

УДК 631.617:333

А.С. Манаенков<sup>1</sup>, Е.А. Корнеева<sup>2</sup>

## БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНЫМИ ПОЛОСАМИ

Статья посвящена проблеме оценки эффективности лесной мелиорации пахотных земель в районах, подверженных ветровой и водной эрозии, которая в последнее время на территории России стала малопопулярной практикой. Усовершенствована методика расчета параметров почвозащитного и природоохранного воздействия системы полезащитных лесных полос. Применительно к почвенно-климатическим условиям юга европейской территории страны получена количественная оценка региональных затрат и эколого-экономических эффектов в зависимости от уровня защитной лесистости полей и других биоинженерных особенностей лесомелиоративных модулей. Определена их структура, абсолютная и относительная величины. Установлены закономерности зональной динамики эффективности капитальных вложений в полезащитное лесоразведение. Изучено влияние на нее природных и лесокультурных факторов. Установлено, что затраты на полезащитное лесоразведение окупаются уже в первый год полноценного функционирования систем лесных полос (на 7–10-й год после их создания). В структуре совокупного эколого-экономического эффекта от 40 до 80% приходится на долю их почвозащитного влияния, свыше 10–50% – на лесосырьевую ценность, средообразующую и рекреационную функции. Вклад агромелиоративного эффекта (прибавки урожая зерновой культуры) ветроломных лесных полос не превышает 1%, стокорегулирующих – 4–12%. Это позволяет полезащитное лесоразведение рассматривать, прежде всего, как важнейшую меру по сохранению земельных ресурсов, повышению безопасности аграрного производства, а также как средство обеспечения малолесных регионов лесными ресурсами, улучшения качества окружающей среды и решения социальных проблем.

*Ключевые слова:* юг ЕТР, ветровая и водная эрозия, полезащитное лесоразведение, региональные затраты, эколого-экономические эффекты, капитальные вложения

**Введение.** Защита полей севооборотов системой лесных полос – общепризнанное в мире эффективное и долго действующее средство мелиорации наиболее ценных сельскохозяйственных угодий [Porter, 2009; Borelli et al., 2017]. С его помощью решают проблемы сохранения почвенного плодородия, защиты агроценозов и оптимизации их питательного режима, повышения устойчивости и безопасности полеводства [Elevitch et al., 2018; Корнеева, 2018] и, в целом, продуктивности агроландшафта [Smith et al., 2012; Bentrup et al., 2018]. При этом повышается биологическое разнообразие, экологическая емкость трансформированных земель, комфортность и социальная привлекательность сельскохозяйственного производства [Quinkenstein, 2009; Zomer et al., 2014]. Полезащитные лесные полосы (ПЗЛП) закрепляют границы полей, трассы дорог и каналов, облегчают межевание земель, способствуют организации землепользования [Павловский, 2002; Стратегия..., 2008].

Вместе с тем до недавнего времени эффективность капитальных вложений в полезащитное лесоразведение оценивали по прибыли от реализации дополнительной продукции растениеводства, получаемой за счет мелиоративного влияния лесных полос на микроклимат полей [Трибунская, Щербакова, 1978] и рассчитанной по нормативам прибав-

ки урожая основных сельскохозяйственных культур [Трибунская, Кузьмина, 1984].

Однако в процессе исследования урожаев зерновых культур в системе лесных полос и без нее было установлено, что величина мелиоративной прибавки изменяется по годам и имеет положительные значения преимущественно в засушливые годы [Трибунская, 1990]. По ее сумме за влажные и засушливые годы отдельные гидрологические периоды и земледельческие районы существенно различаются между собой. Эти различия создают почву для дискуссий по поводу агроэкономической эффективности лесных полос, отрицательно сказываются как на темпах облесения полей, так и на качестве содержания защитных лесонасаждений в России [Кулик и др., 2017]. В связи с этим до последнего времени остается актуальным получение денежной оценки всех составляющих совокупного эколого-экономического эффекта полезащитного лесоразведения и определение их географических приоритетов.

**Материалы и методы исследования.** Объекты исследования – подверженные деградации пахотные земли на плакорах и склонах земледельческих районов Русской равнины, расположенных в пределах биоклиматического пояса лесостепь – полупустыня.

Основной метод исследования – построение имитационных моделей полей севооборота с различ-

<sup>1</sup> Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Лаборатория лесной мелиорации и лесохозяйственных проблем, зав. лабораторией, докт. с.-хоз. н.; e-mail: manaenkov1@yandex.ru

<sup>2</sup> Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Лаборатория лесной мелиорации и лесохозяйственных проблем, ст. науч. с., канд. с.-хоз. н.; e-mail: korneeveva@list.ru

ной защищенностью лесными полосами и системный анализ полученных данных [Brandle et al., 2004; Burgess et al., 2019]. Имитировались поля, обустроенные лесными полосами как в соответствии с требованиями действующих нормативов [Нормативы..., 2002] (с типовым размещением лесных полос), так и с учетом последних достижений науки [Васильев, 2003; Рожков, 2007; Барабанов, 2018].

