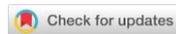


УДК 638.47

DOI: 10.19047/0136-1694-2025-123-5-29



Ссылки для цитирования:

Аветян С.А., Герасимова М.И., Савицкая Н.В., Ананко Т.В., Савин И.Ю., Шишконокова Е.А. Вероятные многолетние тренды деградации постпирогенных лесных почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2025. Вып. 123. С. 5-29. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-123-5-29

Cite this article as:

Avetyan S.A., Gerasimova M.I., Savitskaya N.V., Ananko T.V., Savin I.Yu., Shishkonakova E.A., Probable multi-year trends of degradation of post-pyrogenic forest soils in Russia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2025, V. 123, pp. 5-29, DOI: 10.19047/0136-1694-2025-123-5-29

Вероятные многолетние тренды деградации постпирогенных лесных почв России

© 2025 г. С. А. Аветян^{1,2*}, М. И. Герасимова^{1,2**}
Н. В. Савицкая^{1***}, Т. В. Ананко^{1****}, И. Ю. Савин^{1,3*****},
Е. А. Шишконокова^{1*****}

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжжевский пер, 7, стр. 2,

* <https://orcid.org/0000-0002-3435-9092>, e-mail: avetyan-serg@mail.ru,
** <https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>, e-mail:

maria.i.gerasimova@gmail.com,

*** <https://orcid.org/0000-0002-3218-6941>, e-mail: savitskaya_nv@esoil.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0002-7317-6790>, e-mail: anankotat@yandex.ru,

***** <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru,

***** <https://orcid.org/0000-0003-4396-2712>, e-mail:

shishkonakova_ea@esoil.ru.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1.

³Институт экологии РУДН, Россия,
115093, Москва, Подольское шоссе, 8.

Поступила в редакцию 23.06.2024, после доработки 18.02.2025,
принята к публикации 03.06.2025

Резюме: Сопоставление почвенно-географических выделов Единого Государственного Реестра почв России с базой данных об исчезновении древесной лесной растительности за период с 2000 по 2021 гг., построенной по спутниковым данным Landsat, позволило выявить на территории страны ареалы почв, подвергшихся влиянию лесных пожаров. Наибольшее воздействие на почвенный покров отмечено для азиатской части Российской Федерации в пределах криолитозоны, где в зону пирогенеза попадают наиболее распространенные маломощные щелнистые почвы горно-таежных лесов: подбуры, подзолы, ржавоземы, торфяно-криоземы криогомогенные, почвы органо-аккумулятивного отдела, (карбо)литоземы, петроземы, т.е. почвы, наиболее подверженные процессам эрозии, а также льдисто-мерзлотные мелкоземистые почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава: палевые, палевые осолоделые, глееземы, криоземы, в которых развиваются процессы заболачивания, солифлюкции, термокарста. Вероятность активизации процессов постпирогенной деградации почв в результате потери леса в период с 2000 по 2021 гг. существует примерно на 16% территории России. Это водная (10%) и ветровая (8%) эрозия, заболачивание (около 15%) и криогенные процессы солифлюкции (10%) и термокарста (7%). Территории с вероятной активизацией послепожарной водной эрозии находятся в Забайкалье, Северо-Восточной Якутии, на юге Дальнего Востока; дефляции – в Якутии, северном Прибайкалье и Забайкалье; заболачивания – на Центрально-Якутской озерно-аллювиальной равнине, в межгорных котловинах Забайкалья и Северо-Восточной Якутии, в Западной Сибири; криосолифлюкции и термокарста – в Центральной и Северной Якутии, Красноярском крае, в Магаданской области, на севере Амурской области.

Ключевые слова: лесные пожары; Landsat; почвы лесной зоны; постпирогенные тренды; региональный прогноз.

Probable multi-year trends of degradation of post-pyrogenic forest soils in Russia

© 2025 S. A. Avetyan^{1,2*}, M. I. Gerasimova^{1,2**}, N. V. Savitskaya^{1***},
T. V. Ananko^{1****}, I. Yu. Savin^{1,3*****}, E. A. Shishkonakova^{1*****}

¹Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,

* <https://orcid.org/0000-0002-3435-9092>, e-mail: avetyan-serg@mail.ru,

** <https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>, e-mail:

maria.i.gerasimova@gmail.com,

*** <https://orcid.org/0000-0002-3218-6941>, e-mail: savitskaya_nv@esoil.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0002-7317-6790>, e-mail: anankotat@yandex.ru,

***** <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru,

***** <https://orcid.org/0000-0003-4396-2712>, e-mail:

shishkonakova_ea@esoil.ru.

²Lomonosov Moscow State University,

1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation.

³Institute of Environmental Engineering of RUDN University,

8 Podolskoe shosse, Moscow 115093, Russian Federation.

Received 23.06.2024, Revised 18.02.2025, Accepted 03.06.2025

Abstract: A comparison of soil-geographical units of the Unified State Register of Soils of Russia with a database on the disappearance of woody forest vegetation for the period from 2000 to 2021, built on Landsat satellite data, made it possible to identify soil areas in the country that were affected by forest fires. The greatest impact on the soil cover is noted for the Asian part of the Russian Federation within the cryolithozone, where the pyrogenesis zone mainly includes the most common here thin rubble soils of mountain taiga forests: podburs, podzols, rzhavozems, cryohomogeneous peat-cryozems, soils of the organo-accumulative section, (carbo)lithozems, petrozems, i.e. soils most susceptible to erosion processes, as well as ice-frozen fine-earth soils of medium-heavy granulometric composition: pale yellow, pale solodized, gleyzems, cryozems, in which the processes of paludification, cryosolifluction, thermokarst are activated. The probability of activation of post-pyrogenic soil degradation processes as a result of forest loss in the period from 2000 to 2021 exists on approximately 16 % of the territory of Russia. These are water (10 %) and wind (8 %) erosion, paludification (about 15 %) and cryogenic processes of solifluction (10 %) and thermokarst (7 %). Areas with a potential for increased post-fire water erosion are located in the Central Siberian Plateau, Transbaikalia, North-Eastern Yakutia, the south of the Far East; deflation – in Yakutia, northern Baikal and Transbaikalia, paludification – in the Central Yakut lake-alluvial plain, in the intermountain basins of Transbaikalia and North-Eastern Yakutia, in Western Siberia, cryosolifluction and thermokarst – in Central and Northern Yakutia, Krasnoyarsk Krai, Magadan Oblast, and in the north of Amur Oblast.

