area is located under its crown, in the zone of the PF source maximum influence. Comparison of the direct and indirect PF effects manifestation degree (parameters of the radial-concentric pattern of PF, illumination degree, forest litter and phytomass stock, intensity of soil respiration, soil temperature and moisture) and correlation analysis of biogenic and abiogenic parameters allow us to conclude that the effect of pine trees on young coal dump soils with varying degrees of moisture is highly heterogeneous. The radial-concentric projection patterns of the studied phytogenic fields differ in the area of the near-crown area. The increase of the of the near-crown area in the excessively humid middle-mountain taiga EGR allows us to assume that the effect of pine trees on the dump soils in these conditions is more intense.

**Keywords:** phytogenic field, industrial dumps recultivation, forest-soil interactions, soil respiration, forest litter, pine cultures.

## REFERENCES

- Bgantsova V.A., Svyaz' travyanogo pokrova s zapasom podstilki v sosnovykh kul'turakh (Connection between grass cover and litter store in pine crops), In: *Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh* (The role of litter in forest biogeocenoses), M.: Nauka, 1983, pp. 19.
- Bgantsova V.A., Vliyanie travyanistyykh rastenii na svoystva pochvy v lesnom BGTs (Influence of herbaceous plants on soil properties in forest biogeocenosis), *Pochvovedenie*, 1991, No. 10, pp. 60–78.
- Binkley D., The influence of tree species on forest soils: Processes and patterns, In: *Proceeding of the Trees and Soil Workshop*, Canterbury: Lincoln University Press, 1995, pp. 1–33.
- Bobrovskii M.V., *Lesnye pochvy Evropeiskoi Rossii. Bioticheskie i antropogennye faktory formirovaniya* (Forest soil in European Russia: biotic and anthropogenic factors in pedogenesis), M.: KMK, 2010, 359 p.
- Bragina A.S., *Pochvoobrazovanie na otkhodakh gornodobyvayushchikh predpriyatii Kemerovskoi oblasti. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* (Soil formation on the waste of mining enterprises of the Kemerovo region. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), M., 2016, 23 p.
- Bragina P.S., Tsibart A.S., Zavadskaya M.P., Sharapova A.V., Soils on overburden dumps in the forest-steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 7, pp. 723–733.
- Bykov B.A., *Geobotanika* (Geobotany), Alma-Ata: Nauka, 1978, 288 p.
- Chernyaeva E.V., Viktorov V.P., Istoriya i sovremennoe sostoyanie izucheniya fitogennykh polei (History and current status of research phytogenic fields), *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii*, 2016, No. 1, pp. 89–105.
- Chodak M., Niklinskaya M., The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils, *Biology & Fertility of Soils*, 2010, Vol. 46, pp. 555–566.
- Dem'yanov V.A., Analiz tsenoticheskoi roli listvennitsy Gmelina na krainem severnom predele rasprostraneniya drevesnoi rastitel'nosti (Taimyr) (An analysis of coenotical role of *Larix gmelinii* in the extreme northern limit of woody vegetation (Taimyr)), *Botanicheskii zhurnal*, 1980, Vol. 65, No. 7, pp. 926–937.
- Dem'yanov V.A., Predstavlenie o fitogennom pole rastenii i problema sushchnosti fitotsenozov (The concept of the phytogenic field of plants and the problem of the essence of phytocenosis), *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 1996, No. 3, pp. 359–363.
- Dylis N.V., Utkin A.I., Uspenskaya I.M., O gorizontall'noi strukture lesnykh biogeotsenozov (The lateral structure of forest biogeocenoses), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva*

- ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 1964, Vol. 69, No. 4, pp. 65–73.
- Ekologicheskaya karta Kemerovskoi oblasti. Masshtab 1 : 500000*, (Ecological map of the Kemerovo region. Scale 1 : 500,000), M.: Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1995.
- Ewel K.C., Cropper W.P., Jr., Gholz H.L., Soil CO<sub>2</sub> evolution in Florida slash pine plantations. I., Changes through time, *Canadian J. Forest Research*, 1986, Vol. 17, pp. 325–329.
- Fedorets N.G., Morozova R.M., Solodovnikov A.N., Prostranstvennaya izmenchivost' pochvennogo pokrova v sosnyake lishainikovom (Spatial variability of the soil cover in a lichen pine forest), *Lesovedenie*, 2006, No. 3, pp. 64–79.
