

**Мониторинг зарастания заброшенных земель
сельскохозяйственного назначения
по спутниковым снимкам высокого разрешения**

© 2022. Е. А. Домнина^{1,2}, к. б. н., с. н. с., доцент,
Т. А. Адамович¹, к. г. н., доцент, А. С. Тимонов^{1,2}, н. с., инженер,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

¹Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук,

167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

e-mail: usr11493@vyatsu.ru

Приведены результаты мониторинга зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель (залежей) древесно-кустарниковой растительностью по разновременным спутниковым снимкам сверхвысокого разрешения, сделанных в разные фенофазы. Показана динамика зарастания за более чем 12 лет на примере трёх различных участков, расположенных в подзоне южной тайги. Анализ снимков позволил провести оценку структурных параметров формирующейся на залежах древесно-кустарниковой растительности. Выявлена пространственно-временная гетерогенность постагрогенного естественного возобновления древесной растительности на локальном уровне. Зарастание небольших залежей, большей частью окружённых стеной леса, происходит практически одновременно по всей площади. На залежи с большой площадью и незначительной стеной леса зарастание происходит от стены леса, со временем постепенно удаляясь от неё.

Полученные результаты позволяют проследить динамику развития естественного древесно-кустарникового покрова на заброшенных сельскохозяйственных угодьях, оценить состояние и значение произрастающих на залежи лесных насаждений.

Ключевые слова: мониторинг, спутниковые снимки, фенофазы растений, заброшенные земли сельскохозяйственного назначения, залежь, стена леса, древесно-кустарниковая растительность.

**Monitoring of overgrowing of abandoned
agricultural lands using high-resolution satellite images**

© 2022. E. A. Domnina^{1,2} ORCID: 0000-0002-5063-8606, T. A. Adamovich¹ ORCID: 0000-0002-8684-927X,
A. S. Timonov^{1,2} ORCID: 0000-0001-8560-3051, T. Ya. Ashikhmina^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047

¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: usr11493@vyatsu.ru

The results of monitoring the overgrowth of abandoned agricultural lands (deposits) with trees and shrubs on the basis of multi-temporal ultra-high resolution satellite images taken in different phenophases are presented. The dynamics of overgrowing for more than 12 years is shown on the example of three different sites located in the subzone of the southern taiga. An analysis of the images made it possible to assess the structural parameters of the tree and shrub vegetation forming on the fallows. Spatio-temporal heterogeneity of post-agrogenic natural regeneration of woody vegetation at the local level was revealed. The overgrowing of small areas, mostly surrounded by a forest wall, occurs almost simultaneously over the entire area. On a fallow with a large area and an insignificant forest wall, overgrowing occurs from the forest wall, gradually moving away from it over time. At the same time, the predominance of deciduous trees near the forest wall is replaced by the predominance of conifers as they move away from it. The results obtained make

it possible to trace the dynamics of the development of natural tree and shrub cover on abandoned agricultural lands, to assess the state and importance of forest plantations growing on the fallow.

Keywords: monitoring, satellite imagery, different phenophases, abandoned agricultural land, fallow, forest wall, trees and shrubs.

Социально-экономический кризис, поразивший сельское хозяйство России в начале 1990-х годов, привёл к тому, что многие пастбища, пашни и сенокосы перестали использоваться. Такие участки начали зарастать древесно-кустарниковой растительностью. При этом за 25–30 лет во многих местах сформировались полноценные лесные насаждения. Однако последствия постагрогенной сукцессии на сельскохозяйственных землях не получили должной оценки ни с экологической, ни с хозяйственной точки зрения. Это обусловлено тем, что до сих пор не установлены реальные масштабы зарастания сельскохозяйственных земель и характеристики формирующихся на этих землях лесных насаждений [1]. Согласно ст. 79 Земельного кодекса Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ сельскохозяйственные угодья – это пашни, сенокосы, пастбища и залежи. Залежи – это заброшенные необрабатываемые сельскохозяйственные земли, на которых происходит зарастание естественной растительностью, в том числе травянистой, древесной и кустарниковой.

Выведение из оборота сельскохозяйственных земель и их переход в залежи является значимым изменением наземного покрова и структуры использования земель во многих странах мира. Только в России в течение XX века из оборота было выведено около 70 млн га сельскохозяйственных угодий, из них около 2/3 – в ходе кризиса второй половины 1980–1990-х гг. [2–5].

