

УДК 631.6
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

Регенеративная агролесомелиорация

Ивонин В.М.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Аннотация. В условиях негативных природно-антропогенных изменений климата, деградации агроэкосистем и сокращения биоразнообразия возникает необходимость в разработке теоретических основ создания инновационных агролесомелиоративных систем, мелиоративное предназначение которых дополнено регенеративными возможностями. Радиальная диаграмма Венна представляет собой наглядную модель такой системы. Центральный круг этой модели символизирует возможности традиционной агролесомелиорации земель (борьба с засухой, эрозией и дефляцией; формирование биомезоклимата; повышение продуктивности агроценозов и т. д.), а четыре периферийных круга символизируют группы возможностей регенерации (смягчение последствий изменения климата, восстановление деградировавших агроэкосистем и водных объектов, сохранение биоразнообразия). Смягчение последствий изменения климата (путём депонирования атмосферного углерода) и восстановление деградированных пахотных земель, лугов и пастбищ, подвижных песков и залежей происходит в результате синергии защитных лесных насаждений, «зелёного» земледелия и фитомелиоративных мероприятий. Состояние поверхностных водных объектов улучшается за счёт создания на их водосборах регенеративных систем лесных насаждений. Укрывные, кормовые и гнездопригодные свойства лесных насаждений, сельскохозяйственных угодий и водных объектов определяют представительство фауны. Водоохранные зоны и другие охраняемые природные территории, связанные экологическими коридорами, а также микрорекотопы восстановленных угодий способствуют сохранению естественных популяций видов in-situ.

Ключевые слова: восстановление деградированных агроэкосистем, восстановительное агролесоводство, изменение климата, защитные лесные насаждения, сохранение биоразнообразия

Для цитирования: Ивонин В.М. 2024. Регенеративная агролесомелиорация. Региональные геосистемы, 48(1): 30–44. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

Regenerative Agroforest Reclaim

Vladimir M. Ivonin

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute –
branch of the Don State Agrarian University,
111 Pushkinskaya St, Novocherkassk 346428, Russia
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Abstract. In the context of negative natural-anthropogenic climate changes, degradation of agroecosystems and reduction of biodiversity, there is a need to develop theoretical foundations for the creation of innovative agroforestry systems, the reclamation purpose of which is complemented by regenerative capabilities. A radial Venn diagram is a visual model of such a system. The central circle of this model symbolizes the possibilities of traditional agroforestry land reclamation (combat drought, erosion and deflation; formation of biomesoclimate; increasing the productivity of agroecosystems, etc.), and four peripheral circles symbolize groups of regeneration opportunities (climate change mitigation, restoration of degraded agroecosystems and water objects, biodiversity conservation). Mitigation of the

climate change effects (by sequestering atmospheric carbon) and restoration of degraded arable lands, meadows and pastures, shifting sands and fallow lands occur as a result of the synergy of protective forest plantings, green farming and phytomeliorative measures. The condition of surface water bodies is improved through the creation of regenerative forest systems in their catchment areas. The covering, feeding and nesting properties of forest plantations, agricultural lands and water bodies determine the representation of fauna. Water protection zones and other protected natural areas connected by ecological corridors, as well as microecotopes of restored lands, contribute to the conservation of natural populations of in-situ species.

Key words: restoration of degraded agroecosystems, regenerative agroforestry, climate change, protective forest plantings, biodiversity conservation

For citation: Ivonin V.M. 2024. Regenerative Agroforest Reclaim. Regional Geosystems, 48(1): 30–44 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44

Введение

Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/73/284 от 1 марта 2019 года провозгласила 2021–2030 годы Десятилетием Организации Объединенных Наций по восстановлению экосистем для расширения усилий по недопущению деградации экосистем и восстановлению деградированных экосистем с повышением осведомлённости о важности этого восстановления [Резолюция Генеральной ..., 2019].

Поэтому, современные исследователи особое внимание обращают на экологию и экономику регенерации деградированных экосистем [Rohr et al., 2018]. Особенно это касается агроэкосистем, так как во всём мире более 20 % обрабатываемых площадей и 10 % лугопастбищ страдают от деградации [Hamdy, Aly, 2014].

По данным Доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Минсельхоза России [Доклад о состоянии ..., 2022] в 2020 году общая площадь сельскохозяйственных угодий (земли сельскохозяйственного назначения) составляет 197,8 млн га, в том числе пашня занимает 116,2 млн га, сенокосы – 18,7, пастбища – 57,3, залежи – 4,4, многолетние насаждения – 1,2 млн га.

Под влиянием негативных природно-антропогенных процессов происходит деградация этих угодий: увеличиваются площади смытых, размывших и дефлированных земель; ухудшаются физические и химические свойства почв, происходит их иссушение или переувлажнение, истощение и загрязнение; сокращается защитная лесистость; растут площади подвижных песков; снижается биологическое разнообразие. Это сопровождается ужесточением последствий изменений климата, снижением продуктивности сельскохозяйственных угодий или выводом их из хозяйственного оборота с последующим зарастанием сорной травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, вырождением естественных и старосеяных травостоев.

Использование почв в сельском хозяйстве (распашка, заготовка растительных кормов, выпас животных) приводят к дегумификации органического вещества почвы. Минерализация его приводит к образованию двуокси углерода, атмосферная концентрация которого вызывает климатические изменения.

Поэтому востребованы регенеративные системы ведения сельского хозяйства [Ахметшина, 2022], которые предназначены для восстановления естественных почвенных процессов, сокращения потерь углерода (эмиссия парниковых газов), для повышения устойчивости сельского хозяйства к изменению климата, увеличения урожайности и биоразнообразия, улучшения качества продукции.