Keywords: forest fires; Landsat images; forest soils; post-pyrogenic trends; regional forecasts.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия масштабы возникновения и распространения пожаров характеризуются значительным ростом по количеству возгораний и территории охвата. За период с 2000 по 2021 гг. общая площадь пожаров в России выросла на 10–15% и составила 2–2.5 млн га (Экологический атлас, 2017; Основные показатели..., 2023). Этот негативный тренд обусловлен как природными, так и антропогенными факторами.

Глобальное потепление климата существенно изменило ситуацию на территории Российской Федерации, где оно в значительной степени способствовало активизации различного рода атмосферных процессов и явлений, вызывающих усиление грозовой активности, приводящей к резкому возрастанию сухих гроз – одной из важных причин возгорания и возникновения пожаров. Антропогенная активность – разведение костров, палы травы также приводят к возникновению пожаров. Недостаточное внимание к мерам по санитарной очистке леса, несовершенство инфраструктуры и ограниченная возможность пожаротушения в связи с недостатком коммуникаций прямо или косвенно влияют на частоту и масштабы возгораний. Особенно велика доля антропогенно-инициированных пожаров в азиатской части России; в среднем она составляет около 60% (Белов, 1976).

Особую опасность пожары представляют для лесов бореального пояса, занимающих более 40% территории РФ.

Ущерб, наносимый лесам от пожаров, традиционно принято оценивать территориально в единицах площади, отражающих масштабы этого явления и позволяющих характеризовать те или иные регионы с точки зрения подверженности биогеоценозов пирогенной деструкции (Краснощеков, 2018).

В подходах к изучению влияния пожаров на почвенный покров доминируют два направления, первое из которых связано с пространственной характеристикой этого явления. Возможно, по этой причине исследователи долгое время уделяли мало внимания процессам, затрагивающим почвенный профиль, делая акцент на выгорании подстилки и разрушении структуры органофилия в зонах распространения пожаров (Wildland fire in..., 2005). Второе

направление охватывает спектр исследований, касающихся процессов постпирогенной деградации почв. На фоне разрушения верхних органических и органо-минеральных горизонтов развиваются эрозионные процессы (водная эрозия, дефляция) (Dunkerley et al., 2009, Десяткин и др., 2024), а также в той или иной мере переувлажнение и заболачивание, возникающие в результате резкого ослабления транспирации и нарушения водного режима, сопровождающих лесные пожары (Чевычелов, 2002). Кроме того, в криолитозоне может наблюдаться усиление процессов солифлюкции, приводящих к изменению структуры почвенного покрова и трансформации почвенных профилей (Тарабукина, Саввинов, 1990). Нередко постпирогенные явления способны вызвать активизацию термокарста (Попова, 1997).

В данной работе карты вероятных постпирогенных трендов деградации почв в результате исчезновения леса основаны на комплексном анализе контурной и содержательной основы Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР, 2014) и данных спутниковой съемки об исчезновении лесов из-за мощных верховых пожаров за период с 2000–2021 гг. Полученные путем экспертной оценки пространственные закономерности активизации различных видов постпирогенной деградации почв привязаны к полигонам ЕГРПР и при этом расширяют возможности инвентаризации лесных почв, регулярно страдающих от пожаров (по статистике, раз в 40–50 лет (Валендик, 1990)), а также обеспечивают прогноз изменений условий функционирования почв на территории всей России.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являются почвы и почвенный покров лесной зоны России, отображенные на Почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн под редакцией В.М. Фридланда (ПКРФ), являющейся основой Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР..., 2014). Почвы оценивались с точки зрения их вероятной подверженности различным деградационным процессам в результате постпирогенного исчезновения леса за период с 2000 по 2021 гг.

В качестве основы для выделения ареалов исчезновения лесов использовались карты ежегодной динамики лесов за период с 2000 по 2021 гг., построенные специалистами лаборатории GLAD Университета Мэриленд (США) по спутниковым данным Landsat (Hansen, et al., 2013;

<https://data.globalforestwatch.org/documents/941f17325a494ed78c4817f9bb20f33a/explore>). Все ежегодные карты обезлесивания на территорию России были просуммированы, и получена карта с пространственным разрешением 30 м, на которой показаны участки лесов, которые исчезли за период с 2000 по 2021 гг.

Далее эти участки были разделены на три класса: 1-й – где причиной исчезновения леса явились вырубки, 2-й – где исчезновение леса связано с пожарами, и 3-й – где отсутствие леса обусловлено одновременно и вырубками, и пожарами. Это разделение базировалось на визуальном дешифрировании ареалов с исчезнувшей лесной растительностью в каждом выделе ПКРФ. Массивы вырубок отделялись по небольшим ареалам, правильной, чаще прямоугольной формы, светлых тонов, с ровными, четкими границами, расположенным в определенном порядке чередования с лесными участками. Ареалы неправильной формы, относительно темной, бурой и черной окраски, с языковатыми и изорванными границами интерпретировались по аналогии с представлениями Данюлиса с соавт. (1989) как постпожарные. В случае высокой неопределенности массив исчезнувшего леса классифицировался как смешанный (исчезновение леса и от вырубок, и от пожаров).

После дешифрирования трех классов для каждого полигона ПКРФ был посчитан процент лесов, уничтоженных пожарами за указанные 20 лет, который являлся критерием разделения деграционных процессов на классы вероятности. Затем был проведен экспертный анализ рисков активизации процессов деградации лесных почв по конкретным полигонам на карте с учетом преобладающих уклонов местности, гранулометрического состава, присутствия многолетнемерзлых пород и других свойств почв (эта информация является атрибутивной в ЕГРПР (Единый ..., 2014)). Оценивались риски развития водной и ветровой эрозии почв, вторичного заболачивания и криогенных процессов в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

Анализ пространственной информации и картографическая визуализация результатов были осуществлены с использованием ГИС ILWIS v.3.3 и QGIS v.3.36.1. С целью повышения информативности анализа названия почв приведены в терминах классификации и диагностики почв России (КиДПР) в двух ее версиях (Классификация..., 2004; Полевой определитель..., 2008; Ананко и др., 2017). В скобках курсивом даны названия почв в легенде ПКРФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлена карта ареалов лесопотерь в результате пожаров и вырубок на постпирогенных почвах. На карте выделены три зоны: 1) территории, не затронутые пожарами; 2) территории с потерей леса в результате пожаров; 3) территории с потерей леса от совместного действия пожаров и вырубок (рис. 1).