- Finzi A.C., Canham C.D., Breemen N.V., Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations, *Ecology Applications*, 1998, No. 8(2), pp. 447–454.
- Gabeev V.N., *Ekologiya i produktivnost' sosnovykh lesov* (Ecology and productivity of pine forests), Novosibirsk: Nauka, 1990, 229 p.
- Galanin A.V., Vliyaniye fitogennoy poly na raspredeleniye rasteniy (The influence of the phytogeneous field on the distribution of plants), *Ekologiya*, 1980, No. 6, pp. 76–78.
- Golovenko S.V., *Ekologicheskoe pochvovedenie-predmet i metod* (Ecological soil science - subject and method), In: *Metodologiya i metodika pochvennykh i landshaftno-geokhimicheskikh issledovaniy* (Methodology and technique of soil and landscape-geochemical research), Moscow: Izd-vo MGU, 1977, pp. 25–37.
- Gorelov A.M., Fitogennoye pole i ego struktura (Phytogenic field and its structure), *Elektronnyi zhurnal "Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta"*, 2013, No. 1, pp. 1–9.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D., PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, 2001, Vol. 4, No. 1, pp. 9.
- Hokkanen T.J., Järvinen E., Kuuluvainen T., Properties of top soil and relationship between soil and trees in a boreal Scots pine stand, *Silva Fennica*, 1995. Vol. 29(3), pp. 189–203.
- Ipatov V.S., Fitogennye polya odinochnykh derev'ev nekotorykh porod v odnom ekotipe (Phytogenic areas of single trees of some species in the same ecotipe), *Botanicheskii zhurnal*, 2007, Vol. 92, No. 8, pp. 1186–1192.
- Ipatov V.S., Zhuravleva E.N., Lebedeva V.K., Tikhodeeva M.Y., Fitogennoye pole *Picea abies*, *P. obovata* (Pinaceae) (Ecological field of *Picea abies* and *P. obovata* (Pinaceae)), *Botanicheskii zhurnal*, 2009, Vol. 94, No. 4, pp. 558–568.
- Karpachevskii L.O., *Les i lesnye pochvy* (Forest and forest soils), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 261 p.
- Karpachevskii L.O., *Pestota pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenoze* (Diversity of soil cover in forest biogeocoenosis), Moscow: Izd-vo MGU, 1977, 312 p.
- Karpachevskii L.O., Zubkova T.A., Tashninova L.N., Rudenko R.N., Pochvennyi pokrov i partsellyarnaya struktura lesnogo biogeotsenoza (The soil cover and parcel structure of a forest biogeocoenosis), *Lesovedenie*, 2007, No. 6, pp. 107–113.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Kobzar' A.I., *Prikladnaya matematicheskaya statistika* (Applied mathematical statistics), Moscow: Fizmatlit, 2006, 816 p.
- Kozhevnikov Y.P., O kontseptsii fitogennoy poly (About the phytogenic field concept), *Izvestiya AN. Seriya biologicheskaya*, 1998, No. 3, pp. 356–362.
- Kryshen' A.M., The phytogenic field: theory and manifestations in nature, *Biology Bulletin*, 2000, Vol. 27, No. 4, pp. 364–369.
- Kurochkin A.S., *Dinamika zapasov i sostav lesnoi podstilki v plantatsionnykh kul'turakh sosny obyknovennoi. Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh* (Dynamics of stocks and composition of forest litter in Scots pine plantation crops. The role of litter in forest biogeocoenoses), Moscow: Nauka, 1983, 108 p.
- Lebedeva V.K., Tikhodeeva M.Y., Ipatov V.S., Fitogennoye pole gerani lesnoi *Geranium sylvaticum* (Geraniaceae) (The ecological field of wood cranesbill *Geranium sylvaticum* (Geraniaceae)), *Botanicheskii zhurnal*, 2009, Vol. 94, No. 6, pp. 833–847.
- Levichev I.G., O dinamike travyanistykh mikrogruppirovok v fistashnikakh Badkhyza (Turkmenskaya SSR) (On the dynamics of herbaceous plant microcoenoses in pistacheta forests of Badkhyz (Turkmenia)), *Botanicheskii zhurnal*, 1975, Vol. 60, No. 7, pp. 969–976.
- Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G., Forest soil fertility: the base of relationships between soil and vegetation, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, Vol. 4, No. 7, pp. 725–733.
- Luk'yanets A.I.S., Arkhitektonika i fitomassa kornevyykh sistem estestvennykh sosnyakov na zheleznodorozhnykh otvalakh Bogoslavskogo i Veselovskogo mestorozhdenii burogo uglya (Architectonics and phytomass of the root system of natural pine forests on the railway dumps of the Bogoslavsky and Veselovsky brown coal deposits), In: *Rekul'tivatsiya zemel', narushennykh pri dobyche poleznykh iskopaemykh: Tez. dokl. koordinatsionnogo soveshchaniya* (Reclamation of lands disturbed during mining: Abstracts of the coordination meeting), Tartu, 1975, pp. 151–157.
- Lyuri D.I., Karelin D.V., Kudikov A.V., Goryachkin S.V., Changes in soil respiration in the course of the postagrogenic succession on sandy soils in the southern taiga zone, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 9, pp. 935–947.
- Maslov A.A., O vzaimodeystvii fitogennykh polei derev'ev v sosnyake chernichno-brusnichnom (On the interaction of phytogenic fields of trees in bilberry-cowberry pine forest), *Botanicheskii zhurnal*, 1986, Vol. 71, No. 12, pp. 1646–1652.
- McDonald J.H., *Handbook of Biological Statistics*, Baltimore, Maryland: Sparky House Publishing, 2014, 299 p.
- Menyailo O.V., Effect of Siberian tree species on N<sub>2</sub>O production and consumption, *Biology Bulletin*, 2006, Vol. 33, No. 5, pp. 492–497.
- Naumov A.V., *Dykhaniye pochv: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti* (Respiration of soils: components, ecological functions, geographic patterns), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009, 208 p.
- Naumova N.B., Makarikova R.P., Tarakanov V.V., Kuz'mina N.A., Novikova T.N., Milyutin L.I., Influence of climatypes of Scots pine on certain chemical and microbiological characteristics of soils, *Contemporary Problems of Ecology*, 2009, Vol. 2, No. 2, pp. 147–151.

- Orlov A.Y., Koshel'kov S.P., *Pochvennaya ekologiya sosny* (Soil ecology of the pine), M.: Nauka, 1971, 323 p.
- Orlovskii N.V., Posleslovie (Afterword), *Les i pochva* (Forest and soil), Proc. of the All-Union Scientific. conf. on forest soil science, Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe knizh. izdatel'stvo, pp. 593.
- Parkina I.N., Osobennosti biologicheskoi aktivnosti pochvy v fitogennom pole berezy povisloi (Features of soil biological activity into the phytogenic field of birch (*Betula pendula* Roth.)), *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya*, 2006, No. 7(47), pp. 148–152.
- Pochikalov A.V., Larin Y.A., Areshin A.V., Karelin D.V., Komponenty byudzheta ugleroda v lesnykh posadkakh pri rekul'tivatsii otkrytykh gornykh vyrabotok (Components of the carbon budget of the forest plantations of reclamations of the open-mined lands), *Lesovedenie*, 2015, No. 6, pp. 447–457.
- Priha O., Lehto T., Smolander A., Mycorrhizas and C and N transformations in the rhizospheres of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* seedlings, *Plant and Soil*, 1999, Vol. 206, pp. 191–204.
- Prokushkin S.G., Bugaenko T.N., Sorokin N.D., Kaverzina L.N., Zyryanova O.A., Role of the phytogenic field of larch of the prefire generation in forming edaphic conditions in burned-out forest areas, *Biology Bulletin*, 2004, Vol. 31, No. 1, pp. 42–50.
- Purtova L.N., Zimina M.P., Variability of physicochemical characteristics of brown forest soils within the phytogenic fields of trees (the Southern Far East), *Eurasian Soil Science*, 2007, Vol. 40, No. 1, pp. 26–31.
- Rabotnov T.A., O konkurentsii mezhdru rasteniyami v rastitel'nykh soobshchestvakh (On the competition between plants in plant communities), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody, Otdel biologicheskii*, 1984, Vol. 89, No. 5, pp. 82–93.
- Reich P.B., Oleksyn J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tielker M.G., Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species, *Ecology Letters*, 2005, Vol. 8, No. 8, pp. 811–818.
