

Послеаварийная динамика флоры и растительности в районе белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции

Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич,
Е. В. Мойсейчик, А. Н. Скуратович

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси,
Республика Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27

Для цитирования: Груммо, Д. Г., Зеленкевич, Н. А., Мойсейчик, Е. В., Скуратович, А. Н. (2023). Послеаварийная динамика флоры и растительности в районе белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 68 (3), 505–528. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.305>

Рассмотрены вопросы динамики растительного покрова в районе белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции. Исследования проводили в границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Объектами исследований являлись флора и растительность региона. В основу исследований положены классические наземные методы изучения флоры и растительности, а также использован многолетний архив спутниковой съемки программы Landsat. Показано, что процессы трансформации флоры и растительности зоны отчуждения проходят преимущественно за счет естественных изменений и антропогенно-стимулированных процессов, связанных с прекращением хозяйственной деятельности. Отмечено поступательное увеличение количества видов сосудистых растений в пределах заповедника, что связано с «запуском» восстановительных процессов растительного покрова после эвакуации населения и практически полного прекращения хозяйственной деятельности. Пространственная изоляция территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника привела к сохранению уровня синантропизации флоры, аналогичного концу 1980-х годов. Центрами закрепления и проникновения синантропных видов в пределах заповедника являются эвакуированные населенные пункты, пустошные земли, бывшие пашни, линейные объекты (дороги) и другие антропогенные местообитания. Ключевым моментом демулационных сукцессий растительности стало увеличение лесопокрытой территории зоны отчуждения. Динамика формационной структуры лесной растительности в послеаварийный период характеризуется резким увеличением участия производных мелколиственных лесов. Процессы динамики лугов проявляются в формировании лесной структуры, закустаривании, заболачивании в результате деградации осушительных систем. Стабильные луга сохранились фрагментарно в пойме реки Припять. На нарушенных торфяниках наблюдаются процессы восстановления болотообразовательных процессов, часть открытых болот в послеаварийный период трансформировалась в болотные леса, а также в редколесья и заросли кустарников. На бывших сельскохозяйственных и селитебных землях преобладают процессы формирования лесов, локально — заболачивание.

Ключевые слова: Чернобыльская атомная электростанция, зона отчуждения, Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, флора, растительность, динамика.

1. Введение

Выделенная вокруг Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) зона отчуждения представляет собой уникальный научный полигон, который может служить экспериментальным полем для разноплановых научных исследований в течение сотен лет. При этом особый научный интерес представляют природные биогеоценозы, являющиеся естественными биогеохимическими стабилизаторами и регуляторами радиоэкологической обстановки в зоне аварии (Козубов и Таскаев, 2002). В 1988 г. в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС был создан Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ).

В последние годы вопросы динамики биоразнообразия (разнообразия видов, сообществ, биотопов) в белорусском секторе зоны аварии на ЧАЭС практически не освещаются. В настоящее время внимание ученых сконцентрировано преимущественно на изучении вопросов биогеохимии техногенных радионуклидов в природных экосистемах, лесовозобновления, морфогенеза, ростовых процессов и морфолого-анатомических особенностей древесных растений (Дидух и др., 1995; Ипатьев и др., 1999; Щеглов, 1999; Алексахин и др., 2001; Экологические последствия аварии..., 2008 и др.). Вместе с тем спустя 35 лет после аварии накопился большой фактический материал наземных исследований, архив данных дистанционного зондирования, анализ которых позволил нам определить некоторые направления динамики растительного покрова в зоне отчуждения.

Основные задачи, которые решались в ходе исследования, были следующие:

- обобщить имеющийся фондовый материал и литературные источники по биоразнообразию (в части растительности и флоры) в до- и послеаварийный периоды;
- с использованием наземных и дистанционных методов исследования провести описание современной структуры флоры и растительности Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в районе белорусского сектора зоны отчуждения ЧАЭС;
- на основе анализа архивного и современного материала определить основные направления динамики растительного покрова района исследования за послеаварийный период.

2. Методика исследования

Исследования проводили в современных границах ПГРЭЗ. Заповедник включает территории Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской области между 51°20'–51°50' северной широты и 29°30'–30°30' восточной долготы. Южная граница проходит вдоль государственной границы с Украиной. Площадь района исследования составляет 216,2 тыс. га.

В схеме геоботанического районирования территория ПГРЭЗ приурочена к Южно-Полесскому геоботаническому району Полесско-Приднепровского округа подзоны широколиственно-сосновых лесов (см. табл. 1.1) (Юркевич и др., 1979).

Объектами исследований являлись ключевые элементы биоразнообразия: флора, растительность.

Фактический материал для подготовки работы был собран в течение 2002, 2017–2020 гг., также использовались материалы, опубликованные в открытых ис-

точниках (Кудин и др., 2014). Применялись маршрутные методы исследований, в ходе которых были проведены наблюдения за характером флоры и растительности¹, установлены места произрастания редких и индикаторных видов растений, выявлены и описаны типичные и редкие сообщества, особенности динамики растительности. Всего за период проведения полевых исследований было собрано и определено 2846 гербарных листов (согласно электронной базе данных, в разные годы в Хойникском районе собрано 1150 листов, на которых представлено 602 вида; на территории Наровлянского района — 825 листов, на которых представлено 480 видов; на территории Брагинского района — 871 лист, на которых представлено 460 видов) и выполнено почти 450 геоботанических описаний.

Значительное место в исследованиях уделялось обработке данных дистанционного зондирования, основанных на использовании многолетнего архива спутниковой съемки. Исследования осуществлялись с применением сервиса платформы облачных вычислений Google Earth Engine. Для анализа динамики лесного покрова использовались также данные специального тематического продукта Hansen Global Forest Change. Оценка точности спутникового тематического продукта (точность производителя) для выделенных категорий динамики лесного растительного покрова составила (Турубанова и др., 2017): а) сокращение лесного покрова 88.2–90% (в различные периоды); б) восстановление лесного покрова — 96.9%; в) восстановление лесного покрова (для нелесных территорий в 1985 г.) — 75.2%.

Для одновременного геоботанического картографирования, пространственного анализа и моделирования применялись возможности геоинформационных систем (Груммо, 2022). В качестве фонового периода для оценки динамических процессов растительного мира был принят 1975 г., поскольку именно этим годом датировалась архивная среднемасштабная (М 1:300 000) геоботаническая карта, использованная в наших исследованиях².

3. Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время в границах заповедника произрастает 1162 вида высших сосудистых растений (по состоянию на январь 2020 г.). Исследования, проведенные в различные годы, демонстрируют поступательное увеличение количества видов сосудистых растений: с 885 (в 2002 г.) до 1162 (в 2020 г.) (Биологическое разнообразие..., 2021; Кудин и др., 2014). Причины такого существенного увеличения, на наш взгляд, следующие:

- детальное обследование бывших населенных пунктов и включение в список произрастающих на приусадебных участках видов растений;
- появление новых адвентивных видов растений (в связи с особым пропускным режимом заповедника их внедрение происходит в основном по периферии территории (Биологическое разнообразие..., 2021);
- расширение масштабов полевых исследований с охватом ранее не изученных и труднодоступных участков радиационно-экологического заповедника;
- более доскональное и глубокое изучение систематически сложных видовых и родовых комплексов.

¹ Полевая геоботаника. Т. I. М.; Л.: Академии наук СССР, 1959; т. III. М.; Л.: Наука, 1964.

² Карта растительности Белорусской ССР. Масштаб 1:300 000 (1975).

Наблюдаемое в последнее время увеличение численности ряда охраняемых растений (некоторые достоверно появились в последние годы) (Биологическое разнообразие..., 2021) связано, по мнению авторов, с «запуском» восстановительных процессов растительного покрова после эвакуации населения и практически полного прекращения хозяйственной деятельности. В целом во флоре ПГРЭЗ обнаружены популяции 44 видов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь³, в том числе категории I (CR) — 5 видов (11%), II (EN) — 4 (9%), III (VU) — 19 (42%), IV (NT) — 16 (38%). По сравнению с первым системным флористическим обследованием территории заповедника в 2002 г. количество охраняемых видов растений увеличилось почти в 2 раза — с 22 (в 2000 г.) до 44 (в 2020 г.): не учитываются виды, ранее бывшие под охраной, но в последнем издании Красной книги Республики Беларусь (2015) не вошедшие в нее. Это значит, что увеличение числа охраняемых таксонов произошло в основном в результате новых находок (17 видов). Лишь 5 видов из этого списка были известны здесь и ранее, но не находились под охраной. Профилактический режим охраны рекомендован для 20 видов флоры⁴.

Следует предположить, что количество охраняемых видов растений во флоре ПГРЭЗ достигло некоторого оптимума и можно прогнозировать в ближайшем будущем стабилизацию или даже некоторое сокращение их количества (до 30–35) за счет выпадения из состава ценозов опушечных, особенно луговых видов и в меньшей степени болотных видов, вследствие активного формирования в зоне отчуждения лесного покрова.