Ареалы с постпирогенной потерей леса (вторая зона) занимают около 16% территории России (без учета новых регионов). Они сосредоточены преимущественно в Заенисейской Сибири и на Дальнем Востоке, образуя зоны сплошного исчезновения лесов. Это огромные территории Средне-Сибирского плоскогорья, равнин и возвышенностей Центральной Якутии, горных хребтов, плато и нагорий Предбайкалья, Забайкалья, Северной Якутии и Дальнего Востока. Их почвенный покров состоит преимущественно из маломощных щебнистых почв, относящихся в системе КиДПР (2004, 2008) к отделам альфегумусовых, органо-аккумулятивных и железисто-метаморфических, слаборазвитых почв и литоземов, уязвимых к процессам эрозии, а также мелкоземистых льдисто-мерзлотных почв отделов палево-метаморфических почв, криоземов и глееземов, в которых после пожаров активизируются криогенные процессы солифлюкции, термокарст и заболачивание. В Западно-Сибирском регионе основные массивы возможной постпирогенной деструкции почв расположены в лесотундре и северной тайге с преобладающими здесь глееземами; южнее к ним присоединяются текстурно-дифференцированные почвы с разной степенью и локализацией оглеения в профиле. Большие площади Западной Сибири, пострадавшие от пожаров, представлены аль-

фегумусовыми почвами.



Рис. 1. Ареалы лесопотерь в результате пожаров и совместного воздействия пожаров и вырубок.

-  - территории, не затронутые пожарами
-  - территории с потерей леса в результате пожаров
-  - территории с потерей леса в результате пожаров и вырубок

Fig. 1. Areas of forest loss as a result of fires and the combined action of fires and forest cutting:

-  - territories not affected by fires
-  - territories with forest loss as a result of fires
-  - territories with forest loss as a result of fires and cutting

Около 5% от площади страны занимают территории со смешанным классом (третья зона). Они преобладают в европейской части страны, встречаются небольшими ареалами в южно-таежной подзоне Западной и Средней Сибири, в Забайкалье и на Дальнем Востоке. Им свойственна мелкоконтурность, то есть пожары имеют здесь очаговый характер, что подтверждает закономерности, установленные ранее другими авторами (Дымов и др., 2014; Дымов, 2020).

По данным проведенного анализа, ведущую роль в нарушении функционирования постпирогенных почв России играет эро-

зионное разрушение поверхностных горизонтов, которое в ряде случаев может привести к формированию смытых почв или полному уничтожению почвенного покрова.

Прогноз деградационных процессов в почвах при пожарах

1. Вероятность активизации водной эрозии. Эрозионные процессы начинают активизироваться в ходе послепожарных изменений в лесах вследствие частичного или полного уничтожения растительного покрова и образования на первом этапе постпирогенной эволюции ландшафта открытых пространств, незащищенных от водной или ветровой эрозии.

Степень эрозионной послепожарной устойчивости почв можно оценивать в трех направлениях в соответствии с климатическими поясами (широтным и высотным) и типом рельефа. По-видимому, она падает с юга на север при переходе от суббореального к бореальному, а затем к полярному поясам, где криогенные процессы изначально определяют податливость почв к разрушению даже при незначительных воздействиях и крайне медленное самовосстановление в ходе сукцессионных преобразований. Не исключено, что с учетом сходной геоморфологической ситуации вероятное нарастание эрозии будет происходить в ряду: от почв лесостепей и смешанных лесов через почвы южной и средней тайги к почвам северной тайги и лесотундры. Почвы горных лесов также можно ранжировать по предположительному убыванию устойчивости (при одинаковой склоновой крутизне) на почвы лиственных, смешанных и хвойных древесных формаций.

Важным фактором, связанным с климатическим разнообразием подверженных пожарам регионов, является скорость и характер зарастания гарей. Напочвенный покров из трав в большинстве случаев образуется в лиственных лесах на 2–3-й год, в разы снижая вероятность развития эрозии, в смешанных лесах – через 3–5 лет, в то время как в хвойных для формирования лишайниково-мохового слоя требуются десятилетия (Краснощеков, Чередникова, 2022).

Крутизна склонов в сочетании с особенностями лесных ландшафтов в ходе постпирогенных преобразований играет, по сути, основную роль в горах, во многом корреспондируя с высотной поясностью, увеличиваясь от низкогорий к средне- и верхнегорьям.

На основе информации, имеющейся в ЕГРПП о крутизне склонов, экспертно было выделено несколько категорий вероятной послепожарной водной эрозии почв (табл. 1).

Таблица 1. Вероятность активизации эрозии на постпирогенных лесных почвах в зависимости от крутизны склонов

Table 1. The probability of increased erosion on post-pyrogenic forest soils depends on the steepness of the slopes

Преобладающая крутизна склона, градусы	Вероятность активизации эрозионных процессов в почвах
0–2	Отсутствует
2–5	Очень низкая
5–8	Низкая
8–15	Средняя
15–30	Высокая
Более 30	Очень высокая

На основе данных таблицы 1 построена карта вероятности развития водной эрозии почв в результате уничтожения леса (рис. 2).

