

Фиторазнообразие как индикатор восстановления формации *Pinus sylvestris* L. Усманского бора после лесного пожара

© 2022. А. Я. Григорьевская, д. г. н., профессор,
Ю. С. Горбунова, к. б. н., доцент,
Т. А. Девятова, д. б. н., профессор, зав. кафедрой,
Воронежский государственный университет,
394036, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1,
e-mail: gorbunova.vsu@mail.ru

Проведён анализ динамики фиторазнообразия за 10 лет формации *Pinus sylvestris* L. в Усманском бору Воронежской области на территории России. Используются формализованные методы обработки массива данных при описании 140 учётных площадок в 1 м² на двух пробных площадях в фоновой и пирогенной формациях *P. sylvestris*. Учёт обилия выполнен по О. Друде. Пирогенный фактор, наряду с температурным режимом, освещённостью, увлажнением и эдафическими условиями оказывает сильное воздействие на фиторазнообразие лесных экосистем. Установлено четыре фазы сукцессии пирогенных фитоценозов с определением временных интервалов между ними. Первая фаза 2010 г. – пионерная группировка, отмечены случайные виды растений, между собой разобщены; вторая фаза 2011–2014 гг. – преобразование пионерной группировки, идёт внедрение растений, их размножение, появляются консортивные отношения между организмами, зафиксировано сорно-рудеральное мелкопестничково-сосновое сообщество (*Pinus sylvestris* – *Erigeron canadensis*); третья 2015–2018 гг. – начальная фаза разнотравно-кустарниковая, происходит перестройка структуры растительного сообщества, что выразилось в замене доминантов ярусов фитоценоза; четвёртая фаза начинается с 2019 г. – формирование лесной фитоценотической группы связано с затемнением и, как следствие, изменением температуры. Дана характеристика антропопотолерантных групп. В соотношении видов на фоновом и пирогенном участке к общему количеству прослеживается пополнение видовой разноразнообразия на пирогенных участках. Полученные значения коэффициента регрессии для антропопотолерантных групп подчёркивают чувствительность флоры к пирогенному воздействию, особенно синантропофитов и гемиапофитов.

Ключевые слова: формация, флора, пирогенный фактор, фазы сукцессии, Усманский бор, *Pinus sylvestris* L.

Phyto-diversity as an indicator of the restoration of the *Pinus sylvestris* L. formation of the Usman forest after a forest fire

© 2022. A. Ya. Grigoryevskaya ORCID: 0000-0002-4342-9566,
Yu. S. Gorbunova ORCID: 0000-0003-1203-9087, T. A. Deviatova ORCID: 0000-0002-8722-1126,
Voronezh State University,
1, Universitetskaya Square, Voronezh, Russia, 394036,
e-mail: gorbunova.vsu@mail.ru

The analysis of the dynamics of phyto-diversity over 10 years of the *Pinus sylvestris* L. formation in the Usman forest of the Voronezh region on the territory of Russia is carried out. We used formalized methods for processing the data array when describing 140 accounting sites of 1 m² on two test sites in the background and pyrogenic formations of *P. sylvestris*. Accounting for abundance was conducted according to O. Drude. The pyrogenic factor, along with temperature, light, humidification, and edaphic conditions, has a strong effect on the phyto-diversity of forest ecosystems. Four phases of succession of pyrogenic phytocenoses with determination of time intervals between them have been established. The first phase of 2010 is a pioneer group, random plant species are noted, separated among themselves; second phase 2011–2014 – the pioneer group is being transformed, plants are being introduced, they are breeding, consort relations between organisms are appearing, a weed-ruderal erigeron-pine community (*Pinus sylvestris* – *Erigeron canadensis*) has been recorded; third 2015–2018 – the initial phase is herb-shrub, there is a restructuring of the structure of the plant community, which is expressed in the replacement of the dominants of the phytocenosis tiers; the fourth phase begins in 2019 – the formation of the forest phytocenotic group is associated with dimming and, as a result, a change in temperature. The characteristic of anthropotolerant groups is given. In the ratio of species in the background and pyrogenic areas to the total number, the replenishment of species diversity in pyrogenic areas is observed. The obtained values of the regression coefficient for anthropotolerant groups emphasize the sensitivity of the flora to the pyrogenic effects of especially synanthropophytes and hemiapophytes.