Зарастание залежных почв кустарниковой и древесной растительностью приводит к снижению почвенного плодородия посредством усиления подзолистого процесса [6]. В результате этого ухудшается большинство показателей плодородия. В работе [7] показана отрицательная динамика изменения агрохимических показателей при зарастании почв: степень кислотности, сумма поглощённых оснований, степень насыщенности основаниями, развитие подзолистого и торможение дернового процессов.

Одним из основных направлений развития государственной системы мониторинга сельского хозяйства является определение нарушенных земель, которое может осуществляться с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [8]. Многочис-

ленные современные исследования в области дистанционной индикации и мониторинга выведенных из оборота сельскохозяйственных земель по данным ДЗЗ сфокусированы на анализе закономерностей пространственно-временной дифференциации изменений структуры сельскохозяйственного использования земель, определения времени вывода из оборота и характера зарастания залежных земель на макрорегиональном и региональном уровнях [2, 9–14]. Однако на локальном уровне в подзоне южной тайги этот вопрос не проработан.

Цель данной работы – оценка динамики зарастания древесно-кустарниковой растительностью заброшенных земель сельскохозяйственного назначения в подзоне южной тайги и выявление пространственно-временной неоднородности этого процесса на локальном уровне на основе анализа разновременных спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (от 0,5 м).

Объекты и методы исследования

Для изучения пространственно-временных особенностей протекания зарастания залежей выбрано 3 участка, расположенных на территории Кировской области в подзоне южной тайги. Эти участки в прошлом использовались под пашню, а в настоящее время заросли естественной растительностью, но продолжают числиться как земли сельскохозяйственного назначения и являются залежными землями (залежами). Информация об отнесении участков к землям сельскохозяйственного назначения получена из открытого интернет ресурса «Публичная кадастровая карта Российской Федерации».

Участок 1 (рис. 1) расположен на небольшом увале, вытянутом в северо-восточном направлении, ось которого погружается на северо-восток. В конце участка увал практически выравнивается. Юго-восточный склон увала, относительно северо-западного, более пологий. С юго-востока участок ограничен лесом, с северо-запада – железной дорогой, с северо-востока – пашней, с юго-запада – пашней и небольшим населённым пунктом. Площадь залежи – 78,5 га.

Участок 2 (рис. 2) расположен на ровной территории, протяжённостью около 400 м, большей своей частью вдающийся в лес на глубину до 160 м. С севера залежь ограничена сенокосом, с других сторон – лесом. Площадь участка немногим более 4 га.

Участок 3 (рис. 3) практически горизонтальный с небольшими локальными понижениями, расположен внутри лесного массива, небольшая его часть на западе примыкает к автодороге. Залежь имеет площадь около 13 га.

Таким образом, исследуемые участки характеризуются разными площадями, почвенно-растительными условиями, микрорельефом (локальные пониженные и повышенные участки), расположением по отношению к инфраструктуре, к лесным массивам.

В качестве данных ДЗЗ были использованы ряды спутниковых снимков с аппарата WorldView-2 сверхвысокого пространственного разрешения (0,5–1,0 м), находящихся в открытом доступе на интернет ресурсе Google Earth. Для участка 1 было использовано 17 спутниковых снимков, охватывающих временной интервал с мая 2010 г. по август 2021 г., сделанных в различные сезоны года, для участков 2 и 3 – по 14 спутниковых снимков, охватывающих временной интервал с мая 2004 г. по октябрь 2021 г.

Дешифрирование снимков с выявлением на залежах древесно-кустарниковой растительности осуществляли по прямым дешифровочным признакам: фототон, цвет, геометрия (форма, тень, размер), структурно-текстурный тип рисунка.

При анализе результатов дешифрирования последовательных временных рядов снимков с учётом сезона года (фенологической фазы) степень зарастания определяли по относительной плотности полога древостоя от появления на ровном фоне залежи точек, отражающих единичные кроны небольших деревьев и кустарников, их сгущения вплоть до полного смыкания крон. По характеру текстурного рисунка, цвету и фототону определяли видовой состав древесной растительности с последующей идентификацией установленных объектов на местности в полевых условиях.

Результаты и обсуждение

Прекращение хозяйственного использования земель приводит к появлению растительности, характерной для той или иной зоны, существовавшей до вмешательства человека и введения этих земель в сельскохозяйственный

оборот. Постагрогенная сукцессия залежи предопределяется её размерами (площадью), рельефом местности, расположением относительно леса и его типом. Анализ временных рядов спутниковых снимков (рис. 1–3, см. цветные вкладки I–III) позволяет проследить динамику зарастания залежи.

