

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.055

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74>

Оценка влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris* (Озёрное месторождение нефти, Пермский край, Россия)

Алёна Степановна Порозова¹, Павел Юрьевич Санников²

^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ porozova_alena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7889-4679>

² sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris*. Исследование проведено на Озёрном нефтяном месторождении Красновишерского района Пермского края (Россия). Основным методом исследования – дендрохронологический анализ. Древесные керны сосны обыкновенной отобраны летом 2020 г. при помощи бурава Пресслера по стандартной методике. Керны отобраны с двух площадок: основной (в 100 м от факела) и фоновой (в 11 км от факела) площадок. Подсчет и измерение ширины радиального прироста проведены на установке для измерения годовичных колец LINTAB 6. Для обеих площадок получены размерные показатели прироста древесины. Среднее значение прироста древесины на основной площадке 1,426 мм/год; на фоновой площадке – 1,808 мм/год. Для основной площадки относительное снижение значений среднего прироста за 20 лет до и после начала работы факела в 1,45 раз выше, чем на фоновой площадке. В течение 20 лет с начала сжигания попутного газа радиальный прирост планомерно снижается на обеих площадках, но темпы снижения в 1,52–1,67 раза выше вблизи сжигания газа. Тренда [4,8] на восстановление, увеличение значений прироста, спустя 10–20 лет после начала работы факела, не выявлено. Таким образом, отмечено выраженное негативное влияние сжигания попутного газа на радиальный прирост деревьев на прилегающих участках. Максимальные значения прироста на основной площадке наблюдались для возраста древостоя 0–55 лет, что не подтверждает наблюдений [7,37] о наиболее интенсивном периоде роста *Pinus sylvestris* до 30–35 лет. Выявленные [37] высокие уровни химического и пылевого загрязнения атмосферы, снижающие прирост древесины, вероятно, не могут быть достигнуты за счет деятельности одиночного факела. Положительное (удобряющее) влияние выбросов соединений Са, К, Na, Mg, Mn [29,30] также не отмечено. Основным негативным фактором, для площадки вблизи факела, следует считать термический. Изучение пространственных, климатических аспектов, а также влияния объема, интенсивности сжигания газа на состояние древостоя составляет перспективные направления развития настоящего исследования.

Ключевые слова: дендрохронология, скорость прироста древесины, добыча нефти, факел сжигания попутного газа, техногенное воздействие, термическое воздействие

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-45-596018). За возможность использования лесотаксационных данных по Нижне-Язьвинскому и Верхне-Язьвинскому участковым лесничествам Красновишерского лесничества авторы благодарны заместителю директора по лесным вопросам ООО «МИП ЦКТиУ» А.В. Кедрову.

Для цитирования: Порозова А. С., Санников П. Ю. Оценка влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris* (Озёрное месторождение нефти, Пермский край, Россия) // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 2. С. 58–74. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74>

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

Assessment of the impact of associated gas flaring on the radial growth of *Pinus Sylvestris* (Ozernoe oil field, Perm region, Russia)

Alena S. Porozova¹, Pavel Yu. Sannikov²

^{1,2} Perm State University, Perm, Russia

¹ porozova_alena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7889-4679>

² sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

Abstract. The paper discusses the question of influence of associated gas flaring on radial growth of *Pinus sylvestris*. The studied area is Ozernoye oil field of Krasnovishersky district of Perm region (Russia). The main research method is dendrochronological analysis. The wood cores of *Pinus sylvestris* were selected in the summer of 2020 using a Pressler increment borer according to the standard methodology. Cores were taken from two plots. The main plot is

100 m from the associated gas flaring torch and background plot is 11 km from the torch. The calculation and measurement of the width of the radial growth of wood were made on the machine for measuring tree rings – LINTAB 6. Numerical parameters of wood growth obtained for both plots. The average value growth of wood at the main plot is 1.426 mm/year; at the background plot – 1.808 mm/year. The relative decrease of average growth of wood over 20 years before and after the start of associated gas flaring at the main plot 1.45 times higher than at the background plot. The radial growth decreases systematically at both plots for 20 years since the beginning of associated gas flaring. But the rates of decrease are 1.52–1.67 times higher near the torch. The trend for recovery, as well as increase in the growth values, 10-20 years after the start of associated gas flaring, was not revealed. Therefore, the explicit negative impact of associated gas combustion on the radial growth of wood in nearest forest were noted. Maximum growth rates at the main plot were noted for trees ages 0-55 years. It is not supporting the conclusions of some researches [7,37] that *Pinus sylvestris* has the most intense growth during 30-35 years old. Revealed [37] high levels of chemical and dust atmospheric contamination, reducing growth of wood, most likely cannot be achieved by the associated gas flaring by the single torch. Positive (fertilizing) influence of Ca, K, Na, Mg, Mn [29,30] compounds emissions is not marked as well. We guess that thermal – is the main negative factor for the plot near associated gas flaring. Our research could be continued to the studying of the influence of spatial, climatic aspects, volume and intensity of gas flaring process on the state of forest stand.

Key words: dendrochronology, growth rate of wood, oil mining, associated gas flaring torch, technogenic impact, thermal impact

Acknowledgments: the work was financially supported by the RFBR (Project № 20-45-596018). The authors are thankful to A.V. Kedrov, Deputy Director for Forest Issues of MIP TSKTandU LLC, for the opportunity to use forest taxational data on the Nizhne-Yazvinsky and Verkhne-Yazvinsky district forestry of Krasnovishersky forestry.

For citation: Porozova, A., Sannikov, P., 2021. Assessment of the impact of associated gas flaring on the radial growth of *Pinus sylvestris* (Ozernoe oil field, Perm region, Russia). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2), pp. 58–74. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74> (in Russian)

Введение

Добыча нефти – одна из основных отраслей хозяйства в Пермском крае. Интенсивность влияния нефтепромысловой деятельности на состояние окружающей среды значительна, а спектр видов воздействия весьма разнообразен. Большая часть Пермского края покрыта лесами. Соответственно, часто объектом воздействия нефтепромыслов становятся леса и, в частности, древостой. Древесная растительность – это важный компонент экосистем, который способен заметно реагировать на некоторые изменения в среде. Экосистемы вблизи наиболее преобразованных частей нефтяного месторождения испытывают значительное влияние техногенного фактора, выраженное, в том числе, в физическом (тепловом) и химическом (выбросы загрязняющих веществ) воздействии от сжигания попутного газа. Инструментальные численные измерения таких воздействий имеют большой научно-практический интерес. Они могут стать основанием для расчета ущерба, причиняемого нефтепромысловой деятельностью лесным насаждениям или стать основой для установления норм, правил размещения подобных объектов в будущем.

Цель исследования – изучение влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост сосны обыкновенной. Для достижения цели были поставлены задачи:

- сравнить показатели ежегодного прироста древесины до и после включения факела;
- проанализировать различия в динамике прироста древесины на площадке вблизи факела по сжиганию попутного нефтяного газа и на аналогичной удаленной (фоновой) площадке;
- сравнить полученные результаты с опытом аналогичных или близких исследований.

Материал и методы

Выбор района и площадок полевого обследования. Для выбора модельной территории учитывалась группа факторов: относительно большой объем добы-

чи и продолжительная история освоения нефтяного месторождения, в том числе сжигания попутного нефтяного газа; транспортная доступность; наличие относительно ненарушенных экосистем сосновых лесов. Выбранным параметрам поиска отвечает Озёрное месторождение, расположенное в Красновишерском районе Пермского края. Это одно из крупнейших эксплуатируемых месторождений нефти в регионе [1]. Здесь имеется установка по сжиганию попутного газа, используемая на протяжении двух десятилетий. Месторождение отличается хорошей транспортной доступностью. В границах горного отвода месторождения и на сопредельных территориях широко распространены различные типы сосновых лесов.

Обследование проводилось на двух площадках (рис. 1, 2 / fig. 1, 2): основной (вблизи установки по сжиганию попутного нефтяного газа) и фоновой (идентичной по типу леса и возрасту древостоя, но находящейся вне зоны влияния нефтепромысловых объектов).

Основной площадкой отбора проб был выбран участок вблизи дожимно-насосной станции Озёрного нефтяного месторождения. Поскольку факел сжигания попутного газа является низким источником выбросов (высота до 50 м). К участку наиболее интенсивного воздействия относится зона в 100-200 м с наветренной стороны. В данном случае – в северо-восточном направлении от факела [20]. Координаты площадки – 60,15893 с.ш.; 56,87874 в.д.

Критериями выбора фоновой площадки было значительное удаление от нефтепромысловых объектов и схожесть лесного сообщества. При выборе фоновой площадки также учитывалась транспортная доступность. Подходящая площадка (рис. 2 / fig. 2) была найдена в 11 км к юго-западу от факела (60,09418 с.ш.; 57,00719 в.д.).

Согласно материалам лесоустройства [6] Нижне-Язьвинского и Верхне-Язьвинского участковых лесничеств Красновишерского лесничества, на обеих выбранных площадках сформировался сосняк брус-

ничник. Средний возраст древостоя – около 60– 70 лет.

