

ТРАВЯНЫЕ ПОЖАРЫ, ПОЧВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ НА БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ В ЮЖНОМ ПОДМОСКОВЬЕ

Ханина Л.Г.¹, Бобровский М.В.², Смирнов В.Э.^{1,3}, Иванова Н.В.¹, Глухова Е.М.¹

¹*Институт математических проблем биологии РАН — филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Пущино, Россия*

khanina.larisa@gmail.com

²*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия*

³*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия*

Аннотация: На ключевых участках южного Подмосковья исследованы растительность и почвы в сопряженных биотопах, сформированных на выведенных из оборота сельскохозяйственных землях при частом воздействии пожаров и при их отсутствии, а также "в контроле" - средневозрастном осиново-березово-широколиственном лесу. Проанализирован вклад факторов "участок" и "тип биотопа" в вариацию химических свойств почв, дана оценка влияния почвенных характеристик на участие видов напочвенного покрова. Показано, что содержание оксида фосфора, кислотность почвы, отношение концентраций углерода/азота и содержание калия являются почвенными характеристиками, в наибольшей мере зависимыми от исследованных типов биотопов (их сукцессионного состояния). Эти же характеристики являются основными, определяющими вариацию участия видов сосудистых растений в исследованных биотопах.

1. Введение

В настоящее время травяные пожары, распространенные по всему миру, представляют собой глобальную экологическую проблему. Рост площадей травяных пожаров в последние десятилетия связывают с различными факторами, среди которых глобальные климатические изменения, а также глобальные изменения структуры природопользования – выведение из сельскохозяйственного оборота больших площадей земель. В России каждую весну травяные пожары охватывают большие площади, при этом в большинстве случаев их причиной является поджигание накопившегося палового материала (засохших прошлогодних побегов и ветоши) на участках заброшенных сельскохозяйственных земель. Выведенные из оборота сельхозземли широко распространены в Подмосковье. На территории Заокского участка Серпуховского района зарастающие пашни составляют 40% от общей площади (67300 га), при этом 98.2% этих земель приходится на пашни, которые в то или иное время испытывали воздействия травяных пожаров (Бобровский и др., 2015).

Ранее нами на ключевых участках, расположенных к югу и юго-востоку от г. Пущино, был проведен анализ растительности и оценены факторы, определяющие различия в эколого-ценотической структуре (ЭЦС) растительного покрова (Смирнов и др., 2016). Было показано, что биотопы, сформированные на выведенных из оборота пахотных землях при частом воздействии пожаров и при их отсутствии, наряду с биотопом "старый лес", являются значимым фактором для ЭЦС, в то время как фактор "участок" и взаимодействие факторов "участок" и "биотоп" не вносят значимых различий в ЭЦС. В настоящей работе на тех же ключевых участках проведена оценка влияния почвенных характеристик на участие видов напочвенного покрова, а также проанализирован вклад факторов "участок" (отражает пространственную неоднородность территории) и "тип биотопа" (отражает сукцессионное состояние экосистем и, косвенно, частоту травяных пожаров) в вариацию химических свойств почв.

2. Материалы и методы

Полевые исследования проводили в 2015 г. на трех ключевых участках (Фиан, Каргашино и Агамино), на которых есть пашенные земли, выведенные из сельскохозяйственного оборота от 20 до 30 лет назад. На каждом участке выделено три пространственно сопряженных биотопа (залежь, молодой лес и старый лес). Молодой лес (березняк) и залежь (травяное сообщество без древесной растительности) являются участками зарастающих пашен, которые одновременно были выведены из сельскохозяйственного использования, но залежь многократно выгорала, а молодой лес сформировался либо без пожаров, либо после однократного пожара в начале зарастания. Старый лес – средневозрастной осиново-(или березово-) широколиственный лес с неморальным напочвенным покровом. Было выполнено по 5 геоботанических описаний на залежах и в молодых лесах и по 3 описания в старых лесах (всего 39 описаний на площадках 10×10 м); отобрано 27 образцов почв по стандартной методике в верхнем (10 см) слое (по 3 образца на один биотоп на каждом участке). В лаборатории ИФХиБПП РАН для каждого образца определены содержания Собщ., Нобщ., Сорг., pH водн., pH KCl, содержание обменных оснований (Ca, Mg, K, Na), содержание K₂O₅ и P₂O₅, гранулометрический состав.

Для оценки влияния почвенных характеристик на участие видов напочвенного покрова выполняли каноническую (прямую) ординацию геоботанических описаний всех трех участков посредством анализа избыточности (redundancy analysis, RDA) – по алгоритму и с учетом рекомендаций Borcard et al. (2011) и Legendre & Legendre (2012). Для выполнения RDA почвенные параметры преобразовывали в соответствии с требованиями статистической модели метода. Из доступных почвенных характеристик по результатам процедуры прямого отбора (forward selection) выбрали C/N, pH(по KCl) и K. Эти переменные вошли в окончательную (экономную) модель RDA в качестве предикторов. Кроме собственно канонической ординации, в рамках RDA выполнили также разложение дисперсии откликов (видовой матрицы) относительно 1) почвенных характеристик (количественные переменные), 2) фактора "биотоп" и 3) фактора "участок" (качественные переменные). Соответствующие доли дисперсии иллюстрировали с помощью диаграммы Венна.