Участок 1 (рис. 1, см. цветную вкладку I). Стена ближайшего леса, ограничивающая залежь с юго-востока, извилистая почти параллельна оси увала и чётко отделяется от залежи. На всех снимках она тёмно-зелёного цвета, бугорчатой текстуры; в то время как на осенних снимках – с редкими светлыми пятнами. При полевом обследовании установлено, что данный фитоценоз – сосново-еловый лес с примесью пихты и берёзы, и имеет возраст более 70 лет.

На снимке от 13 мая 2010 г. (рис. 1.1) эта залежь имеет полосчато-пятнистую структуру (сохраняется направление распашки) от ярко-зелёного до соломенно-жёлтых оттенков, что может являться признаком зелёной и пожухлой (прошлогодней) травы. Вдоль юго-восточной границы участка непосредственно к стене леса примыкают ярко зелёные полосы шириной до 30–60 м микробугорчатой текстуры. Эти полосы – несомкнутые кроны лиственных деревьев, вытягивающиеся в цепочки по направлению пахотных борозд.

Через пять лет (рис. 1.2) эти полосы микробугорчатости выглядят уже как ровная поверхность, свидетельствующая о смыкании крон деревьев. На расстоянии от 60 до 150 м от стены леса наблюдается мелкобугорчатая текстура поверхности, которая далее на северо-запад (до 250 м) постепенно переходит в россыпь точек. А ещё через два года (рис. 1.3) эта россыпь сменяется мелкобугорчатой текстурой, а россыпь точек сдвигается до 500 м к северо-западу от стены леса. Тёмно-зелёные точки местами образуют облака точек, вытянутые по направлению борозд вспашки. Бóльшее количество точек располагается на склоне северо-западной экспозиции увала, а на юго-восточном склоне более развиты мелкобугорчатые текстуры. Контур распространения мелкобугорчатой текстуры, в общем, параллелен границе леса.

Снимок от 12.10.2020 (рис. 1.4) отражает фенологическую фазу, когда лиственные деревья и кустарники приобрели ярко-жёлтую окраску в отличие от хвойных, которые остались тёмно-зелёными. На этом снимке жёлтая полоса мелкобугорчатой структуры на расстоянии 180–200 м от стены леса до-

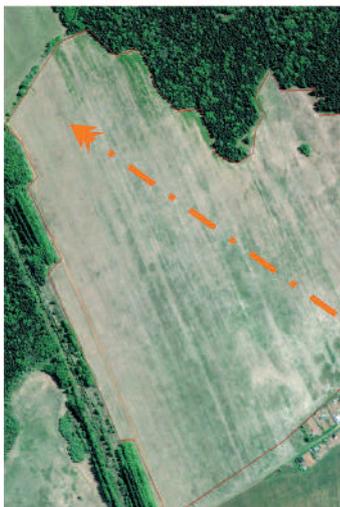
Е. А. Домнина, Т. А. Адамович, А. С. Тимонов, Т. Я. Ашихмина
«Мониторинг зарастания заброшенных земель
сельскохозяйственного назначения
по спутниковым снимкам высокого разрешения». С. 82.



3. (14.08.2017)



2. (30.05.2015)



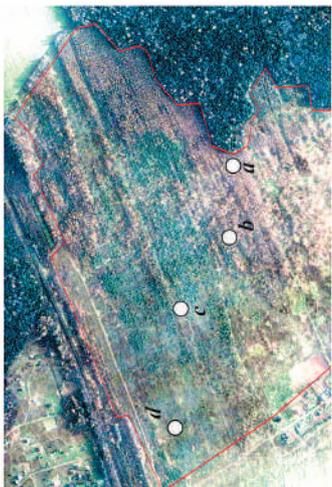
1. (13.05.2010)*



4a



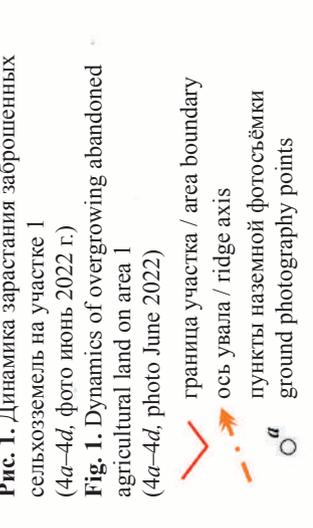
5. (05.07.2021)



4. (12.10.2020)



4b



4c



4d

Рис. 1. Динамика зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель на участке 1 (4a–4d, фото июнь 2022 г.)