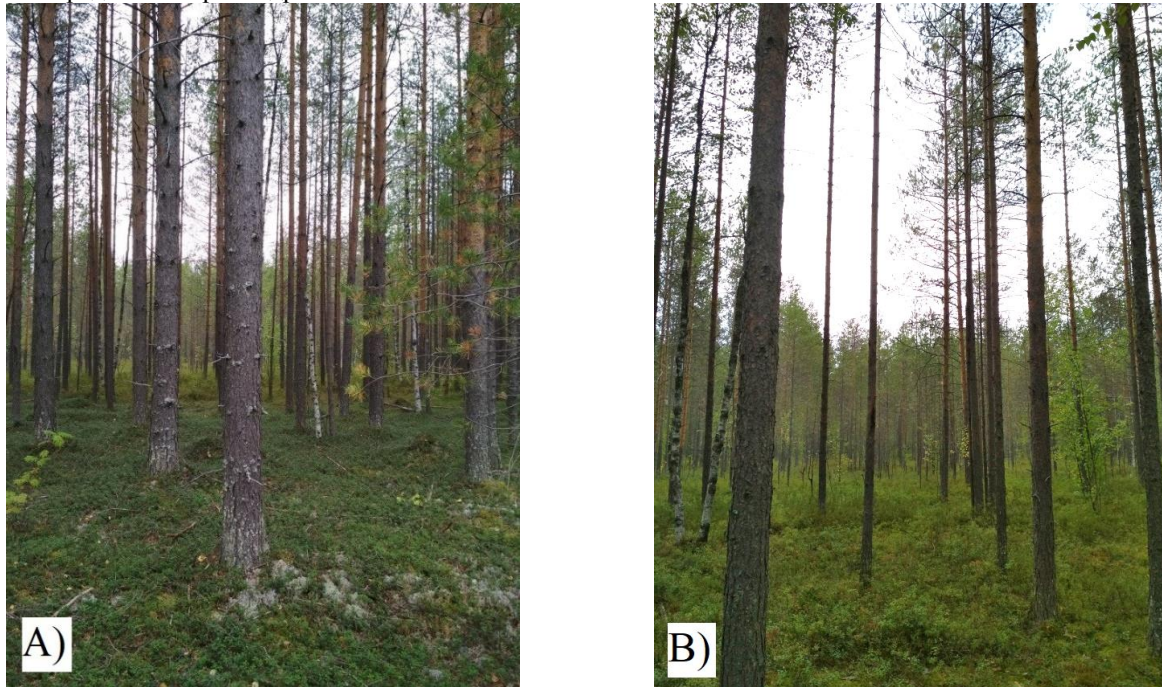


Рис. 1. Общий вид основной (А) и фоновой (В) площадок
Fig. 1. General view of the main (A) and background (B) plots

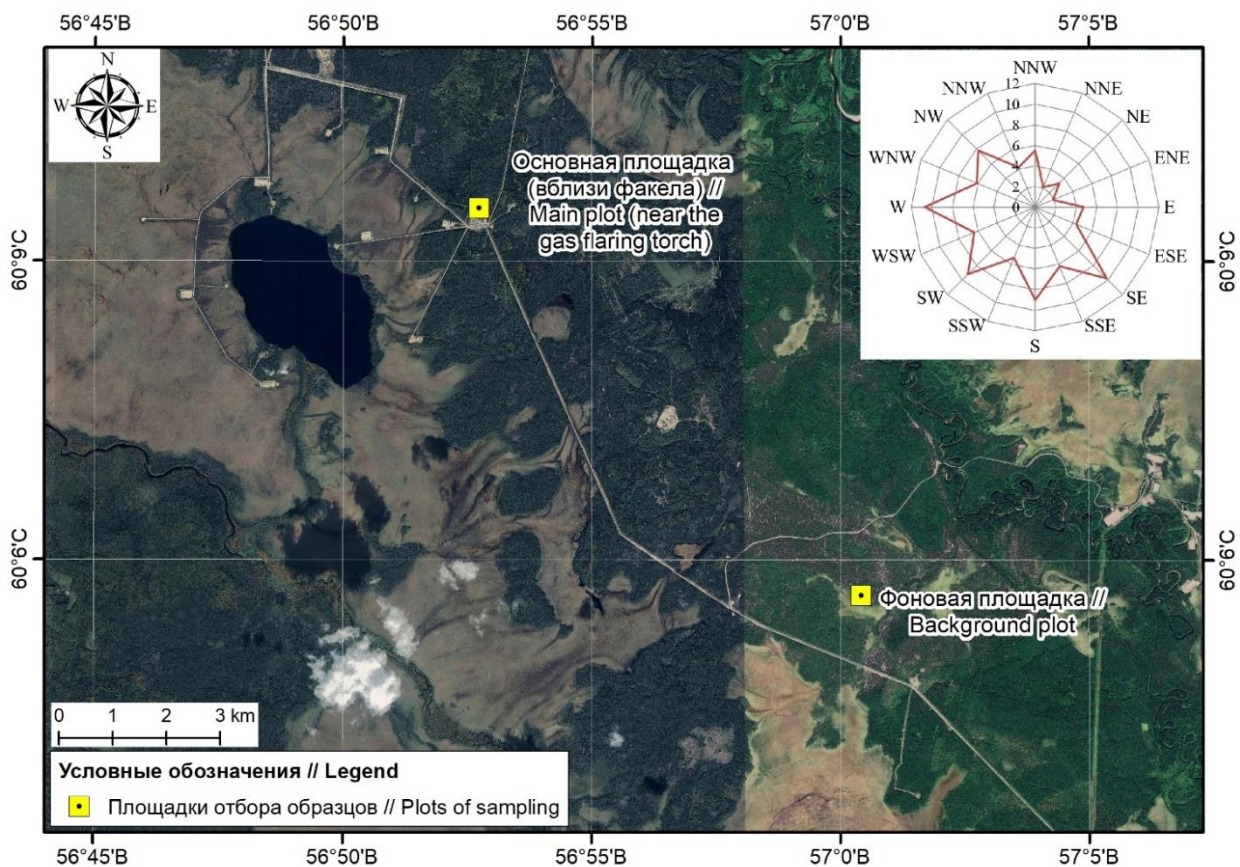


Рис. 2. Места отбора древесных кернов для дендрохронологического анализа
(Роза ветров построена на основе информации многолетнего архива погоды по метеостанции Чердынь, доступной на https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Чердыни)

Fig. 2. Wood core sampling plots for dendrochronological analysis
(According to the data of long-term weather archive of the Cherdyn meteorological station, accessed on https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Чердыни the wind rose was built)

Методы исследования. Для проведения исследования использован дендрохронологический метод [30]. Он основан на измерении ширины ежегодного прироста древесины (годовых колец дерева). В отличие от других, сравнительно узконаправленных методов (дистанционный анализ вегетационных индексов) [18], оценка морфологических параметров шишек [5] и хвои [26], расчет индекса санитарного состояния древостоя [11]), древесно-кольцевой анализ имеет достаточно широкий спектр применения. Например, в климатологии и метеорологии – для определения климатических условий и прогнозирования, в археологии – для восстановления экологической обстановки и климата прошлого времени. Также методы дендрохронологии используются для изучения возрастной структуры леса, возможности возникновения лесных пожаров, определения влияния климатической обстановки на водные системы и т. д. В подобных исследованиях, в качестве модельных объектов, предпочтение отдается возрастным хвойным деревьям [9,10]. Это вызвано тем, что у хвойных пород кольца прироста выражены лучше, чем у лиственных видов [21]. Кроме того, сосна обыкновенная широко распространена в Пермском крае [23].

Модельным объектом для настоящей работы была сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Многие исследования [28-30,33-35,37,38] подтверждают наличие выраженной корреляции между показателем ширины годичного радиального прироста сосны и внешними (в том числе, антропогенно обусловленными) условиями среды. Это показано и в ряде работ, выполненных в границах Мегионского и Нефтеюганского лесхоза [4,11], а также Тальниково-го и Северо-Даниловского месторождений нефти в

Ханты-Мансийском автономном округе (далее – ХМАО) [8]. При этом, для отбора образцов используются только деревья, формирующие полог леса (первый ярус древостоя), по возможности, цилиндрической формы, здоровые, без значительных повреждений.

Отбор кернов (образцов древесины) для анализа проводится на высоте груди 1,1–1,3 м. Это сравнительно простая и быстрая процедура, не требующая уникальной и дорогой аппаратуры. Для отбора древесных кернов использовался буров Пресслера. Не пригодным для анализа считается kern, который (от коры до центра ствола) сломался более 2 раз [10,26]. В этом случае отбор керна проводился повторно. На каждой площадке было отобрано по 15 образцов.

При помощи портативного высотомера SUUNTO PM-5/1520 РС механического типа у каждого обследуемого дерева определялась высота.

Каждый kern упаковывался в плотный бумажный конверт, с указанием порядкового номера образца, диаметра и высоты дерева. Для сохранения целостности отобранные образцы укладывались в небольшой продолговатый отсек пластикового ящика. Для создания необходимой плотности конверты дополнительно обкладывались тканью.

Обработка древесных кернов проходила на установке для измерения годичных колец LINTAB 6 [15] на кафедре биогеоэкологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета.

Полученные данные фиксировались в формате MS Excel. Далее составлялись таблицы и графики радиального прироста, проводился их статистический анализ.

Таблица 1

Характеристики обследованных деревьев на основной и фоновой площадке

Table 1

Characteristics of the surveyed trees on the main and background plots

Основная площадка (100 м от факела сжигания попутного газа Озёрного месторождения) // The main plot (100 m from the associated gas flaring torch of the Ozernoye oil field)				Фоновая площадка (в 11 км к юго-востоку от факела сжигания попутного газа) // Background plot (11 km southeast of the associated gas flaring torch)			
№	Диаметр, см // Diameter, cm	Высота, м // Height, m	Возраст, лет // Age, years	№	Диаметр, см // Diameter, cm	Высота, м // Height, m	Возраст, лет // Age, years
1	29	27	72	1	23	21	58
2	31	25	65	2	27	25	62
3	27	25	62	3	32	26	64
4	29	26	69	4	28	25	60
5	24	25	64	5	31	27	71
6	23	20	76	6	24	22	53
7	25	21	73	7	22	20	70
8	24	23	64	8	27	24	69
9	26	22	72	9	25	23	61
10	26	20	72	10	27	24	56
11	28	23	69	11	36	27	69
12	23	19	66	12	24	19	54
13	22	21	75	13	24	21	64
14	27	25	79	14	28	26	67
15	41	27	89	15	31	28	72

Характеристика материала исследования. Все пробы отобраны 29-30 августа 2020 г. На каждой площадке отобрано по 15 кернов. Характеристики деревьев, из которых были отобраны керны, отражены в таблице 1 / table 1.