Keywords: formation, flora, pyrogenic factor, phases of succession, Usmansky pine forest, *Pinus sylvestris* L.

Пирогенный фактор наряду с температурным режимом, освещённостью, увлажнением и эдафическими условиями оказывает сильное воздействие на фиторазнообразие лесных экосистем. Пожары, повторяющиеся неоднократно на определённой территории, в современном природопользовании оцениваются как экзогенный локально-катастрофический фактор, ведущий к трансформации природных экосистем.

Сохранение и рациональное использование постпирогенных лесов в целом является одной из важнейших природоохранных и экономических задач. Эффективность её решения зависит от степени изученности лесных экосистем. Видовой состав флоры Усманского бора достаточно богат, поэтому его изучение осложняется огромной внутривидовой изменчивостью, формирующейся в условиях обширных экологически гетерогенных ареалов лесобразующих видов, что существенно повышает уровень биоразнообразия лесных экосистем [1]. Важно изучать состояние фиторазнообразия пирогенной формации *Pinus sylvestris* L. в динамике и постоянно вести сравнение с фоновым аналогом. Лесостепь в глобальном масштабе является одним из наиболее гетерогенных биомов [2, 3]. Равнинные лесостепные ландшафты Европейской России выделяются высоким фиторазнообразием.

Цель исследования – проанализировать динамику фиторазнообразия пирогенной формации *P. sylvestris* за десятилетний период в сравнении с фоновым аналогом.

Объекты и методы исследования

Пирогенное воздействие летом 2010 г. на естественные растительные сообщества принесло ощутимый экологический ущерб формации *P. sylvestris* (51°48'37,4" с. ш., 39°23'42,6" в. д. и 51°48'37,6" с. ш., 39°23'42,6" в. д.). Работы на этой территории с оценкой негативного воздействия велись ежегодно с 2012 г. Результаты исследований за 2012, 2014–2016 гг. опубликованы в работах [4–6]. Подробный анализ экобиоморфологической структуры флоры представлен в [4]. Исследования влияния пожаров на растительный покров леса в регионе проводятся эпизодически. В частности, рассмотрено влияние пожара на состояние редких видов растений в урочище Морозова гора [7]. Данные о влиянии пожаров на весь природный комплекс, пройденный огнём, отсутствуют.

Исследуемая территория относится к району левобережных песчаных террас рек Дона, Воронежца и Битюга. Коренные породы перекрыты флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями. Рельеф представлен полого-волнистой равниной, сформированной в древнем голоцене. Согласно геоботаническому районированию, бор относится к Усманскому району зеленомошных сосновых и осоковых дубовых лесов Боброво-Усманского округа Среднерусской дубово-сосновой провинции. Основными почвообразующими породами являются древнеаллювиальные отложения. Почвы представлены дерново-элювозёмными глееватыми и глеевыми глинисто-иллювиальными [4].

Методика выявления видового состава флоры на фоновой и пирогенной территориях формации *P. sylvestris* включала ежегодные описания флоры двух постоянных пробных площадей размером 20 м × 20 м, внутри которых велись работы на 10 учётных площадках размером 1 м × 1 м. Всего было описано 140 учётных площадок за период 2012–2019 гг.

Ярусную структуру устанавливали по высоте деревьев, а название растительных сообществ определяли доминантным признаком. Учёт обилия проведён по О. Друде [8]. Проективное покрытие (ПП) древесных пород учитывали по степени сомкнутости крон. Проекция растений к заданной площади участка (обычно 1 м²) составляла его ПП. Общее проективное покрытие (ОПП) для растительного сообщества получено путём сложения ПП каждого вида с определением средней величины.

