Постчернобыльские экосистемы: *трансформации и перспективы*

Аннотация. *Приводятся данные разработанного прогноза изменения природно-растительных комплексов на чернобыльских землях для подкрепления принятия решений о сроках, перспективных направлениях и социально-экономической эффективности возврата их в оборот после снижения плотности загрязнения радионуклидами до приемлемых уровней. Анализ полученных результатов показывает, что более 85% участков, выведенных из сельскохозяйственного использования после аварии на Чернобыльской АЭС, в течение последующих 30лет продемонстрируют увеличение уровня заболоченности, вызванное постепенным ухудшением дренажных характеристик почв и климатическими изменениями, и рост закустаренности в связи с естественным процессом сукцессии и практически полным отсутствием антропогенной деятельности, распашки земель и выпаса скота. Суммарная площадь всех участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, к 2050 г. составит около 72% от общей площади земель, исключенных из оборота после катастрофы на ЧАЭС.*

Ключевые слова: *радиационно опасные земли, экосистема, сукцессии, зона отчуждения, природно-растительные комплексы, прогноз.*

Тамара Ласько,
старший научный сотрудник лаборатории радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси;
t-lasko@vandex.by

Александр Никитин,
директор Института леса НАН Беларуси, кандидат сельскохозяйственных наук

Елена Танкевич,
и.о. заведующего лабораторией радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси

Трагедия 1986 г., несомненно, оставила неизгладимый след в истории Беларуси. Но отечественная наука движется вперед и работает над тем, чтобы эта печальная страница не стала преградой на пути развития страны. Более 40 лет в Беларуси существуют территории, утратившие вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС свое хозяйственное значение как для агропромышленного комплекса, ведения лесного хозяйства, так и для проживания людей. Одновременно на состояние сельскохозяйственной отрасли оказывают существенное влияние глобальные изменения климата. Отмечен рост повторяемости засух, особенно на почвах легкого гранулометрического состава (песчаных и супесчаных), характерных для южных регионов Беларуси. Какие из этих земельных массивов можно будет вернуть в оборот в ближайшие десятилетия, а, главное, как их задействовать с пользой и безопасно для здоровья населения? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо рассмотреть складывающиеся тенденции комплексно.

Юлия Симончик,
научный сотрудник лаборатории радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси

Елена Куликова,
ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук, доцент

Рациональное использование, улучшение и охрана естественных кормовых угодий, в том числе пойменных, играет важнейшую роль в экономике республики. С увеличением поголовья крупного рогатого скота в районах, подвергшихся загрязнению, возрастает потребность в травяных кормах. В связи с тем, что почвы Гомельщины представлены в основном песками и легкими супесями, а также торфяниками, отмечается возврат к более интенсивной эксплуатации пойменных лугов.

Богатство, затопленное половодьем: почему оно так важно

Луга в Республике Беларусь занимают более 3,2 млн га (из них 5,2% приходится на долю пойменных); в Гомельской области всего 0,6 млн га, но пойменных – 92,1 тыс. га, или более половины (54,6%) всех таких лугов страны. Значительные их площади связаны с поймами крупных рек: Днепра, Сожа, Припяти и их притоков.

В Гомельской области 75% (в Могилевской – 28%) потенциально пригодных для сельского хозяйства земель расположены в затопляемых речных долинах. Данные участки можно задействовать только в качестве луговых угодий. Природные луга в пойме р. Сож – важные природно-ландшафтные комплексы и ценные естественные кормовые базы. Кроме того, многие здешние растения обладают лекарственными, эфиромасличными, пищевыми, медоносными и декоративными свойствами. Таким образом, луга имеют важное эстетическое и рекреационное значение. Но с развитием животноводческой отрасли роль этих зеленых пространств у берегов рек – Сожа в Гомельском, Ветковском, Чечерском районах, Припяти в Мозырском и Петриковском и Днепра – в Жлобинском, Речицком, Лоевском и Брагинском – еще более возросла.

Пойменные земли используются в сельскохозяйственном производстве для выпаса скота и заготовки кормов (сено, сенаж, зеленая масса): условия на таких луговых участках мало пригодны для возделывания культур, но зато благоприятны для естественного выгула животных. На значительных площадях поймы (вся прирусловая и часть высокого уровня центральной зоны) размещаются постоянные пастбища. Данная тенденция усиливается в связи с наличием сухих лугов: здесь в основном проводится одноразовое скашивание травостоя, а во вторую половину лета эти площади задействованы как выгоны *(рис. 1)* [1].