Наличие особого пропускного режима на территории ПГРЭЗ привело к тому, что здесь синантропизация флоры сохранилась на уровне конца 1980-х годов, что значительно ниже, чем в целом по Беларуси. Так, например, борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) отмечен лишь для центральной усадьбы заповедника, а не менее агрессивные золотарники (золотарники канадский (*Solidago canadensis* L.) и гигантский (*S. gigantea* Aiton.)) на территории ПГРЭЗ встречаются в единичном количестве всего в пяти бывших населенных пунктах. В целом в границах радиационно-экологического заповедника выявлено 42 вида, или 79%, из числа видов, которые признаны в Беларуси агрессивными инвазионными видами (всего 53) (Турчин, 2019; Черная книга флоры..., 2020; Биологическое разнообразие..., 2021). Установлено, что инвазионная активность этих 42 видов в пределах модельной территории неоднородная. К видам-трансформерам (растения, которые приводят к коренной трансформации растительного покрова) можно отнести восемь таксонов во флоре ПГРЭЗ: череда олиственная (*Bidens frondosa* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia* L.), мелколестники однолетний и северный (*Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort., *Ph. septentrionale* (Fernald & Wiegand) Tzvelev), облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.), топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun) (Биологическое разнообразие..., 2021).

На основе наземных исследований и пространственного анализа в пределах ПГРЭЗ выделено 100 основных центров распространения чужеродных видов растений (общей площадью 8,5 тыс. га). Центрами их закрепления и проникновения

³ Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений (2015). 4-е изд. Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі.

⁴ Там же.

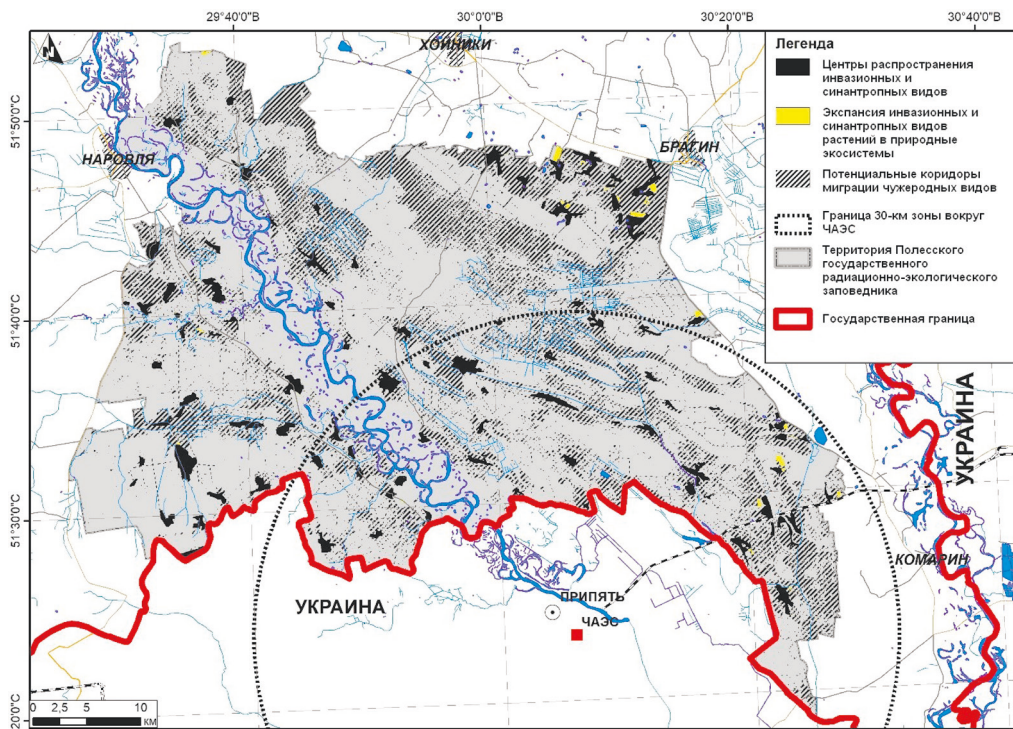


Рис. 1. Моделирование распространения чужеродных видов растений на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

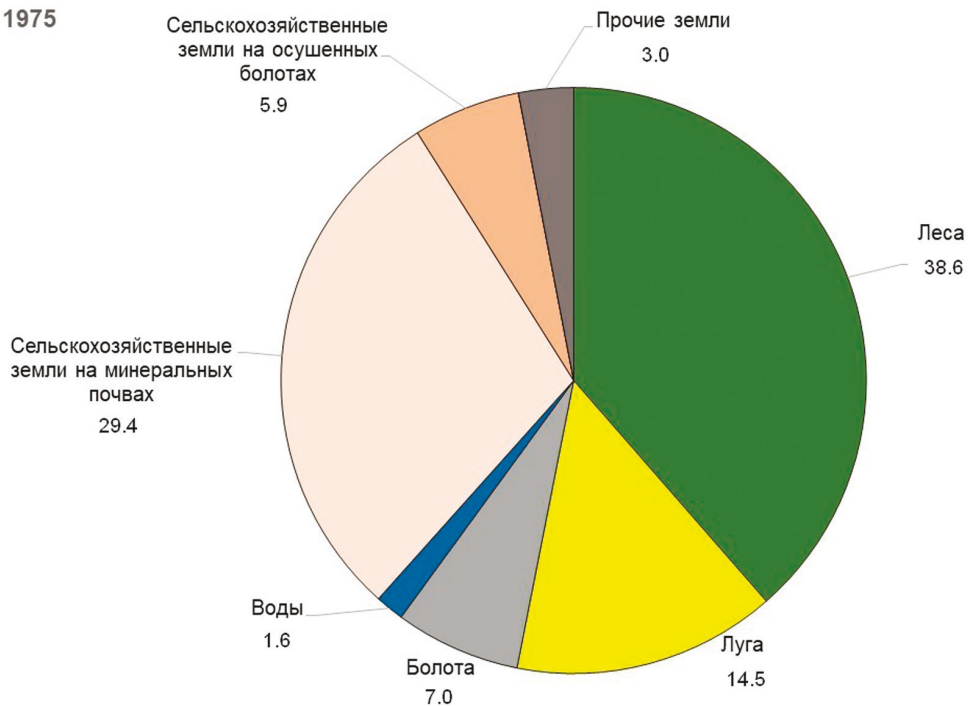
являются бывшие населенные пункты, пустошные земли, линейные объекты (дороги) и другие антропогенные местообитания (рис. 1). В пределах лесных массивов, слабо нарушенных хозяйственной деятельностью, фитоценотическая значимость чужеродных видов минимальна. Пространственный анализ распространения инвазий показывает, что потенциальные коридоры для проникновения синантропных (в том числе и инвазионных) видов занимают площадь 62,4 тыс. га (28,5 % площади ПГРЭЗ). Это свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга территории на предмет контроля опасных инвазий чужеродных растений.

В результате исследований установлено, что в фоновый период (в 1975 г.) леса занимали 83,4 тыс. га (лесистость — 38,6 %) (рис. 2). Обзор литературных источников (Юркевич и Гельтман, 1965; Юркевич и др., 1979), архивной геоботанической карты⁵ позволяет охарактеризовать основные черты лесной растительности исследуемой территории в доаварийный период следующим образом:

- преобладание бедных песчаных почв обусловило исключительное распространение сосновых (*Pineta sylvestris*) лесов (56,6 % лесопокрытой территории);
- распространение отрицательных форм рельефа, а также специфика гидрологического режима определяют довольно значительное распространение формаций болотных лиственных (*Betuleta pubescentis*, *Alneta glutinosae*) лесов (14,6 %);

⁵ Карта растительности Белорусской ССР. Масштаб 1:300 000 (1975).

1975



2020

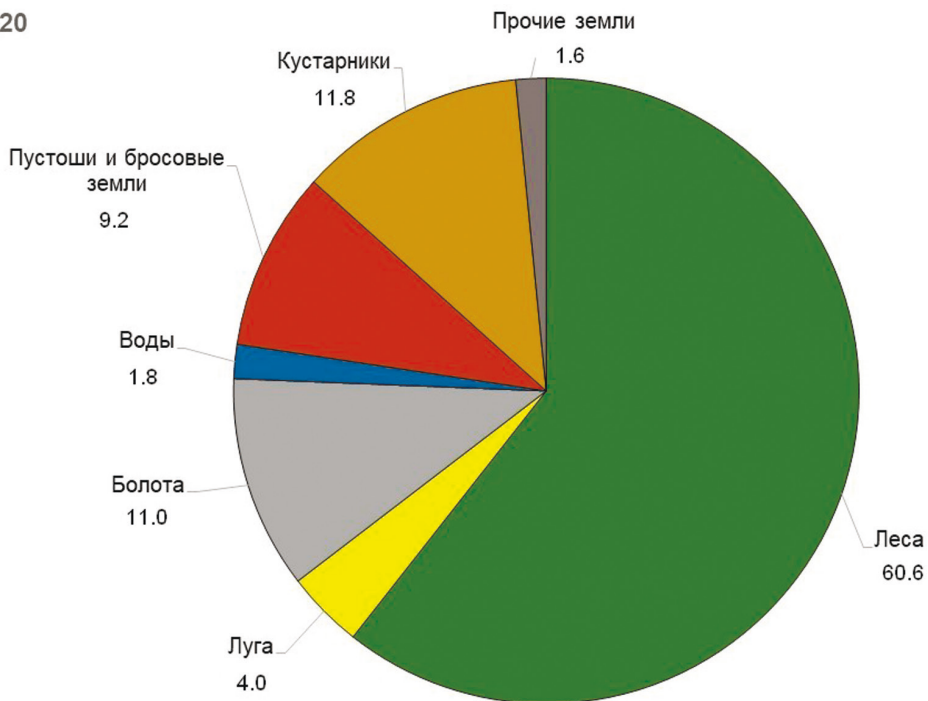


Рис. 2. Структура земельного фонда Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в до- (1975) и послеаварийный (2020) периоды, %

— относительно высоким участием характеризовались широколиственные леса (*Querceta roboris*, *Carpineta betulis*, *Fraxineta excelsioris*) (12.7%), встречавшиеся компактными участками среди сосновых (*Pineta sylvestris*) и производных мелколиственных лесов (*Betuleta pendulae*, *Populeta tremulae*);

— ельники (*Piceeta abietis*) распространены фрагментарно (0.2%);

— интенсивное хозяйственное использование территории определило высокое участие (15.5% лесопокрытой площади) производных мелколиственных лесов.