Результаты и обсуждение

Развитие пожара зависит от рельефа местности, типа и состояния растительности, силы и направления ветра, массы накопленного сухого горючего материала (лесной подстилки). При высушенном естественном травостое и безветрии пожары распространяются со скоростью 15–18 м/мин. [9]. В случае нахождения в естественной среде скоплений горючих материалов (стога соломы, сена, штабелей древесины, а также при техногенном загрязнении естественной среды вследствие разлива нефти или продуктов её переработки) длительность огневого воздействия и его температура возрастают в несколько раз или даже на порядки. Огонь воздействует на растения непосредственно, повреждая или уничтожая их, и косвенно – изменяя структуру, флору-

стический состав фитоценоза и экологические условия экотопа.

Сосновые леса очень пожароопасны ввиду сухости местности, ажурности строения полога леса и невысокой влажности подстилки. В хвойных лесах частота возникновения пожаров связана в первую очередь с малой влажностью хвои, которая в засушливый период июля и августа 2010 г. достигла максимальных показателей.

Огонь в лесу выполняет двойную функцию, он является и разрушителем, и созидателем. Уничтожая моховой и травяной покров, выжигая подстилку и гумус, согласно нашим исследованиям, опубликованным в 2014 г. [4–6], огонь создаёт благоприятные условия для прорастания семян ряда растений, появления и формирования самосева сосны, берёзы и некоторых других древесных пород. В то же время, уничтожая подрост деревьев, пожар нередко способствует появлению не характерных для леса видов растений, развитию водной и ветровой эрозии. Установлено, что чрезмерный выпас и пирогенный фактор сдерживают прогрессивные сукцессии растительного покрова [10]. Лесные пожары влияют на видовой состав древостоя, нарушают и изменяют возрастную структуру леса. Так, после лесного пожара в 2012 г. нами выявлено, что в Усманском бору изучаемая формация *P. sylvestris* имеет 35 видов сосудистых растений из 30 родов 23 семейств 2-х отделов *Pinophyta* и *Magnoliophyta*. Такие показатели пирогенных фитоценозов, как малая видовая насыщенность семейства – 1,5 вида, рода – 1,2 вида, видовое обилие *sp.* (редко), *sol.* (единично), ОПП до 50% констатируют высокую степень её нарушенности [4].

Принимая во внимание динамику климата и пирогенное воздействие, которому была подвержена исследованная нами территория в 2010 г., произошла трансформация флоры Усманского бора. На первый план мы выносим вопрос распространения видов, нами учитывается обилие видов в динамике, начиная с 2012 г., их распространение на гарях, на постпирогенных территориях, а также аспекты сохранения редких и исчезающих видов растений.

Состав антропоотолерантных групп показывает степень трансформации изучаемой лесной формации. Синантропный компонент флоры включал в себя 8 видов в 2015 г., 6 – в 2016 г., 16 – в 2018 г., 25 видов – в 2019 г. Высокая доля синантропных видов подчёркивает антропогенную нарушенность территории. Синантропный компонент флоры делится

на аборигенный апофитный и адвентивный. Среди апофитов выделяют эвапофитов, гемиапофитов и случайных (неустойчивых) апофитов. Эвапофиты (облигатные апофиты) – на пирогенном участке не встречались, но были отмечены нами ранее на фоновых территориях. Гемиапофиты (факультативные апофиты) – 4 вида (23,5%) в 2015 г., 2 вида (14,3%) – в 2016 г., 9 видов (34,6%) – в 2018 г. и 11 видов (29,7%) – в 2019 г. Случайные (неустойчивые) апофиты – 3 вида (21,4%) в 2015 г., 2 вида (15,4%) – в 2016 г., 7 видов (26,9%) – в 2018 г. и 13 видов (35,1%) – в 2019 г. Адвентивный элемент флоры был представлен одним кенофитом в 2015 г. *Erigeron canadensis* L. и одним археофитом *Polygonum aviculare* L.

Индигенные виды насчитывали 9 в 2015 г., 8 – в 2016 г., 10 – в 2018 г. и 12 видов – в 2019 г. Встречались следующие виды: *Veronica incana* L., *Convallaria majalis* L., *Melampyrum pratense* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Betonica officinalis* L. и др.

Проведённый анализ динамики флоры постпирогенной формации *P. sylvestris* показывает её изменение за последние годы. Так, в соотношениях видов на фоновом и пирогенном участках к общему количеству видов прослеживается пополнение видовой разнообразия на пирогенных участках.