Рис. 1. Заготовка сена на пойменных лугах прирусловой поймы р. Сож (а), выпас скота на пойменных лугах (б)

Возможность использования данных территорий по мере снижения уровней радиоактивного загрязнения вследствие радиоактивного распада 137Cs и 90Sr во многом обусловлена происходящими процессами изменения природно-растительных комплексов.

В постчернобыльский период происходит естественный распад радионуклидов, за счет чего убыль 90Sr составляет 2,35% в год, 137Cs – 2,27%. Благодаря этому все сельскохозяйственные угодья, в том числе и выведенные из оборота, из года в год все больше очищаются [2]. Однако вопрос о более активном возврате данных земель в оборот ставится еще и по другой причине: их культуртехническое состояние год за годом все более существенно ухудшается.

Что происходит с лугами чернобыльской зоны

Изучение лугов всегда имело большое прикладное значение и было направлено на выработку практических рекомендаций по достижению их максимальной продуктивности и высоких питательных качеств сена. Важным моментом в работе с пойменными лугами выступают стационарные исследования функционирования экосистем, их популяционно-онтогенетическая характеристика, динамика урожайности, изменение соотношения агроботанических групп, агрохимическая характеристика почв. Объективная оценка продуктивности луговых травостоев наиболее достоверна на основании результатов долголетних изысканий.

Растительный покров формируется на почве в соответствии с ее плодородием, физическим состоянием и водно-воздушным режимом. При отсутствии обработки грунт постепенно уплотняется, на нем развивается дернина, меняется состав трав, поселяются кустарниковые и древесные растения.

Ранее отсутствовали инструменты и методы, позволяющие с приемлемым уровнем неопределенности дать прогноз дальнейшему изменению почвенно-растительных комплексов на землях после резкой и продолжительной отмены интенсивного использования в аграрном производстве в природно-климатических условиях нашей страны.

Для решения задач по прогнозированию изменения природно-растительных комплексов, формирующихся на выведенных из сельскохозяйственного оборота

землях, сотрудниками лаборатории радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси совместно с коллегами из Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг. были проведены исследования по изучению влияния временного фактора на изменение растительных ассоциаций на неиспользуемых радиационно опасных землях.

В ходе этих работ была создана компьютерная модель прогнозирования динамики природно-растительных комплексов на исключенных из производственных процессов агрогенных участках с применением информации аэрокосмической съемки, других доступных геопространственных данных и методов машинного обучения. Такая модель позволяет увидеть динамику изменений в любой временной отрезок, вплоть до 2050 г., по заболоченности, закустаренности, видовому составу растений.

Опасность зарастания площади кустарником проявляется особенно сильно на суходольных сенокосах и пастбищах, где имеются условия для разрастания ивняков и формирования березово-черноольховых редин. Если до чернобыльской аварии на сенокосах и пастбищах не фиксировалось наличие кустарников и на них были лишь единичные сеянцы ивы, березы и ольхи черной, то со временем они переросли травяной покров, начали разрастаться и захватывать площадь. Наиболее интенсивно процесс зарастания древесно-кустарниковой растительностью идет возле одиночно растущих деревьев ольхи черной на понижениях пастбищ.

Современное состояние луговых земель, не используемых для нужд сельского хозяйства, представлено на *рис.* 2.

Рис. 2. Современное состояние луговых земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота

При прекращении сенокошения и выпаса, в особенности при отсутствии разливов рек, настоящие (эумезофитные) луга постепенно начнут зарастать древесно-кустарниковой растительностью, в основном ивами: остролистной *(Salix acutifolia* Willd.), пепельной *(Salix cinerea* L.), белой *(Salix alba* L.), трехтычинковой *(Salix triandra* L.), а также березой повислой,или бородавчатой *(Betula pendula* Roth.),

осиной обыкновенной *(Populus tremula* L.) и другими видами рода Тополь *(Populus* spp.), сосной обыкновенной *(Pinus sylvestris* L.), дубом черешчатым *(Quercus robur* L.).