В соответствии с картой, площади с разной интенсивностью вероятной водной эрозии (см. подписи к рис. 2) составляют от общей площади России:

- c1 – 1.11%
- c2 – 2.36%
- c3 – 0.57%
- c4 – 2.05%
- c5 – 3.12%
- c6 – 0.84%

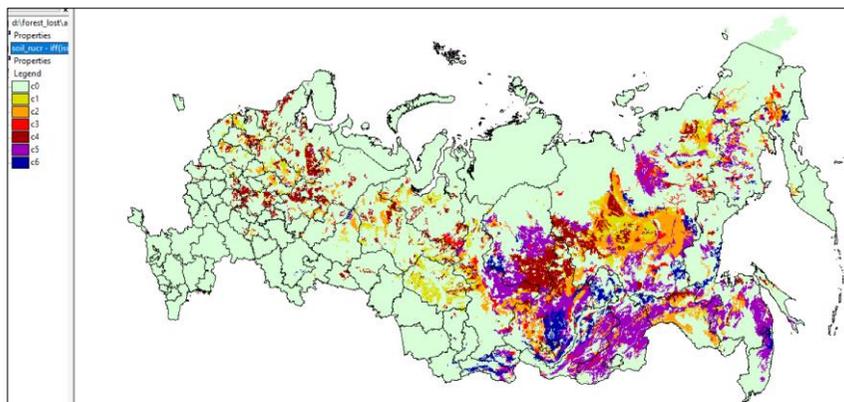


Рис. 2. Вероятность развития водной эрозии в результате уничтожения леса пожарами (с0 – нет постпирогенных лесных почв, с1 – эрозия отсутствует, с2 – очень низкая, с3 – низкая, с4 – средняя, с5 – высокая, с6 – очень высокая (катастрофическая)).

Fig. 2. Probability of water erosion as a result of post-fire forest destruction (с0 – no post-fire forest soils, с1 – absent, с2 – very low, с3 – low, с4 – medium, с5 – high, с6 – very high (catastrophic)).

Наиболее крупные массивы почв с высокой и очень высокой степенью эрозионной опасности приурочены к плато и горам Средней и Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. На Центральном-Тунгусском плато и плато Сыверма в пределах Средне-Сибирского плоскогорья – это подбуры охристые и торфяно-криоземы криогомогенные (*подбуры охристые и таежные торфянисто-перегнойные высокогумусные неоглеенные*) разреженных лиственных лесов на плотных породах основного состава. Южнее, на Лено-Ангарском плато, Енисейском кряже, в горах и плато Предбайкалья и Северного Забайкалья, где выявлена самая высокая степень риска послепожарной водной эрозии, преобладают маломощные литоземы и карболитоземы, грубогумусовые и темногумусовые остаточнокarbonатные почвы (*дерново- и перегнойно-карбонатные*), а также подзолы и подбуры иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые (*подбуры темные таежные и подбуры светлые таежные*), ржавоземы, в том числе

грубогумусовые (*дерново-таежные железистые и буротаежные*) и петроземы (*горные примитивные*) под темнохвойными и светлохвойными лесами на плотных породах. В горах Южной Сибири – в зоне высокого и очень высокого риска послепожарной водной эрозии – к зональным почвам горно-таежного пояса присоединяются почвы лиственнично-березовых травяных лесов – перегнойно-темногумусовые надмерзлотно-глееватые (*горные лесолуговые*), а также почвы лесостепной зоны, определенные по классификации почв России как перегнойно-темногумусовые метаморфизованные, в том числе натечно-карбонатные (*серые лесные неоподзоленные*), формирующиеся на периферии степных котловин на породах различного состава. На склонах хребтов Черского и Верхоянского интенсивным процессам водной послепожарной эрозии могут подвергаться сухоторфяно-литоземы, литоземы грубогумусовые палево-метаморфизованные (*палевые перегнойные*), сухоторфяно-подбуры, торфяно-криоземы криогомогенные; на Дальнем Востоке, в горах Сихотелина – характерные для таежного пояса этого региона ржавоземы грубогумусовые и иллювиально-гумусированные (*буротаежные и буротаежные иллювиально-гумусовые*).

В Центральной Якутии на слаборасчлененной озерно-аллювиальной равнине степень эрозионной опасности после исчезновения леса невелика или отсутствует. Она возрастает до средней и высокой к западу и северо-западу на Приленском и Вилюйском плато и к востоку – на Алданском плато с увеличением глубины и степени расчленения рельефа. Среди эрозионно-опасных почв здесь преобладают карболитоземы грубогумусовые и темногумусовые, грубогумусовые палево-метаморфизованные, в том числе, оподзоленные (*палевые типичные и оподзоленные*).

Исчезновение лесов в результате пожаров в горных условиях нередко приводит к полному уничтожению почвенного покрова на склонах, образованию селевых потоков, нарушающих почвенный покров в долинах и на подгорных равнинах (Рожков, 2007).

На территории северо-западной и центральной частей Восточно-Европейской равнины, а также центральной части Западной Сибири в зону преимущественно слабой степени вероятности эрозионной опасности попали подзолистые и дерново-подзоли-

тые почвы с различной локализацией оглеения профиля и глубины оподзоленности, а также со вторыми гумусовыми горизонтами, подзолы и дерново-подзолы иллювиально-железистые, серые и темно-серые почвы.

Таким образом, примерно на 9% территории страны в результате уничтожения лесов из-за пожаров в период с 2000 по 2021 год, возможно усиление процессов водной эрозии почв, причем примерно на половине ее вероятность оказалась высокой и очень высокой.

2. Вероятность активизации дефляции почв. Активизация дефляционных процессов в почвах в результате послепожарного исчезновения леса наиболее вероятна в регионах с засушливым климатом и преобладанием в почвенном покрове легких почв.

Составленная карта демонстрирует приуроченность максимального развития дефляционных процессов к горным массивам и возвышенным территориям Енисейского кряжа, Северного Прибайкалья и Забайкалья, террасам Лены в пределах Линде-Виллюй-Ленского междуречья (рис. 3).

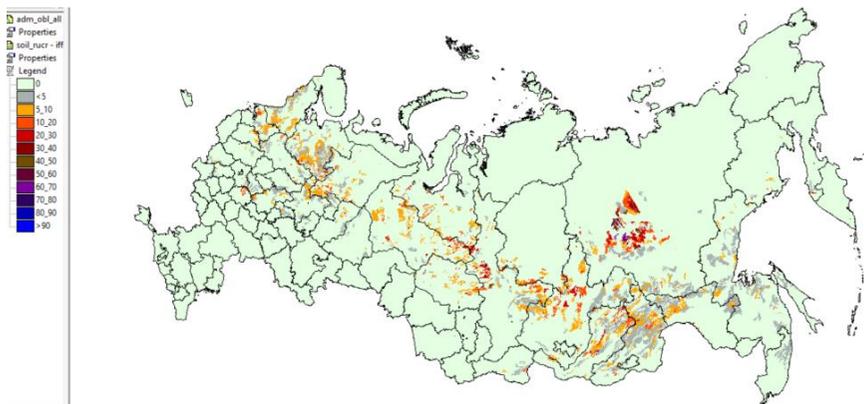


Рис. 3. Вероятность развития дефляции почв в результате постпожарного уничтожения леса

Fig. 3. Probability of soil deflation in areas with tree cover destroyed by fires.