В 2012 г. зафиксировано 20 видов на фоновом участке и только 6 – на пирогенном (рис. 1). В 2015 г. отмечено 40 видов на фоновом участке и только 17 – на пирогенном. В 2016 г. зафиксирован 41 вид: на фоновом участке – 35, на пирогенном – 14 видов. В 2018 г. на пирогенном участке росли: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth., *Vincetoxicum hirundinaria* Medik., *Centaurea marschalliana* L., *Pulsatilla patens* L., *Galium boreale* L. и др. В 2018 г. описано 30 видов, среди которых 28 – на фоновом участке и 26 – на пирогенном. *Polygonatum multiflorum* (L.) All. и *Geranium robertianum* L. росли только на пирогенном участке. В 2019 г. в формации *P. sylvestris* уже найдено 52 вида, из них 37 – на пирогенном участке. Заметно увеличилось число видов на пирогенном участке по отношению к предыдущим годам. На рисунках 1 и 2 видна контрастность в распределении флоры на фоновых и пирогенных участках в 2019 г. по сравнению с 2012 г. На рисунке 2 данные по эвапофитам и агриофитам отсутствуют, так как в 2019 г. они не были обнаружены ни на фоновом, ни на пирогенном участке, что свидетельствует о постепенном восстановлении флоры после антропогенного воздействия. Полученные диаграммы

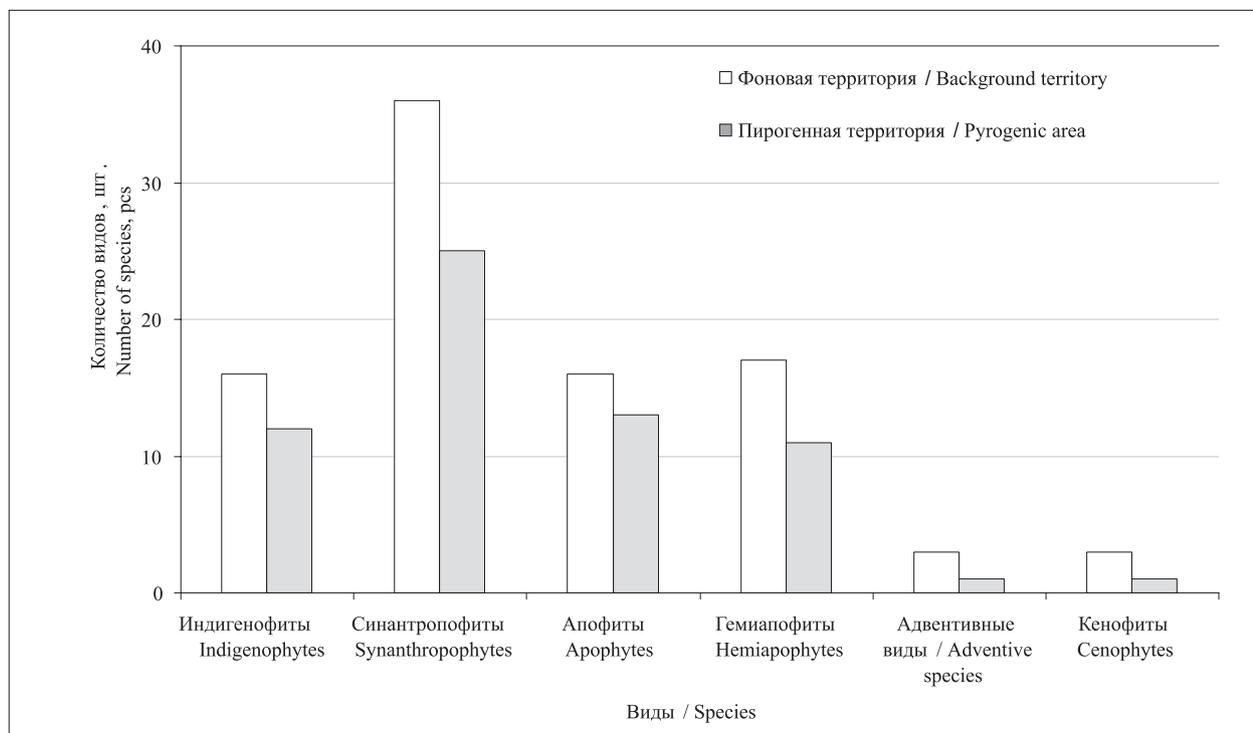


Рис. 1. Распределение антропоустойчивых групп в фоновой и пирогенной формациях *Pinus sylvestris* за 2012 г.
Fig. 1. The distribution of anthropotolerant groups in the background and pyrogenic formation of *Pinus sylvestris* for 2012