Суходолы постепенно будут заняты березой повислой *(Betula pendula* Roth.) и сосной обыкновенной *(Pinus sylvestris* L.). На влажных лугах верховых местоположений произойдет восстановление дубрав через предшествующий ему березняк, низинные луга с течением времени превратятся в леса из березы пушистой *(Betula pubescens* Ehrh.), осины обыкновенной *(Populus tremula* L.) или ольхи черной *(Alnus glutinosa* L.), которые в дальнейшем сменятся коренными типами из дуба черешчатого *(Quercus robur* L.) с примесью вяза гладкого *(Ulmus glabra* Pall.) и ясеня обыкновенного *(Fraxinus excelsior* L.).

Прогнозируется увеличение площадей, занятых формациями производных березовых и осиновых лесов. Снижение участия основной лесообразующей породы региона – сосны – может быть связано с тем, что естественное возобновление сосняков идет очень медленно. В этих условиях основное преимущество получают пионерные виды лиственных лесообразующих пород. В так называемой лигнозной стадии демутации будут доминировать в зависимости от трофности почв береза повислая либо осина обыкновенная, а также образовываться заросли ивы *(Salix* spp.) [3].

Затем тенденция роста вторичных березовых и осиновых лесов должна будет замедлиться, поскольку данные сообщества являются предвестниками формирования типичных коренных ценозов с доминированием сосны обыкновенной и дуба черешчатого, однако темп таких изменений чрезвычайно низкий [4].

На антропогенно преобразованных местообитаниях, в том числе осушенных землях, возможно зарастание кленом ясенелистным *(Acer negundo* L.), робинией ложноакациевой *(Robinia pseudoacacia* L.), облепихой крушиновидной *(Hippophae rhamnoides* L.), рябинником рябинолистным *(Sorbaria sorbifolia* L.), грушей обыкновенной (*Pyrus communis* L.), вязом малым или полевым *(Ulmus minor* L.), видами яблонь *(Malus* spp.) и боярышника *(Crataegus* spp.) [5].

Остепненные луговые сообщества, которые в отсутствие сенокошения уже начали зарастать, будут трансформироваться в сплошные заросли древесно-кустарниковой растительности с небольшими «окнами» луговых растений. Заселение будет происходить в основном следующими видами: сосной обыкновенной *(Pinus sylvestris* L.), яблоней лесной *(Malus sylvestris* L.) и яблоней домашней *(Malus domestica* L.), грушей обыкновенной (*Pyrus communis* L.), ивой козьей или древовидной *(Salix caprea* L.), березой повислой *(Betula pendula* L.). Из кустарников будут преобладать: ива остролистная *(Salix acutifolia Willd)* и белая *(Salix alba* L.), крушина ломкая *(Frangula alnus* L.), жостер слабительный *(Rhamnus cathartica* L.), а также виды рода Роза *(Rosa* spp.) и рода Боярышник *(Crataegus* spp.). Из инвазионных древесных растений в данные фитоценозы может внедряться робиния ложноакациевая *(Robinia pseudoacacia* L.), которая способна образовывать

сплошные труднопроходимые заросли, а также клен ясенелистный *(Acer negundo* L.).

Для более чем 85% участков закустаренность увеличивается с течением времени, что связано с естественным процессом сукцессии и практически полным отсутствием антропогенной деятельности, распашки земель и выпаса скота. Средний рост этого показателя – 2-4% за десятилетие, в зависимости от начальных условий. Суммарная площадь всех участков, покрытых деревьями и кустарниками, к 2050 г. составит около 72% от общей площади неиспользуемых земель. Болота, флора которых на исследуемой территории, согласно прогнозам, займет 4563,9 га, будут занимать лишь на 1,8% меньше территории за счет формирования древесно-кустарниковых массивов (те, в свою очередь, расширятся на 6,7% – до 22 842,4 га).

На участках с закустаренностью более 80% в настоящее время наблюдается стабилизация процессов зарастания. К 2050 г. они достигнут значений, близких к максимальным (95-100%). Поэтому такие земли нецелесообразно вводить в сельскохозяйственный оборот с экономической позиции. Эти территории рациональнее перевести в гослесфонд.

При реабилитации лесопокрытых площадей речь должна идти не только о древесном сырье, но и о многочисленных составляющих лесного фитоценоза – кустарниковых и травянистых растениях, которые способны не только накапливать в себе значительные запасы радионуклидов, но и оказывать заметное воздействие на процессы в корнеобитаемых горизонтах лесных почв [6].