Регенеративные земледельческие технологии в целом способствуют регулированию баланса почвенного органического вещества, что приводит к смягчению процессов изменений климата [Столбовой, 2020].

Регенеративное земледелие в основном сосредоточено на восстановлении естественных почвенных процессов, увеличении биоразнообразия, улучшении водного режима территории, получении экосистемных услуг, поддержании биосеквестрации (форма связывания углерода за счёт интенсификации процессов фотосинтеза с помощью агролесомелиорации, лесовосстановления и др.). Протеканию естественных почвенных процессов содействуют поступления растительных остатков в почвы, повышение продукции фитомассы (в том числе древесной), интенсификации фотосинтеза и поглощения CO₂ из атмосферы. В этих процессах существенную роль играет агролесомелиорация.

В Индии экономическая и экологическая выгода систем агролесомелиорации (агролесоводства) при фермерском производстве определяется фиторемедиацией, повышением плодородия почв, смягчением негативных проявлений изменения климата, получением других экосистемных услуг [Pratap, Shalini, 2019].

В Африке агролесомелиорация обеспечивает активы и доходы от поглощения углерода из атмосферы, энергии древесины, повышения плодородия почвы и улучшения местных климатических условий; она предоставляет экосистемные услуги и снижает воздействие человека на естественные леса [Cheikh et al., 2014].

В США агролесомелиорация способствует решению пяти основных экологических проблем сельского хозяйства: поддержанию плодородия и текущего состояния почв, регулированию поверхностного стока и его качества, сохранению и расширению биоразнообразия, самообновлению и устойчивости экосистем, связыванию углерода [Elevitch et al., 2018].

В России основы агролесомелиоративной науки изложены в работах основоположников защитного лесоразведения [Докучаев, 1892; Высоцкий, 1915 и др.] и современных исследователей [Кулик и др., 2008; Проездов, Маштаков, 2013; Манаенков, 2016; Ерусалимский, Рожков, 2017; Ивонин, 2023].

По Федеральному закону [О мелиорации ..., 2020], агролесомелиорация земель (противоэрозионная, полезащитная, пастбищезащитная) направлена на регулирование водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорируемых землях посредством осуществления мероприятий по проектированию, созданию и содержанию мелиоративных защитных лесных насаждений (МЗЛН).

Объекты и методы исследования

Объект исследований – регенеративная система, которая, обеспечивая достижение традиционных агролесомелиоративных целей (борьба с засухами, эрозией почв, регулирование биомезоклимата и плодородия почв, снегозадержание, повышенная продуктивность агроценозов или выпасаемых животных и другое), дополнительно обладает возможностями смягчать негативные последствия изменения климата, восстанавливать ранее деградированные сельскохозяйственные угодья и поверхностные водные объекты, а также – сохранять и обогащать биоразнообразие.

Основной метод исследований – визуальное построение и анализ модели регенеративной агролесомелиоративной системы. Этот метод ранее был нами опробован при изучении мелиоративного потенциала лесоаграрного ландшафта и построении визуальной модели систем лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов [Ивонин, 2019; 2020].

При построении визуальной модели в виде радиальной диаграммы Венна, её основной круг символизировал традиционные цели агролесомелиорации земель, а периферийные круги – новые группы возможностей регенеративной агролесомелиорации. Свободные (не перекрывающиеся друг друга) части периферийных кругов иллюстрируют различия между группами регенеративных возможностей, а перекрывающиеся части – связи исследуемых групп с целями традиционной агролесомелиорации земель. Визуальные пе-

риферийные модели групп регенеративных возможностей представлены диаграммами: горизонтальной и многоуровневой иерархии, столбиковой диаграммы Венна.

Результаты и их обсуждение

В условиях деградации сельскохозяйственных угодий (в связи с изменениями климата, развитием промышленным путём земледелия и животноводства) достижение традиционных целей агролесомелиорации земель оказалось недостаточным. Возникла дополнительная необходимость смягчения негативных последствий изменений климата, восстановления деградированных сельскохозяйственных угодий и водных объектов, сохранения и обогащения биоразнообразия.

Это определило цели регенеративной агролесомелиорации, объект которой представляет систему, визуальная модель которой соответствует радиальной диаграмме Венна (рис. 1).



Рис. 1. Визуальная модель системы регенеративной агролесомелиорации
Fig. 1. Visual model of a regenerative agroforestry system

На рис. 1 показано перекрытие четырёх периферийных кругов (представляющих новые группы возможностей регенерации) центральным кругом, иллюстрирующим традиционные цели агролесомелиорации земель.

Периферийный круг 1 представляет возможности смягчения негативных последствий изменения климата, вызванных глобальным потеплением, связанным с концентрацией в атмосфере парниковых газов (CO_2 и другие), которые задерживают в приземной атмосфере тепло, отраженное от поверхности Земли (рис. 2).