Fig. 1. Dynamics of overgrowing abandoned agricultural land on area 1 (4a–4d, photo June 2022)

 граница участка / area boundary
 ось увала / ridge axis
 пункты наземной фотосъёмки
 ground photography points

* здесь и далее в скобках приведена дата спутникового снимка here and below in parentheses is the date of the satellite image

Е. А. Домнина, Т. А. Адамович, А. С. Тимонов, Т. Я. Ашихмина
 «Мониторинг зарастания заброшенных земель
 сельскохозяйственного назначения
 по спутниковым снимкам высокого разрешения». С. 82.



Рис. 2. Динамика зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель на участке 2 (6а – 6с, фото июнь 2022 г.)
Fig. 2. Dynamics of overgrowing abandoned agricultural land on area 2 (6a – 6c, photo June 2022)

Условные обозначения смотри на рисунке 1.
 Symbols see Figure 1.

Е. А. Домнина, Т. А. Адамович, А. С. Тимонов, Т. Я. Ашихмина
«Мониторинг зарастания заброшенных земель
сельскохозяйственного назначения
по спутниковым снимкам высокого разрешения». С. 82.



3. (09.03.2010)



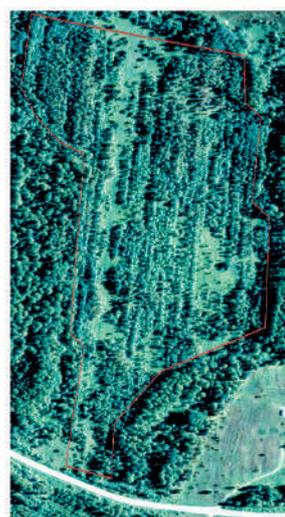
2. (13.10.2005)



1. (06.05.2004)



6. (06.10.2021)



5. (10.09.2018)



4. (06.05.2016)



6с



6b



6а

Рис. 3. Динамика зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель на участке 3 (6а–6с, фото июнь 2022 г.)
Fig. 3. Dynamics of overgrowing abandoned agricultural land on area 3 (6а–6с, photo June 2022)

Условные обозначения смотри на рисунке 1.
 Symbols see Figure 1.

вольно резко сменяется мелкобугорчатой с отдельными проявлениями точечных структур в виде хаотично разбросанных тёмно-зелёных точек, преимущественно на склоне увала северо-западной экспозиции.

Полевые наблюдения показали, что непосредственно к стене леса примыкает ивняк разнотравный с берёзой (рис. 1.4a), имеющий на большей части залежи плотный (с плотностью 0,5–2,0 м) сомкнутый древостой высотой до 10–12 м. Под его пологом встречаются отдельные деревца ели и сосны в угнетённом состоянии (рис. 1.4a). На отдельных участках наблюдается упорядоченное расположение деревьев вдоль линий распашки.

По мере удаления от стены леса (30–50 м) ивняк разнотравный с берёзой сменяется чистым березняком высотой 12–15 м с подростом ели и редко сосны высотой 5 м, возрастом 10–12 лет. Среднее расстояние между деревьями 5–8 м. Жёлтые точки на спутниковом снимке от 12.10.2020 (рис. 1.4) идентифицируют отдельные кроны берёз, участками смыкающиеся в единый массив (рис. 1.4, 1.4b), образуя полосу шириной 150–250 м на удалении от стены леса до 50 м. Следует обратить внимание на то, что граница полосы зарастания в основном параллельна границе леса и постепенно расплывается по мере удаления от неё.

Березняк сменяется куртинами (рис. 1.4c), состоящими из ели и сосны, редко – берёзы. Высота елей и сосен здесь достигает 10 м, возраст – 10–12 лет, среднее расстояние между деревьями 3–5 м. Между куртинами произрастают кустарники: ива, черёмуха, рябина.

При дальнейшем удалении от стены леса уменьшается высота деревьев до 2–3 м, возраст – до 7–8 лет, среднее расстояние между ними увеличивается до 8–10 и более метров (рис. 1.4d).