- Samoilov Y.I., Struktura fitogennoho poly na primere odinochnykh dubov *Quercus robur* (Fagaceae) (The structure of the phytogenic field as exemplified by the single oak-trees *Quercus robur* (Fagaceae)), *Botanicheskii zhurnal*, 1983, Vol. 68, No. 8, pp. 1022–1034.
- Samoilov Y.I., Tarkhova T.N., Analiz fitogennykh polei odinochnykh derev'ev s ispol'zovaniem metoda glavnykh komponent (The analysis of phytogenic fields of solitary trees using the method of principal components), *Botanicheskii zhurnal*, 1993, Vol. 78, No. 5, pp. 61–77.
- Sedia E.G., Ehrenfeld J.G., Differential effects of lichens, mosses and grasses on respiration and nitrogen mineralization in soils of the New Jersey Pinelands, *Oecologia*, 2005, Vol. 144, No. 1, pp. 137–147.
- Semechkina M.G., *Zapasy podstilki v sosnyakh razno-travnykh ostrovnykh lesostepi Srednei Sibiri. Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh* (Litter reserves in pine forests of forb island forest-steppes of Central Siberia. The role of litter in forest biogeocenoses), Moscow: Nauka, 1983, 182 p.
- Shugalei L.S. The Siberian afforestation experiment: history, methodology, and problems, *Tree species effects on soil: implications for global change*, Proc. of the NATO Advanced Research Workshop on Trees and Soil Interactions, Implications to Global Climate Change, August 2004 Krasnoyarsk, Russia. Series IV: Earth environmental sciences, Amsterdam: IOS Press and Springer 2005, pp. 257–268.
- Shugalei L.S., Chuprova V.V., *Pochvoobrazovanie v tekhnogennykh landshaftakh* (Soil formation in technogenic landscapes), Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gos. agrarnyi un-t, 2015, 239 p.
- Smagin A.V., Biogeocenological approach in soil science, *Eurasian Soil Science*, 1996, Vol. 29, No. 3, pp. 264–274.
- Smagin A.V., Pochva kak rezul'tat samoorganizatsii biogeotsenoza (Soil as a result of self-organization of biogeocenosis), *Doklady AN SSSR*, 1989, Vol. 308, No. 3, pp. 729–731.
- Solntseva N.P., Gerasimova M.I., Rubilina N.E., Morfogeneticheskii analiz tekhnogenno-preobrazovannykh pochv (Morphogenetic analysis of technogenically transformed soils), *Pochvovedenie*, 1990, No. 8, pp. 124–129.
- Sorokin N.D., Gorbachev V.N., Gigolyan D.K., Mikrobo-tsenozy i biologicheskaya aktivnost' lesnykh pochv Angaro-Eniseiskogo regiona (Microbocenoses and biological activity of forest soils of the Angara-Yenisei region), In: *Biologicheskaya aktivnost' lesnykh pochv* (Biological activity of forest soils), Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny, 1985, pp. 35.
- Targul'yan O.V., Pamyat' pochv: obshchie podkhody k probleme (Soil memory: general approaches to the problem), In: *Pamyat' pochv: pochvy kak pamyat' biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeistvii* (Soil memory: soils as a memory of biosphere-geosphere-anthropospheric interactions), M.: Izd-vo LKI, 2008, pp. 24–57.
- Trefilova O.V., Vedrova E.F., Mineralizatsionnyi potok ugleroda v postpirogennykh sosnyakh Srednego Eniseya (Flux from mineralization of carbon in post-fire pine forests in Midstream of Yenisey), *Lesovedenie*, 2018, No. 3, pp. 210–224.
- Trofimov S.S., *Ekologiya pochv i pochvennye resursy Kemerovskoi oblasti* (Ecology of soils and soil resources of the Kemerovo region), Novosibirsk: 1975, 300 p.
- Ufimtsev V.I., Kupriyanov O.A., Belanov I.P., Ecological-cenotic role of phytogenous fields of Scots pine on coal dumps, *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, Vol. 9, No. 1, pp. 140–149.
- Ufimtsev V.I., Opyt i sovremennoe sostoyanie lesnoi rekul'tivatsii v Kuzbasse (An experience and contemporary status of forest recultivation in Kuzbass), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, No. 4, pp. 12–27.