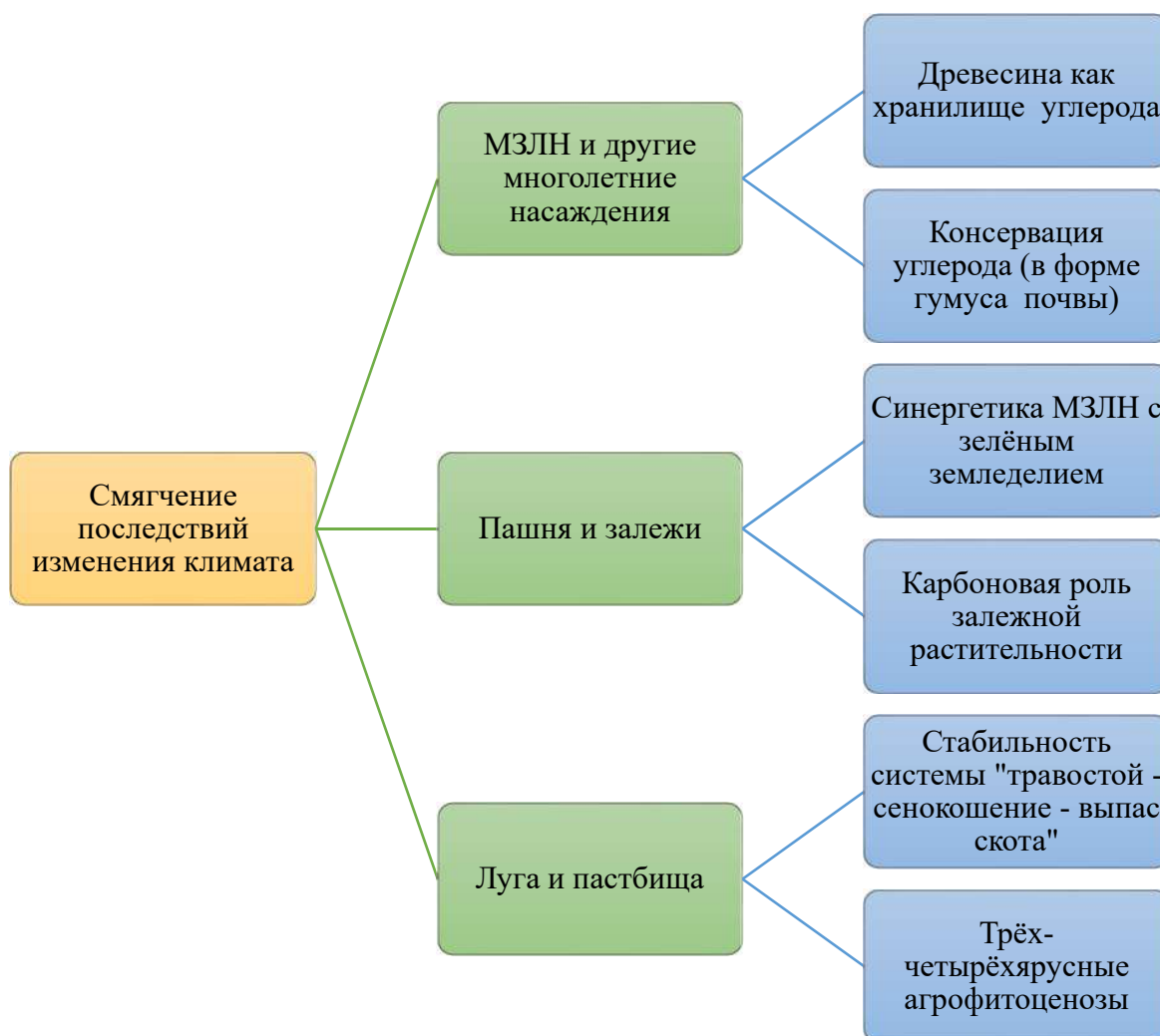


Рис. 2. Потенциал регенеративной агролесомелиоративной системы для смягчения негативных последствий изменений климата
Fig. 2. The potential of a regenerative agroforestry system to mitigate the negative impacts of climate change

По данным рис. 2, древесина (изъятая из годового цикла биологического круговорота лесного типа) мелиоративных защитных лесных и других многолетних насаждений выступает долговременным хранилищем углерода. Кроме этого, в лесной подстилке и почве древесного полога, под влиянием беспозвоночных животных и микроорганизмов, активизируются процессы гумификации. При этом, развивается незамкнутый цикл углерода, с его консервацией в форме почвенного гумуса.

Сочетания мелиоративных защитных лесных насаждений с зелёным земледелием (нулевая обработка почвы, высокая насыщенность севооборотов многолетними травами,

промежуточные культуры, сидерация, мульчирование верхнего слоя почв, применение компостирования и др.) активизирует процессы секвестрации углерода.

Свой вклад в эти процессы вносят залежи (заброшенные участки пашни или кормовых угодий), которые со временем начинают функционировать как природные степные экосистемы, влияя на параметры углеродного цикла.

Так, эродированные почвы после вывода их из оборота за 5–10 лет становятся более ёмкими для устойчивого поступления CO_2 из атмосферы [Щепашенко и др., 2013].

Природные кормовые угодья усиливают свою карбоновую роль при стабильности системы «травостой – сенокосение – выпас скота» с соблюдением периодичности сенокосения, допустимой плотности скота на единице площади, сохранения растительных остатков на поверхности угодий [Калов, Гакаев, 2022].

Карбоновая роль кормовых угодий проявляется максимально при технологиях создания многокомпонентных трёх-четырёхъярусных агрофитоценозов, включающих пастбищный травостой, кормовые кустарники, пастбищезащитные лесные полосы, древесные зонты и затишки.

Восстановление деградированных сельскохозяйственных угодий (периферийный круг 2, см. рис. 1) происходит за счёт регенеративной способности систем агролесомелиорации не только на эродированной, истощённой или загрязнённой пашне, но и на выродившихся лугово-пастбищных угодьях, утративших устойчивость и продуктивность, а также на подвижных песках и других «бросовых» землях (рис. 3).

Восстановительные способности усиливаются при синергии МЗЛН с разнообразными биокосными элементами – защитными покровами на склонах и откосах из деревянных решёток (заполненных почвогрунтом и природным камнем) или геотекстиля из солом, стеблей кукурузы и других местных материалов, простейшими гидротехническими сооружениями, технологиями зелёного или карбонового земледелия, а также – приёмами биоремедиации и культуртехнической подготовки земель [Ивонин, 2023]. Таким образом формируются системы регенеративной агролесомелиорации.