Анализ последовательных разновременных спутниковых снимков показал, что в течение 2–3 лет после прекращения сельскохозяйственного использования данного участка зарастание залежи древесной растительностью началось от стены леса, где сформировалось несколько кластеров с очень высокой плотностью ивового и берёзового подроста, что указывает на повышенную увлажнённость почв. Кроны деревьев здесь сомкнулись через 4–5 лет после прекращения сельскохозяйственного использования земель. Сильная загущённость ивняка не позволила достичь верхнего яруса сосне и ели, которые находятся под его пологом в виде угнетённых растений (рис. 1.4a). Дальнейшее зарастание

древесной растительностью происходило от стены леса к центральной части залежи и по направлению к её границам. Причём фронт зарастания в общем виде параллелен извилистой стене леса на юго-восточной границе залежи (рис. 1.2, 1.3). Это может свидетельствовать о том, что поставщиком семенного материала является этот лес. Постепенное сокращение возраста сосен с 10–12 до 7–8 лет и высоты хвойных деревьев по мере удаления от стены леса свидетельствует о том, что процесс распространения древесной растительности на залежи продолжается в настоящее время с некоторым замедлением.

Видовой состав деревьев на этой залежи и интенсивность (скорость) её зарастания определяется несколькими основными факторами: видовым составом коренного леса, относительной увлажнённостью, экспозицией склона (северо-западный склон менее заросший), удалённостью от стены леса.

Участок 2 с трёх сторон окружён лесом, который чётко отделяется от залежи на всех снимках. При полевых исследованиях выявлено, что примыкающий к залежи лесной массив берёзово-еловый с участием в древостое отдельных сосен. Лес возвышается над деревьями, выросшими на залежи, примерно на 5–6 м (рис. 2.6a, см. цветную вкладку II).

На самом раннем спутниковом снимке, датированном началом мая 2004 г. (рис. 2.1) прилегающее к автодороге обрабатываемое поле имеет однотонный полосчатый зелёный цвет разных оттенков. Залежь, примыкающая к этому полю, имеет полосчато-пятнистую текстуру от бледно-зелёного до соломенного цвета, что является отражением распашки прошлых лет и наличия зелёной и пожухлой прошлогодней травы. На этом фоне в центре западной части залежи видно несколько одиночных точек, которые можно идентифицировать как отдельные небольшие деревья или кустарники.

На снимке 2005 г. (рис. 2.2) в центральной части залежи видно облако хаотичного скопления отдельных зелёных точек, отстоящих друг от друга на 2–10 м, занимающего примерно 25% от её общей площади.

На снимках 2010 г. (начало марта) и 2016 г. (начало мая), снятых в фенофазы, когда отсутствует листва (рис. 2.3, 2.4), хорошо дешифрируются листовенные (серые) и хвойные (зелёные) деревья. Последние образуют участок мелкобугристой текстуры, который на снимке 2005 г. выглядел как облако точек. Также по чистому белому (рис. 2.3) или бледно-зелёному

(рис. 2.4) полю хорошо дешифрируются неза-росшие древесно-кустарниковой растительностью поляны. Площадь зарастания деревьями и кустарниками в 2010 г. составила порядка 55–60%, а в 2016 г. – порядка 85%.

На июльском снимке 2021 г. (рис. 2.5) залежь имеет мелкобугристый текстурный рисунок с просветами полей. На нём практически невозможно отличить лиственные деревья от хвойных. В то же время на снимке отчётливо видны поляны по ровному зелёному цвету. На октябрьском снимке этого же года (рис. 2.6) лиственные деревья и кустарники очень хорошо дешифрируются по ярко-жёлтым и серым пятнам, а хвойные деревья – по ярко-зелёным. Об относительном возрасте деревьев в какой-то мере можно судить и по бугристости, отражающей величину кроны деревьев. На залежи бугристость по размеру гораздо меньше, чем на примыкающем к ней лесу. В 2021 г. площадь зарастания залежи составила порядка 90%.

По результатам полевого обследования дешифрируемые на октябрьском снимке (рис. 2.6) зелёные точки – это хвойные деревья, которые представлены сосной обыкновенной с диаметром ствола 11–25 см и елью – диаметром до 10 см, возраст 15–20 лет (рис. 2.6б и 2.6с); ярко-жёлтые – берёза, диаметром от 10 до 20 см; серые – ивняк. Дешифрируемые на снимках поляны (рис. 2.6б) представляют собой переувлажнённые участки, покрытые исключительно травянистой растительностью, с преобладанием в травостое купальницы европейской, купыря лесного и таволги вязолистной.