В почвенном покрове здесь значительно участие легких почв: подзолов, подбуров, ржавоземов; в Центральной Якутии в зону риска попали также грубогумусовые палево-метаморфизованные оподзоленные почвы (*палевые оподзоленные на легких породах*), а в Западной Сибири и в европейской России подзолы и дерново-подзолы средней и южной тайги, псаммоземы (*боровые пески*) и дерново-подзолистые почвы на двучленах с легким верхним наносом. В азиатской части страны доля почв в полигонах с высокой вероятностью дефляции варьирует от 5% до 40%. Для европейской России этот вид деградации незначителен.

вероятность менее 5% –	4.34
вероятность 5–10% –	2.61
вероятность 10–20% –	0.98
вероятность 20–30% –	0.39
вероятность 30–40% –	0.10
вероятность 40–50% –	0.06
вероятность 50–60% –	0.04
вероятность 60–70% –	0.03
вероятность выше 70% –	0.00

Таким образом, доля площади почв, где существует в той или иной степени вероятность дефляции в результате уничтожения лесов пожарами в период с 2000 по 2021 гг. составляет около 8% от площади страны. Причем большая ее часть характеризуется вероятностью менее 5%.

3. Вероятность вторичного заболачивания. Развитие послепожарного заболачивания во многом определяется длительностью восстановления растительных сукцессий. В наибольшей мере постпирогенное заболачивание происходит в криолитозоне на почвах тяжелого гранулометрического состава. По данным Петрова (2023), термическое воздействие пожаров приводит к усилению процессов деградации кровли вечной мерзлоты, что усиливает эффект заболачивания почв. Чем меньше мощность сезонного слоя и больше льдистость мерзлоты, тем длительнее экосистема функционирует в режиме повышенной увлажненности за счет потери транспирации.

Наиболее высокая степень вероятного постпирогенного заболачивания почв наблюдается на Центрально-Якутской равнине. В почвенном покрове здесь преобладают палевые, палевые осолоделые (*палевые карбонатные и палевые осолоделые*) и палевые темногумусовые почвы (*серопалевые*). Почвы характеризуются льдистой мерзлотой, замыкающей профиль, с глубиной оттаивания от 130 см в палевых осолоделых почвах до 100 см – в палевых и 50–80 см – в гидроморфных глеевых почвах. Доля почв с высокой степенью развития заболачивания, по данным анализа, для этой территории составляет в некоторых выделах ЕГРПР до 40–50%, а в отдельных случаях достигает 80–90% (рис. 4). К северу и югу, на расчленившихся междуречьях рек, сложенных плотными осадочными породами, она снижается.

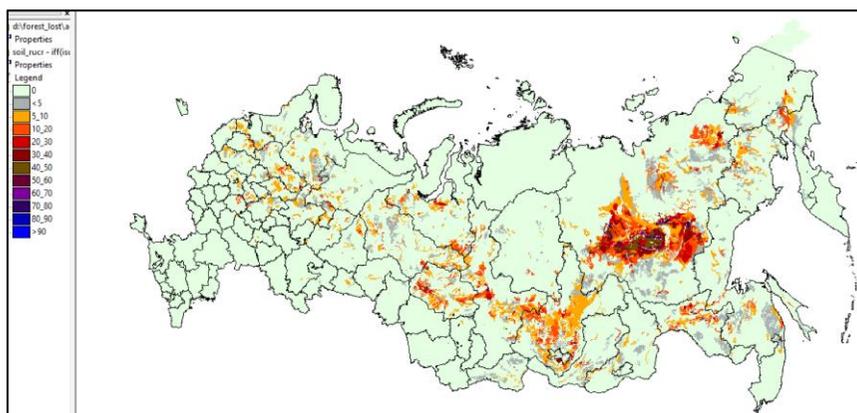


Рис. 4. Вероятность развития заболачивания на почвах в результате постпирогенного уничтожения леса.

Fig. 4. Probability of waterlogging development after fires.

Существенное распространение заболачивания не исключено и в горных котловинах Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Якутии, где в почвенном покрове преобладают глееземы или криоземы глееватые перегнойные и торфянисто-перегнойные.

За пределами криолитозоны вероятность заболачивания (10–30%) отмечена в подтайге Западной Сибири на различных исходно переувлажненных почвах: перегнойно-темногумусовых и перегнойных глееватых и глеевых и их оподзоленных аналогах (*дерново- и перегнойно-глеевых, в том числе оподзоленных*), перегнойно-торфянисто-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых почвах, подзолах глеевых, а в лесотундре и северной тайге – на торфяно-глееземах, глееземах торфянисто-перегнойных и светлоземах глееватых (*таежные глеево-дифференцированные*).

В соответствии с картой, площади выделов ЕГРПР разных классов вероятности составляют от площади страны:

вероятность менее 5% –	4.98
вероятность 5–10% –	5.28
вероятность 10–20% –	2.85
вероятность 20–30% –	0.97
вероятность 30–40% –	0.53
вероятность 40–50% –	0.33
вероятность 50–60% –	0.14
вероятность 60–70% –	0.03
вероятность 70–80% –	0.04
вероятность 80–90% –	0.03
вероятность более 90% –	0.00

Таким образом, доля почв, где существует в той или иной степени вероятность вторичного заболачивания почв в результате уничтожения лесов пожарами в период с 2000 по 2021 гг., составляет около 15%; для большей части территории она не превышает 20%.

Так или иначе, ведущим фактором развития заболачивания остается длительность пребывания нарушенного пожаром биогеоценоза без древесной растительности.

Криогенные процессы

4. Вероятность активизации солифлюкции. Солифлюкция может значительно усиливаться при постпирогенном исчезновении древесной и кустарниковой растительности и деструкции

верхнего органогенного и/или гумусового горизонта (Романовский, 1993).