В целом в доаварийный период формационная структура лесов зоны отчуждения была близка к фоновой лесной растительности Южно-Полесского геоботанического района (Юркевич и др., 1979), но характеризовалась повышенным участием вторичных мелколиственных лесов (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика формационной структуры лесов ПГРЭЗ и Южно-Полесского геоботанического района в до- и послеаварийный период, % лесопокрытой площади

| Леса | До аварии (1975 г.) | | После аварии | | |
|--|---------------------|-------------------------|--------------------|-------|-----------------------|
| | зона отчуждения* | геоботанический район** | зона отчуждения*** | | геоботанический район |
| | | | 2011 | 2021 | |
| Сосновые (<i>Pineta sylvestris</i>) | 56.5 | 67.2 | 43.2 | 47.4 | 60.9 |
| Еловые (<i>Piceeta abietis</i>) | 0.2 | 0.2 | < 0.1 | < 0.1 | 0.1 |
| Дубовые (<i>Querceta roboris</i>) | 12.7 | 10.4 | 6.2 | 8.1 | 5.6 |
| Ясеневые (<i>Fraxineta excelsioris</i>) | – | 0.1 | 0.6 | 0.8 | 0.1 |
| Грабовые (<i>Carpineta betulis</i>) | – | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| Повислоберезовые (<i>Betuleta pendulae</i>) | 14.6 | 6.5 | 28.1 | 23.9 | 20.3 |
| Осиновые (<i>Populeta tremulae</i>) | 0.9 | 1 | 0.5 | 0.4 | 0.6 |
| Пушистоберезовые (<i>Betuleta pubescentis</i>) | 2.1 | 7.4 | 1.9 | 1.6 | 2.1 |
| Черноольховые (<i>Alneta glutinosae</i>) | 12.5 | 6.9 | 12.3 | 11.1 | 8.1 |
| Прочие | – | – | 6.9 | 6.4 | 2 |

*Карта растительности Белорусской ССР. Масштаб 1:300 000 (1975).

** (Юркевич и Гельтман, 1965).

*** Проект организации и ведения лесного хозяйства «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на 2013–2022 гг. (2012).

В отношении распространения других типов наземной растительности в доаварийный период можно отметить следующее (рис. 2):

— луговая растительность занимала 31.4 тыс. га (14.5 %) и была представлена пойменными и суходольными (внепойменными) типами;

— среди лугов преобладали пойменные злаковые остепненные луга (21.9 тыс. га — 10.1 %);

— болотная растительность представлена сообществами низинных болот (15.0 тыс. га — 7.0 %);

— площадь сельскохозяйственных земель была значительной (76.4 тыс. га — 35.3 %), в том числе пахотные земли, культурные сенокосы и пастбища на месте осушенных низинных болот — 12.8 тыс. га (5.9 %), сельскохозяйственные земли на минеральных почвах — 63.6 тыс. га (29.4 %).

Доминирующими факторами, определяющими современную картину сукцессионных смен растительности, являются естественные процессы. Вместе с тем существенную роль играют антропогенно-стимулированные процессы формирования растительности, связанные с эвакуацией населения и практически полным прекращением хозяйственной деятельности (зарастание бывших сельскохозяйственных земель, населенных пунктов, заболачивание). В последние годы стоит отметить и поступательное увеличение роли прямодействующих антропогенных факторов (лесные и торфяные пожары, сплошные рубки леса) (рис. 3).

Спустя 35 лет после аварии (см. рис. 2) доля лесных земель в пределах исследуемой территории составила 60.6 % (+22.0 % по отношению к доаварийному периоду), лугов — 4.0 % (–10.5 %), болот — 11.0 % (+4.0 %). На месте бывших сельскохозяйственных земель сформировались пустоши и залежи (9.3 %), кустарниковые заросли (11.8 %), здесь также запущены активные лесо- и болотообразовательные процессы.

Рассмотрим более детально основные направления трансформации растительного покрова по основным типам.

Узловым моментом демулационных сукцессий является увеличение лесопокрываемой территории (рис. 3). Лесистость зоны отчуждения по сравнению с фоновым периодом (в 1975 г.) имела тенденцию поступательного увеличения и составила в 1990 г. — 45.1 % (+6.9 %); в 2000 г. — 50.9 % (+12.4 %); в 2011 г. — 55.9 % (+17.4 %), в 2020 г. — 60.6 % (+22,0 %). Темп облесения зоны отчуждения составил в среднем 0.47 % в год, в том числе по периодам: 1975–1990 гг. — 0.41 %; 1991–2000 гг. — 0.58 %; 2001–2011 гг. — 0.48 %, 2012–2020 гг. — 0.47 %.

Реконструкция динамики лесного покрова ПГРЭЗ за послеаварийный период (с 1985 по 2020 г.), полученная на основе алгоритмов использования разновременных спутниковых данных программы Landsat (Potapov et al., 2014; Турубанова и др., 2017), проиллюстрирована на рис. 4. Анализируя полученные данные, следует отметить, что стабильные лесные земли (с сохранением структуры, без признаков повреждения и деградации) в настоящее время занимают 83 944.1 га, или 38.8 %, территории ПГРЭЗ; лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) не лесных землях, — 47 776.2 га (22.0 %). Потери лесов в последние годы (с 2011 по 2020 г.) выявлены на площади 5 742.3 га (2.7 %); потери лесов с последующим формированием лесной структуры (посадки лесных культур, естественное лесозарастание) — 803.4 га (0.4 %). В структуре гибели лесов преобладают следующие причины: вредители и бо-

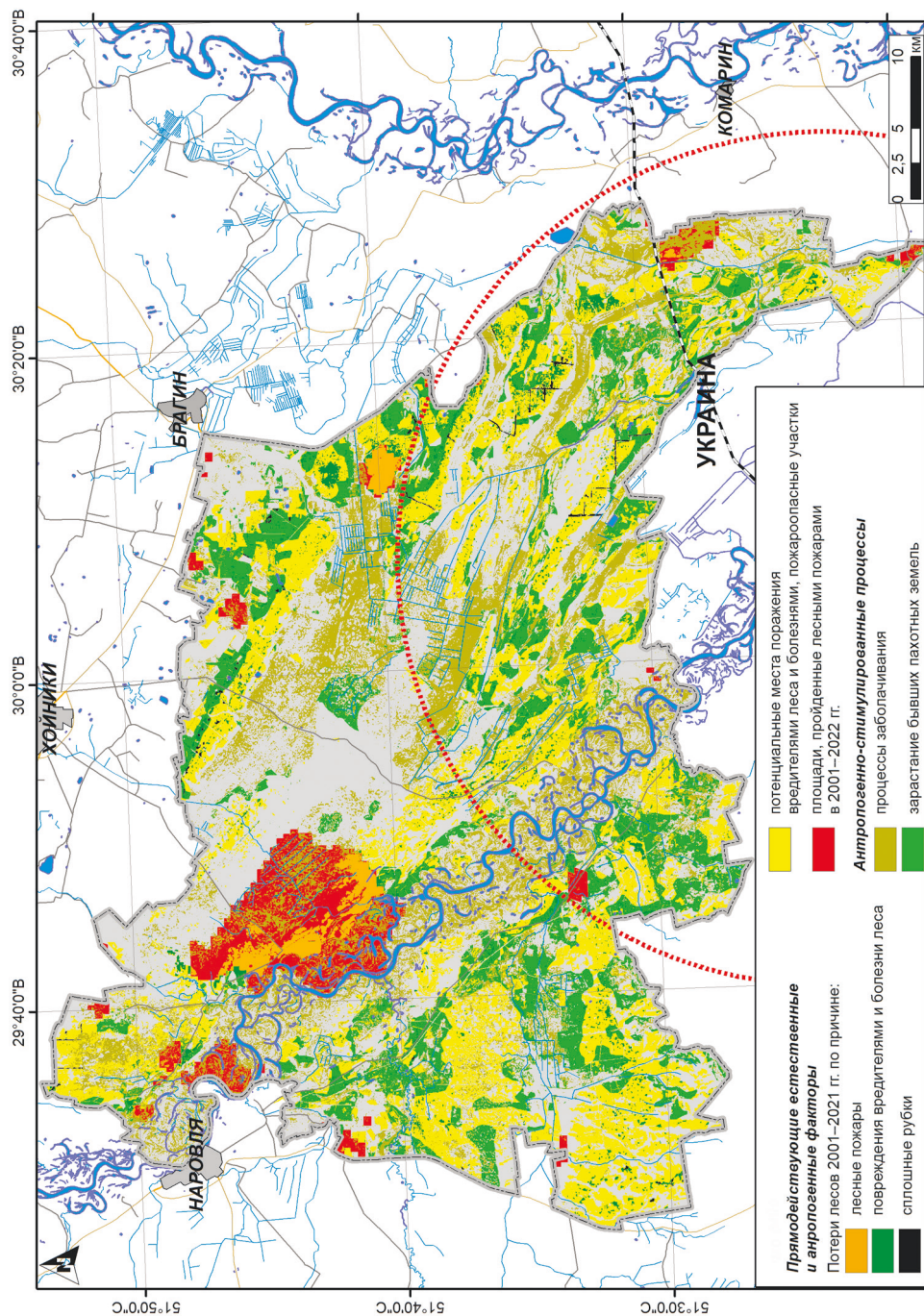


Рис. 3. Карта факторов, определяющих динамику лесной растительности в белорусском секторе отчуждения