Анализ последовательных разновременных спутниковых снимков показал следующее. Пожухлая трава и наличие деревьев или кустарников (рис. 2.1) свидетельствует о том, что данный участок не обрабатывался примерно с 2000–2002 гг. Первоначально зарастание залежи происходило хвойными деревьями в центральной части, а затем по периферии участка берёзой пушистой и ивой. Сравнивая снимки 2016 и 2021 гг. следует отметить, что площадь зарастания залежи за этот период практически не изменилась (поляны остались примерно в тех же контурах), т. е. к 2014–2015 гг. завершилось зарастание залежи древесной растительностью. Начиная с этого времени происходил рост деревьев в высоту, увеличение в диаметре стволов и кроны, и естественное изреживание древостоя (рис. 2.6с).

Залежь на **участке 3** практически со всех сторон ограничена лесом, проявляющемся на снимке начала мая 2004 г. (рис. 3.1,

см. цветную вкладку III) бугорчатым текстурным рисунком серого с участками зеленоватого тона. При полевом обследовании установлено, что этот фитоценоз – берёзовый с примесью сосны и ели. На этом же снимке залежь выглядит как поле общего жёлтовато-серого фона, отражающего цвет пожухлой прошлогодней травы, с тонкими полосками и хаотично разбросанными точками (иногда их скоплениями до 10–25 м) грязно-зелёного цвета, местами расплывающимися, которые, вероятно, обусловлены кустарниками и мелкими деревьями, произрастающими по бороздам вспашки, предшествующей прекращению сельскохозяйственного использования угодья.

На спутниковом снимке от 13.10.2005 (рис. 3.2) видно, что количество точек увеличилось, а также увеличилась площадь их скоплений. Общая площадь зарастания древесно-кустарниковой растительностью незначительно увеличилась (до 30% от общей площади залежи). При этом выявляются участки концентрации точек зелёного цвета в северо-восточном углу залежи (до 60 м в диаметре), в восточной части (до 40 м) и небольшое (до 20 м) на юго-западе. Зимний снимок 2010 г. (рис. 3.3) демонстрирует зарастание залежи преимущественно лиственными деревьями, которые по тени на снегу отличаются от хвойных отсутствием облиственной кроны. Также отчётливо видны поляны, не занятые древесно-кустарниковой растительностью. Общая площадь зарастания залежи составила немногим более 80%.

На снимке начала мая 2016 г. (рис. 3.4) видно, что площади зарастания по сравнению с предыдущим снимком увеличились не существенно. Однако различить отдельные деревья уже не представляется возможным, что обусловлено увеличением размеров кроны и их смыканием. Также отчётливо выделяются как и на снимке 13.10.2005 участки концентрации зелёных точек, которые увеличены в размерах и иногда, сливаясь, приобрели бугорчатую текстуру (рис. 3.2) зелёного цвета, отражающую смыкание кроны хвойных деревьев, в отличие от лиственных, имеющих на снимке серый цвет.

Снимки 2018 г. (рис. 3.5) и 2021 г. (рис. 3.6) показывают, что площадь зарастания залежи древесно-кустарниковой растительностью по сравнению с 2016 г. практически не увеличилась, а сомкнутость кроны существенно возросла. На снимке начала сентября 2018 г. различить по цвету хвойные и лиственные деревья не представляется возможным, в то вре-

мя как на снимке октября 2021 г. отчётливо видны три преобладающих цвета крон: жёлтый, серый и зелёный. При полевом обследовании установлено, что жёлтый цвет соответствует кронам берёз, серый – ивняка, а зелёный – ели и сосны.

В целом залежь к настоящему времени заросла в основном берёзой; в пониженных участках преимущественно ивой (рис. 3.6a). Хвойные деревья образуют небольшие куртины, но нередко одиночные деревья сосны и ели возрастом от 8 до 14 лет встречаются среди берёз (рис. 3.6b). На полянах (рис. 3.6c) произрастает травянистая растительность, характерная для переувлажнённых территорий (лютик ползучий, бодяк разнолистный, незабудка болотная).