При прогнозировании изменения природно-растительных комплексов, формирующихся на выведенных из сельхозоборота землях, были разработаны модели сукцессионных процессов в основных типах растительности с учетом данных дистанционного зондирования Земли и результатов наземных обследований. Созданный инструментарий был применен для подготовки прогноза изменения растительности на радиационно опасных землях, пустующих после аварии на Чернобыльской АЭС, что важно для адекватной оценки перспектив и направлений их использования, а также затрат на возврат подобных территорий в хозяйственный оборот в различные сроки после прекращения хозяйственной деятельности.

На основе подготовленной технологии тематического дешифрирования материалов космической съемки для оценки текущего состояния природной флоры и наземных характеристик разработаны цифровые карты растительности (как существующей, так и ожидаемой в будущем), позволяющие получить среднесрочный прогноз изменения природно-растительных комплексов на выведенных из сельскохозяйственного оборота землях. Благодаря этой работе созданы цифровые геоботанические карты этих территорий по 19 районам Гомельской и 11 районам Могилевской областей.

Современные виды космической съемки и технологии их обработки позволяют проводить глубокий анализ структуры и пространственных взаимосвязей объектов флоры, что помогает извлекать подробную информацию об их

характеристиках в пространственном и временном аспектах. Это делает возможным выполнение детального картографирования и ресурсной оценки природных растительных сообществ [7].

С учетом знаний о сукцессионных сменах зеленого покрова были составлены цифровые карты современной и прогнозной растительности (до 2050 г.), формирующейся на участках, исключенных из перечня безопасных по радиационному фактору. Фрагменты этих цифровых ресурсов представлены на *рис. 3*.