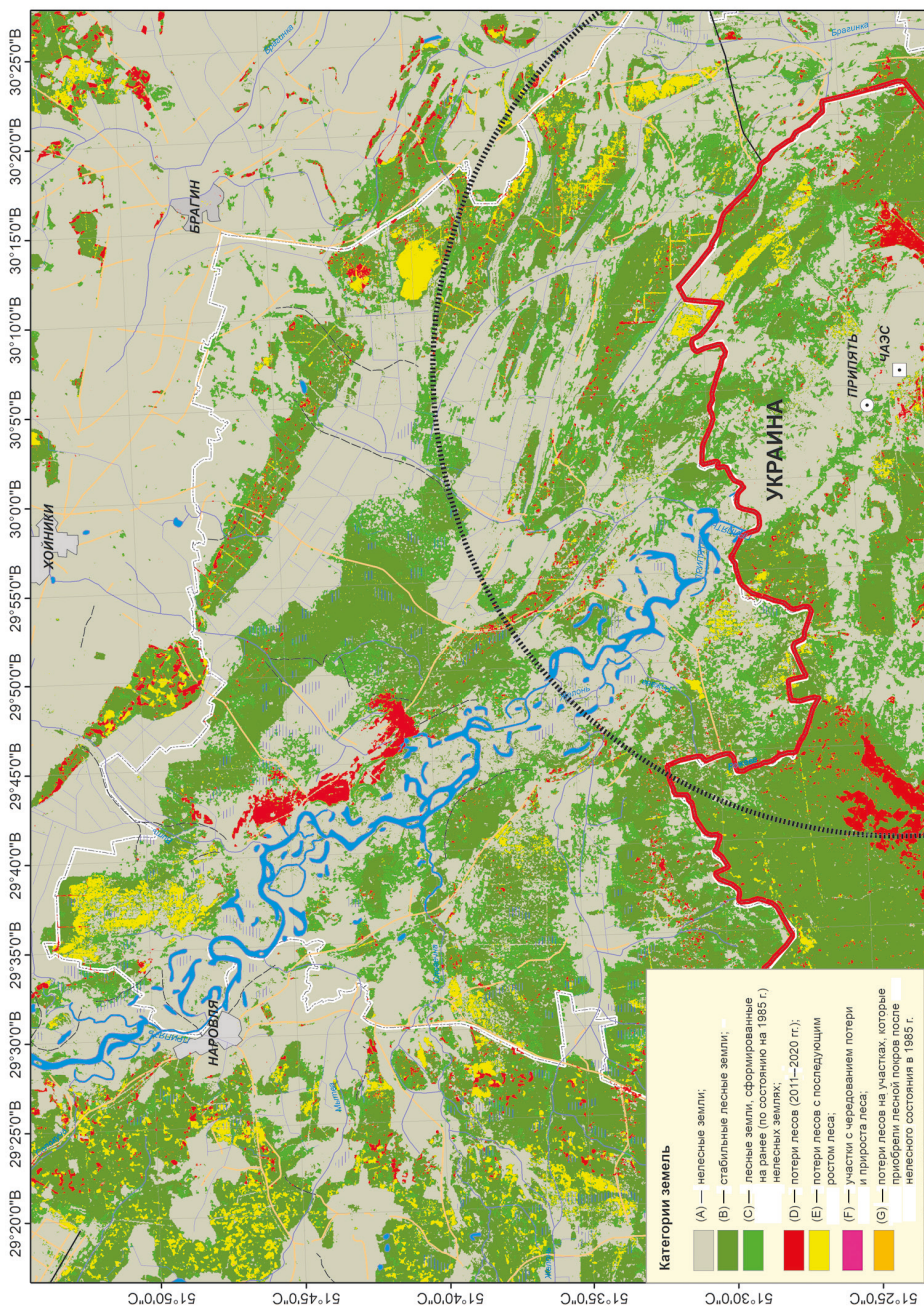


Рис. 4. Изменение лесного покрова Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и прилегающих территорий за период с 1985 по 2020 г. Составлено по данным: Global Land Analysis & Discovery (2021). [online] URL: <http://glad.geog.umd.edu/>. [Дата обращения 24.05.2021]

лезни леса (71.2% от общего числа выявленных случаев гибели в 2001–2020 гг.), гибель после повреждения пожарами — 23.0%, сплошные рубки — 5.8%.

Динамика лесной растительности (рис. 5) в послеаварийный период характеризуется резким ростом участия формаций производных лесов. По сравнению с фоновым периодом (в 1975 г.) их площадь увеличилась в 3.4 раза и составила 43 тыс. га, или 20.6% площади зоны отчуждения. Наряду с вторичными березовыми лесами, площадь которых увеличилась в 2.8 раз (с 12.1 до 34.5 тыс. га), активный характер распространения имеют фитоценозы, эдификатором в которых являются адвентивные древесные виды (*Robinia pseudoacacia*, виды рода яблоня (*Malus* spp.), *Acer negundo* и др.). Доля этих лесов поступательно растет: 2.7% (2000) < 3.9% (2011) < 4.3% (2020). Такие насаждения развиваются, как правило, на бывших сельскохозяйственных землях в пределах или в окрестностях отселенных деревень (см. рис. 1) (Гарбарук и др., 2020; Биологическое разнообразие..., 2021).

Современная формационная структура лесов (на 2020 г.) зоны отчуждения характеризуется преобладанием сосновых (47.4% лесопокрытой территории) и повислоберезовых (23.9%) лесов. Относительно высоким участием характеризуются черноольховые (11.1%) и дубовые (8.1%) насаждения. Фрагментарно представлены ясеновые (0.8%), грабовые (0.3%), пушистоберезовые (1.6%), осиновые (0.4%), еловые (<0.1%) леса.

Сравнительный анализ формационной структуры лесов зоны отчуждения и Южно-Полесского геоботанического района показал (см. табл. 1), что по сравнению с фоновым геоботаническим районом доля сосновых лесов снижается и, напротив, доля производных березовых и коренных болотных лесов увеличивается. В основе этих сукцессионных процессов лежат как естественные, так и антропогенные механизмы (рис. 5).

Снижение участия основной лесобразующей породы региона может быть связано с тем, что естественное возобновление сосняков (особенно в сухих песчаных экотопах с бедными дерново-слабоподзолистыми почвами) идет очень медленно. По данным лесоустройства, на 96.2% не покрытых лесом землях (с целевой породой — сосной (*Pinus sylvestris* L.)) возобновление основной лесобразующей породы отсутствует⁶. Темпы же искусственного восстановления для сосны также являются невысокими: за 2001–2011 гг. было создано 2.4 тыс. га лесных культур сосны.

В этих условиях основное преимущество получают лиственные лесобразующие породы. В зоне отчуждения, в так называемой «лигнозной» стадии демутации (Дідух и др., 1994; Козубов и Таскаев, 2002) доминируют в зависимости от трофности почв береза повислая (*Betula pendula* Roth), осина (*Populus tremula* L.), а также формируются заросли ив (*Salix* spp.) и т. д.

Эти сообщества являются предвестниками формирования типичных коренных ценозов с доминированием сосны и дуба (*Quercus robur* L.) (Дидух и др., 1995). Однако темп таких изменений чрезвычайно низкий. Так, например, в предыдущее десятилетие (2001–2011 гг.) под естественное возобновление было оставлено 36 тыс. га территории зоны отчуждения, успешное лесовозобновление за этот период признано только на 7.2 тыс. га (20%)⁷.

⁶ Проект организации и ведения лесного хозяйства «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на 2013–2022 гг. (2012).

⁷ Там же.