Способности таких систем проявляются в восстановлении деградированных почв на пашне (эродированных, загрязнённых и др.), которое происходит как под пологом лесных полос, так и на прилегающих к ним участках полевых угодий. Под лесным пологом глубина и охват почвенного профиля корневыми системами, формирование лесной подстилки, аккумуляция биогенных элементов, уменьшение глубины промерзания приводят к тёмной окраске почв, возрастанию мощности иллювиальных и гумусовых горизонтов, улучшению биологических (численность микрофлоры, напряжённость биологических процессов), химических (гумус, NPK), физических (плотность, пористость и другое) свойств.

На прилегающих к лесным полосам участках полей процессы восстановления активизируются в зонах ветровых теней (за счёт отложения мелкозёма при дефляции и водной эрозии), а также – накопления снега и положительной динамики водного, теплового и воздушного режимов почв.

Закрайки полезащитных лесных полос, по ширине равные междурядью или его половине, обычно заняты залежной растительностью, в том числе сорными растениями. Поэтому целесообразно создание покрова бобово-злаковых травосмесей на площадях закраек полезащитных, прибалочных и приовражных лесных полос. Посев семян травосмесей проводят по подготовленной почве (обычная агротехника), с дальнейшим периодическим подкашиванием травостоя и оставлением его на месте в качестве мульчи. По верховым опушкам стокорегулирующих лесных полос проводят аналогичные работы, при этом низовые опушки занимают простейшие земляные гидротехнические сооружения (валы или валы-канавы).

Создание постоянного травяного покрова на закрайках возможно методом агростеппей – восстановление многовидовых самовоспроизводящихся травянистых фитоценозов

(с использованием целинных семенников), сходных по основным признакам с природными формациями зональных степей [Дзыбов, 2012].

На размытых участках сельскохозяйственных угодий, при необходимости, предусматривают выравнивание рельефа (засыпка водороев или выполаживание оврагов), с последующим травосеянием или облесением.



Рис. 3. Восстановление деградированных сельскохозяйственных земель
Fig. 3. Restoration of degraded agricultural land

Хозяйственное использование оврагов практикуют выращиванием высокопродуктивных лесных насаждений без существенного нарушения овражных бортов, путём их отсыпки гумусовым слоем почвы, срезанным с прибровочной полосы или выполаживанием и оставлением в ненарушенном состоянии участков противоположных бортов оврага при их шахматном чередовании (с последующим облесением выположенных участков и оставлением для самозаращения ненарушенных участков) и др.

Зелёное (карбоновое) земледелие сочетают с мелиоративными защитными лесными насаждениями, способствующими повышению эффективности сельскохозяйственных технологий и образованию экологических ниш для животных, птиц и насекомых.

Создание сеяных сенокосов лучше проводить (по известным технологиям) с дополнительной посадкой двухрядных полос бобовых кустарников (расстояние между полосами 10–20 м в зависимости от крутизны склонов), что способствует получению на междуполосных пространствах наибольшего выхода кормовой массы с единицы площади, особенно на склонах балок и речных долин.

Пастбищный травостой опустыненных угодий дополняют кормовыми кустарниковыми кулисами, пастбищезащитными лесными полосами, затишками и древесными зонами. Так формируются лесопастбища.

Преимущество лесопастбищ определяется повышением фитопродуктивности и формированием устойчивых популяций и фитоценозов, с продлением их продуктивного долголетия.

Создание систем основных и вспомогательных пастбищезащитных лесных полос способствует формированию биомикроклимата, комфортного для животных и кормовых растений, созданию необходимых условий для проведения работ по поверхностному или коренному улучшению этих угодий, организации пастбищеоборотов [Рыбашлыкова и др., 2021].

На фоне лесных насаждений эффективны ресурсосберегающие технологии реформирования краткосрочных пастбищных агрофитоценозов в долголетние, а также – самовозобновления пастбищ и сенокосов.

По Методическим рекомендациям [2018], для закрепления подвижных песков и очагов дефляции на пастбищных угодьях создают ряды или кулисы регенеративно-кормовых насаждений из кустарников и полукустарников, или насаждения редкостойно-куртинного типа. Пространства между такими насаждениями занимает природная или созданная кормовая травянистая и/или полукустарничковая растительность.

Заращение залежей определяется доминированием видов, появление которых зависит от состава лесных насаждений, лугов и пастбищ, расположенных вблизи заброшенных земель. При этом определяются основные направления восстановительных постаграрных сукцессий – сосновые, берёзовые, тополёвые, луговые, смешанные и другие варианты зарастания [Дмитриев, Леднев, 2016; Атутова, Екимовская, 2019; Белоусова, Брыжко, 2021].

Сочетание лесных куртин и травянистых ценозов начинает выполнять регенеративные функции, когда корневые системы постепенно охватывают деградированный почвенный профиль с формированием лесной подстилки или степного войлока, при активизации других почвообразовательных процессов, способствующих зарождению молодого гумусоподобного вещества. Эти регенеративные явления можно усиливать полосным проведением культуртехнических работ с обработкой почвы (по No-till технологии), внесением удобрений и посевом многолетних трав.

Известны экологически безопасные способы санации чернозёмов, загрязнённых тяжёлыми металлами – их вынос из почвы с помощью культур-фитомелиорантов; внесение в почву карбонатного сапропеля или других мелиорантов с повышенной сорбционной способностью [Кирейчева и др., 2008].