В результате солифлюкции нарушается естественная мезо- и микроструктура почвенного покрова за счет формирования солифлюкционных террас, валов, потоков в нижних частях склонов и уничтожения почв в других его частях, в результате чего образуются голые пятна, лишенные растительности, которые, сливаясь, образуют солифлюкционные полосы. С солифлюкцией связаны полосчатые линейные формы рельефа – делли, широко распространенные на щебнисто-суглинисто-глинистом делювии плотных пород (Романовский, 1993).

На основании анализа наиболее благоприятных факторов протекания солифлюкции (наличие мерзлотного водоупора на глубине 70–120 см, высокой влажности и тяжелого гранулометрического состава почв, уклонов поверхности от 2–3° до 10–15° и нарушенного органогенно-гумусового верхнего горизонта (Романовский, 1993; Мажитова, 2000; Тарабукина, Саввинов, 1990) была составлена прогнозная карта вероятности активизации процессов солифлюкции в таежных почвах после пожарного уничтожения леса (рис. 5).

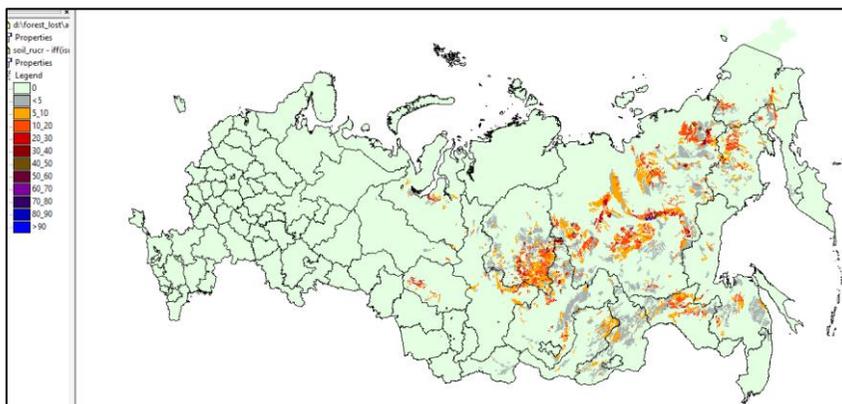


Рис. 5. Вероятность развития солифлюкции на почвах в результате постпирогенного уничтожения леса.

Fig. 5. Probability of solifluction development after fires.

К основным регионам возможного развития солифлюкции относится Якутия. Так, на слабо расчлененных поверхностях Центрально-Якутской равнины солифлюкция может протекать на пологих протяженных склонах, занятых палевыми и палевыми осолоделыми почвами (*палевые карбонатные и палевые осолоделы*), на более расчлененных Приленском и Лено-Алданском плато – грубогумусовыми палево-метаморфизованными и их оподзоленными аналогами (*палевые типичные и палевые оподзоленные*), для которых характерны органогенные и гумусовые горизонты небольшой мощности, а глубина оттаивания льдистой мерзлоты не превышает 80–120 см. На Оленекском и Вилюйском плато, на склонах крутизной 5–8°, на тяжелосуглинистом и глинистом льдистом делювии плотных карбонатных пород формируются криоземы грубогумусовые глееватые остаточно-карбонатные с глубиной оттаивания 70–90 см. Именно для этих плато характерно широкое развитие солифлюкционных пятен, полос и деллей на склонах. Также на карте отмечены обширные территории на северо-востоке Якутии, в Магаданской области, на севере Амурской области и в Забайкалье, где вероятность солифлюкционных процессов связана со склонами, перехватывающими влагу, и близкой льдистой мерзлотой, на которых преобладают мелкоземистые почвы – глееземы и криоземы глееватые торфянисто-перегнойные. На севере Западной Сибири вероятность активизации процессов солифлюкции привязана к наиболее дренированным приречным склонам с глееземами оподзоленными или светлоседами глееватыми. Все перечисленные регионы расположены в пределах криолитозоны.

В соответствии с картой, площадь выделов ЕГРПР разных классов вероятности активизации солифлюкции от площади страны составляет:

вероятность менее 5% –	4.78
вероятность 5–10% –	2.64
вероятность 10–20% –	1.91
вероятность 20–30% –	0.40
вероятность 30–40% –	0.14
вероятность 40–50% –	0.06
вероятность 50–60% –	0.01

вероятность 60–70% –	0.01
вероятность 70–80% –	0.01
вероятность 80–90% –	0.00
вероятность более 90% –	0.00

Таким образом, доля площади почв, где в той или иной степени существует вероятность активизации процесса солифлюкции в результате уничтожения лесов пожарами в период с 2000 по 2021 гг., составляет около 10% от площади страны. Однако вероятность ее возникновения невелика и для большей части территории не превышает 20%.

5. Вероятность активизации термокарста. Явления термокарста напрямую связаны с процессами протаивания высокольдистых отложений и подземных льдов, в результате которых происходит просадка поверхности и возникновение отрицательных форм мезо- и микрорельефа (Романовский, 1993). Постпирогенные явления могут создавать временно благоприятные условия для активизации проседания грунтов, благодаря сочетанию термического эффекта с выгоранием органической толщи (Петров, 2023).

В большей мере проявления постпирогенного термокарста могут наблюдаться на равнинах, в долинах горных рек, межгорных впадинах. Судя по карте, территориально зона наиболее яркого проявления этого процесса приходится на регионы Центрально-Якутской депрессии с распространенными здесь палевыми и палевыми осолоделыми почвами, межгорных впадин Верхояно-Чукотской горной области и террас Лены с господствующими в почвенном покрове глееземами и криоземами, где воздействие пожаров имеет место в сочетании с высокольдистой вечной мерзлотой. В меньшей степени термокарстовым явлениям подвержены регионы Магаданской области и севера Амурской области, где вероятная постпирогенная нарушенность почв не превышает 5% (рис. 6).