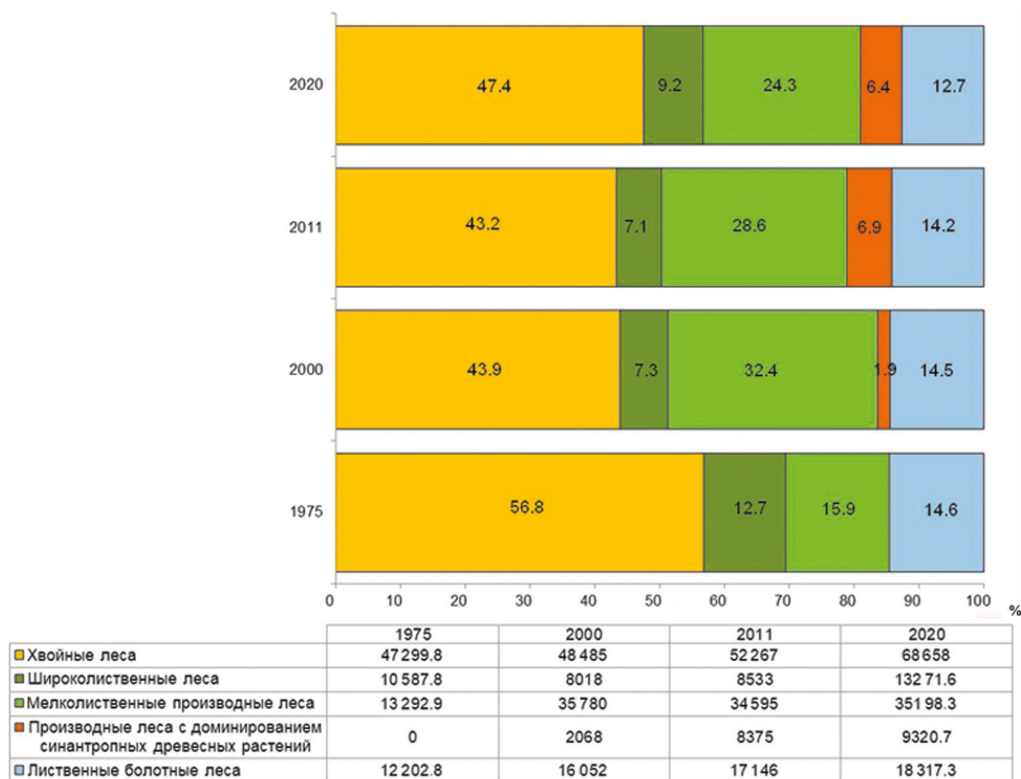


Рис. 5. Динамика структуры лесов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Следует также отметить, что в динамике распространения производных лиственных лесов прослеживается определенная тенденция. Наиболее активное увеличение доли этих лесов наблюдалось до 2000 г. (фактически после снятия антропогенного пресса в 1987–2000 гг.). Площадь данной категории лесов к 2000 г. по сравнению с контрольным периодом (1975) увеличилась на 18,5 тыс. га (или в 2,9 раза), за период с 2001 по 2011 г. (по отношению к 2000 г.) увеличение составило 5,1 тыс. га, за 2012–2020 гг. — 1,5 тыс. га (по отношению к 2011 г.). Это может свидетельствовать о стабилизации (или даже завершении) процесса экспансии вторичных лесов в районе катастрофы вследствие заселения наиболее экологически благоприятных местообитаний.

Увеличение доли лесов на торфяных болотах обусловлено зарастанием мелиорированных бывших сельскохозяйственных земель, а также открытых (нелесных) болот. Для отображения динамического состояния лесов ПГРЭЗ нами составлена тематическая карта. В основу ее построения положена классификационная схема Дж. Века (Weck, 1956), характеризующая происхождение, стадию и фазу динамики биогеоценоза. Лесная растительность (включая участки ранних стадий облесенности) подразделена на пять блоков: 1) естественные леса (16,8% площади заповедника); 2) антропогенные леса, близкие к естественным (23,2%); 3) антропогенные леса на хозяйственно преобразованных местообитаниях (38,6%); 4) искусственные леса

(11.6%); 5) прочие земли (9.8%). Внутри блоков выделены от 2 до 4 картируемых единиц, отражающих происхождение и динамическое состояние (рис. 6 и табл. 2).

На значительной площади в центральном и юго-западном секторах ПГРЭЗ доминируют естественные условно-коренные и длительно производные леса (1 на рис. 6), а также близкие к ним антропогенные (5 на рис. 6). Они занимают 38.6 тыс. га (17.8% площади района исследования). Относительно устойчивые производные леса (2 на рис. 6) встречаются локально и занимают 1.2 тыс. га (0.6%). Значительно шире распространены близкие к естественным вторичные производные леса, в которых хозяйственное вмешательство значительно изменило структуру древостоя, но состав и местообитание остались близкими к естественным — 18.3 тыс. га (8.5%). Они сконцентрированы преимущественно в южной части заповедника (6 на рис. 6).

Лесообразовательные процессы на бывших нелесных землях (в доаварийный период) происходят практически на всей территории ПГРЭЗ, как на антропогенно преобразованных местообитаниях (на осушенных землях, территориях бывшего сельскохозяйственного или иного использования и др.), так и на почвах, ранее не бывших под лесом (на дюнах, аллювии, торфе и др.) (3, 7–10 на рис. 6). В целом общая площадь территории, где проявляются эти процессы в различной степени выраженности, составляет 110.8 тыс. га (51.2%).

Доля искусственных лесов на исследуемой территории — 11.6%, при этом преобладают леса (15.7 тыс. га — 7.3%), где состав и структура древостоя незначительно отличается от естественных насаждений (11 на рис. 6). Преимущественно эти лесные культуры созданы в доаварийный период в центральном и юго-западном секторах. Искусственные леса на преобразованных местообитаниях занимают 9.3 тыс. га (4.3%) и сконцентрированы небольшими участками по всей характеризующейся территории (12 на рис. 6). Потери лесов последних лет (с 2016 по 2020 г.) составили 4.1 тыс. га (1.9%). Стабильные участки, где лесообразовательные процессы слабо выражены или отсутствуют, составляют 7.9% от площади ПГРЭЗ.

На месте эвтрофных болот и заболоченных лугов спустя несколько лет после аварии преобладали ассоциации с доминированием осок пузырчатой (*Carex vesicaria* L.) и острой (*C. acuta* L.), манника большого (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), полевицы побегообразующей (*Agrostis stolonifera* L.), мятлики болотного (*Poa palustris* L.) и других видов. В настоящее время эти растительные сообщества в значительной степени зарастают древесно-кустарниковой растительностью (ивами трехтычинковой (*Salix triandra* L.), пятитычинковой (*S. pentandra* L.), пепельной (*S. cinerea* L.), ольхой черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn) и др.). Наличие подобных ценозов обусловлено переувлажнением в результате деградации осушительных систем, их площади постепенно увеличиваются. Подобные ассоциации с более сухими условиями постепенно переходят в черноольховые насаждения с гидрофильным покровом, чаще осоковым.

В настоящее время стабильные открытые болота (ненарушенный естественный гидрологический режим, зарастание древесно-кустарниковой растительностью < 10%) занимают 0.8 тыс. га, или 15.3% от общей площади болот. На площади 7.9 тыс. га (63.9%) наблюдаются процессы восстановления болотообразовательных процессов на нарушенных торфяниках, 1.7 тыс. га открытых (нелесных) болот (13.9%) в послеаварийный период трансформировались в болотные леса, 2.1 тыс. га (16.6%) — в редколесья и заросли кустарников (рис. 7).

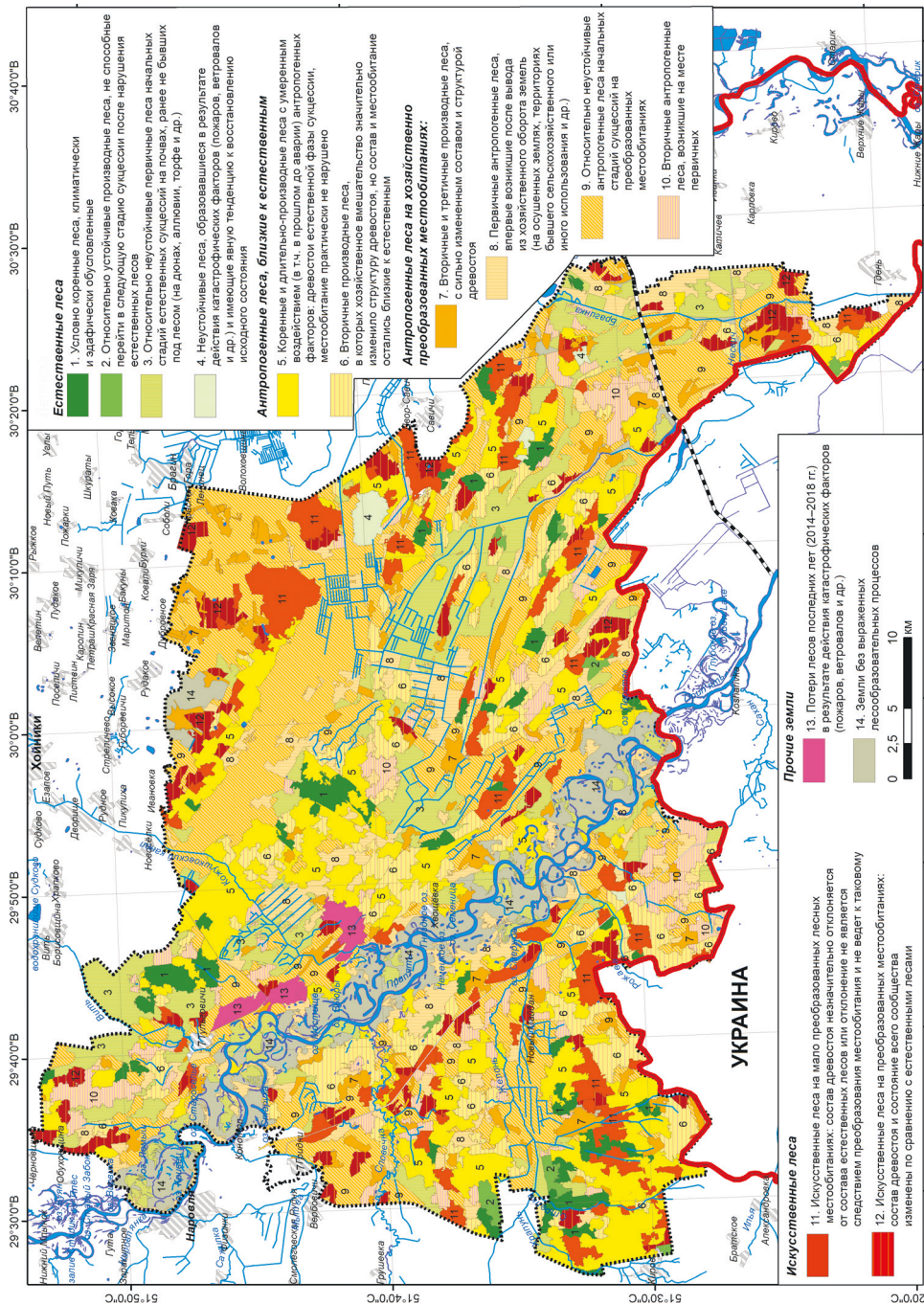


Рис. 6. Карта динамического состояния лесов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Таблица 2. Динамическое состояние лесов ПГРЭЗ (по состоянию на 2020 г.)