Географическая характеристика участка исследований. Озёрное месторождение расположено на севере Пермского края, в юго-западной части Красновишерского городского округа. Расстояние до города Перми – около 300 км. Дистанция от Красновишерска до Озёрного месторождения – около 50 км в южном направлении. Вблизи месторождения населенные пункты отсутствуют [3].

В геологическом отношении участок исследования располагается в северной части Соликамской депрессии. На всей её территории широко развиты рифовые постройки, местоположение которых контролируется различными тектоническими блоками [2].

В тектоническом отношении Озерная структура представляет собой купол тектоно-седиментационного происхождения и характеризуется несоответствием структурных планов по маркирующим горизонтам терригенного девона, каменноугольных отложений и артинского яруса, вследствие развития последевонского и раннепермского органогенных сооружений [2].

Рельеф района исследований представляет собой местами всхолмленную равнину, с заметным понижением рельефа в западном направлении от 205 до 133 м (высота уреза воды в оз. Нюхти) [3].

Господствует континентальный климат с холодной продолжительной зимой и теплым, сравнительно коротким летом. Январь – самый холодный месяц, средняя температура воздуха $-16,6^{\circ}\text{C}$ [16]. Самым теплым месяцем является июль, средняя температура $+17,1^{\circ}\text{C}$. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 84 дня. Годовая сумма осадков около 670 мм [13].

Максимальная высота снежного покрова на открытом участке составляет 103 см, минимальная – 64

см. Преобладающее направление ветра в течение года – южное [3].

Гидрологическая сеть Озёрного месторождения богата и разнообразна. В центре Озёрного месторождения находится озеро Нюхти, которое ранее имело статус гидрогеологического памятника природы [3]. С северо-востока участок граничит с рекой Глухой Вильвой, а с южной стороны рекой Колыновой. Большая часть Озёрного месторождения сильно заболочена. Непосредственно озеро Нюхти окружает болото Дорыш. Максимальная глубина озера около 2,5 м. Дно плоское, питание атмосферное, вскрывается озеро в начале-середине мая и вновь замерзает в конце октября-начале ноября. Берега озера по большей степени заболочены. Из озера Нюхти берёт своё начало небольшая река Исток – правый приток реки Колыновы [14]. Прибрежные растительные сообщества озера в основном состоят из кувшинок – чисто белой и жёлтой [14]. Фитоценозы Нюхти уникальны и представляют собой ценные сообщества северо-востока Прикамья [12].

В районе исследования, помимо торфяных болотных верховых почв, распространены подзолы иллювиально-железистые. Этому способствовало преобладание хвойных пород и избыточный характер увлажнения [2].

Участки отбора проб находятся на территории «Нижневишерского» охраняемого ландшафта, который входит в Прикамский округ Камско-Печерской-Западноуральской подпровинции Урало-Западно-сибирской таёжной провинции Евразийской таёжной (хвойнолесной) области [12]. Участок исследования относится к полосе среднетаёжных лесов, с преобладанием сосновых лесов [25].

Результаты. Обработка собранных материалов позволила выявить точный возраст, диаметр и высоты деревьев. Их среднее значение составляет 71 год, 27,0 см, 23,3 м на основной площадке; 63 года, 27,3 см, 23,9 м на фоновой площадке, соответственно.

В таблицах 2, 3 / table 2, 3 показаны результаты измерений осреднённые по пятилетним периодам.

Таблица 2

Средние (по пятилетним периодам) значения прироста древесины на основной площадке (вблизи факела сжигания попутного газа)

Table 2

Average (for five-year periods) values of wood growth at the main plot (near the associated gas flaring torch)

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, yy	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year															
1930–1935	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,23
1935–1940	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,02
1940–1945	–	–	–	–	–	1,94	–	–	–	–	–	–	–	1,86	1,79
1945–1950	2,04	–	–	–	–	2,04	1,88	–	2,41	1,94	–	–	1,86	1,87	1,84
1950–1955	1,47	0,82	–	2,29	–	1,96	2,07	–	1,89	1,99	2,11	–	1,74	1,79	1,64

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, уу	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year														
1955–1965	1,95	1,09	3,89	2,25	2,44	1,84	1,80	2,07	1,61	1,84	1,56	2,02	1,95	1,33	1,86
1960–1965	1,65	0,94	2,09	1,70	1,57	1,88	1,64	2,08	1,72	2,03	1,72	2,01	2,01	1,63	1,88
1965–1970	1,10	0,83	1,75	1,86	1,80	1,62	2,04	1,87	1,84	1,82	1,82	1,55	2,10	1,87	2,37
1970–1975	1,08	0,79	1,55	1,45	1,71	2,13	1,77	1,72	1,93	1,83	1,79	1,83	1,77	1,77	1,79
1975–1980	0,98	0,65	1,64	1,75	1,97	1,85	1,79	1,73	1,74	1,92	1,45	1,60	1,83	1,76	1,66
1980–1985	1,00	0,64	1,82	1,42	1,58	1,47	1,80	1,68	1,71	1,86	1,66	1,59	1,73	1,47	1,70
1985–1990	0,84	0,88	1,69	1,44	1,25	1,46	1,72	1,76	1,66	1,83	1,56	1,76	1,63	1,68	1,74
1990–1995	0,77	0,82	1,41	1,17	1,10	1,41	1,56	1,66	1,55	1,44	1,20	0,86	0,98	1,47	1,77
1995–2000	0,60	0,78	1,39	0,96	1,03	1,30	1,11	1,50	0,73	0,78	1,12	0,76	0,99	1,35	1,47
2000–2005	0,58	0,58	1,30	1,07	1,00	0,91	0,70	1,44	0,97	0,70	1,00	1,05	0,93	1,03	1,27
2005–2010	0,78	1,42	1,33	1,13	1,03	1,00	0,82	1,15	1,12	0,69	0,98	0,80	0,84	1,10	1,04
2010–2015	0,87	1,40	1,32	0,95	1,10	0,95	0,79	0,92	0,94	0,87	0,79	0,82	0,78	0,85	0,98
2015–2020	0,77	1,25	1,12	1,08	1,05	0,84	0,71	0,84	1,05	0,77	0,73	0,99	0,80	0,76	0,80

Таблица 3

Среднее значение прироста древесины на фоновой площадке

Table 3

Average value of wood growth on the background plot

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, уу	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year														
1945–1950	–	–	–	–	3,75	–	2,93	–	–	–	–	–	–	–	3,54
1951–1955	–	–	–	–	2,79	–	2,86	2,02	–	–	1,98	–	–	2,6	2,21
1956–1960	–	3,39	1,67	5,97	4,14	–	3,40	1,92	1,84	–	1,81	–	2,12	2,98	1,95
1961–1965	2,15	1,93	1,99	4,52	4,43	–	2,52	1,91	1,65	2,04	1,72	–	2,17	2,30	2,22
1966–1970	1,21	1,81	2,29	2,86	3,77	2,97	1,85	1,94	1,53	1,78	1,78	1,86	1,74	1,75	1,78
1971–1975	1,90	1,94	2,56	2,48	2,15	3,29	1,94	1,79	1,65	1,74	1,36	1,58	1,49	1,41	1,72
1976–1980	2,34	2,06	2,25	1,94	1,44	2,36	2,06	1,70	1,94	1,86	1,53	1,87	1,85	1,51	1,57
1981–1985	1,97	1,85	2,50	2,11	1,64	2,21	1,98	1,69	1,95	1,75	1,44	1,77	1,99	1,61	1,33
1986–1990	1,69	1,59	1,97	1,74	1,27	1,96	2,13	1,91	1,74	1,82	1,54	1,64	1,71	1,88	1,62
1991–1995	1,87	1,41	1,77	1,50	1,02	2,11	2,04	1,20	1,72	1,61	1,65	1,94	1,55	1,77	1,64
1996–2000	2,07	1,32	1,56	1,22	0,91	2,23	1,64	1,72	1,54	1,66	1,81	1,83	1,48	1,77	1,72
2001–2005	1,41	1,09	1,81	1,01	1,26	1,76	2,25	1,56	1,78	1,55	1,52	1,31	1,16	1,67	1,65
2006–2010	1,52	0,89	1,36	0,95	1,07	1,47	1,60	1,61	1,86	1,49	1,45	1,63	1,14	1,60	1,96
2011–2015	1,44	0,68	1,22	1,01	0,87	1,41	1,54	1,57	1,68	1,38	1,46	1,34	1,72	1,83	1,69
2016–2020	1,21	0,66	1,17	1,48	1,29	1,48	1,72	1,57	1,75	1,39	1,65	1,51	1,66	1,74	1,60

Среднее значение прироста древесины сосны обыкновенной на основной площадке составляет 1,426 мм/год. На фоновой площадке – 1,808 мм/год. На обеих площадках индивидуальные и средние кривые скорости прироста древесины (рис. 3 / fig. 3) имеют выраженную тенденцию к снижению с течением времени. Для площадки вблизи факела коэффициент наклона осреднённой кривой составляет -0,07, тогда как для фоновой площадки -0,11.

Наибольшая плотность индивидуальных кривых прироста деревьев основной площадки сосредоточена в диапазоне 1,4–2,0 мм/год. Для фоновой площадки этот диапазон – 1,7–2,2 мм/год.