В учебнике Лесомелиорация ландшафтов [Ивонин, 2018] утверждается, что защитные лесные насаждения из радиоустойчивых мелколиственных пород в течение многих лет способствуют очищению сельскохозяйственных угодий, загрязнённых радионуклида-

ми: они локализуются в МЗЛН при дефляции и пылении при обработках; радионуклиды закрепляются в почве, частично поглощаются корневыми системами и попадают в древесные растения, в дополнение к аэрозольному (первичному) загрязнению листьев (хвой) и ветвей. Поэтому наиболее радиочувствительные породы (особенно хвойные) выпадают из состава насаждений. Поэтому МЗЛН, в составе которых преобладают радиоустойчивые мелколиственные породы, играют роль геохимических барьеров.

Деградация поверхностных водных объектов на сельскохозяйственных землях (водотоки и водоемы) обычно активизируется при активизации на сопряжённых водосборах процессов эрозии и/или дефляции, при интенсивной хозяйственной деятельности и климатических изменениях. Реабилитация таких объектов (периферийный круг 3, см. рис. 1) происходит за счёт уменьшения количества наносов, поступающих с водосбора, с восстановлением качества воды.

Систему агролесомелиоративной реабилитации деградированного водосбора водотока или водоёма представим в виде столбиковой диаграммы Венна (рис. 4).

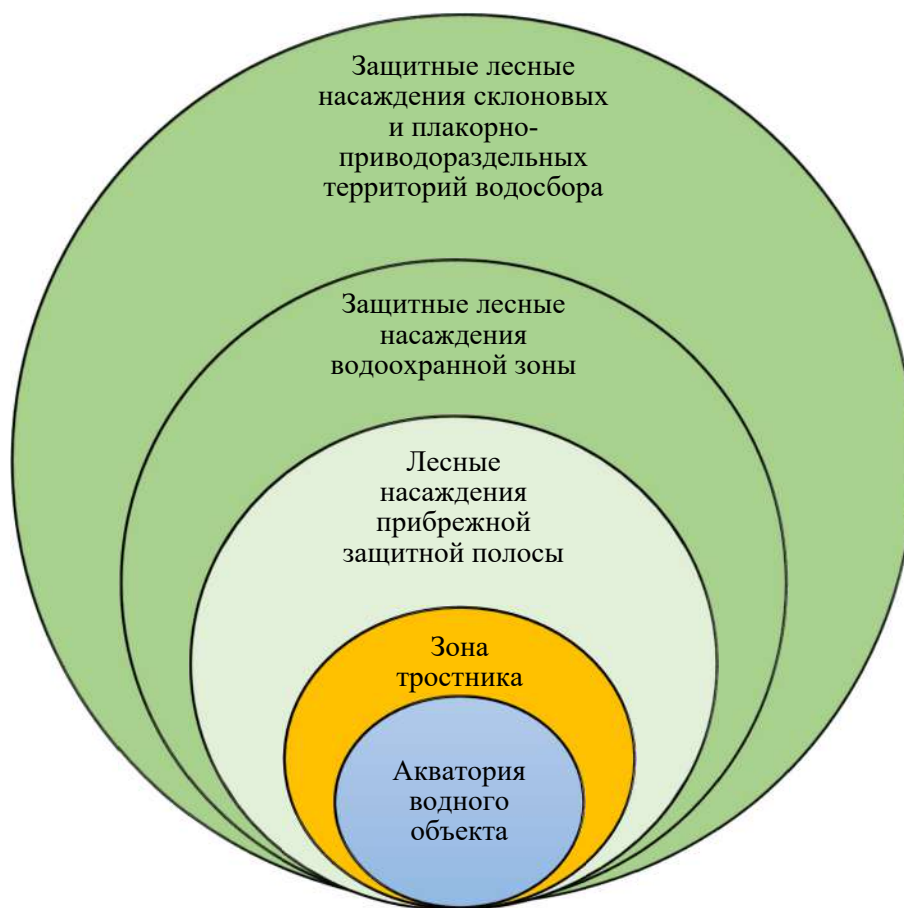


Рис. 4. Система агролесомелиоративной реабилитации деградированного водосбора водного объекта

Fig. 4. System for agroforestry rehabilitation of a degraded catchment area of a water body

В основе рис. 4 лежит акватория поверхностного водного объекта (несельскохозяйственное угодье) как водное пространство, ограниченное естественными или искусственными границами.

Акваторию обычно окружает природная или созданная тростниковая зона (в зоне периодического затопления берегов), где растут различные виды болотной растительности (преимущественно тростник), заросли которых защищают берега от разрушения, участвуют в процессах очистки воды и формируют ниши для диких птиц и животных.

Прибрежная защитная полоса разграничивает несельскохозяйственное угодье водного объекта от преимущественно сельскохозяйственных угодий водосбора. Лесные (водоохранные) насаждения прибрежной полосы препятствуют попаданию в водный объект загрязняющих веществ, защищают берега от эрозии и абразии, содействуют улучшению санитарного состояния прибрежной полосы и самоочищению воды, формируют ниши для фауны, способствуют рекреации. Эти лесные насаждения обычно состоят из древесных лент (берегоукрепительных и санитарных), объединённых участками луговины (природные или улучшенные ценозы многолетних трав).

Защитные лесные насаждения водоохранной зоны, кроме прибрежных (водоохранных) лесных полос, могут включать участки байрачных и пойменных лесов, полезащитные лесные полосы и другие насаждения поймы, надпойменных террас, долинных склонов и балок, включённых в водоохранную зону.

Защитные лесные насаждения склоновых и плакорно-приводораздельных территорий водосбора могут включать полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и другие лесные полосы, водораздельные леса и др.