В целом по России площади территорий разных классов вероятности активизации термокарста составляют от общей площади страны:

вероятность менее 5% –	3.04
вероятность 5–10% –	1.96

вероятность 10–20 % –	1.43
вероятность 20–30 % –	0.44
вероятность 30–40 % –	0.19
вероятность 40–50 % –	0.08
вероятность 50–60 % –	0.02
вероятность 60–70 % –	0.02
вероятность 70–80 % –	0.01
вероятность 80–90 % –	0.00
вероятность более 90% –	0.00

То есть доля площади почв, где существует в той или иной степени вероятность активизации термокарста в результате уничтожения лесов пожарами в период с 2000 по 2021 гг. составляет около 7% от площади страны.

Безусловно, полученные данные достаточно схематичны в связи с использованием в качестве основы для анализа Почвенной карты масштаба 1 : 2 500 000. При появлении почвенных карт на всю территорию России более крупного масштаба подобный анализ может быть проведен на более детальном уровне. Но в ближайшие десятилетия такая возможность вряд ли появится.

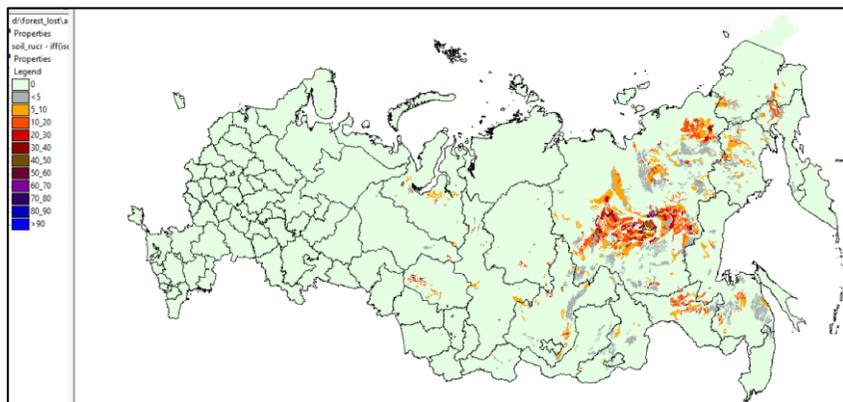


Рис. 6. Вероятность развития термокарста на территориях с уничтоженным пожарами древесным покровом.

Fig. 6. Probability of thermokarst development in the areas with tree cover destroyed by fires.

ВЫВОДЫ

1. Полученная информация об исчезновении лесов в период 2002–2021 гг. подтверждает известное положение о преимущественном уничтожении лесов пожарами в азиатской части страны (до 70%), включая значительную часть территории криолитозоны (до 30%).

2. Проведенная поконтурная диагностика позволила получить количественную информацию о возможной пространственной затронутости каждого полигона Почвенной карты масштаба 1 : 2.5 млн пожарами и последующей активизации процессов постпирогенной деградации почв, которая может проявляться на 16% территории страны.

3. Высокая и очень высокая вероятность развития процессов водной эрозии вплоть до уничтожения почвенного покрова в результате постпирогенного исчезновения леса существует на 4% территории страны: в горах и на плато Предбайкалья, Забайкалья, Северо-Восточной Якутии, в Западном Саяне, на юге Дальнего Востока на преобладающих здесь маломощных щебнистых почвах: подбурах, подзолах, ржавоземах, литоземах, грубогумусовых остаточно-карбонатных почвах.

4. Высокая вероятность развития постпирогенного процесса заболачивания существует в пределах криолитозоны на равнинах Центральной Якутии, в межгорных впадинах и на равнинах Северо-Восточной Якутии, Предбайкалья, на преобладающих здесь тяжелосуглинистых и глинистых почвах с неглубокой льдистой мерзлотой: глееземах, криоземах, палевых почвах, а также вне криолитозоны, в южной и средней тайге восточной части Западно-Сибирской низменности на глееватых и глеевых недифференцированных и текстурно-дифференцированных почвах. Общая площадь таких почв составляет около 0.6% территории страны

5. На базе экспертной оценки и составленных на ее основании прогнозных карт деградации почвенного покрова вследствие лесных пожаров получен ряд убывания процессов по их интенсивности и масштабам изменений ими почвенных свойств: водная эрозия > заболачивание > дефляция > термокарст > солифлюкция.

5. Согласно проведенному анализу только от пожаров 2000–

2021 гг. вероятность активизации разнообразных деградационных процессов в результате уничтожения лесов пожарами проявляется в 25.4% контуров ЕГРПР, причем для многих из них высока вероятность активизации сразу нескольких видов деградационных процессов. Это дополняет информационную картину результатов негативного влияния исследованных факторов на почвы и почвенный покров страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Опыт обновления Почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн в системе классификации почв России // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1411–1420.
2. *Белов С.В.* Лесная пирология. Л., 1976. 63 с.
3. *Валендик Э.Н.* Борьба с крупными лесными пожарами // Новосибирск: Наука, 1990. 191 с.
4. *Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Оконешникова М.В., Филиппов Н.В.* Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 118. С. 231–275. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275>.
5. *Данюлис Е.П., Журич В.М., Сухих В.И., Эльман Р.И.* Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1989. 222 с.
6. *Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н.* Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 144–154. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X14020051>.
7. *Дымов А.А.* Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: Изд-во ГЕОС, 2020. 336 с. DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>.
8. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (гл. ред. *А.Л. Иванов, С.А. Шоба*). М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. 760 с.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
10. *Краснощёков Ю.Н.* Почвы горных лесов Прибайкалья и их трансформация под влиянием пожаров // Почвоведение. 2018. № 4. С. 387–401. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X18040019>.
11. *Краснощёков Ю.Н., Чередникова Ю.С.* Постпирогенная изменчивость

- лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск: СО РАН, 2022. 164 с.
12. *Мажитова Г.Г.* Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья (Магаданская область) // Почвоведение. 2000. №5. С. 619–629.
 13. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им В.В. Докучаева, 2008. 182 с
 14. Основные показатели охраны окружающей среды / Статистический бюллетень. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). 2023. 105 с.
 15. *Петров Д.Г.* Пирогенные почвы бореальных и субарктических областей России: динамика свойств и информационная роль: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2023. 27 с.
 16. *Попова Э.П.* Пирогенная трансформация свойств почв Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал. 1997. №4. С. 413–418.
 17. *Романовский Н.Н.* Основы криогенеза литосферы. М.: Наука, 1993. 335 с.
 18. *Рожков В.А.* Оценка эрозионной опасности почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2007. Вып. 59. С. 77–91.
 19. *Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д.* Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука, 1990. 119 с.
 20. *Чевычелов А.П.* Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств исостава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–278.
 21. Экологический атлас России. М.: Феория, 2017. 509 с.
 22. *Dunkerley D., Martin N., Berg S., Ferguson R.* Fire, catchment run-off and erosion processes, and Post-fire Rehabilitation programs: recent Australian experience // Fire Effects on Soils and Restoration Strategies / Eds. A. Cedra, P.R. Robichaud. Science Publishers. 2009. Vol. 5. P. 467–509. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781439843338>.
 23. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. P. 850–853.
 24. Wildland fire in ecosystems: Effect of fire on soil and water: Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR 32-vol. 4. US Department of Agriculture / Eds. N.G. Daniel, R.C. Kevin, D.F. Leonard (revised 2008). Forest Service. Rocky Mountain Research Station, 2005. 250 p.