Активная разработка Озёрного месторождения началась в период 1990–2000 гг. Факел сжигания попутного нефтяного газа был запущен в 2000 г. В течение двадцати лет до этого средняя скорость прироста на основной площадке составляла 1,623 мм/год, а на фоновой – 2,021 мм/год. В период 2001–2020 гг. средняя скорость прироста на основной площадке установилась на уровне 0,961 мм/год (снижение относительно предыдущего периода на 40,80%). На фоновой площадке средняя скорость радиального прироста на отрезке 2001–2020 гг. составила 1,452 мм/год, что ниже аналогичного показателя предыдущего периода на 28,16%.

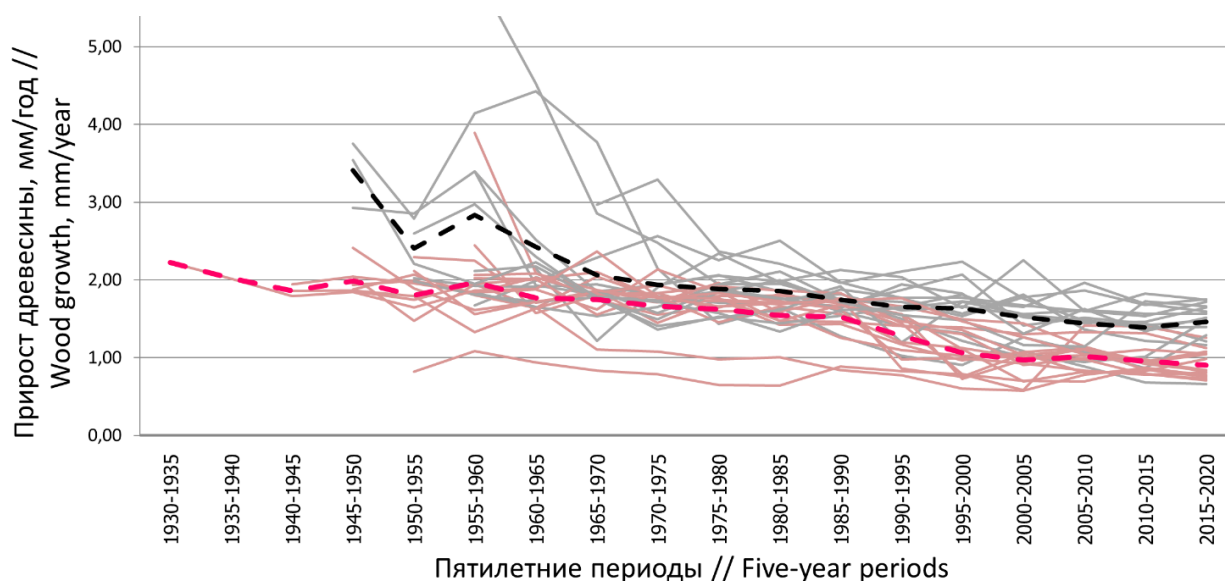


Рис. 3. Прирост древесины *Pinus sylvestris* на основной и фоновой площадках

Примечание: кривые серого цвета – скорость прироста древесины на фоновой площадке; чёрная пунктирная кривая – осреднённые значения для прироста древесины на фоновой площадке; кривые розового цвета – прирост древесины на основной площадке; красная пунктирная кривая – осреднённые значения прироста древесины на основной площадке.

Fig. 3. Growth of *Pinus sylvestris* wood on the main and background plots

Note: gray curves – growth of wood on the background plot; the black dashed curve – average value for the growth of wood on the background plot; pink curves – growth of wood in the main plot; the red dashed curve – average value of the growth of wood for the main plot.

Дискуссия

Восстановление скоростей радиального прироста, спустя 10–15 лет работы факела. В публикациях, описывающих аналогичные исследования в других регионах, отмечено снижение прироста древесины после начала антропогенного воздействия. Так, в Мегионском и Нефтеюганском лесхозах ХМАО [4] прирост древесины у сосны обыкновенной, до начала работы факела, возрастал или оставался стабильным – в среднем 2,04 мм/год. После включения факела прирост уменьшился, значение опустилось до уровня около 1,9–2,0 мм/год (произошло снижение прироста на 6,9%). Однако 10 лет спустя, ежегодный прирост увеличился до 2,5–3,0 мм/год (увеличение прироста на 22,5%) [4]. В некоторых случаях [8], после 20 лет работы факельной установки, значения прироста древесины перестают снижаться, стабилизируются или становятся даже больше, чем было до включения факела. По мнению авторов таких исследований [24], заметное увеличение скорости прироста после 10–20 лет работы факела может объясняться двумя причинами. Во-первых, увеличением притока тепла в условиях его недостатка. Во-вторых, физиологической адаптацией сосны обыкновенной, приводящей к снижению поглощения загрязняющих веществ из воздуха [8].

В нашем случае (таблица 2–4 / table 2–4) подобной тенденции не выявлено. Так, в течение первых десяти лет с начала работы факела на Озёрном ме-

сторождении (2000–2010 гг.), средний прирост древесины на близлежащей территории составил 0,992 мм/год (снижение скорости прироста на 15,07% относительно 1990–2000 гг.). В течение 2010–2020-гг. средний прирост составил 0,930 мм/год – дальнейшее снижение прироста на 6,28%, относительно первого десятилетия. На фоновой площадке прирост в 2000–2010 гг. был 1,480 мм/год (снижение скорости прироста на 9,92% относительно 1990–2000 гг.). В 2010–2020 гг. зафиксирован прирост 1,424 мм/год – снижение на 3,76% по отношению к предыдущей декаде.

Наши данные показывают, что ежегодный прирост древесины на основной площадке после начала эксплуатации факела не увеличивается и не стабилизируется, а продолжает снижаться. При этом темпы падения прироста, спустя 10 лет после начала работы факела, заметно снизились (с 15,07% до 6,28%).

На фоновой площадке, где нефтепромысловое влияние отсутствует, ширина радиального прироста за тот же период, в целом, снижается, хоть и с существенно меньшими (в 1,52–1,67 раза) темпами. Возможно, отсутствие этапа восстановления или даже увеличения прироста, отмеченного в ХМАО [4,8,24], объясняется сравнительно более теплым климатом севера Пермского Прикамья.

Численная характеристика изменений скорости прироста по декадам на обследованных площадках дана в таблице 4 / table 4.

Таблица 4

Динамика прироста древесины по декадам на основной и фоновой площадках

Table 4

Dynamics of wood growth by decades on the main and background plots

	Календарные декады // Calendar decades							
	1941– 1950	1951– 1960	1961– 1970	1971– 1980	1981– 1990	1991– 2000	2001– 2010	2011– 2020
<i>Основная площадка вблизи (100 м) факела сжигания попутного газа //</i> <i>The main plot near (100 m) the associated gas flaring torch</i>								
Возрастные декады, лет // Age decades, years	6–15	16–25	26–35	36–45	46–55	56–65	66–75	76–85
Средние скорости прироста древесины (мм/год) // Average wood growth rates (mm/year)	1,952	1,895	1,760	1,641	1,534	1,168	0,992	0,930
Снижение среднего прироста относительно предыдущей декады, % // Decrease of average wood growth relatively previous decade, %	–	2,91	7,14	6,74	6,50	23,88	15,07	6,28
<i>Фоновая площадка (в 11 км к юго-востоку от факела сжигания попутного газа) //</i> <i>Background plot (11 km southeast of the associated gas flaring torch)</i>								
Возрастные декады, лет // Age decades, years	–	6–15	16–25	26–35	36–45	46–55	56–65	66–75
Средние скорости прироста древесины (мм/год) // Average wood growth rates (mm/year)	–	2,685	2,231	1,909	1,800	1,643	1,480	1,424
Снижение среднего прироста относительно предыдущей декады, % // Decrease of average wood growth relatively previous decade, %	–	–	16,92	14,42	5,73	8,74	9,92	3,76

В целом же, существенно более высокие темпы падения прироста древесины на основной площадке (в сравнении с фоновой) свидетельствуют о наличии выраженного негативного влияния сжигания попутного газа на рост древостоя на близлежащих участках. Более сильное падение прироста по сравнению с данными Западной Сибири, вероятно, следует объяснить более заметным параллельным влиянием естественных причин (старения древостоя).

Возрастной период максимальных скоростей прироста древесины у *Pinus sylvestris*. Согласно литературным данным [7,37], радиальный прирост у сосны обыкновенной, в нормальных условиях, достигает максимальных значений в период до 30–35 лет. После, стабилизируется или постепенно снижается.

Средняя скорость прироста древесины за первые 35 лет на основной исследуемой площадке составила 1,852 мм/год (таблица 2,4 / table 2,4); на фоновой площадке – 2,252 мм/год (таблица 3,4 / table 3,4). За последующие 20 лет (возраст древостоя 35–55 лет), средний прирост на основной площадке составил 1,588 мм/год (уменьшение прироста на 14,27%); на фоновой 1,721 мм/год (снижение прироста на 23,55%).

Сравнение скоростей прироста древесины в возрастах 0–35 и 36–55 лет на обследованных площадках показало следующее. По абсолютным значениям (средние скорости прироста) показатели фоновой площадки заметно превосходят аналогичные значения площадки вблизи факела по обоим периодам. В то же время, относительное снижение скорости прироста древесины до и после 35 лет, имеет более

высокие значения на фоновой площадке – 23,55% и 14,27%, соответственно.

Динамика относительного снижения прироста древесины по всем возрастам говорит о том, что максимальные (1,55–1,95 мм/год) скорости для основной площадки были характерны до 55 лет. Тогда средняя скорость падения от декады к декаде составляла от 2,9% до 7,1%. В последующие два десятилетия наблюдалось резкое падение скоростей прироста до уровня 1,15–0,99 мм/год. По-видимому, это частично обусловлено естественными причинами, а частично началом сжигания попутного газа. В последнее десятилетие (2011–2020 гг.) темпы снижения скорости прироста существенно снизились (до 6,28%) и вновь стали соответствовать показателям периода 1961–1990 гг.