Таким образом, состояние водных объектов можно улучшать созданием на их водосборных площадях систем МЗЛН, занимающих водоохранные зоны, склоновые и плакорно-приводораздельные территории. Системы таких насаждений, предупреждая эрозию почв, способствуют уменьшению количества наносов, поступающих в водные объекты, и восстановлению качества воды.

Биоразнообразие (видовое и экосистемное) в составе регенеративной системы (периферийный круг 4, см. рис. 1) сохраняется МЗЛН и охраняемыми природными территориями (рис. 5).



Рис. 5. Возможности регенеративной агролесомелиоративной системы по сохранению и обогащению биоразнообразия

Fig. 5. Capabilities of a regenerative agroforestry system to preserve and enrich biodiversity

Регенеративное разнообразие МЗЛН обеспечивают: типы лесных насаждений (лесные массивы, колки, овражно-балочные насаждения, мелиоративные лесные полосы и другие), их многофункциональность (мелиорация земель, охрана почв и вод, кормовая продуктивность и другое), сложная мозаично-ярусная структура (надземная и подземная ярусность, синузии и жизненные формы растений, возрастные парцеллы, микрогруппировки, валёж и сухостой), разнообразный состав насаждений (долевое участие по запасу разных пород). Это способствует сохранению различных видов и сообществ.

Кроме этого, в пределах зон влияния мелиоративных лесных насаждений на сельскохозяйственные угодья возникает мозаичность микроэкотопов (за счёт особенностей микроклимата и освещённости, пестроты плодородия почв), что способствует в известной степени процессам расселения видов.

Обогащению среды обитания фауны в пределах регенеративной агролесомелиоративной системы способствуют: облесение залежей и других территорий, не используемых в аграрном производстве.

Охраняемые природные территории (ОПТ) пополняют такое разнообразие агролесомелиоративной системы. К ОПТ относят: водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы; защитные леса и особо защитные участки лесов; особо ценные сельскохозяйственные земли, природные пастбища, заповедные участки – лесные, луговые, орнитологические, энтомологические и иные.

Эти ОПТ связаны друг с другом экологическими коридорами, обеспечивающими естественное регулирование численности и видового состава растений и животных. В качестве экологических коридоров чаще всего выступают: русла рек, их поймы и долины, водораздельные леса; мелиоративные защитные лесные насаждения.

Охраняемые природные территории способствуют сохранению и восстановлению естественных популяций видов и сообществ, *in-situ* (в природных местообитаниях). Это помогает поддерживать структуры ценотических связей, природные процессы эволюции и адаптации в среде регенеративной агролесомелиоративной системы, поддерживающей природоподобное сельскохозяйственное пользование.

Расселение (дисперсия) естественных популяций за пределы ОПТ приводит к занятию микроэкотопов восстановленных угодий. Каждый вид обладает своим темпом дисперсии, но направления расселений особей могут быть различными. Расселение усиливает связи между популяциями регенеративной системы.

Заключение

Регенеративная агролесомелиорация – это новое направление развития агролесомелиоративной науки, которое в условиях опустынивания территорий разрабатывает теоретические основы создания регенеративных агролесомелиоративных систем, основными элементами которых выступают мелиоративные защитные лесные насаждения, дополненные биокосными устройствами и простейшими гидротехническими сооружениями, приёмами биоремедиации и культуртехнической подготовки земель на фоне зелёного или карбонового земледелия.

Визуальную модель такой системы представляет радиальная диаграмма Венна, центральный круг которой символизирует цели традиционной агролесомелиорации земель (противостояние засухам и засухам, эрозионным и дефляционным процессам, формирование биомезоклимата, снегозадержание и снегораспределение, повышение плодородия почв и продуктивности агроценозов), а периферийные круги – новые возможности регенеративной агролесомелиорации (смягчение негативных последствий изменений климата, восстановление деградированных сельскохозяйственных угодий и поверхностных водных объектов, сохранение и обогащение биоразнообразия).

Негативные последствия изменения климата смягчаются в результате улавливания атмосферного углерода и его хранения в форме гумуса почвы и древесины мелиоративных лесных насаждений, с участием в этих процессах «зелёного» (карбонового) земледелия, залежной древесно-травянистой растительности, мелиорированных кормовых угодий.

Деградированные сельскохозяйственные угодья (эродированная или загрязнённая пашня, выродившиеся луга и пастбища, подвижные пески, залежи и другие «бросовые» земли) восстанавливаются за счёт регенеративных способностей систем агролесомелиорации.

На пахотных угодьях восстановительные процессы активны под пологом лесных полос, в зонах постоянного травяного покрова закраек и на прилегающих к ним защищённых участках межполосных полей. Восстановительные процессы на межполосных полях усиливаются при сочетании мелиоративных защитных лесных полос с зелёным (карбоновым) земледелием (No-till технологии обработки почвы, высокая насыщенность севооборотов многолетними травами, промежуточные культуры, сидерация, мульчирование верхнего слоя почв, применение компостирования и др.). На полях, расчленённых водороинами и оврагами, предусматривают их засыпку или выполаживание с последующим посевом многолетних трав или облесением.

На лесопастбищах восстановительные процессы осуществляются при создании многокомпонентных трёх-четырёхъярусных агрофитоценозов (пастбищный травостой, кулисы кормовых кустарников, пастбищезащитные лесные полосы, древесные зонты и затишки). На подвижных песках и очагах дефляции рекомендуют кустарниковые и полукустарниковые регенеративно-кормовые кулисы.

Заращение залежей определяется доминированием видов, появление которых зависит от состава лесных насаждений, лугов и пастбищ, расположенных вблизи заброшенных земель. Лесные насаждения из радиоустойчивых мелколиственных пород за многолетний период способствуют очищению сельскохозяйственных угодий, загрязнённых радионуклидами.