REFERENCES

1. Ananko T.V., Gerasimova M.I. Konyushkov D.E., Opyt obnovlenija

Pochvennoj karty RSFSR masshtaba 1 : 2.5 mln v sisteme klassifikacii pochv Rossii (The experience of updating the RSFSR Soil Map on a scale of 1:2.5 million in the Russian soil classification system), *Pochvovedenie*, 2017, No. 12, pp. 1411–1420.

2. Belov S.V., *Lesnaya pirologiya* (Forest pyrology), Leningrad, 1976, 63 p.

3. Valendik E.N., *Bor'ba s krupnymi lesnymi pozharemi* (Fighting large forest fires), Novosibirsk: Nauka, 1990, 191 p.

4. Desyatkin R.V., Nikolaeva M.Ch., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Okoneshnikova M.V., Filippov N.V., The impact of 2021 large forest fires on vegetation and soils, on the territory of distribution of light soil-forming rocks in Central Yakutia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2024, No. 118, pp. 231–275. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275>.

5. Danyulis E.P., Zhirin V.M., Sukhikh V.I., El'man R.I., *Distsionnoe zondirovanie v lesnom khozyaistve* (Remote sensing in forestry), Moscow: Agropromizdat, 1989, 222 p.

6. Dymov A.A., Dubrovskii Yu.A., Gabov D.N., Pirogennye izmeneniya podzolov illuvial'no-zhelezistyykh (srednyaya taiga, Respublika Komi) (Pyrogenic changes of illuvial-ferruginous podzols (Middle taiga, Komi Republic)), *Pochvovedenie*, 2014, No. 2, pp. 144–154.

7. Dymov A.A., *Suktsessii pochv v boreal'nykh lesakh Respubliki Komi* (Soil succession in boreal forests of the Komi Republic), Moscow: OOO "Izd-vo GEOS", 2020, 336 p., DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>.

8. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii* (Unified State Register of Soil Resources of Russia), Moscow: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 2014, 760 p.

9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

10. Krasnoshchekov Yu.N., Pochvy gornykh lesov Pribaikal'ya i ikh transformatsiya pod vliyaniem pozharov (Soils of mountain forests of the Baikal region and their transformation under the influence of fires), *Pochvovedenie*, 2018, No. 4, pp. 387–401, DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X18040019>.

11. Krasnoshchekov Yu.N., Cherednikova Yu.S., *Postpirogennaya izmenchivost' lesnykh pochv v gornom Pribaikal'e* (Post-pyrogenic variability of forest soils in the mountainous Baikal region), Novosibirsk: SO RAN, 2022, 164 p.

12. Mazhitova G.G., Pirogennaya dinamika merzlotnykh pochv Kolym'skogo nagor'ya (Magadanskaya oblast') (Pyrogenic dynamics of permafrost soils of the Kolyma Highlands (Magadan region)), *Pochvovedenie*, 2000, No. 5, pp. 619–629.

13. *Polevoy opredelitel' pochv Rossii* (Field guide to soils of Russia),

Moscow: Pochv. in-t im V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

14. Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchei sredy (Main indicators of environmental protection), *Statisticheskii byulleten'*, 2023, 105 p.

15. Petrov D.G., *Pirogennyye pochvy boreal'nykh i subarkticheskikh oblastei Rossii: dinamika svoystv i informatsionnaya rol'*: Avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk (Pyrogenic soils of boreal and subarctic regions of Russia: dynamics of properties and informational role: Extended abstract of Cand. geogr. sci. thesis), Moscow, 2023, 27 p.

16. Popova E.P., Pirogennaya transformatsiya svoystv pochv Srednego Priangar'ya (Pyrogenic transformation of soil properties in the Middle Angara region), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 1997, No. 4, pp. 413–418.

17. Rozhkov V.A., Otsenka erozionnoi opasnosti pochv (Assessment of soil erosion hazard), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2007, No. 59, pp. 77–91.

18. Romanovskii N.N., *Osnovy kriogeneza litosfery* (Fundamentals of lithospheric cryogenesis), Moscow: Nauka, 1993, 335 p.

19. Tarabukina V.G., Savvinov D.D., *Vliyanie pozharov na merzlotnye pochvy* (Impact of fires on frozen soils), Novosibirsk: Nauka, 1990, 119 p.

20. Chevychelov A.P., Pirogenез i postpirogennyye transformatsii svoystv i sostava merzlotnykh pochv (Pyrogenesis and post-pyrogenic transformations of the properties and composition of permafrost soils), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2002, No. 3, pp. 273–278.

21. *Ekologicheskii atlas Rossii* (Ecological atlas of Russia), Moscow: Feoriya, 2017, 509 p.

22. Dunkerley D., Martin N., Berg S., Ferguson R., Fire, catchment run-off and erosion processes, and Post-fire Rehabilitation programs: recent Australian experience, *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*, Eds. A. Cedra, P.R. Robichaud, Science Publishers, 2009, Vol. 5, pp. 467–509, DOI: <https://doi.org/10.1201/9781439843338>.

23. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G., High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, *Science*, 2013, Vol. 342, pp. 850–853.

24. Wildland fire in ecosystems: Effect of fire on soil and water, *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR 32-vol. 4. US Department of Agriculture*, Eds. N.G. Daniel, R.C. Kevin, D.F. Leonard (revised 2008), Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005, 250 p.