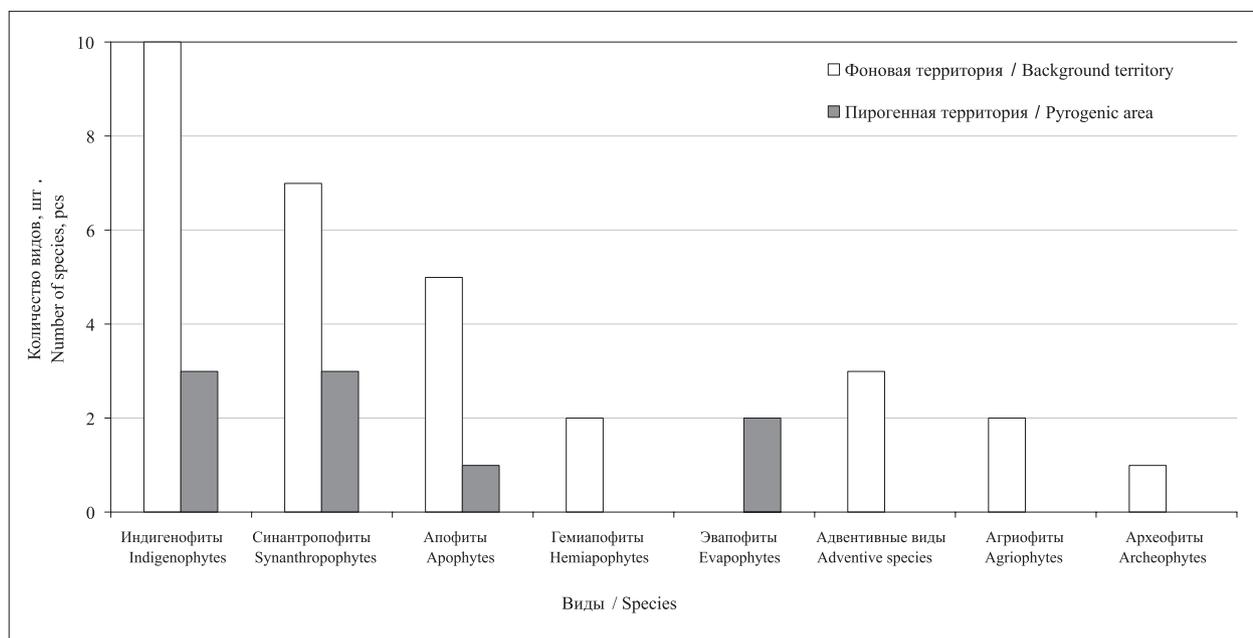


Рис. 2. Распределение антропоустойчивых групп в фоновой и пирогенной формациях *Pinus sylvestris* за 2019 г.
Fig. 2. The distribution of anthropotolerant groups in the background and pyrogenic *Pinus sylvestris* formation for 2019

для антропоустойчивых групп наглядно демонстрируют чувствительность флоры к пирогенному воздействию, особенно синантропофитов и гемиапофитов. Количество видов на пирогенной и фоновой территориях

в 2019 г. распределено по антропоустойчивым группам более равномерно по сравнению с 2012 г., что подтверждает восстановление флоры после лесного пожара 2010 г. (рис. 2).

Наблюдения за динамикой флоры в течение 10-ти летнего периода и результаты анализа дали возможность установить формирование сукцессионных смен фитоценоза и временные интервалы смены сукцессий.