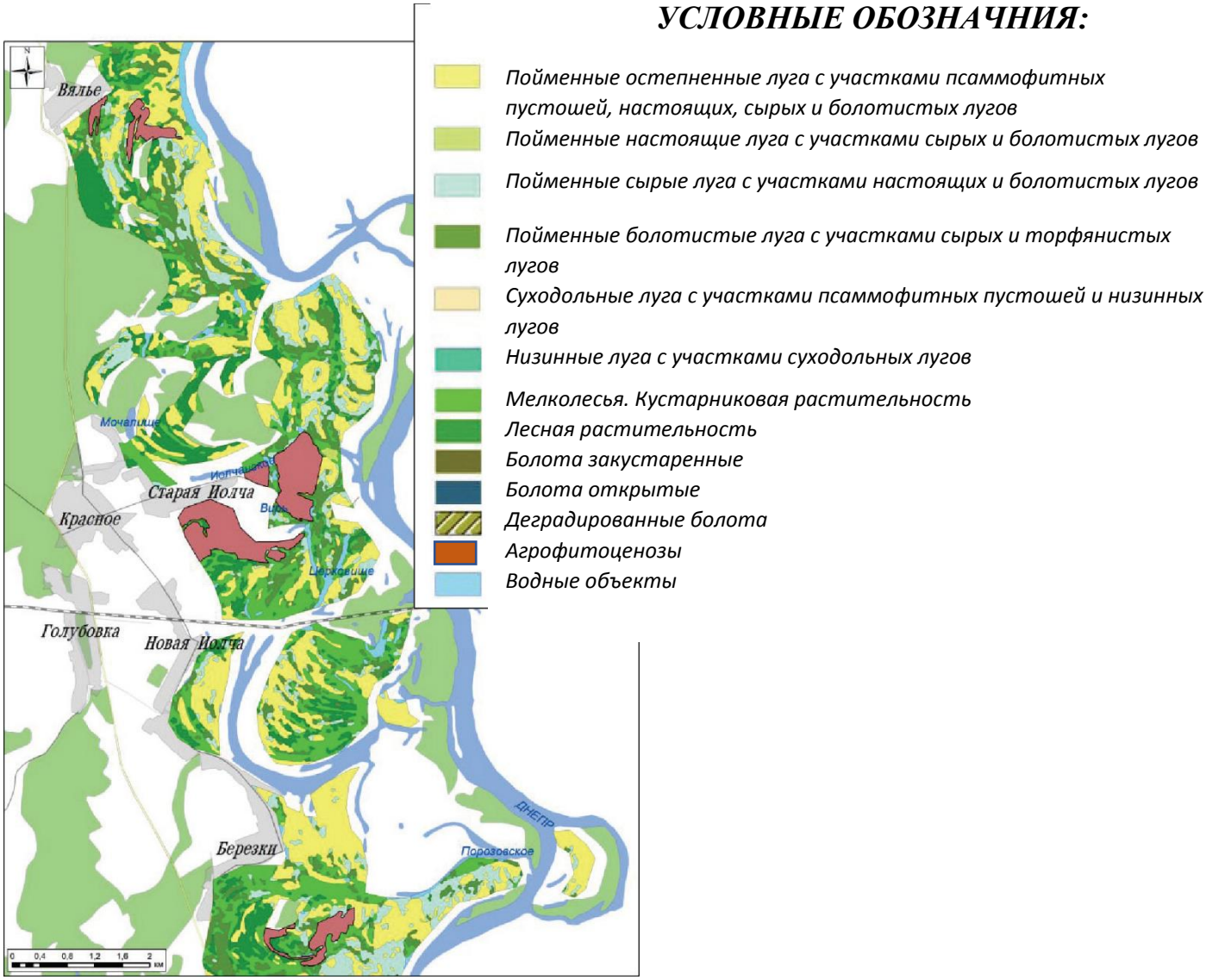

Рис. 3. Цифровая карта современной растительности на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота после аварии на Чернобыльской АЭС

На пойменных заливных лугах распространены следующие виды травянистой растительности: мятлик луговой *(Poa pratensis* L.), полевица белая *(Agrostis alba* L.), лисохвост луговой *(Alopecurus pratensis* L.), из разнотравья – лютик ползучий *(Ranunculus repens* L.), лапчатка гусиная *(Potentilla anserina* L.) и др. На пониженных

участках поймы преобладает мятлик болотный *(Poa palustris* L.), канареечник тростниковидный (*Phalaris arundinacea* L.), щучка дернистая *(Deschampsia cespitosa* L.), осоки *(Carex* spp.), вейник наземный *(Calamagrostis epigejos* L.), полевица тонкая *(Agrostis capillaris* L.), вербейник обыкновенный *(Lysimachia vulgaris* L.), лютик ползучий *(Ranunculus repens* L.), дербенник иволистный *(Lythrum salicaria* L.).

На суходольных лугах растительность бедная и состоит в основном из разнотравья: тысячелистник обыкновенный *(Achillea millefolium* L.), подорожник большой *(Plantago major* L.), щавель кислый *(Rumex acetosa* L.), кульбаба осенняя *(Scorzoneroides autumnalis* L.), погремок (*Rhinanthus minor* L.), черноголовка обыкновенная *(Prunella vulgaris* L.), мелколепестник канадский *(Erigeron canadensis* L.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), ежовник обыкновенный, или куриное просо *(Echinochloa crus-galli* L.); из злаков встречаются белоус торчащий *(Natschia stricta* L.), щучка дернистая *(Deschampsia cespitosa* L.), пырей ползучий *(Elytrigia repens* L.). Растительный покров низинных и пойменных болот характеризуется преобладанием различного рода злаковых трав с большой примесью крупных осок (*Carex* spp.), тростника *(Phragmites communis* Trin.), рогоза широколистного *(Typha angustifolia* L.), сабельника болотного *(Comarum palustre* L.), хвоща болотного *(Equisetum palustre* L.) и хвоща топяного *(Equisetum fluviatile* L.).

На пониженных участках покрытие почвы травами сплошное – 90-100%, на суходолах – 60-70%. Леса и кустарники представлены в основном следующими лесными породами: береза, осина, ольха, ель, сосна, реже дуб, ива, крушина и т.д. Травянистый покров в лесу состоит из мятлика лугового, белоуса, чабреца, вереска, папоротника и других растений. В заболоченных лесах встречаются осоки, ситник, лютик ползучий, щучка дернистая и др., на болотах произрастают кустарнички, осоки.

Суходольные сенокосы при отсутствии деревьев-обсеменителей зарастают преимущественно ивняками, на которых формируются березово-черноольховые редины. Более интенсивно данные процессы идут на повышенных вейниковых участках сенокосов, где наблюдается до 1800 шт/га кустов ив со средней высотой около 120 см. Площадь их крон занимает около 12,4% всего пространства почвы, и тенденция превращения таких сенокосов в ивняки очевидна.