Оценку вкладов участков и биотопов в вариацию химических характеристик почв проводили для двух участков (Каргашино и Агамино). Выполняли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA и v-test (Husson et al., 2017). Последний рассчитывает стандартизованную величину эффекта, равную разности между средним значением переменной в категории (участок или биотоп) и средним значением переменной в целом (по всем значениям), деленной на стандартное отклонение, и находит ее значимость. Использовали скорректированные *p*-значения (*p-adjust* в Таблице) по Holm (1979).

Статистический анализ выполняли в среде статистического программирования R (R Core Team, 2017).

3. Результаты

Результаты канонической ординации показали, что первые три канонические оси являются значимыми, они объясняют около 29% от общей дисперсии (17, 7 и 5% первая, вторая и третья оси, соответственно). Наибольшие корреляции с осями имеют почвенные характеристики: C/N – корреляция с первой осью $r = 0.69$, pH.KCl – со второй осью $r = -0.75$ и содержание K – с третьей осью $r = 0.83$ (Рисунок А). Наибольшая фракция дисперсии (19%) является общей для почвенных характеристик и биотопа (Рисунок Б). У «участка» с «почвой» нет значимой общей фракции, что означает, что не выявлено вариации растительности, определяемой почвенными параметрами в пределах участков. Вариация растительности связана с почвенными параметрами биотопов в большей мере, чем с параметрами участков; при этом основными почвенными характеристиками,

определяющими вариацию растительности, являются кислотность почвы, содержание углерода и азота, а также содержание калия.

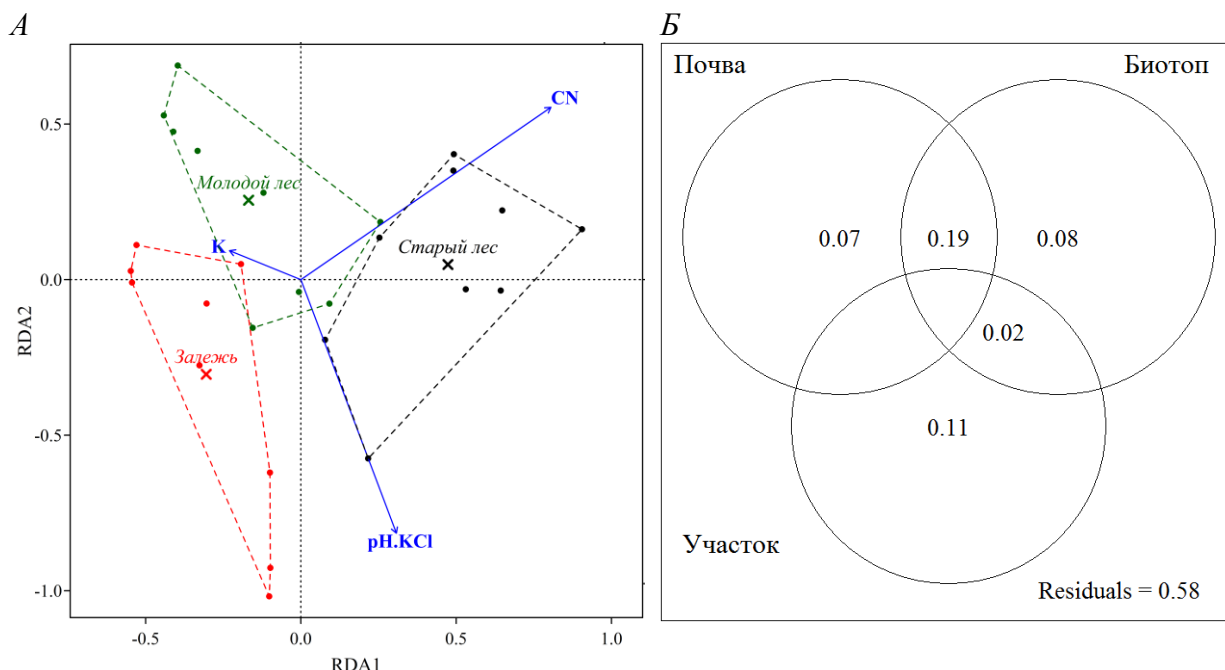


Рисунок – Результаты канонического анализа (RDA) растительности:

А ординационная диаграмма, вектора – характеристики почв, предикторы; Б диаграмма Венна, показывающая разложение дисперсии растительности в долях единицы относительно почвенных характеристик, факторов "биотоп" и "участок"

Анализ влияния биотопов и участков на почвенные характеристики показал, что фактор "участок" является значимым только для Ca, в то время как фактор "биотоп" является значимым для вариации практически всех исследуемых химических характеристик почв (кроме Na, pH.H₂O и Mg); наибольший вклад биотопов в вариацию значений наблюдается для содержания P₂O₅ и K, pH.KCl, C/N (Таблица).