Анализ временного ряда спутниковых снимков залежи на участке 3 позволяет говорить о том, что участок, вероятно, был заброшен в 2002 г. Заращение его началось с микропонижений, на которых начала разрастаться ива. Слабо увлажнённые участки заросли берёзой, а небольшие повышения – сосной. Небольшие поляны остаются не занятыми древесно-кустарниковой растительностью в течение длительного времени (более пяти лет), возможно вследствие неблагоприятных почвенных условий. К 2012–2014 гг. практически прекратилось заращение залежи. После этого, также как и на участке 2, происходил рост деревьев в высоту, увеличение диаметра их стволов и разрастание кроны.

Обобщая результаты мониторинга зарастания залежей на трёх участках, имеющих отличительные особенности, можно выделить следующие закономерности.

– Границы и следы обработки почвы и соответственно линейный структурный рисунок изображения пахотных сельскохозяйственных площадей сохраняются многие годы. Появление на спутниковых снимках локальной размазанной пятнистости, особенно заметной на весенних снимках, свидетельствует о признаках прекращения обработки и заброшенности угодий. Возникновение в текстуре весенних и летних снимков неоднородно расположенных пятен и точечных структур отражает начало зарастания травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

– Основным индикатором пространственно-временной гетерогенности протекания постагрогенной сукцессии на залежи является динамика расширения площади зарастания и увеличение крон деревьев до их смыкания,

которые направленно возрастают с течением времени.

– Пространственное распространение и формирование на залежи различных видов древостоя происходит в зависимости от расположения их по отношению к соседним лесным массивам, которые являются основными поставщиками семенного материала.

Заращение сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью на начальных стадиях дешифрируется на спутниковых снимках точечной структурой зачашую по направлению полосчатости распашки. В последующем она сменяется разной степенью бугристости текстурного рисунка. При этом отсутствует структурированность в распространении текстурных особенностей, а также резких цветовых переходов, связанных с распашкой земли. При этом полосчатый структурный рисунок залежи может сохраняться на долгие годы.

В зависимости от местоположения участка и расстояния до ближайших лесных массивов, заращение древесно-кустарниковой растительностью начинается уже через 2–3 года после прекращения обработки сельхозугодья (распашки или регулярного сенокосения). Существенную роль в видовом составе зарастающей залежи, несомненно, играют типы почв и их увлажнённость.

Спутниковые снимки, сделанные в разные сезоны и в разные фенофазы, как было показано нами ранее [15–17], позволяют довольно определённо различать по цветовой гамме лиственные деревья от хвойных, а также отдельные виды лиственных деревьев, поскольку их фенофазы не совпадают.

Заключение

Анализ разновременных спутниковых снимков сверхвысокого разрешения, сделанных в разные фенофазы и размещённых в открытом доступе на интернет ресурсе Google Earth, позволил провести оценку структурных параметров формирующейся на залежах древесно-кустарниковой растительности. Показана динамика зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель за период с 2004 г. по настоящее время на примере трёх различных по размерам и особенностям участков, расположенных в подзоне южной тайги.

Выявлена пространственно-временная гетерогенность постагрогенного возобновления древесной растительности на локальном уровне. Она проявилась в том, что заращение

древесно-кустарниковой растительностью начинается уже через 2–3 года с момента прекращения сельскохозяйственного использования земель. При этом на небольших по площади залежах (менее 15 га) и большей частью окружённых лесом, зарастание происходит менее чем за 10–12 лет. А на большей площади с ограниченной стеной леса этот процесс более растянут во времени. Зарастание на ограниченных залежах (участки 2 и 3) происходит практически одновременно по всей площади, распределение видов растительности определяется почвенными условиями. В случае же залежи с большой площадью (участок 1) и незначительной по протяжённости стеной леса, зарастание происходит от стены леса, постепенно удаляясь от неё. При этом преобладание лиственных деревьев у стены леса сменяется преобладанием хвойных по мере удаления от неё.