Для фоновой площадки максимальные скорости прироста древесины (от 2,68 до 1,91 мм / год) были характерны до 35-летнего возраста. Отметим, что, для этой площадки зафиксировано сравнительно плавное, постепенное падение скорости прироста без значимых скачков: от пиковых 14,4–16,9% в 16–35 лет до достаточно низких 5,7–9,9% в 36–65 лет. Наименьшее (3,76%) снижение прироста отмечено в последнее десятилетие.

Таким образом, тезис о закономерном естественном снижении скоростей прироста *Pinus sylvestris* после 30–35 лет подтвердился для фоновой площадки, но не подтвердился для основной площадки.

Природные и антропогенные факторы, влияющие на рост древесины. Нами проанализирован ряд материалов, в которых описаны факторы, влия-

ющие на прирост древесины и морфологические характеристики дерева. В таблице 5 / table 5 обобщены основные результаты, изложенные в этих публикациях.

В таблице 6 / table 6 показано проявление сжигания попутного нефтяного газа на состояние хвои,

шишек, кроны, некоторых других вегетационных признаков деревьев и состояние почвенного покрова.

Влияние некоторых других природных и антропогенных факторов на радиальный прирост древесины отражено в таблице 7 / table 7.

Таблица 5

Обзор исследований влияния сжигания попутного нефтяного газа на радиальный прирост древесины методом дендрохроноиндикации

Table 5

Review of researches of the influence of flaring associated gas on the radial growth of wood by the dendrochronoindication method

Район и регион // District and Region	Изменения ежегодного прироста древесины на разных этапах эксплуатации факела // Changes in annual growth of wood at different stages of torch exploitation		Как влияет расстояние от факела на показатели прироста? // How does the distance from the torch impact to growth rate values?
	Начало сжигания // Beginning of flaring	В течение эксплуатации // During exploitation	
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы (ХМАО, Россия) [4] // Megion and Nefteyugansk forest districts (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [4]	Увеличение прироста южнее факела // Growth of wood increases south of the torch	Нет данных // No data	Положительное влияние ослабевает по мере удаления с 200 до 500 м // The positive impact decreases with distance from 200 to 500 m
Приобское нефтяное месторождение (ХМАО, Россия) [7] // Priobskoye oil field (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [7]	Снижение // Decrease	Снижение // Decrease	Снижения прироста более всего выражено в зоне 400–700 м от факела // The decrease in growth is most noted in 400–700 m zone from the torch
Тальниковое и Северо–Даниловское нефтяное месторождение (ХМАО, Россия) [8] // Talnikovoye and Severo–Danilovskoye oil field (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [8]	Снижение // Decrease	0–10 лет работы факела – снижение. 10–20 лет – восстановление до исходного уровня или повышение до уровня выше исходного // 0–10 years of torch operation – decrease. 10–20 years – recovery to the initial level or increase to a level higher than the initial	Снижение или стабилизация прироста в зоне до 200 м. Увеличение прироста при удалении более 200 м. // Decrease or stabilization of growth in the zone up to 200 m. Increase of growth at distances more than 200 m
Озёрное месторождение (Пермский край, Россия) // Ozernoye oil field (Perm region, Russia)	Снижение // Decrease	0–10 лет работы факела – снижение. 10–20 лет работы факела – снижение // 0–10 years of torch operation – decrease. 10–20 years of torch operation – decrease	Нет данных // No data

Таблица 6

Влияние сжигания попутного нефтяного газа на некоторые морфологические параметры деревьев и состояние почв: обзор литературы

Table 6

Influence of associated gas flaring on some morphological features of trees and soil state: a literature review

Район и регион (Показатели) // District and Region (Parameters)	Как повлияло начало сжигания газа на древостой? // What influence of flaring associated gas start had on the forest stand?	Как влияет дистанция и направление относительно факела на состояние древостоя и почв? // How do distance and direction from the torch influence to the state of forest stand and soils?
Пуровский район, ЯНАО, Россия [5] (Морфологические параметры) // Purovsky District, Yamalo–Nenets Autonomous Region, Russia [5] (Morphological parameters)	Снижение размера и массы шишек // Decrease size and weight of cones	Снижение размера и массы шишек по мере приближения к факельной установке // Decrease size and weight of cones around the torch

Район и регион (Показатели) // District and Region (Parameters)	Как повлияло начало сжигания газа на древостой? // What influence of flaring associated gas start had on the forest stand?	Как влияет дистанция и направление относительно факела на состояние древостоя и почв? // How do distance and direction from the torch influence to the state of forest stand and soils?
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы, ХМАО, Россия [4] (Лесотаксационные показатели, состояние хвои и почв) // Megion and Nefteyugansk forest districts Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [4] (Forest management parameters, State of needles and soils)	Снижение плотности полога древостоя и продолжительности жизни хвои. Увеличение поражённой некрозом хвои, доли осины в подросте // Decrease in tree canopy density and life expectancy of needles. Increase of needles affected by necrosis, share of aspen in understorey.	30–50 м от факела. Деградация верхнего слоя почв до бесструктурного субстрата. 100 м от факела. Продолжительность жизни хвои – 5,4 года. Поражение хвои некрозом – 68,8%. Накопление в почве ряда токсичных элементов. 250 м от факела. Продолжительность жизни хвои – 6,5 лет. Поражение хвои некрозом – 36,3% // 30–50 m from torch. Degradation of topsoil to a structureless substrate. 100 m from torch. Life expectancy of needles – 5.4 years. The damage of needles by necrosis – 68.8%. Accumulation of some toxic elements in soil. 250 m from torch. Life expectancy of needles – 6.5 years. The damage of needles by necrosis – 36.3%
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы, ХМАО, Россия [11] (Санитарное состояние) // Megion and Nefteyugansk forest districts, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [11] (Sanitary state of forest stand)	Ухудшение санитарного состояния. Наиболее устойчивы – берёза и кедр. Наименее устойчивы – ель и осина // Decline sanitary state of forest stand. The most resistant are birch and siberian pine. The least resistant are spruce and aspen.	Улучшение санитарного состояния древостоя по мере удаления от факельной установки // Decrease of sanitary state of forest stand around the torch
Тальниковое и Северо-Даниловское месторождение нефти, ХМАО, Россия [8] (Повреждение и усыхание хвои) // Talnikovoye and Severo-Danilovskoye oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [8] (Damage and drying of needles)	Увеличение доли хвои с поврежденным кончиком, начального (1/3) усыхания хвоинок, сильно (90%) усыхания хвоинок // Increase the share of needles with a damaged tip, initial drying (1/3) of needles, severe drying (90%) of needles	100 м от факела. Преобладание (59%) хвои с начальным усыханием, доля сильно усохшей хвои – 2,5% 200 м от факела. Хвоя с начальным усыханием – 32,6%, доля сильно усохшей хвои – 2,0% 500 м от факела. Хвоя с начальным усыханием – 17%, доля сильно усохшей хвои – 0,65% // 100 m from torch. The predominance (59%) of needles with initial drying, the share of severe drying needles is 2.5%. 200 m from torch. The share of initial drying needles is 32.6%; severe drying needles is 2.0%. 500 m from torch. The share of initial drying needles – 17%, severe drying needles is 0.65%
Приобское месторождение, ХМАО, Россия [17] (Степень дефолиации кроны, массы и длины хвои) // Priobskoe oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [17] (Degree of crown defoliation, weight and length of needles)	Увеличение степени дефолиации крон; уменьшение массы и длины хвои при удалении от факела // Increase of degree of crown defoliation; decrease in weight and length of needles around the torch	В радиусе 3 км от факела отмечено увеличение степени дефолиации крон, а также снижение массы и длины хвои по мере приближения к источнику воздействия // Within 3 km around the torch the degree of crown defoliation increases; the weight and length of needles decrease nearby the torch
Приобское месторождение, ХМАО, Россия [18] (Вегетационный индекс NDVI, санитарное состояние древостоя) // Priobskoe oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [18] (NDVI, sanitary state of forest stand)	Значительное снижение NDVI в зоне 1 км от факела в период интенсивного сжигания газа // Significant decrease in NDVI within 1 km from torch during the period of intense gas flaring	Ухудшение санитарного состояния древостоя по мере приближения к факелу (в радиусе 1 км) // Degradation of sanitary state of forest stand within 1 km zone

Таблица 7

Влияние климатических и некоторых антропогенных факторов на радиальный прирост древесины

Table 7

Influence of climatic and some anthropogenic factors on the radial growth of wood