Таблица. Результаты статистического анализа вклада фактора "биотоп" в вариацию значений химических характеристик почв

	ANOVA		Залежь		Молодой лес		Старый лес	
	R^2	p -adjust	v -test	p -adjust	v -test	p -adjust	v -test	p -adjust
P ₂ O ₅	0.776	0.000	3.611	0.002	-1.469	0.304	-2.142	0.161
pH.KCl	0.662	0.002	1.409	0.477	-3.340	0.006	1.931	0.214
CN	0.646	0.002	-3.005	0.016	0.292	0.770	2.713	0.053
K	0.493	0.024	2.887	0.019	-1.638	0.304	-1.249	0.635
Ca	0.472	0.025	2.125	0.134	-2.686	0.043	0.561	1.000
C	0.429	0.030	-0.681	0.991	-1.923	0.218	2.605	0.064
N	0.391	0.030	-0.119	0.991	-2.172	0.149	2.291	0.132

На залежи положительная величина эффекта отмечена для содержания оксида фосфора и калия, что может быть объяснено высокой скоростью обменных процессов в травянистых сообществах при возможном в прошлом внесении в почвы пашен калийных и фосфатных удобрений. Отрицательная величина эффекта для C/N на залежах и положительный эффект для C/N в "старом лесу" (там же отмечен положительный эффект,

близкий к значимому, для содержания С) свидетельствуют о потерях углерода на пашне и относительно высоком уровне почвенного богатства в исследованных средневозрастных лесах. Значимый отрицательный эффект для рН (по KCl) в биотопе "молодой лес" подтверждает подкисление почвы в молодых лесах, известное по литературе. Значимый отрицательный эффект для содержания кальция в почвах биотопа "молодой лес" свидетельствует об относительном богатстве кальцием почв на залежи и в "старом лесу", что, однако, должно быть дополнительно исследовано с учетом фактора "участок".

Таким образом, на двух модельных участках на территории южного Подмосковья показано, что для экосистем, сформированных на выведенных из оборота пахотных землях, их сукцессионное состояние ("тип биотопа"), зависящее от воздействия пожаров, является значимым фактором для вариации практически всех исследуемых химических характеристик почв; наибольший вклад фактора "тип биотопа" наблюдается в вариацию значений содержания оксида фосфора, кислотности почвы, отношения концентраций углерода/азота и содержания калия. Показано, что эти же почвенные характеристики (помимо содержания оксида фосфора) в большой мере связаны с вариацией участия видов сосудистых растений между биотопами. Вероятно, содержание оксида фосфора также может **является** значимым параметром для вариации видов растений на первых двух участках, поскольку он был исключен из RDA-анализа исключительно вследствие "выбросов" его значений на третьем участке.

Заключение

Проведенный анализ модельных территорий на юге Московской области позволяет сделать предварительное заключение о существенном влиянии травяных пожаров на сукцессионное состояние экосистем и почв в их составе, что отражается в варьировании состава и структуры растительного покрова, химических свойства почв. Содержание оксида фосфора, кислотность почвы, отношение концентраций углерода/азота и содержание калия являются почвенными характеристиками, в большой мере зависимыми от типов биотопов, выделяемых на зарастающих пашнях с учетом частоты пожарных воздействий. Эти же характеристики связаны с варьированием участия видов сосудистых растений в исследованных биотопах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Московской области (проекты 17-44-500297 и 14-44-03666).

Литература

- Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Шашков М.П., Иванова Н.И., Смирнов В.Э. Разнообразие сукцессий при зарастании сельскохозяйственных угодий на юге Московской области по данным дистанционного зондирования // Математическое моделирование в экологии / Материалы Четвертой Национальной научной конференции с международным участием, 18-22 мая 2015 г. – Пущино, ИФХиБПП РАН, 2015. С. 28-29.
- Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Иванова Н.В., Бобровский М.В. Анализ эколого-ценотической структуры растительности на зарастающих сельскохозяйственных полях Заокского участка Московской области // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы II Всероссийской научной конференции (с международным участием). М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 58-59.
- Borcard D., Gilbert F., Legendre P. Numerical ecology with R!. Use R series. N.Y.: Springer Sci., 2011. 306 p.
- Holm S. A simple sequentially rejective multiple test procedure // Scand. J. Statist. 1979. V. 6. P. 65–70.
- Husson F., Le S., Pagès J. Exploratory multivariate analysis by example using R. 2nd edition. Chapman & Hall/CRC. 2017. 248 pp.
- Legendre P., Legendre L. Numerical ecology, 3rd English ed. Developments in Environmental Modelling, V. 24. Amsterdam: Elsevier Sci. BV, 2012. 990 p.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL: <http://www.R-project.org>.