Первая стадия – 2010 г. Фитоценоз пирогенной формации находился в стадии пионерной группировки, со случайным набором растений и их разобщённостью.

Вторая стадия – 2011–2014 гг. Происходило преобразование пионерной группировки, внедрение растений, их размножение, появлялись консортивные отношения между организмами. Появилось сорно-рудеральное мелколепестниково-сосновое сообщество (*Pinus sylvestris* – *Erigeron canadensis*). Первый ярус был образован *P. sylvestris* с ПП до 25%. Подрост и подлесок отсутствовали. Инвазионный монокарпик *Erigeron canadensis* имел ПП до 50%, являлся доминантом и находился во втором ярусе. Редко встречались *Chelidonium majus*, *Chamaenerion angustifolium*, *Calamagrostis epigeios*, а из лесной фитоценотической группы – *Polygonatum odoratum*, *Convallaria majalis*. Общее проективное покрытие ассоциации *Pinus sylvestris* – *Erigeron canadensis* составляло 75%. Описание пирогенного растительного сообщества *Pinus sylvestris* – *Rumex acetosa* – *Erigeron canadensis* формации *P. sylvestris* в 2014 г. констатировало смену доминантов. Доминант первого яруса *P. sylvestris* – 25%, второго – *Rumex acetosa* – 12–15%, третьего – *Erigeron canadensis* – 8–10%, ОПП составляло 55%. В разреженном подлеске высотой до 4 м появились *Sorbus aucuparia* – 1,5%, *Chamaecytisus ruthenicus* – 1,2%. Сформировалась группа поликарпиков из злаков: *Calamagrostis epigeios* – 1,2%, *C. arundinacea* – 2%, *Poa angustifolia* – 1,5%, *P. annua* – 1,5%, *Festuca sulcata* – 1,2%, *Dactylis glomerata* – 1,4%, *Agrostis canina* – 1,5%. Одиночные особи *Pulsatilla patens* – 2% (вид Красной книги Воронежской области) росли по всему участку. Формировалась лесная фитоценотическая группа с участием *Polygonatum odoratum* – 1% и *P. multiflorum* – 1%, и опушечно-лесная – *Veronica incana* – 1%, *Verbascum nigrum* – 1%, *Campanula rotundifolia* – 1%. Лесной пожар не уничтожил корневую систему растений, но сильно её нарушил. Спустя 4 года после пожара стали восстанавливаться некоторые лесные растения, но сорных видов было достаточно много. Такое начальное усложнение структуры лесного фитоценоза пирогенной формации за счёт корневого возобновления

поликарпиков с учётом семенного запаса в почве можно считать подготовительным периодом восстановления лесной экосистемы. Таким образом, четырёхлетний период способствовал переходу первой сукцессионной фазы во вторую – сорно-рудеральную.

Третья стадия. С 2015 по 2017 гг. шло формирование разнотравья. Результаты описания ассоциации *Pinus sylvestris* – *Calamagrostis arundinacea* формации *Pinus sylvestris* за 2015–2017 гг. подтвердили продолжение динамики флоры и перестройку структуры растительного сообщества, что выразилось в замене доминантов ярусов фитоценоза, увеличении видового разнообразия. В пирогенном *Pinus sylvestris* – *Calamagrostis arundinacea* фитоценозе первый ярус занимала *P. sylvestris* – 30%. Доминант второго яруса *C. arundinacea* – 15%, ОПП составляло 72% в 2015 г. и 75% – в 2016 г. Сорные виды растений присутствовали, но находились в угнетённом состоянии. Увеличилось число видов лесной фитоценотической группы, среди которых отмечены *Carex digitata*, *Betonica officinalis*, *Fragaria vesca*, *Stellaria media*, *S. graminea*, *Melica nutans*, *Melampyrum nemorosum*, *Polygonatum officinale*, *P. multiflorum*, *Peucedanum oreoselinum*. Наблюдалось присутствие адвентивных и сорных растений: *Chenopodium album*, *Acer negundo*, *Erigeron canadensis*. Они не являлись доминантами и местами встречались редко, ОПП составляло 55%. В 2016 г. на пирогенной территории появился *Vincetoxicum hirundinaria* Medik. с обилием sol. В 2019 г. данный вид присутствовал как на фоновой, так и на пирогенной территории в обилие (sp./sp.) и (sol./sp.) соответственно.