Страна, регион (Фактор) // Country, region (Factor)	Влияние на радиальный прирост древесины // Influence on radial growth of wood
США, Штат Аризона, г. Тусон [27] (Климатический) // USA, Arizona, Tucson [27] (Climatic)	Комплексное влияние климата на ширину годовых колец. Как правило, во влажные и теплые годы ширина прироста повышается. Влияние также оказывает комплекс биотопических (прежде всего, увлажненность) условий и высота над уровнем моря. // The complex influence of climate on the width of tree rings. As a rule, the width of growth increases in wet and warm years. Also, a complex of biotopic (primarily wetness) conditions and altitude above sea level influence
Эстония, северо-восточная часть, в г. Нарвский (разрез Вийвиконна) сланцевый карьер – крупнейший промышленно эксплуатируемый район добычи горючего сланца в Эстонии [32] (Климатический) // Estonia, northeast, Narva oil shale quarry (Vijvikonna open-cut mining) is the largest industrially exploited oil shale mining area in Estonia [32] (Climatic)	Увеличение прироста в годы с большой суммой осадков. Снижение прироста при повышении среднемесячных температур. Увеличение прироста в годы с теплыми зимами // Increase in growth rate in years with large annual precipitation. Decrease in growth rate with increasing average monthly temperatures. Increase in growth rate in years with warm winters
Испания, бассейн Среднего Эбро и южный (Теруэль) Арагон [36] (Климатический (частые засухи)) // Spain, Middle Ebro basin and south (Teruel) Aragon [36] (Climatic (frequent droughts))	Снижение радиального прироста в периоды засух // Decline in radial growth rate during droughts
Румыния, Кривые Карпаты (крупный участок земель, деградирующих в условиях экстенсивного с/х) [38] (Прореживание (рубки ухода), климатический) // Romania, Curve Carpathians (large area of land degraded under extensive agriculture) [38] (cleaning cutting, climatic)	Увеличение прироста годовых колец после прореживания древостоя в дождливые годы. Положительное влияние влажных годов прослеживается в течении 1-4 лет. Отсутствие значимого влияния прореживания на прирост в засушливые годы. // The increase in the growth of tree rings after cleaning cutting in rainy years. Positive influence of wet years is tracked during 1-4 years. There is no important influence of cleaning cutting on the growth in dry years
Финляндия [28] (Загрязнение воздуха (выбросы от производства химических удобрений)) // Finland [28] (Air contamination (emissions from chemical fertilizer production))	Выбросы пыли и соединений фтора приводят к снижению прироста, а также к различным повреждениям годовых колец. Воздействие более заметно выражено у деревьев до 50 лет. // Emissions of dust and fluorine compounds lead to decreased growth and various damage to tree rings. The impact is more marked in trees younger than 50 years old
Литва, центральная часть, г. Ионав [29-30] (Загрязнение воздуха (выбросы от производства азотных удобрений)) // Lithuania, centre, Ionav [29-30] (Air contamination (emissions from nitrogen fertilizer production))	Увеличение прироста при небольшом загрязнении (эффект удобрения) Снижение прироста при экстремальных уровнях загрязнения Восстановление исходных величин прироста при почти полном отсутствии выбросов // Increased growth at low contamination levels (fertilizing effect). Decrease in growth at extreme levels of contamination. Recovery of initial values of growth with almost no emissions
Эстония, северо-восточная часть [33] (Загрязнение воздуха (выбросы летучей сланцевой золы)) // Estonia, northeast [33] (Air contamination (fly oil shale ash emissions))	Положительное влияние на годовой прирост древесины выбросов сланцевой летучей золы: увеличение прироста древесины у молодых (20-30 лет) деревьев сосны в течение 3-4 лет, у старших (70 и более лет) особей в течение 5-6 лет // Positive influence of fly oil shale ash emissions on tree growth of wood: increased growth of wood in young (20-30 years old) pine trees during 3-4 years, in older (70 or more years old) individuals during 5-6 years
Эстония [34-35] (Пылевое загрязнение) // Estonia [34-35] (Dust contamination)	Заметное снижение прироста при интенсивном загрязнении // Marked decrease in growth with intense contamination
Эстония, северо-восточная часть, 130 км от п. Коце [37] (Загрязнение воздуха (выбросы летучей сланцевой золы)) // Estonia, northeast, 130 km from Kose [37] (Air contamination (fly oil shale ash emissions))	Увеличение прироста за счет привнесения дополнительных порций некоторых питательных элементов: Ca, K, Na, Mg, Mn. // Increased growth by additional portions of some nutrients: Ca, K, Na, Mg, Mn

Страна, регион (Фактор) // Country, region (Factor)	Влияние на радиальный прирост древесины // Influence on radial growth of wood
Польша, северо-восточная часть [31] (Рекреационный (интенсивное вытаптывание)) // Poland, north-east [31] (Recreational (intensive poaching damage))	В оголенных корневых отростках отмечено существенное увеличение ширины годичных колец и количества рубцов, повреждений. В частично оголенных и полностью погребённых корневых отростках часть годичных колец не развита (в среднем на 20-25 ниже, чем в стволе). Угнетение водопрводящей и питающей функции корней // A considerable increase in the width of tree rings and the number of scars and damages was observed in denuded roots. Part of the tree rings is not developed (on average, 20-25 lower than in the trunk) in partially denuded and completely buried roots. Suppression of water-conducting and feeding functions of roots

В некоторых источниках [29-30] отмечена удобряющая роль выбросов, которая заключается в привнесении дополнительных порций ряда питательных элементов (Ca, K, Na, Mg, Mn) для сосны [37]. Для исследованной основной площадки, нельзя однозначно утверждать о наличии или отсутствии такого эффекта, поскольку он мог быть полностью нивелирован более значимым ингибирующим воздействием термического фактора.

В другой работе [37] определены уровни загрязнения воздуха пылью, цементной пылью, сажой, SO₂, при которых фиксируется отчетливое влияние на состояние лесов. По-видимому, выбросы одиночного факела сжигания попутного нефтяного газа не могут привести к столь существенным концентрациям загрязняющих веществ, устойчиво сохраняющимся в воздухе окружающей территории продолжительное время. Вероятно, основным действующим фактором, в случае факела сжигания попутного газа, следует считать термический.

Перспективы развития исследования. Одним из перспективных направлений дальнейшей работы следует считать выявление пространственных закономерностей влияния теплового и химического загрязнения вблизи факелов сжигания попутного нефтяного газа. Для этого необходимо закладывать серию площадок на разных расстояниях и в разных направлениях от факела.

Также перспективным представляется сопоставление скорости прироста древесины с основными климатическими характеристиками (температурой, количеством осадков в разные периоды года). Такое сравнение позволит более точно определить степень влияния техногенного фактора, без учета погрешностей, вызванных ежегодными климатическими колебаниями.

С 2012 г. [19] в РФ установлена норма о предельно допустимой доле сжигания попутного газа на факельных установках – не более 5 процентов от общего объема газа. В связи с постепенным переходом нефтедобывающих компаний к предъявляемым требованиям, следует ожидать снижения интенсивности эксплуатации факелов сжигания попутного газа, и, как следствие, снижение интенсивности техногенного воздействия на древостой прилегающих участков. В этих условиях, актуальным направлением продолжения текущей работы следует считать изучение скорости радиального прироста в зависимости от

объемов и интенсивности сжигания попутного нефтяного газа. Для проведения таких работ, помимо дендрохронологического анализа, необходимо наличие подробной и достоверной информации о реальных объемах и режимах эксплуатации факела за все время эксплуатации.

Заключение

Исследование влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris*, проведено на Озёрном нефтяном месторождении Красновшерского района Пермского края. Это одно из крупнейших нефтяных месторождений региона, начало разработки которого относится к последнему десятилетию XX в. Начало работы факела по сжиганию попутного газа приходится на 2000 г. Преобладающая лесообразующая порода на территории Озёрного месторождения – сосна обыкновенная.

Древесные керны отобраны на основной (вблизи факела сжигания попутного газа) и фоновой (аналогичной основной по типу леса и близкой по возрасту и составу древостоя, но находящейся вне зоны влияния нефтепромыслов) площадках. Для исследования использован метод дендрохронологии. Он позволяет определить точный возраст дерева и ежегодный радиальный прирост древесины. Средний возраст, диаметр и высота древостоя составляет 71 год, 27,0 см, 23,3 м, и 63 года, 27,3 см, 23,9 м на основной и на фоновой площадке, соответственно.

В период 1981-2000 гг. средняя скорость прироста древесины на основной площадке составляла 1,623 мм/год, а на фоновой площадке и 2,021 мм/год. В 2001-2020 гг. средняя скорость прироста древесины на основной площадке снизилась до 0,961 мм/год (падение на 40,80%), а на фоновой площадке до 1,452 мм/год (снижение на 28,16%).

После начала эксплуатации факела ежегодный прирост древесины на прилегающем участке существенно сократился. В противоположность данным ряда исследований [4,8,24], эта тенденция не меняется и 10-20 лет спустя. Хотя темпы падения прироста, спустя 10 лет после начала сжигания попутного газа, заметно сократились. На фоновой площадке, где нефтепромысловое влияние отсутствует, интенсивность радиального прироста за тот же период, в целом, тоже снижается, но заметно меньшими (в 1,52–1,67 раза) темпами.

Динамика падения темпов прироста древесины на площадке вблизи факела, а также сравнение этих данных с фоновой площадкой, подтверждают ингибирующую роль сжигания попутного газа на радиальный прирост сосны обыкновенной на прилегающих участках.

В ряде работ [7,37] обосновывается тезис о том, что максимальная скорость прироста древесины *Pinus sylvestris* характерна до достижения возраста 30-35 лет. После чего отмечается заметное снижение скоростей прироста. Это положение подтвердилось в отношении фоновой площадки. Однако, на основной площадке максимальные скорости прироста древесины отмечены до возраста 55 лет, после чего выявлено резкое падение ширины ежегодного прироста.

Богатый опыт дендрохронологических исследований убедительно показывает, что величина прироста древесины определяется как внутренними жизненными процессами самого дерева (возрастом и состоянием), так и внешними условиями (прежде всего климатическими) окружающей среды. Значительное влияние могут оказывать и антропогенные факторы: термическое, химическое, аэрозольное загрязнение атмосферы, рекультивация нарушенных участков, экстенсивное сельское хозяйство, рекреация. В зависимости от интенсивности и природы антропогенных факторов их влияние может быть как отрицательным, так и положительным.

Концентрации загрязняющих веществ, имеющие выраженное ингибирующее влияние на радиальный прирост деревьев [37], весьма высоки, и едва ли достижимы за счет выбросов одиночного факела сжигания попутного газа. Вероятно, термический фактор, при изучении влияния подобного рода единичных установок на состояние древостоя, следует считать основным.

Удобрительная роль выбросов (за счет привнесения дополнительных элементов питания: Ca, K, Na, Mg, Mn) на исследованных площадках не выявлена. Однако, этот положительный эффект мог быть перекрыт более значительным отрицательным влиянием термического фактора.