| Категория | Площадь | |
|---|-------------|-------------|
| | тыс. га | % |
| Естественные леса | 36.3 | 16.8 |
| 1. Условно-коренные леса, климатически и эдафически обусловленные | 6.7 | 3.1 |
| 2. Относительно устойчивые производные леса | 1.2 | 0.6 |
| 3. Относительно неустойчивые первичные леса начальных стадий естественных сукцессий на почвах, ранее не бывших под лесом (на дюнах, аллювии, торфе и др.) | 27.3 | 12.6 |
| 4. Неустойчивые леса, образовавшиеся в результате действия катастрофических факторов (пожаров, ветровалов и др.) и имеющие явную тенденцию к восстановлению исходного состояния | 1.1 | 0.5 |
| Антропогенные леса, близкие к естественным | 50.2 | 23.2 |
| 5. Коренные и длительно-производные леса с умеренным воздействием (в том числе до аварии) антропогенных факторов: древостои естественной фазы сукцессии, местообитание практически не нарушено | 31.9 | 14.7 |
| 6. Близкие к естественным вторичные производные леса, в которых хозяйственное вмешательство значительно изменило структуру древостоя, но состав и местообитание остались близкие к естественным | 18.3 | 8.5 |
| Антропогенные леса на хозяйственно преобразованных местообитаниях | 83.5 | 38.6 |
| 7. Вторичные производные леса, с сильно измененным составом и структурой древостоя | 1.0 | 0.5 |
| 8. Первичные антропогенные леса, впервые возникшие после вывода из хозяйственного оборота земель (на осушенных безлесных торфяниках, используемых в сельскохозяйственных целях в доаварийный период) | 18.9 | 8.7 |
| 9. Относительно неустойчивые антропогенные леса начальных стадий сукцессий на преобразованных местообитаниях | 53.9 | 24.9 |
| 10. Вторичные антропогенные леса, возникшие на месте первичных | 9.7 | 4.5 |
| Искусственные леса на лесных землях | 25.0 | 11.6 |
| 11. Искусственные леса на мало преобразованных лесных местообитаниях: состав древостоя незначительно отклоняется от состава естественных лесов или отклонение не является следствием преобразования местообитания и не ведет к таковому | 15.7 | 7.3 |
| 12. Искусственные леса на преобразованных местообитаниях: состав древостоя и состояние всего сообщества изменены по сравнению с естественными лесами | 9.3 | 4.3 |
| Прочие земли | 21.2 | 9.8 |
| 13. Леса, погибшие в последние годы (2016–2020) в результате действия негативных естественных и антропогенных факторов (пожаров, гарей, усыхания и др.) | 4.1 | 1.9 |
| 14. Земли без выраженных лесообразовательных процессов | 17.1 | 7.9 |

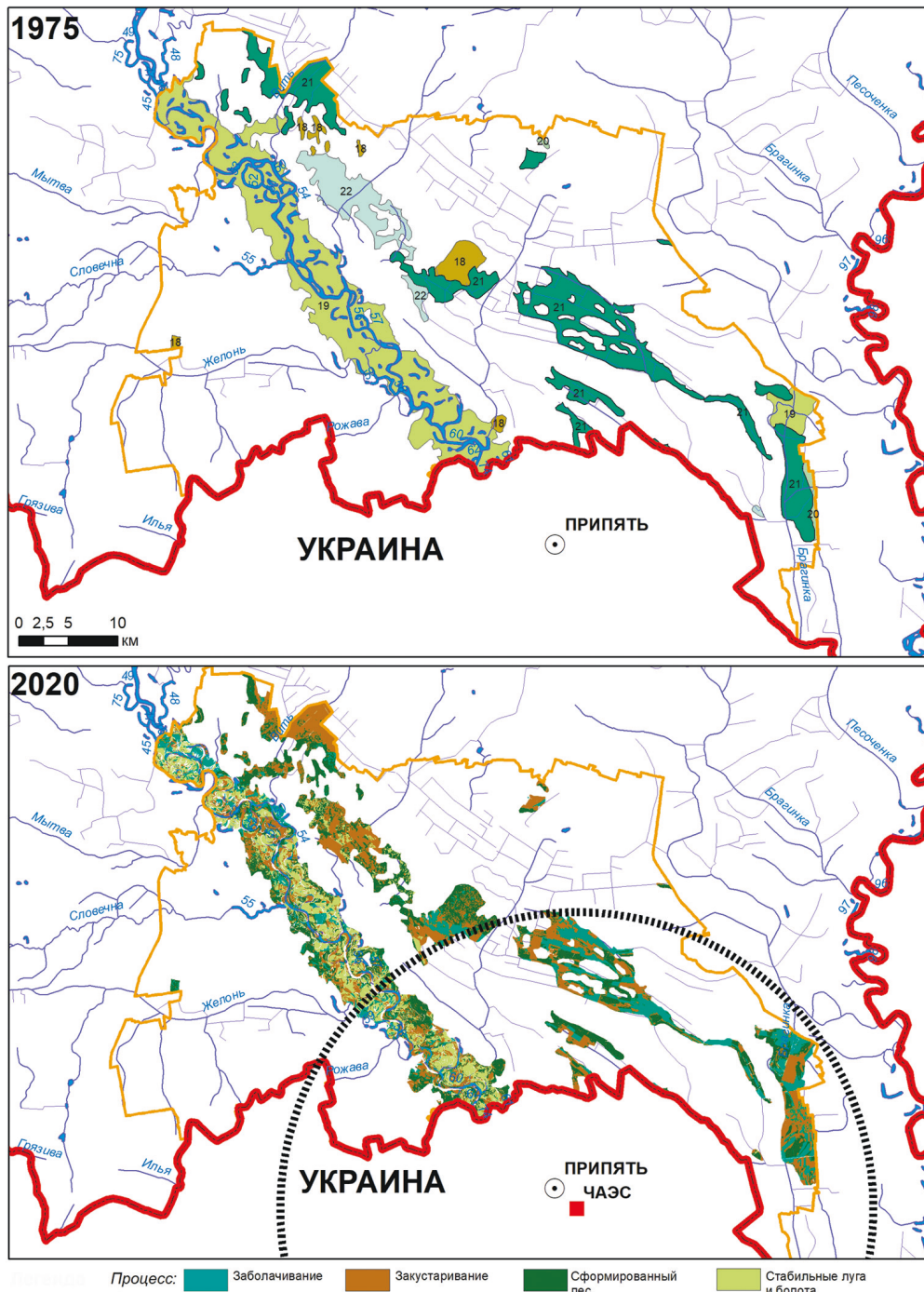


Рис. 7. Динамические процессы лугово-болотной растительности на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Настоящие луга (с преобладанием лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis* L.), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) прирусловой части речной поймы в условиях переменного увлажнения проходят через стадию ивняков (*Salix triandra*, *S. pentandra* и др.). Данные сообщества постепенно сменяются заливными ивовыми лесами (*Saliceta fragilis*).

Отдельные луговые угодья трансформируются в так называемые «грушовники» со значительным участием или доминированием груши обыкновенной (*Pyrus communis* L.) или, что отмечается значительно реже, в боярышниковые заросли из боярышника однопестичного (*Crataegus monogyna* Jacq.) (Гарбарук и др., 2020; Биологическое разнообразие..., 2021).

Процессы динамики лугов проявляются: 1) в формировании лесной структуры на площади 12.5 тыс. га, или 30.4 % от площади лугов в доаварийный период; 2) закустаривании — 13.4 тыс. га (32.4 %); 3) заболачивании в результате деградации осушительных систем — 7.9 тыс. га (19.1 %). Доля стабильных лугов составляет 7.5 тыс. га (18.2 %), они сохранились фрагментарно в пойме реки Припять (см. рис. 7).

Бывшие пахотные земли проходят сложный путь зарастания со сменой лесных пород — березы повислой, осины, ивы козьей (*Salix caprea* L.), куда активно проникают дуб черешчатый, сосна обыкновенная. Заключительным этапом, на котором завершится процесс сукцессии, является формирование коренных хвойных и хвойно-широколиственных лесов. На некоторых участках с дерново-слабоподзолистыми почвами березово-сосновую стадию заменяет сосновая, в которой доминируют ассоциации *Pinetum pleurozium*, *P. vaccinosum*.

Территории, ранее занятые населенными пунктами, в условиях свежих экотопов, обогащенных гумусом, азотом, где сейчас господствуют клен ясенелистный, робиния ложноакациевая, постепенно будут заселять древесные породы, как лиственные, так и хвойные, в результате чего здесь сформируются дубово-сосновые леса (*Querceto-Pineta*).