На сельскохозяйственных землях поверхностные водные объекты улучшают путём создания реабилитационных систем лесных насаждений на водосборных площадях. Такие системы уменьшают количества наносов, поступающих с водосборов в водные объекты, и способствуют восстановлению качества воды.

Разнообразие типов лесных насаждений, их многофункциональность, сложная мозаично-ярусная структура и разнообразный состав МЗЛН обеспечивают мозаичность микроэкотопов, а значит, и представительство фауны.

Охраняемые природные территории (водоохранные зоны и другие ОПТ), связанные экологическими коридорами (мелиоративные защитные лесные полосы и другие), сохраняют и восстанавливают естественные популяции сообществ и видов, *in-situ*, что поддерживает структуры ценотических связей, природные процессы эволюции и адаптации к среде регенеративных агролесомелиоративных систем, способствующих природоподобию сельскохозяйственного пользования. Расселение (дисперсия) естественных популяций за пределы ОПТ происходит с помощью микроэкотопов восстановленных угодий.

Таким образом, новое направление агролесомелиоративной науки поддерживается логико-теоретическими представлениями о регенеративных агролесомелиоративных системах. Практическая реализация этих представлений целесообразна в условиях деградации сельскохозяйственных угодий, особенно в степной зоне.

Список источников

- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. 2022. М., ФГБНУ «Росинформагротех», 384 с.
- Ивонин В.М. 2018. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов. Новочеркасск, Лик, 206 с.

- Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. 2021. Под ред. А.И. Беляева, К.Н. Кулика, А.С. Манаенкова. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 68 с.
- О мелиорации земель: Федеральный закон № 4-ФЗ от 10.01.1996 (с изменениями на 08.12.2020). Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9015302> (дата обращения: 1.03.2023).
- Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН. A/RES/73/284 от 1. 03. 2019 г. 8 с. URL: <http://aonb.astranet.ru/file/A/RES/73/284/r.pdf> (дата обращения: 11.05.2023).

Список литературы

- Атутова Ж.В., Екимовская О.А. 2019. Основные тенденции восстановительной динамики аграрно трансформированных геосистем Тункинской котловины. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 27: 16–31. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.16>
- Ахметшина Л.Г. 2022. Возможности российского сельского хозяйства в снижении выбросов парниковых газов и адаптации к климатическим изменениям. Вестник Алтайской академии экономики и права, 4-1: 5–14. <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
- Белюсова А.П., Брыжко И.В. 2021. Анализ зарастания сельскохозяйственных угодий на территории Пермского края по спутниковым снимкам Landsat ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(4): 150–161. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161>
- Высоцкий Г.Н. 1915. Ергеня: Культурно-фитологический очерк. Труды Бюро по прикладной ботанике, 8(10–11): 1113–1443.
- Дзыбов Д.С. 2012. Повышение биологического разнообразия агроландшафтов в степной и лесостепной зонах методом агростепей. Земледелие, 3: 11–13.
- Дмитриев А.В., Леднев А.В. 2016. Влияние периода зарастания на ботанический состав и продуктивность залежных земель. Вестник Бурятской Государственной Сельскохозяйственной Академии им. В.Р. Филиппова, 2(43): 7–12.
- Докучаев В.В. 1892. Наши степи прежде и теперь. Правительственный вестник, 27: 39–41.
- Ерусалимский В.И., Рожков В.А. 2017. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 88: 121–137. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- Ивонин В.М. 2019. Анализ мелиоративного потенциала лесоаграрного ландшафта. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2(34): 51–67. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-2-51-67>
- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(39): 68–82. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ивонин В.М. 2023. Синергетика систем агролесомелиорации. Региональные геосистемы, 47(1): 62–75. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>
- Калов Р.О., Гакаев Р.А. 2022. Место природных травяных экосистем в глобальном углеродном балансе. Проблемы региональной экологии, 6: 50–54. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-6-50-54>
- Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Ильинский А.В. 2008. Санация и восстановление плодородия техногенно загрязненных почв. Агрохимический вестник, 5: 8–10.
- Кулик К.Н., Павловский Е.С., Свинцов И.П. 2008. Агролесомелиорация в России: история и стратегия развития. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 4: 28–30.
- Манаенков А.С. 2016. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2(30): 5–23. <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.2.5>
- Проездов П.Н., Маштаков Д.А. 2013. Лесомелиорация в первой четверти XXI века: исторические вехи, концепция, теория, эксперимент, практика, стратегия развития. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 8: 24–28.
- Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. 2021. Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия.

- Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 16(4): 389–399. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399>
- Столбовой В.С. 2020. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата. Достижения науки и техники АПК, 34(7): 19–26. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. 2013. Запасы органического углерода в почвах России. Почвоведение, 2: 123–132. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13020123>
- Hamdy A., Aly A. 2014. Land Degradation, Agriculture Productivity and Food Security. Conference: V International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". In: Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". Proceedings of the Fifth International Scientific Agricultural Symposium, 23–26 October 2014. Bosnia-Herzegovina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture: 708–717.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. 2018. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture. Sustainability, 10(9): 3337. <https://doi.org/10.3390/su10093337>
- Mbow Ch., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M. 2014. Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change Through Sustainable Agroforestry Practices in Africa. Current Opinion in Environmental Sustainability, 6(1): 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Rohr J.R., Bernhardt E.S., Cadotte M.W., Clements W.H. 2018. The Ecology and Economics of Restoration: When, What, Where, and How to Restore Ecosystems. Ecology and Society, 23(2): 16. <https://doi.org/10.5751/ES-09876-230215>
- Pratap T., Shalini T. 2019. Tree Crop Interaction in Agroforestry System: A Review. International Journal of Chemical Studies, 7(1): 2359–2361.