Наиболее очевидный и перспективный способ предотвращения негативного влияния от сжигания попутного газа на территории Пермского края – это прекращение холостого сжигания, в пользу переработки газа на соответствующих энергогенерирующих установках. На сегодняшний день такая технология уже внедрена на двух газотурбинных электростанциях (далее – ГТЭС). Так в 2016 г. и в 2020 г., ОАО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» построены ГТЭС «Ильичёвская» и ГТЭС «Чашкино». Для генерации электроэнергии они используют попутный нефтяной газ с месторождений ЦДНГ-10 и ЦДНГ-12, соответственно [22].

Перспективными направлениями продолжения настоящего исследования следует считать пространственный (расстояния и направления от факела) ана-

лиз негативного влияния сжигания попутного газа, сопоставление скорости прироста с климатическими данными, а также изменение интенсивности воздействия в связи со значительным снижением объемов сжигаемого газа в последние годы.

Сведения об авторском вкладе

А. С. Порозова – полевые работы, камеральная обработка древесных кернов, подготовка таблиц и графиков скоростей прироста древесины, поиск и первичная обработка литературных источников для раздела «Дискуссия». Подготовка первого варианта рукописи. Вычитка и корректировка финального варианта публикации.

П. Ю. Санников – разработка общей концепции и структуры статьи, корректировка, дополнение анализа полученных данных и их сравнение с результатами работ других авторов. Вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Contribution of the authors

A. S. Porozova – field work, office processing of wood cores, preparation of tables and graphs of wood growth rates, search and primary processing of literary sources for the "Discussion" section. Preparation of the first the manuscript. Proofreading and correction of the final version of the publication.

P. Yu. Sannikov – development of the general concept and structure of the article, correction, addition of the analysis of the data obtained and their comparison with the results of the work of other authors. Proofreading and correction of the final version of the publication.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596018

Funding: The reported study was funded by RFBR and Perm Territory, project number 20-45-596018

Список источников

1. Андреев Д.Н., Шатрова А.И. Нефтепромысловые объекты в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 3–7.
2. Атлас Пермского края / под общ. ред. А.М. Тартаковского Пермь: изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2012. 124 с.
3. Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Кулакова С.А. Ландшафтный заказник «Нижневишерский». Пермь: Изд-во «Мобиле», 2004. 59 с.
4. Крючков К.В. Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения. автореф. дис. канд. сельск. наук. Уральск. гос. лесотехническая академии. Екатеринбург, 2000. 20 с.
5. Казанцева М.Н., Аюпова А.Ф. Влияние газового факела на репродуктивные показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Северной тайге ЯНАО // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2018. № 51. С. 130–133.

6. Картографические материалы Нижне-Язьвинского участкового лесничества и Верхне-Язьвинского участкового лесничества Красновишерского лесничества в формате ESRI shape. По состоянию на момент лесоустройства 2005 г. (предоставлены инженером ЦКТИУ А.В. Кедровым) [Электронный ресурс].
7. *Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М.* Применение дендрохроноиндикационных методов в оценке воздействия сжигания попутного нефтяного газа на хвойные породы в условиях средней тайги западной Сибири // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. Т. 25, вып. 1. С. 19–23.
8. *Коротких Н.Н., Граб М.И., Вешкурцева Т.М.* Влияние факелов по сжиганию попутного нефтяного газа на экологическое состояние сосновых лесов (на примере Северо-Даниловского и Тальникового месторождений) // География и природопользование Сибири. 2009. № 11. С. 96–110.
9. *Косиченко Н.Е.* Влияние генотипа-среды на формирование микроструктуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. 42 с.
10. *Матвеев С.М., Румянцев Д.Е.* Дендрохронология: учебное пособие. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2013. 140 с.
11. *Морозов А.Е.* Оценка степени жизнеспособности древостоев кедра, подверженных воздействию факелов для сжигания попутного газа // Леса Урала и хозяйство в них. 1998. № 20. С. 176–180.
12. *Овеснов С.А.* К флоре Красновишерского района Пермской области. 2. Анализ флоры // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». 2004. №2. С. 7–13.
13. *Кулакова С.А., Назаров А.В., Шепель А.И.* Нижневишерский // Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. С. 246–249.
14. Охраняемый ландшафт «Нижневишерский». Индивидуальная страница ООПТ. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Нижневишерский> (дата обращения: 24.03.2021).
15. *Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е.* Современное оборудование для дендрохронологических исследований // Лесной вестник. 2010. № 3. С. 46–50.
16. Среднеголетние данные по метеорологической станции в г. Чердынь. Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.perm.ru/meteostantsii-permskogo-kraya/36-meteorologicheskaya-stantsiya-v-g-cherdyn> (дата обращения: 28.03.2021).
17. *Полищук Ю.М., Кокорина Н.В., Касаткин А.М.* Анализ биоиндикационных свойств сосны сибирской для оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на природную среду // Вестник Югорского государственного университета, 2006. № 4. С. 87–92.
18. *Полищук Ю.М., Хамедов В.А., Русакова В.В.* Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 61–69. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69>
19. Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 года N 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа» (в редакции от 13.12.2019). Электронный фонд нормативно-правовых документов «Кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902379207> (дата обращения: 12.07.2021).
20. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Часть I. Разделы 1-5). Электронный фонд нормативно-правовых документов «Кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 14.05.2021).
21. *Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б.* Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: VerSo, 2011. 206 с.
22. Создание новой электростанция для полезной утилизации попутного нефтяного газа в Пермском крае. Сайт губернатора и Правительства Пермского края [Электронный ресурс]. URL: <https://permkrai.ru/news/v-permskom-krae-zapushchena-elektrostantsiya-dlya-poleznoy-utilizatsii-poputnogo-neftyanogo-gaza/> (дата обращения: 12.04.2021).
23. *Овеснов С.А.* Местная флора. Флора Пермского края и ее анализ: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2009. 171 с.
24. *Сергейчик С.А.* Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1994. 279 с.
25. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
26. *Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М.* Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
27. *Harold C.*, Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate // Science, 1966. Vol. 154. Iss. 3752. P. 973–979. <https://doi.org/10.1126/science.154.3752.973>
28. *Havas P., Huttunen S.*, The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Biological Conservation. 1972. Vol. 4, Iss. 5. P. 361–368. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(72\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(72)90052-3)
29. *Juknys R., Vencloviene J., Stravinskiene V., Augustaitis A., Bartkevicius E.*, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from

decline to recovery // *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 125. Iss. 2. P. 205–212.

[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00070-8)

30. Juknys R., Stravinskiene V., Vencloviene J. Tree-Ring Analysis for the Assessment of Anthropogenic Changes and Trends // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002. Vol. 77. P. 81–97.

<https://doi.org/10.1023/a:1015718519559>

31. Matulewska P., Buchwal A., Zielonka A., Wronska-Walach D., Cufar K., Gartner H. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail // *Ecological Indicators*, 2021. Vol. 121. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>

32. Metslaid S., Stanturf John A., Hordo M., Korjus H., Laarmann D., Kiviste A. Growth responses of Scots pine to climatic factors on reclaimed oil shale mined land // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23, P. 13637–13652.

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-5647-4>

33. Parn H. Impact of oil shale fly ash emitted from a power plant on radial growth of scots pine in north-east Estonia // *Oil Shale*. 2002. Vol. 19. Iss. 3. P. 307–319.

34. Parn H. Radial growth of conifers in regions of different cement dust loads // *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, ecology*. 2006. Vol. 55. Iss. 2. P. 108–122.

35. Parn H. Radial Growth Response of Scots Pine to Climate under Dust Pollution in Northeast Estonia // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2003. Vol. 144. P. 343–361. <https://doi.org/10.1023/A:1022969301545>

36. Pasho E., Camarero J.J., Vicente-Serrano S.M. Climatic impacts and drought control of radial growth and seasonal wood formation in *Pinus halepensis* // *Trees – Structure and Function*. 2012. Vol. 26. P. 1875–1886. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0756-x>

37. Pensa, M., Liblik, V. Sellin, A. Growth and needle retention of scots pine trees in the region of oil shale industry // *Oil Shale*. 2000. Vol. 17. Iss. 2. P. 154–167.

38. Silvestru-Grigore C.V., Dinulica F., Sparchez G., Halalişan A.F., Dinca L.C., Enescu R.E., Crisan V.E. Radial Growth Behavior of Pines on Romanian Degraded Lands // *Forests*. 2018. Vol. 9. Iss. 4. Number of article 213 P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/f9040213>

References

1. Andreev, D. and Shatrova, A., 2019. Oil industrial facilities in perm region. *Anthropogenic transformation of Nature*. (5), pp. 3–7. (in Russian)

2. Tartakovskiy, A. (ed.), 2012. *Atlas Permskogo kraja* [Atlas of the Perm Region]. Perm, izd-vo Perm. gos. nac. issled. un-ta. 124 p. (in Russian)

3. Buzmakov, S., Voronov, G., Kulakova, S., 2004. *Landshaftnyj zakaznik «Nizhnevisherskij»* [Landscape Reserve «Nizhnevishersky»]. Perm: Publishing House «Mobile», 59 p. (in Russian)

4. Kryuchkov, K., 2000. *Vliyanie fakelov po szhiganiyu poputnogo gaza na lesnye nasazhdeniya* [The influence of associated gas flares on forest stands].