Четвёртая стадия – 2018–2019 гг. Отмечено начало формирования лесной фитоценотической группы. В связи с затемнением и, как следствие, изменением температуры, появляются следующие виды в 2018 г. и присутствуют в 2019 г. *Melampyrum pratense* L. как на фоновой (сор.₂/сор.₃), так и на пирогенной территории (сор.₂/сор.₂) формации *P. sylvestris*. *Convallaria majalis* L. появился на фоновой территории в 2012, 2014 гг. в формации *P. sylvestris* (sp./sol.), а с 2015 г. и на пирогенной территории, где его обилие постепенно возрастало и достигло (сор.₂). В 2018 и 2019 гг. отмечали присутствие *Convallaria majalis* L. как на фоновой (сор.₂/сор.₂), так и на пирогенной территории (сор.₁/сор.₂) формации *P. sylvestris*. Начиная с 2018–2019 гг. происходит увеличение в фитоценотической группе такого опушечно-лесного вида как *Populus tremula* L. с обилием sp. как на

фоновой, так и на пирогенной территории. В 2018 г. на пирогенном участке обнаружена *Polygonatum multiflorum* (L.) All. с обилием un, а в 2019 г. – и на фоновой территории (un./un.). *Origanum vulgare* L. – опушечно-лесной вид, наблюдаемый нами с 2018 г. как на фоновой, так и на пирогенной территории с обилием (sp./sp.), в 2019 г. – (sp./un.) соответственно. *Torilis japonica* (Houtt.) DC. – сорно-лесной вид, произрастающий на фоновой и пирогенной территории с обилием (сор.₁/sp.) в 2018 г., а в 2019 г. – (sp./sp.) соответственно. *Quercus robur* L. – лесной вид, встречающийся в 2018 г. как на фоновой, так и на пирогенной территории в обилие (sp./sp.), а в 2019 г. в обилие (sol./sol.) соответственно. *Betonica officinalis* L. – опушечно-лесной вид фитоценотической группы, который на фоновой территории отмечался нами ежегодно, а на пирогенной появился лишь в 2018 г. с обилием сор.₁, а в 2019 г. – sp. соответственно. *Campanula persicifolia* L. опушечно-лесной вид, появившейся только на территории формации *P. sylvestris* в 2018 г. на фоновой территории (sol.), а в 2019 г. обнаружен и на пирогенной территории (sol./sol.). *Rhamnus cathartica* L. – опушечно-лесной вид, появившийся только в 2019 г. на фоновой и пирогенной территории формации *P. sylvestris* (sol./sol.). *Silene nutans* L. появилась после пирогенного воздействия на фоновой территории в 2012 г. в формации *P. sylvestris* (sol.), а на пирогенных участках только в 2019 г. (sol.). Так протекает четвёртая фаза сукцессии – лесная. Появление лесных элементов флоры говорит о том, что сохранившиеся корневые системы дали возобновление из почк. Степная группа не является доминантной, а степные растения находятся в угнетённом состоянии, так как появилось высокотравье, которое создало затенение и уменьшение светового альбеда.

Адвентивный элемент флоры представлен кенофитами и археофитами. Археофиты представлены одним видом в 2015 г. – *Polygonum aviculare* L. Кенофиты – 1 вид в 2015 г., 2 вида – в 2016, 2018 и в 2019 г., представлены такими видами как *Erigeron canadensis* L., *Centaurea biebersteinii* DC. и *Epilobium pseudorubescens* L.

Индигенная группа насчитывала 5 видов в 2015 г., 9 – в 2016 г., 6 – в 2018 г. и 8 видов – в 2019 г. Встречались следующие виды: *Pulsatilla patens* L., *Peucedanum alsaticum* L., *Convallaria majalis* L., *Rhamnus cathartica* L., *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C.B. Lehm. и др.