Перспективы пустующих земель

В целом процессы смен растительности на сенокосах и пастбищах после прекращения пользования ими в определенной мере настораживают. Вместо продуцирующей сельскохозяйственной площади можно получить не продуцирующую закустаренную, что вынудит при реабилитации этих земель начинать с культуртехнических мероприятий. На значительной части таких участков не будут получены и полноценные насаждения, если ориентироваться на естественное их облесение. При передаче этих земель в лесфонд они попадут в категорию безлесных или закустаренных, что равноценно выбытию их из категории продуцирующих. Следовательно, с учетом имеющегося естественного

возобновления такие участки необходимо искусственно облесять, то есть засаживать способными здесь произрастать древесными породами.

По прогнозам, ареал естественной луговой растительности сократится на 1358 га, или на 7% (по сравнению с современной оценкой). Предполагается, что площадь пойменных лугов составит 16 118,1 га (-3,4%), внепойменных – 967,8 га (-45,1 %). Так как вторая категория лугов сформировалась и поддерживается в открытом состоянии благодаря традиционной хозяйственной деятельности человека – сенокошению и выпасу скота, то тенденция их зарастания при неиспользовании сохранится.

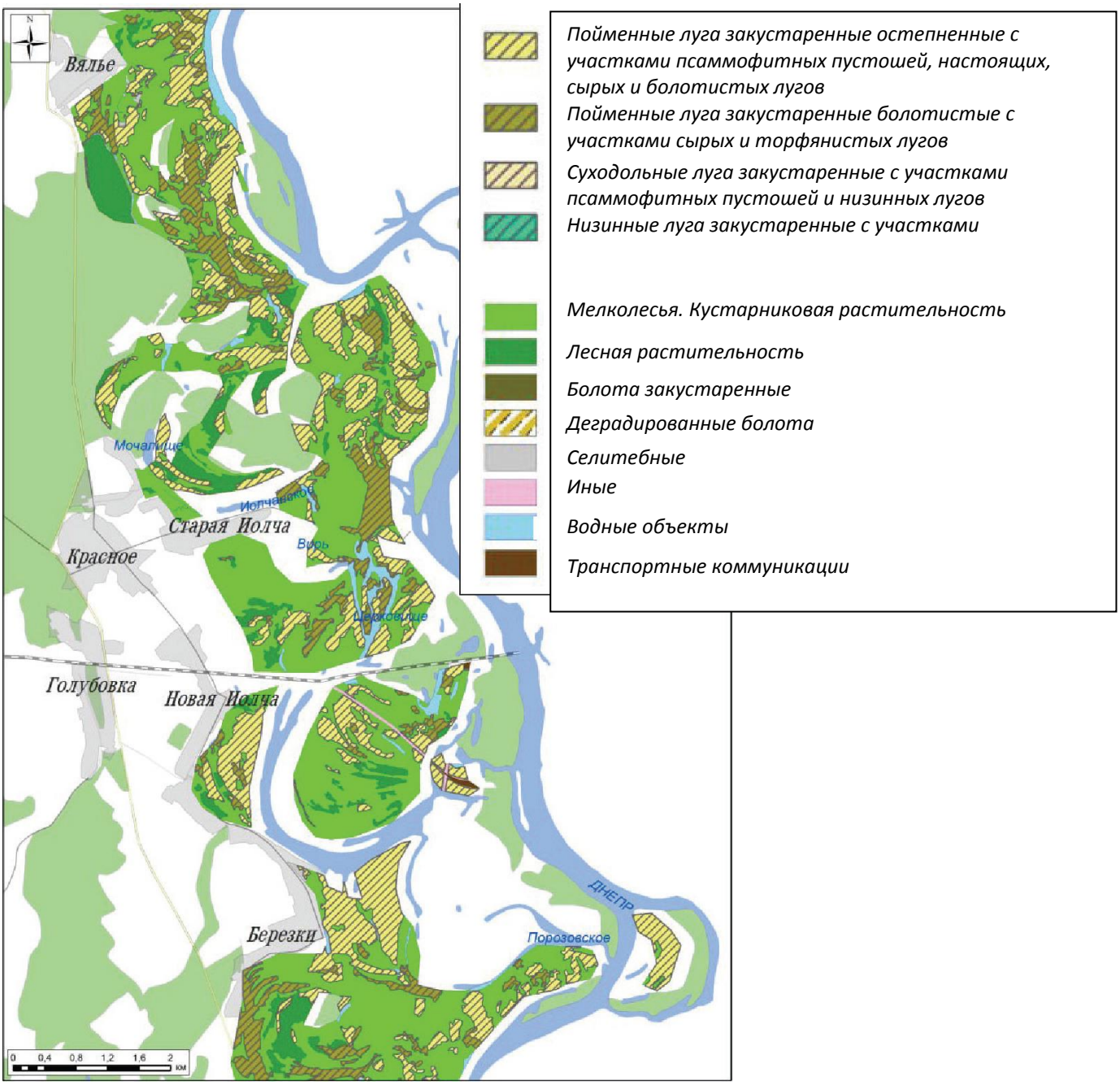

Рис. 4. Цифровые карты прогнозной растительности, формирующейся на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота после аварии на Чернобыльской АЭС

Остепненные пойменные луга будут занимать 3785,2 га. На косимых остепненных пространствах травостои сообществ будут сохраняться, так как развитию древесно-кустарникового яруса будет препятствовать сенокошение и легкий гранулометрический состав почв, при котором происходит быстрый сход полых вод; некоторые участки некосимых остепненных лугов также останутся стабильными.

В большинстве случаев темп зарастания равняется 1-2% за десятилетие при средней закустаренности выше 80%. Максимальное значение этого показателя (>90% к 2050 г.) ожидается на участках, расположенных в непосредственной близости к водоемам в поймах рек, а также на заболоченных территориях.

Полученные результаты позволяют оценить возможность и экономическую целесообразность возврата данных земель в сельскохозяйственное пользование. Для основной доли выведенных из хозяйственного оборота угодий препятствием для их рекультивации является очень длительный период окупаемости необходимых затрат.

Созданы и активно задействуются в исследованиях чернобыльских территорий такие новые технологии, как:

- *компьютерная модель прогнозирования динамики природно-растительных комплексов на исключенных из пользования агрогенных участках с учетом данных аэрокосмической съемки, других доступных геопространственных сведений и методов машинного обучения;*
- *методика полевого эталонирования материалов дистанционного зондирования земли природных растительных сообществ;*
- *прогноз изменения природно-растительных комплексов на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, до 2050 г. (Гомельская и Могилевская области).*

С их использованием сформированы цифровые карты растительности (современной и прогнозной), позволяющие получить среднесрочный прогноз изменения природно-растительных сообществ на указанных земельных массивах, с применением результатов наземных обследований и дистанционного зондирования до 2050 г. (рис. 4).

Разработки, предназначенные для повышения эффективности планирования и реализации мероприятий, направленных на преодоление последствий аварии на ЧАЭС с учетом естественных процессов изменения территорий, переданы на безвозмездной основе специалистам, непосредственно проводящим такую работу: в Главное управление по проблемам ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Гомельского областного исполнительного комитета и Управление по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС и чрезвычайным ситуациям Могилевского областного исполнительного комитета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ласько Т.В. Пойменные земли – резерв кормов для животноводства на загрязненной радионуклидами территории / Т.В. Ласько // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сборник научных трудов / гл. ред. В.В. Великанов. – Горки, 2022. Вып. 25. В 2 ч. Ч. 1. С. 150–157.
2. Рекомендации по использованию возвращаемых в оборот загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько, С.А. Тагай. РНИУП «Институт радиологии» – Мн., 2015.
3. Козубов Г.М. Радиобиологические исследования хвойных в районе чернобыльской катастрофы / Г.М. Козубов, А.И. Таскаев. – М., 2002.
4. Фитоценотический и цитогенетический мониторинг в условиях хронического облучения в зоне ЧАЭС. Экологический статус загрязненных территорий / Я.П. Дидух [и др.]. – Мн., 1995.
5. Послеаварийная динамика флоры и растительности в районе белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции / Д.Г. Груммо [и др.] // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2023. Т. 68, №3. С. 505–527.
6. Ипатьев В.А. Лес. Человек. Чернобыль. Основы радиоэкологического лесоводства / В.А. Ипатьев [и др.]. – Гомель, 2005.
7. Груммо Д.Г. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д.Г. Груммо [и др.]; под общ. ред. Д.Г. Груммо, А.В. Судника. – Мн., 2023.