Avtoref. dis. kand. sel'sk. nauk. Ural'sk. gos. Lesotekhnicheskaya akademii. Ekaterinburg, 20 p. (in Russian)

5. Kazantseva, M., Ayupova A., 2018. Influence of the flambeau lights on the reproductive indicators of the scots pine (*Pinus sylvestris* L.) In the northern taiga of YANAO. *Topical problems of the forest complex*. (51), pp. 130–133. (in Russian)

6. Kartograficheskie materialy Nizhne-Yaz'vinskogo uchastkovogo lesnichestva i Verhne-Yaz'vinskogo uchastkovogo lesnichestva Krasnovisherskogo lesnichestva v formate ESRI shape. Po sostoyaniyu na moment lesoustrojstva 2005 g. (predostavleny inzhenerom CKTiU A.V. Kedrovym). (in Russian)

7. Kokorina, N., Tatarintsev, P., Kasatkin, A., 2015. Application of dendrochronoidication methods to estimate the influence of associated gas burning on coniferous species in west-siberian middle taiga. *Bulletin of Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences»*. 25(1), pp. 19–23. (in Russian)

8. Korotkih, N., Grab, M. and Veshkurceva, T., 2009. Vliyanie fakelov po szhiganiyu poputnogo neftyanogo gaza na ekologicheskoe sostoyanie osnovnykh lesov (na primere Severo-Danilovskogo i Tal'nikovogo mestorozhdenij) [Impact of associated petroleum gas flares on the ecological state of pine forests (using the example of the North Danilovsky and Talnikov fields)]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*. (11), pp. 96–110. (in Russian)

9. Kosichenko, N., 1999. *Vliyanie genotipa-sredy na formirovanie mikrostruktury steblya i diagnostika tekhnicheskikh svoystv, rosta i ustojchivosti drevesnykh rastenij* [Influence of genotype-medium on formation of stem microstructure and diagnostics of technical properties, growth and stability of woody plants]. Voronezh: Izd-vo VGU, 42 p. (in Russian)

10. Matveev, S., Rumyanecv, D., 2013. *Dendrohronologiya: uchebnoe posobie* [Dendrochronology: tutorial]. Voronezh: Izd-vo VGLTA. 140 p. (in Russian)

11. Morozov, A., 1998. Ocenka stepeni zhiznesposobnosti drevostoev kedra, podverzhennykh vozdeystviyu fakelov dlya szhiganiya poputnogo gaza [Assessment of the degree of viability of cedar stands exposed to flares for incineration of associated gas]. *Lesnaya Urala i hozyajstvo v nih*. (20), pp. 176–180. (in Russian)

12. Ovesnov, S., 2004. To the flora of Krasnovishersk area of Perm region. 2. The analysis of the flora [To the flora of the Krasnovishersky district of the Perm region]. *Bulletin of Perm University. Series «Biology»*. (2), pp. 7–13. (in Russian)

13. Kulakova, S., Nazarov, A. and Shepel, A., 2017. Nizhnevisherskii. In: Buzmakov, S. (ed.) *Atlas osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij Permskogo kraja* [Atlas of specially protected natural areas of Perm Krai]. Perm, Russia, Aster. pp. 246–249. (in Russian)

14. Protected landscape «Nizhnevishersky» Individual page of the protected area. Information and analytical system «Protected areas of Russia». Available from: <http://oopt.aari.ru/oopt/Нижневешерский> [Accessed 24th March 2021]. (in Russian)

15. Pal'chikov, S., Romyancev, D., 2010. Sovremennoe oborudovanie dlya dendrohronologicheskikh issledovaniy [Modern equipment for dendrochronological research]. *Lesnoj vestnik*, (3), pp. 46–50. (in Russian)
16. Average long-term data on the meteorological station in Cherdyn. Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available from: <http://meteo.perm.ru/meteostantsii-permskogo-kraja/36-meteorologicheskaya-stantsiya-v-g-cherdyn> [Accessed 28th March 2021]. (in Russian)
17. Polishchuk, Yu., Kokorina, N., Kasatkin, A., 2006. Analiz bioindikacionnyh svojstv sosny sibirskoj dlya ocenki vozdeystviya fakel'nogo szhiganiya poputnogo gaza na prirodnyuyu sredu [Analysis of bioindication properties of Siberian pine to assess the impact of flaring of associated gas on the natural environment]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, (4), pp. 87–92. (in Russian)
18. Polishchuk, Yu., Khamedov, V. and Rusakova, V., 2016. Remote studies of gas flaring impact on forest cover in oil-producing areas using vegetation index. *Ugra Research Institute of Information Technologies*, 13(1), pp. 61–69. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69> (in Russian)
19. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 8 noyabrya 2012 goda N 1148 «Ob osobennostyah ischisleniya platy za negativnoe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu pri vybrosah v atmosferyj vozdukh zagryaznyayushchih veshchestv, obrazuyushchihysya pri szhiganii na fakel'nyh ustanovkah i (ili) rasseivanii poputnogo neftyanogo gaza» (v redakcii ot 13.12.2019). Elektronnyj fond normativno-pravovyh dokumentov «Kodeks». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/902379207> [Accessed 27th July 2021]. (in Russian)
20. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery (CHast' I. Razdely 1-5). Elektronnyj fond normativno-pravovyh dokumentov «Kodeks». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> [Accessed 14th May 2021]. (in Russian)
21. Sazonova, T., Bolondinskij, V., Pridacha, V., 2011. *Ekologo-fiziologicheskaya harakteristika sosny obyknovnoy* [Ecological and physiological characteristics of scots pine]. Petrozavodsk, Verso. 206 p. (in Russian)
22. Creation of a new power plant for the useful utilization of associated petroleum gas in the Perm Region. Website of the Governor and the Government of the Perm Region. Available from: <https://permkrai.ru/news/v-permskom-krae-zapushchena-elektrostantsiya-dlya-poleznoy-utilizatsii-poputnogo-neftyanogo-gaza/> [Accessed 12th April 2021]. (in Russian)
23. Ovesnov, S., 2009. *Mestnaya flora. Flora Permskogo kraja i ee analiz: ucheb. posobie po spekursu* [Local flora. Flora of the Perm Region and its analysis: textbook. special course manual]. Perm, Perm. gos. un-t., 171 p. (in Russian)
24. Sergejchik, S., 1994. *Ustojchivost' drevesnyh rastenij v tekhnogennoj srede* [Stability of woody plants in the technogenic environment]. Minsk, Nauka i tekhnika, 279 p. (in Russian)
25. Shishov, L., Tonkonogov, V., Lebedeva, I. and Gerasimova, M., 2004. *Klassifikaciya n diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, Ojkumena, 342 p. (in Russian)
26. Shiyatov, S., Vaganov, E., Kiryanov, A., Kruglov, V., Mazepa, V., Naurzbaev, M. and Hantemirov, R., 2000. *Metody dendrohronologii. CHast' I. Osnovy dendrohronologii. Sbor i poluchenie drevesnokol'cevoj informacii: uchebno-metodich. Posobie* [Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collection and receipt of tree-ring information: educational and methodical. stipend]. Krasnoyars, KrasGU, 80 p. (in Russian)
27. Fritts, H., 1966. Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate. *Science*, 154(3752), pp. 973–979. <https://doi.org/10.1126/science.154.3752.973>
28. Havas, P. and Huttunen, S. (1972) The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biological Conservation*, 4(5), pp. 361–368. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(72\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(72)90052-3)
29. Juknys, R., Vencloviene, J., Stravinskiene, V., Augustaitis, A. and Bartkevicius, E., 2003. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery. *Environmental Pollution*, 125(2), pp. 205–212. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00070-8)
30. Juknys, R., Stravinskiene, V. and Vencloviene, J., 2002. Tree-Ring Analysis for the Assessment of Anthropogenic Changes and Trends. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77, pp. 81–97. <https://doi.org/10.1023/a:1015718519559>
31. Matulewski, P., Buchwal, A., Zielonka, A., Wrońska-Wałach, D., Čufar, K. and Gärtner, H., 2021. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail. *Ecological Indicators*, 121, 107095. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>
32. Metslaid, S., Stanturf, J., Hordo, M., Korjus, H., Laarmann, D. and Kiviste, A., 2015. Growth responses of Scots pine to climatic factors on reclaimed oil shale mined land. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), pp. 13637–13652. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5647-4>
33. Parn, H., 2002. Vliyanie slantsevoi letuchej zoly, vybrasyvaemoi elektrostantsiei, na radial'nyi rost sosny obyknovnoy na severo-vostoke Estonii [Impact of oil shale fly ash emitted from a power plant on radial growth of scots pine in north-east Estonia]. *Oil Shale*. 19(3), pp. 307–319
34. Parn, H., 2006. Radialnyi rost hvoinyh porod v regionah s razlichnoi nagruzkoj tsementnoi pyli [Radial growth of conifers in regions of different cement dust loads]. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, ecology*. 55(2). pp. 108–122.

35. Parn, H., 2003. Radial Growth Response of Scots Pine to Climate under Dust Pollution in Northeast Estonia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 144, pp. 343–361. <https://doi.org/10.1023/A:1022969301545>

36. Pasho, E., Julio Camarero, J. and Vicente-Serrano, S., 2012. Climatic impacts and drought control of radial growth and seasonal wood formation in *Pinus halepensis*. *Trees*, 26(6), pp. 1875–1886. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0756-x>

37. Pensa, M., Liblik, V. Sellin. A., 2000. Rost i sohranenie igl sosny obyknovennoi v regione slantsevoi promyshlennosti [Growth and needle retention of scots pine trees in the region of oil shale industry]. *Oil Shale*, 17(2), pp. 154–167.

38. Silvestru-Grigore, C., Dinulică, F., Spârchez, G., Hălălișan, A., Dincă, L., Enescu, R. and Crișan, V., 2018. Radial Growth Behavior of Pines on Romanian Degraded Lands. *Forests*, 9(4), Number of article 213. <https://doi.org/10.3390/f9040213>

Статья поступила в редакцию 15.09.2021; одобрена после рецензирования 14.10.2021; принята к публикации 18.10.2021.

The article was submitted 15.09.2021; approved after reviewing 14.10.2021; accepted for publication 18.10.2021.