Заключение

По результатам ежегодного наблюдения за динамикой флоры в фоновой и пирогенной формациях *Pinus sylvestris* выявлено влияние лесного пожара на флору Усманского бора. Отмечено изменение видового состава, доминантов, увеличение видового разнообразия с каждым годом формирования структуры лесной формации на пирогенной территории. Установлено четыре фазы сукцессии: первая фаза 2010 г. – пионерная группировка, со случайным набором растений и их разобщённостью; вторая фаза 2011–2014 гг. – преобразование пионерной группировки, внедрение растений, их размножение, появлялись консортивные отношения между организмами; третья фаза 2015–2017 гг. – начальная фаза разнотравно-кустарниковая, перестройка структуры растительного сообщества, что выразилось в замене доминантов ярусов фитоценоза, увеличении видового разнообразия; четвёртая фаза (начиная с 2018–2019 гг.) – формирование лесной фитоценотической группы, происходит за счёт появления видов, характерных для исследуемой территории до воздействия пирогенного фактора: *Acer tataricum*, *A. campestre*, *Quercus robur*, *Populus tremula*, *Polygonatum multiflorum*, *Origanum vulgare*, *Torilis japonica*, *Quercus robur*, *Betonica officinalis*, *Campanula persicifolia*, *Rhamnus cathartica*, *Silene nutans*, *Calamagrostis arundinacea*, *Melica nutans*, *Euonymus europaeus*, *E. verrucosa*, *Caragana arborescens*, *Aegopodium podagraria*, *Pulmonaria obscura*, *Convallaria majalis*, *Melampyrum nemorosum*, *Chelidonium majus*, *Viola odorata*. Таким образом, происходит восстановление пирогенной формации *P. sylvestris* за счёт появления лесных элементов флоры.

References

1. Klimov A.V., Proshkin B.V. The use of morpho-anatomical characters to identify hybrid plants in the natural hybridization zone of *Populus laurifolia* and *P. nigra* in Siberia, Russia // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. No. 46. P. 64–81 (in Russian). doi: 10.17223/19988591/46/4
2. Wesche K., Ambarlı D., Kamp J., Török P., Treiber J., Dengler J. The Palaearctic steppe biome: A new synthesis // Biodiversity and Conservation. 2016. No. 25. P. 2197–2231. doi: 10.1007/s10531-016-1214-7
3. Erdős L., Ambarlı D., Anenkhonov O.A., Bátori Z., Cserhalmi D., Kiss M., Naqinezhad A. The edge of two worlds: A new review and synthesis on Eurasian forest-steppes // Applied Vegetation Science. 2018. V. 21. No. 3. P. 345–362. doi: 10.1111/avsc.12382

4. Devyatova T.A., Gorbunova Y.S., Grigor'evskaya A.Ya. Modern evolution of soils and flora of the forest-steppe of the Russian Plain after forest fires. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2014. 259 p. (in Russian).

5. Devyatova T.A., Gorbunova Y.S., Romyanceva I.V. Basic property analysis of sod-forest soil covered by a forest fire in the territory of Usmanskyy pinery (RF) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bristol (Velikobritaniya), 2019. P. 1–8. doi: 10.1088/1755-1315/392/1/012048

6. Grigor'evskaya A.Ya., Devyatova T.A., Gorbunova Y.S., Sorokina N.A. Phytodiversity of pyrogenic formations of the usman forest (Voronezh Oblast) // Arid Ecosystems. 2019. V. 9. No. 4. P. 248–256. doi: 10.1134/S2079096119040036

7. Skol'zheva L.N., Nedosekina T.V. The effect of the 2010 fire on the state of rare plant species in the tract Morozova Mountain // Redkie vidy gribov, rasteniy i zhyvotnyh Lipeckoy oblasti: Informacionnyy sbornik materialov. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2011. 204 p. (in Russian).

8. Drude O. Okologie der Pflanzen. Die Wissenschaft Vieweg. Braunschweig, 1913. 308 p. (in German).

9. Il'ina V.N. Pyrogenic impact on vegetation cover // Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2011. V. 20. No. 2. P. 4–30 (in Russian).

10. Rybashlykova L.P. Dynamics of vegetation of phytomelior of focal deflation on the territory of the Republic of Kalmykia // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 152–158 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-152-158