- Uranov A.A., Fitogennoe pole (Phytogenic field), In: *Problemy sovremennoi botaniki* (Challenges of modern botany), Moscow, Leningrad: Nauka, 1965, Vol. 1, pp. 251–254.
- Uranov A.A., Mikhailova N.F., Iz opyta izucheniya fitogennoho poly *Stipa pennata* L. (From the experience of studying the *Stipa pennata* L. phytogenic field), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody, Otdel biologicheskii*, 1974, Vol. LXXIX (5), pp. 151–159.
- Vedrova E.F. Biochemistry of carbon and nitrogen in the Siberian afforestation experiment, *Tree species effects on soil: implications for global change*, Proc. of the NATO Advanced Research Workshop on Trees and Soil Interactions, Implications to Global Climate Change, August 2004 Krasnoyarsk, Russia. Series IV: Earth environmental sciences, Amsterdam: IOS Press and Springer 2005, pp. 257–268.

- Vedrova E.F., Reshetnikova T.V., Massa podstilki i intensivnost' ee razlozheniya v 40-letnikh kul'turakh osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri (Litter mass and intensity of litter decomposition in 40-year old plantations of the main forest forming species of Siberia), *Lesovedenie*, 2014, No. 1, pp. 42–50.
- Vedrova E.F., *Vliyaniye sosnovykh nasazhdenii na svoystva pochvy* (The influence of pine plantations on soil properties), Novosibirsk: Nauka, 1980, 104 p.
- Vesterdal L., Elberling B., Christiansen J.R., Callesen I., Schmidt I.K., Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species, *Forest Ecology and Management*, 2012, Vol. 26, pp. 185–196.
- Vesterdal L., Schmidt I. K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species, *Forest Ecology & Management*, 2008, Vol. 255, pp. 35–48.
- Volobuev V.R., *Ekologiya pochvy (ocherki)* (Soils ecology (articles)), Baku: Izd-vo Akad. nauk AzSSR, 1963, 260 p.
- Volokitina A.V., Osobennosti raspredeleniya dozhdevykh osadkov pod pologom khvoynogo lesa (Peculiarities of rainfall distribution under a coniferous stand canopy), *Lesovedenie*, 1979, No. 2, pp. 40–48.
- Walker J., Sharpe P.J.H., Penridge L.K., Wu H., Ecological field theory: the concept and field tests, *Vegetation*, 1989, Vol. 83, pp. 81–95.
- Wu H., Sharpe P.J.H., Walker J., Penridge L.K. Ecological field theory (EFT): A spatial analysis of resource interference among plants, *Ecological Modelling*, 1985, No. 29, pp. 215–243.
- Yastrebov A.B., Lychnaya N.V., Issledovanie fitogennykh polei derev'ev v lishainikovo-zelenomoshnykh sosnyakh (The study of phytogenic fields of trees in the lichen-moss pine forests), *Botanicheskii zhurnal*, 1993, Vol. 78, No. 5, pp. 78–92.
- Yastrebov A.B., Napryazhennost' fitogennykh polei derev'ev v lishainikovo-zelenomoshnykh sosnyakh (Tension of phytogenic tree fields in lichen-green moss pine forests), *Ekologiya*, 1996, No. 1, pp. 3–9.
- Zhukova L.A., Kontseptsiya fitogennykh polei i sovremennye aspekty ikh izucheniya (Concept phytogenic fields and current issues their study), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi Akademii nauk*, 2012, Vol. 14, No. 1–6, pp. 1462–1465.
- Zhuravleva E.N., Ipatov V.S., Lebedeva V.K., Tikhodeeva M.Y., Izuchenie rastitel'nosti na lugakh pod vliyaniem sosny obyknovЕННОй (*Pinus sylvestris* L.) (Vegetation changes in meadows under the influence of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)), *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3*, 2012, No. 2, pp. 3–12.
- Zonn S.V., K voprosu o vzaimodeistvii lesnoi rastitel'nosti s pochvami (To the question of the interaction of forest vegetation with soils), *Pochvovedenie*, 1954, No. 4, pp. 51–60.
- Zonn S.V., *Sovremennye problemy genezisa i geografii pochvy* (Modern problems of genesis and geography of soils), M.: Nauka, 1983, 168 p.