В целом на бывших сельскохозяйственных и селитебных землях в настоящее время леса занимают 34.7 тыс. га (41.8 %), лесные редины на начальных этапах формирования лесной структуры — 27.1 тыс. га (32.7 %). На осушенных для целей сельскохозяйственного использования землях в северной части ПГРЭЗ доминируют процессы заболачивания и закустаривания (рис. 8).

Наиболее сухие песчаные экотопы с бедными дерново-слабоподзолистыми почвами и незначительным слоем гумуса, занятые псамофитными пустынно-луговыми ассоциациями, в которых преобладает булавоносец седоватый (*Corynephorus canescens* (L.) P.Beauv), а также встречаются вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), белоус торчащий (*Nardus stricta* L.), цмин песчаный (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench.) и др., будут постепенно заселяться куртинами лишайников, сюда проникнет сосна и сформируются ассоциации *Pinetum cladinosum*.

4. Заключение

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. В настоящее время в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС процессы самовосстановления, охватывающие все природные системы, обусловлены прежде



Легенда Процес:

| | |
|---|--------------------|
| Заболочивання (в сочетании с закустариванием) | Сформированні ліси |
| Лісні редины на початкових етапах формування лісної структури | Закустаривання |

Рис. 8. Динамічні процеси в структурі рослинного покриву на територіях Полеського державного радіаційно-екологічного заповідника, раніше зайнятих сільськогосподарськими землями і населеними пунктами

всего устранением хозяйственной деятельности. Однако в настоящее время структура растительного покрова еще находится в стадии восстановления и не достигла параметров естественного состояния, обеспечивающего устойчивое сохранение регионального биоразнообразия. Этот процесс может растянуться на многие десятилетия, пока не сформируются устойчивые климаксовые и субклимаксовые растительные сообщества.

2. Исследования, проведенные в различные годы, демонстрируют поступательное увеличение количества видов сосудистых растений: с 885 (в 2002 г.) до 1157 (в 2020 г.). На наш взгляд, это может быть связано со следующими основными причинами: детальным обследованием бывших населенных пунктов; внедрением новых адвентивных видов растений преимущественно по периферии ПГРЭЗ; расширением масштабов полевых исследований с охватом ранее не изученных и труднодоступных участков радиационно-экологического заповедника; более доскональным и глубоким изучением систематически сложных видовых и родовых комплексов; с «запуском» восстановительных процессов растительного покрова после эвакуации населения и практически полным прекращением хозяйственной деятельности.

3. По количеству охраняемых видов растений территория ПГРЭЗ значительно уступает особо охраняемым природным территориям фоновых условий. При этом следует отметить, что, с учетом направлений динамики растительного покрова и природных условий его формирования, а также эколого-фитоценотической приуроченности, количество охраняемых видов растений достигло некоторого оптимума и можно прогнозировать даже сокращение их количества (до 28–30), вследствие формирования лесной структуры на ранее нелесных землях.

4. Наличие особого пропускного режима на территории ПГРЭЗ привело к тому, что здесь синантропизация флоры сохранилась на уровне конца 1980-х годов, что значительно ниже, чем в целом по Беларуси. Центрами закрепления и проникновения чужеродных видов в пределах ПГРЭЗ являются бывшие эвакуированные пункты, пустошные земли, бывшие пашни, линейные объекты (дороги) и другие антропогенные местообитания.

5. Узловым моментом демулационных сукцессий растительности является увеличение лесопокрытой территории. Установлено, что за период с 1975 по 2021 г. лесистость белорусского участка зоны отчуждения увеличилась на 22.0 % и в настоящее время достигла 60.6 %. Темп облесения района исследования составил в среднем 0.47 % в год, пик максимума среднегодового прироста (0.58 % в год) зафиксирован в 1991–2000 гг.

6. Современная формационная структура лесов зоны отчуждения характеризуется преобладанием сосновых (47.4 % лесопокрытой территории) и повислоберезовых (23.9 %) лесов. Относительно высоким участием характеризуются черноольховые (11.1 %) и дубовые (8.1 %) насаждения. Динамика формационной структуры лесной растительности в послеаварийный период характеризуется резким ростом участия производных мелколиственных лесов. По сравнению с фоновым периодом их площадь увеличилась в 3.4 раза и в настоящее время составляет 20.6 % от площади зоны отчуждения.

7. Процессы динамики лугов проявляются в следующем: формировании лесной структуры на площади 12.5 тыс. га, или 30.4 % от площади лугов в доаварий-

ный период, закустаривании — 13.4 тыс. га (32.4%), заболачивании в результате деградации осушительных систем — 7.9 тыс. га (19.1%). Доля стабильных лугов составляет 7.5 тыс. га (18.2%), они сохранились фрагментарно в пойме реки Припять.

8. Стабильные открытые болота (ненарушенный естественный гидрологический режим, зарастание древесно-кустарниковой растительностью < 10%) занимают 0.8 тыс. га, или 15.3% от общей площади болот. На площади 7.9 тыс. га (63.9%) наблюдаются процессы восстановления болотообразовательных процессов на нарушенных торфяниках, 1.7 тыс. га открытых болот (13.9%) в послеаварийный период трансформировались в болотные леса, 2.1 тыс. га (16.6%) — в редколесья и заросли кустарников.

9. На бывших сельскохозяйственных и селитебных землях в настоящее время леса занимают 34.7 тыс. га (41.8%), лесные редины на начальных этапах формирования лесной структуры — 27.1 тыс. га (32.7%). Локально в северной части ПГРЭС на осушенных сельскохозяйственных землях доминируют процессы заболачивания и закустаривания.

10. Флора и растительность длительно восстанавливаются, а современные процессы отражают только промежуточный этап демулационной динамики. Этот процесс может растянуться на многие десятилетия, в связи с чем важен долговременный мониторинг экосистем зоны отчуждения.

Литература

- Алексахин, Р. М., Буддаков, Л. А., Губанов, В. А., Дрожко, Е. Г., Ильин, Л. А., Крышев, И. И., Линге, И. И., Романов, Г. Н., Савкин, М. Н., Сауров, М. М., Тихомиров, Ф. А., Холина, Ю. Б. (2001). *Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры*. М.: ИздАТ.
- Биологическое разнообразие Полесского радиационно-экологического заповедника: сосудистые растения* (2021). Минск: Беларуская навука.
- Гарбарук, Д. К., Углянец, А. В., Шумак, С. В. (2020). Особенности лесообразования на бывших сельскохозяйственных землях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. *Ботаника. Исследования*, 49, 50–61.
- Груммо, Д. Г. (2022) Опыт развития прикладного тематического картографирования для решения задач мониторинга и прогнозирования состояния природных экосистем и растительных ресурсов. В: *Российская геоботаника: итоги и перспективы (к 100-летию Отдела геоботаники БИН): Всеросс. конф. с международным участием*. СПб., 212–214.
- Дидух, Я. П., Кордюм, Е. Л., Прядко, Е. И., Сидоренко, П. Г. (1995) Фитоценотический и цитогенетический мониторинг в условиях хронического облучения в зоне ЧАЭС. В: *Экологический статус загрязненных территорий: тез. докл. Междунар. раб. совещ. по Чернобыльской экологической исследовательской сети*. Минск.
- Дідух, Я., Кордюм, Є., Андрієнко, Т., Прядко, О., Сидоренко, П., Ситник, К. (1994). Фітоценотичний та цитогенетичний моніторинг рослинного покриву в умовах хронічного опромінення, спричиненого аварією на Чорнобильській АЕС. Київ.
- Ипатьев, В. А., Багинский, В. Ф., Булавик, И. М., Дворник, А. М., Волчков, В. Е., Гончаренко, Г. Г., Поджаров, В. К., Булко, Н. И., Бордок, И. В., Волович, П. И., Гедых, В. Б., Гримашевич, В. В., Диденко, Л. Г., Есимчик, Л. Д., Жученко, Т. А., Кейзер, Г. И., Ковалевич, А. И., Кожевников, А. М., Колодий, П. В., Копытков, В. В., Крушев, Л. Т., Марченко, Я. И., Митин, Н. В., Падутов, А. Е., Падутов, В. Е., Переволоцкий, А. Н., Пикулик, М. М., Сидор, А. И., Силин, А. Е., Степанчик, В. В., Тарасенко, В. П., Трухоновец, В. В., Усень, В. В., Фомина, В. И., Хотылева, Л. В., Чунихин, Л. А., Шевчук, В. Е., Яцына, А. А. (1999). *Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации*. Гомель, Речицкая укрупненная типография.