References

- Atutova Zh.V., Ekimovskaya O.A. 2019. The Main Trends of Restorative Dynamics of Agrarian-Transformed Geosystems of the Tunkinskaya Depression. The Bulletin of Irkutsk State University». Series «Earth Sciences», 27: 16–31 (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.16>
- Akhmetshina L.G. 2022. Opportunities for Russian Agriculture to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Adapt to Climatic Changes. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava, 4-1: 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
- Belousova A.P., Bryzhko I.V. 2021. Analysis of Overgrowing of Agricultural Lands on the Perm Region Based on Landsat Satellite Images. InterCarto. InterGIS, 27(4): 150–161 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161>
- Vysotsky G.N. 1915. Ergenya: Kulturno-fitologicheskiy ocherk [Ergeni: Cultural and Phytological Essay]. Trudy Byuro po prikladnoy botanike, 8(10–11): 1113–1443.
- Dzybov D.S. 2012. Widening of Biodiversity of Agrolandscapes in Steppe and Forest-Steppe Zones with Agrosteppe Approach. Zemledelie, 3: 11–13 (in Russian).
- Dmitriev A.V., Lednev A.V. 2016. Influence of the Overgrowing Period on the Botanical Composition and Productivity of Abandoned Lands. Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, 2(43): 7–12 (in Russian).
- Dokuchaev V.V. 1892. Nashi stepi prezhde i teper [Our Steppes Before and Now]. Pravitelstvennyy vestnik, 27: 39–41.
- Erusalimskii V.I., Rozhkov V.A. 2017. The Multifunctional Role of Protective Forest Plantations. Dokuchaev Soil Bulletin, 88: 121–137 (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>
- Ivonin V.M. 2019. Forest Landscape Reclamation Potential Analysis. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration, 2(34): 51–67 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-2-51-67>
- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 3(39): 68–82 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ivonin V.M. 2023. Synergetics of Agroforestry Systems. Regional Geosystems, 47(1): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>
- Kalov R.O., Gakaev R.A. 2022. The Place of Natural Grass Ecosystems in the Global Carbon Balance. Regional Environmental Issues, 6: 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-6-50-54>



- Kireycheva L.V., Yashin V.M., Ilinskiy A.V. 2008. Sanatsiya i vosstanovleniye plodorodiya tekhnogenno zagryaznennykh pochv [Sanitation and Restoration of the Fertility of Technogenically Polluted Soils]. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 5: 8–10.
- Kulik K.N., Pavlovsky E.S., Svintsov I.P. 2008. Sylvicultural Reclamation in Russia: History and Strategy of Development. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*, 4: 28–30 (in Russian).
- Manaenkov A.S. 2016. The Formation of Steppe And Protective Afforestation: Theoretical and Applied Aspects in the Contemporary Context. *Vestnik of Volga State University of Technology Series «Forest. Ecology. Nature Management»*, 2(30): 5–23 (in Russian). <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.2.5>
- Proezdov P.N., Mashtakov D.A. 2013. Gro-Forestry in the First Quarter of the 21-th Century: Historical Milestones, Concept, Theory, Experiment, Practice, Strategy Development. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*, 8: 24–28 (in Russian).
- Rybashlykova L.P., Sivtseva S.N., Makhovikova T.F. 2021. Role of Different Types of Protective Forest Stands in Fodder Productivity of Rangeland in the Western Caspian Region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 16(4): 389–399 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399>
- Stolbovoy V.S. 2020. Regenerative Agriculture and Climate Change Mitigation. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 34(7): 19–26 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
- Schepashchenko D.G., Mukhortova L.V., Shvidenko A.Z., Vedrova E.F. 2013. The Pool of Organic Carbon in the Soils of Russia. *Eurasian Soil Science*, 46(2): 107–116 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229313020129>
- Hamdy A., Aly A. 2014. Land Degradation, Agriculture Productivity and Food Security. Conference: V International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". In: Fifth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2014". Proceedings of the Fifth International Scientific Agricultural Symposium, 23–26 October 2014. Bosnia-Herzegovina, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture: 708–717.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. 2018. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture. *Sustainability*, 10(9): 3337. <https://doi.org/10.3390/su10093337>
- Mbow Ch., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M. 2014. Achieving Mitigation and Adaptation to Climate Change Through Sustainable Agroforestry Practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6(1): 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Rohr J.R., Bernhardt E.S., Cadotte M.W., Clements W.H. 2018. The Ecology and Economics of Restoration: When, What, Where, and How to Restore Ecosystems. *Ecology and Society*, 23(2): 16. <https://doi.org/10.5751/ES-09876-230215>
- Pratap T., Shalini T. 2019. Tree Crop Interaction in Agroforestry System: A Review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(1): 2359–2361.

*Поступила в редакцию 30.05.2023;
поступила после рецензирования 21.08.2023;
принята к публикации 29.10.2023*

*Received May 30, 2023;
Revised August 21, 2023;
Accepted October 29, 2023*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ивонин Владимир Михайлович,
Заслуженный деятель Науки РФ, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры лесоводства и лесных мелиораций,
Новочеркасский инженерно-мелиоративный
институт – филиал Донского
государственного аграрного университета,
г. Новочеркасск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir M. Ivonin, Science of the Russian
Federation, Doctor of Agricultural Sciences,
Professor of the Department of Forestry and Forest
Reclamation of the Novocherkassk Engineering
and Land Reclamation Institute - branch of the Don
State Agrarian University, Novocherkassk, Russia