Полученные результаты позволяют проследить динамику развития естественного древесно-кустарникового покрова, формирующегося на ранее обрабатываемых, но заброшенных сельскохозяйственных угодьях, оценить состояние и значение произрастающих на залежи лесных насаждений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

References

1. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.A. Dynamics of agricultural lands in Russia in the 20th century and post-agrogenic restoration of vegetation and soils. Moskva: GEOS, 2010. 426 p. (in Russian).
2. Medvedev A.A., Telnova N.O., Kudikov A.V. Remote highly detailed monitoring of the dynamics of overgrowing of abandoned agricultural lands with forest vegetation // *Voprosy lesnoy nauki*. 2019. V. 2 (3). P. 1–12 (in Russian). doi: 10.31509/2658-607X-2019-2-3-1-12
3. Lugo A.E. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests // *Forest Ecology and Management*. 2004. No. 190. P.145–161. doi: 10.1016/J.FORECO.2003.09.012
4. Liepins K. Naturally afforested agricultural lands in Latvia – assessment of available timber resources and potential productivity // *Environmental engineering. Proceedings of the 7 th international conference*. 2008. P. 194–199.
5. Bogomazov S.V., Lyandenburskaya A.V., Levin A.A., Efremova E.V., Tkachuk O.A. Real-time monitoring of agricultural land using GIS technology // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 839. Article No. 032025. doi: 10.1088/1755-1315/839/3/032025
6. Belousova A.P., Chashchin A.N. Evaluation of the intensity of overgrowing of soils of agricultural land with forest vegetation according to remote sensing data // *Vestnik Udmurtskogo universiteta*. 2018. V. 28. No. 3. P. 269–278 (in Russian).
7. Ivanov D.V., Kulikov S.V., Tsarevsky E.A., Lugansky V.N. Dynamics of some agrochemical indicators of soils when agricultural fields are overgrown with woody vegetation in the conditions of the Baikalovsky district of the Sverdlovsk region // *Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2016. No. 10. P. 11–15 (in Russian). doi: 10.1134/S1064229317110096
8. Budanov K.A., Denisov P.V., Lupyan E.A., Martyanov A.S., Sereda I.I., Troshko K.A., Tolpin V.A., Bartalev S.A., Khvostikov S.A. Block of work with Earth remote sensing data of the Unified federal information system on agricultural lands // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. No. 3. P. 171–182 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-171-182
9. Alcantara C., Kuemmerle T., Baumann M., Bragina E.V., Griffiths P., Hostert P., Knorn J., Müller D., Prishchepov A.V., Schierhorn F., Sieber A., Radeloff V.C. Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data // *Environmental Research Letters*. 2013. V. 8. No. 3. [Internet resource] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/035035> (Accessed: 23.07.2018). doi: 10.31509/2658-607x-2019-2-3-1-12
10. Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series // *Remote Sensing of Environment*. 2015. V. 163. P. 312–325. doi: 10.1016/j.rse.2015.03.028
11. Koroleva N.V., Tikhonova E.V., Ershov D.V., Saltykov A.N., Gavriluk N.A., Pugachevsky A.V. Assessment of the scale of overgrowing of non-forest lands in the Smolenskoye Poozerye National Park for 25 years using Landsat satellite data // *Lesovedenie*. 2018. No. 2. P. 83–96 (in Russian).
12. Lesiv M., Schepaschenko D., Moltchanova E., Bun R., Dürauer M., Prishchepov A.V., Schierhorn F., Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Kussul N., Shchepashchenko M., Kutovaya O., Martynenko O., Karminov V., Shvidenko A., Havlik P., Kraxner F., See L., Fritz S. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries // *Scientific Data*. 2018. No. 5. Article No. 180056. doi: 10.1038/sdata.2018.56
13. Evstratova L.G. Peculiarities of monitoring agricultural lands by different types of aerospace images // *Interekspo Geo-Sibir'*. 2019. V. 4. No. 2. P. 205–212

(in Russian). doi: 10.33764/2618-981X-2019-4-2-205-212

14. Denisova A.Yu., Egorova A.A., Sergeev V.V., Kavelenova L.M. Development of requirements for multi-spectral data of remote sensing of the Earth in the problem of examination of overgrowing of arable lands with trees and shrubs // *Komp'yuternaya optika*. 2019. V. 43. No. 5. P. 846–856 (in Russian). doi: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-846-856

15. Domnina E.A., Timonov A.S., Kantor G.Ya., Kislitsyna A.P., Savinykh V.P. Experience of detailed mapping of floodplain meadow vegetation // *Theoretical*

and Applied Ecology. 2017. No. 1. P. 42–49 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-042-049

16. Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashikhmina T.Ya. Thematic interpretation of high-resolution satellite images of vegetation based on field research data // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 3. P. 41–45. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-041-045

17. Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashikhmina T.Ya. Study of reforestation based on high-resolution satellite imagery // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 3. P. 38–43 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-038-043