- Козубов, Г. М. и Таскаев, А. И. (2002). *Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы*. М.: Дизайн. Информация. Картография.
- Кудин, М. В., Гарбарук, Д. К., Маленок, Л. В., Турчин, Л. М. (2014). Флора сосудистых растений Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Особо охраняемые природные территории Беларуси. *Исследования*, 9, 85–125.
- Турчин, Л. М. (2019). Находки аборигенных и адвентивных видов растений в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике. В: *Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования: Межд. научн. конф.* Минск, 115–156.
- Турубанова, С. А., Крылов, М. А., Потапов, П. В., Тюкавина, А. Ю. (2017). Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2 (1), 1–11. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2017-1-3>
- Флора и растительность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника* (2002). Мозырь: Белый Ветер.
- Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения (2020). Минск: Беларуская навука.
- Щеглов, А. И. (1999). *Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС*. М.: Наука.
- Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт: докл. эксперт. группы «Экология» Черноб. Форума* (2008). Вена: МАГАТЭ.
- Юркевич, И. Д. и Гельтман, В. С. (1965). *География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии*. Минск: Наука и техника.
- Юркевич, И. Д., Голод, Д. С., Адерихо, В. С. (1979). *Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование*. Минск: Наука и техника.
- Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Krylov, A. M., McCarty, J. L., Radeloff, V. C., Hansen, M. C. (2014). Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 159, 28–43.
- Weck, J. (1956). Entwicklungsstufen und Gefügetypen von Baumbeständen. *Forstwissensch. Centralblatt*, 75 (3/4), 108–124.

Статья поступила в редакцию 23 декабря 2022 г.

Статья рекомендована к печати 11 августа 2023 г.

Контактная информация:

Груммо Дмитрий Геннадьевич — dm.grummo@botany.by

Зеленкевич Наталья Алексеевна — zeliankevich_nat@mail.ru

Мойсейчик Екатерина Владимировна — e.mojsejchik@gmail.com

Скуратович Аркадий Николаевич — arnika-ac@yandex.by

Post-accident dynamics of flora and vegetation in the Belarusian sector exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant

D. G. Grummo, N. A. Zeliankevich,

E. V. Mojsejchik, A. N. Skuratovich

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany
of the National Academy of Sciences of Belarus,
27, ul. Akademicheskaya, Minsk, 220072, Republic of Belarus

For citation: Grummo, D. G., Zeliankevich, N. A., Mojsejchik, E. V., Skuratovich, A. N. (2023). Post-accident dynamics of flora and vegetation in the Belarusian sector exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (3), 505–528. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.305> (In Russian)

The issues of vegetation cover dynamics in the Chernobyl accident area considered in the article. The research carried out within the boundaries of the Polesky State Radiation-Ecological

Reserve. The objects of research are the flora and vegetation of the region. The research is based on as classical methods for studying flora and vegetation, as modern ones, using a long-term archive of Landsat satellite imagery. The article interprets that the flora and vegetation transformation processes of the Chernobyl exclusion zone are mainly due to natural changes and anthropogenically stimulated processes associated with the economic activity cessation. The authors noted a progressive increase of the vascular plant species number within the Reserve, which explained by the restoration processes beginning of the vegetation cover after the population evacuation and the economic activity complete stopping. The spatial isolation of the Polesky State Radiation-Ecological Reserve territory led to the preservation of flora synanthropization level, similar to the end of the 1980s. Evacuated settlements, wastelands, former arable lands, linear objects (roads) and other former anthropogenic habitats are the retention and penetration centers of synanthropic species within the Reserve. The forested territory increasing is a key moment of the vegetation demutational successions in the Chernobyl exclusion zone. A large increase of derived small-leaved forests participation characterizes the dynamics of the forest vegetation formational structure during the post-accident period. Indigenous coniferous and deciduous fen forests also tend to distribution increase, but their dynamics is not rapid. Forests formation, bushing, waterlogging due to the degradation of drainage systems are the processes of meadow dynamics. Fragments of unchanged meadows preserved only in the Pripyat River floodplain. Restoration of bog-forming processes observed on disturbed peatlands, part of unforested fens transformed into forested fens, sparse forests and shrub thickets in the post-accident period. The processes of forest formation, local swamping prevail on the former agricultural and residential lands.

Keywords: Chernobyl nuclear power plant, exclusion zone, Polesky State Radiation-Ecological Reserve, flora, vegetation, biotopes, dynamics.

References

- Aleksakhin, R. M., Buldakov, L. A., Gubanov, V. A., Drozhko, E. G., Il'in, L. A., Kryshev, I. I., Linge, I. I., Romanov, G. N., Savkin, M. N., Saurov, M. M., Tihomirov, F. A., Holina, Y. B. (2001). *Major radiation accidents: consequences and protective measures*. Moscow: IzdAT Publ. (In Russian)
- Biological diversity of the Polesie radiation-ecological reserve: vascular plants* (2021). Minsk: Belaruskaja navuka Publ. (In Russian)
- Black Book of the Flora of Belarus: Alien Harmful Plants* (2020). Minsk: Belaruskaja navuka Publ. (In Russian)
- Didukh, Ya., Kordyum, E., Andrienko, T., Priadko, O., Sydorenko, P., Sytnyk, K. (1994). *Phytocenotic and cytogenetic monitoring of plant cover under conditions of chronic exposure caused by the accident at the Chernobyl NPP*. Kiïv. (In Ukrainian)
- Didukh, Ya., Kordyum, E., Priadko, E., Sydorenko, P. (1995) Phytocenotic and cytogenetic monitoring under conditions of chronic irradiation in the Chernobyl nuclear power plant zone. In: *Ekologicheskii status zagriaznennykh territorii. Tez. dokl. Mezhdunar. rab. soveshch. po Chernobyl'skoi ekologicheskoi issledovatel'skoi seti*. Minsk. (In Russian)
- Environmental consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant and their overcoming: twenty years of experience: report. expert. group "Ecology" Chernob. Forum* (2008). Vena: MAGATE Publ. (In Russian)
- Flora and vegetation of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve* (2002). Mozyr': Belyi Veter Publ. (In Russian)
- Garbaruk, D. K., Uglianets, A. V., Shumak, S. V. (2020). Features of forest formation on former agricultural lands in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant. *Botanika issledovaniia*, 49, 50–61. (In Russian)
- Grummo, D. G. (2022) Experience in the development of applied thematic mapping to solve problems of monitoring and forecasting the state of natural ecosystems and plant resources. In: *Rossiiskaia geobotanika: itogi i perspektivy (k 100-letiiu Otdela geobotaniki BIN): vseros. konf. s mezhd. uch. Sankt-Peterburg*, 212–214. (In Russian)

- Ipaťev, V.A., Baginskii, V.F., Bulavik, I.M., Dvornik, A.M., Volchkov, V.E., Goncharenko, G.G., Podzharov, V.K., Bulko, N.I., Bordok, I.V., Volovich, P.I., Gedyh, V.B., Grimashovich, V.V., Didenko, L.G., Esimchik, L.D., Zhuchenko, T.A., Kejzer, G.I., Kovalevich, A.I., Kozhevnikov, A.M., Kolodij, P.V., Kopytov, V.V., Krushev, L.T., Marchenko Ya. I., Mitin, N.V., Padutov, A.E., Padutov, V.E., Perevoloskij, A.N., Pikulik, M.M., Sidor A. I., Silin, A.E., Stepanchik, V.V., Tarasenko, V.P., Truhonoves, V.V., Useny, V.V., Fomina, V.I., Hotyleva, L.V., Cunihin, L.A., Hevchuk, V.E., Yasy-na, A. A. (1999). *Forest. Human. Chernobyl. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: condition, forecast, reaction of the population, ways of rehabilitation*. Gomel': Rechitskaia ukрупnennaia tipografia Publ. (In Russian)
- Iurkevich, I. D. and Gel'tman, V. S. (1965). *Geography, typology and zoning of forest vegetation in Belarus*. Minsk: Nauka i tekhnika Publ. (In Russian)
- Iurkevich, I. D., Golod, D. S., Aderikho, V. S. (1979). *Vegetation of Belarus, its mapping, protection and use*. Minsk: Nauka i tekhnika Publ. (In Russian)
- Kozubov, G. M. and Taskaev, A. I. (2002). *Radiobiological studies of conifers in the area of the Chernobyl disaster*. Moscow: Dizain. Informatsiia. Kartografiia Publ. (In Russian)
- Kudin, M. V., Garbaruk, D. K., Malenok, L. V., Turchin, L. M. (2014). Flora of vascular plants of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve. *Osobo okhraniaemye prirodnye territorii Belarusi. Issledovaniia*, 9, 85–125. (In Russian)
- Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Krylov, A. M., McCarty, J. L., Radeloff, V. C., Hansen, M. C. (2014). Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 159, 28–43.
- Shcheglov, A. I. (1999). *Biogeochemistry of technogenic radionuclides in forest ecosystems: based on materials from 10 years of research in the zone of influence of the Chernobyl accident*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)
- Turchin, L. M. (2019). Findings of native and adventive plant species in the Polesie State Radiation-Ecological Reserve. In: *Flora i rastitel'nost' v meniaiushchemsia mire: problemy izucheniia, sokhraneniia i ratsional'nogo ispol'zovaniia: mezhd. nauchn. konf.* Minsk, 115–156. (In Russian)
- Turubanova, S. A., Krylov, M. A., Potapov, P. V., Tiukavina, A. Iu. (2017). Analysis of forest cover dynamics in Eastern Europe based on satellite data from 1985 to 2012. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2 (1), 1–11. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2017-1-3> (In Russian)
- Weck, J. (1956). Entwicklungsstufen und Gefügetypen von Baumbeständen. *Forstwissensch. Centralblatt*, 75 (3/4), 108–124.

Received: December 23, 2022

Accepted: August 11, 2023

Authors' information:

Dmitry G. Grummo — dm.grumo@botany.by
 Natallia A. Zeliankevich — zeliankevich_nat@mail.ru
 Ekaterina V. Mojsejchik — e.mojsejchik@gmail.com
 Arkady N. Skuratovich — arnika-ac@yandex.by