Анализ ключевых показателей эффективности лесной мелиорации пахотных земель проводился с учетом положений усовершенствованной методологии [Манаенков, Корнеева, 2012], фактора времени, вероятности воздействия на почвенный покров дефляционноопасных ветров и эрозионно опасного весеннего стока [Воробьев, 1991] при выращивании пшеницы.

Для оценки затратности мероприятий по лесной мелиорации полей использовался базисно-индексный метод.

Региональные эффекты от агрохозяйственных мероприятий и функционирования лесных полос рассматривались как экосистемные товары и услуги (полезности), производимые агроценозами, древостоями и недревесными компонентами лесонасаждений [Jose, 2009; Бобылев, 2017]. Структура этих эффектов включала почвозащитную, агромелиоративную, утилитарную, средозащитную (климаторегулирующую) и социальную составляющие, а их величина определялась с помощью общепринятых методов количественной оценки компенсационных затрат, рыночных цен, конверсионных коэффициентов, платы за выбросы, пользование земельными ресурсами и других показателей [Методика..., 1985; Медведев, 1986; Медведева, 1998; Касимов, Касимов, 2015].

**Результаты и обсуждение исследований.** На моделях облесенного поля площадью 400 га установлено, что капиталоемкость обустройства подверженных дефляции пахотных земель системой ветроломных ПЗЛП находится в строгой зависимости от качества почвенно-климатических условий (природной зоны), уровня защитной лесистости и породного состава насаждений. При типовом размещении лесных полос, обеспечивающем защитную лесистость на уровне 2,3–5,4% и 50%-ю защищенность полей от сверхнормативных потерь почвы, в направлении от лесостепи к полупустыне затратность мероприятий увеличивается в 2,1–3,2 раза. Уменьшение ширины межполосных полей с 30 до 15Н (Н – проектная высота древостоя) для повышения их лесистости до 4,0–5,4% в лесостепи, 10–12% – сухой степи и полупустыне, достижения 100%-й защищенности почвы, капиталоемкость культивирования насаждений повышается, соответственно, в 1,8 и 2,2 раза, а с северо-запада на юго-восток региона – в 2,4–4,0 раза и составляет 1,8–2,3 – 12,8 тыс. руб. (здесь и далее на 1 га защищенного поля в ценах 4-го квартала 2019 г.). Использование относительно медленно растущего долговечного дуба в лесостепи обходится на 30–35% дороже, в сухой степи – на 20–25% дешевле, чем быстрорастущих скороспелых пород.

Совокупная эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации подверженных дефляции

пахотных земель, при прочих равных условиях, в среднегодовом дисконтированном выражении также определяется, в основном, тремя природно-хозяйственными факторами: качеством лесорастительных условий, уровнем защитной лесистости и функциональной долговечностью главной древесной породы (сроком службы лесных полос). При нормативном облесении полей (типовом размещении ПЗЛП) от полупустыни к лесостепи она увеличивается на 25–30% и составляет 50–133 тыс. руб./га лесоаграрного ландшафта. При повышении лесистости пашни до почвозащитного оптимума эффект повышается в 1,9–2,1 раза. Использование при закладке насаждений долговечного дуба повышает этот эффект всего на 2–7%, но за весь срок службы таких насаждений (до возобновительной рубки) эффективность лесомелиоративных работ увеличивается на 21–60% и при нормативной защитной лесистости составляет 2,0 (сухая степь) – 4,2 (лесостепь) млн руб./га, а при оптимальной лесистости – почти в два раза больше. Наименее выгодно использование дуба в лесостепи и настоящей степи, где на зональных почвах функциональная долговечность быстрорастущих пород (березы, тополя) наиболее высокая и по отношению среднегодового совокупного эффекта к затратам на создание лесных полос (эффективности капитальных вложений) ПЗЛП из этих пород на 17–23% превосходят ПЗЛП из дуба.

Величина затрат на лесомелиоративные мероприятия по защите пахотных земель от ветровой эрозии на 64–65% обусловлена выбором уровня защитной лесистости и на 35–36% – их лесопригодностью.

Согласно проведенным расчетам, наибольший вклад в прибыль от систем ветроломных лесных полос вносит их почвозащитная функция (табл.). В лесостепи она составляет 60–69% совокупного эффекта, снижаясь до 41% в полупустыне. Повышение защитной лесистости полей до оптимального уровня увеличивает этот эффект практически в 2 раза. В системе лесных полос из дуба он на 10 (сухая степь) – 40% (лесостепь) больше, чем в системе полос из быстрорастущих пород. В целом от лесостепи к сухой степи и полупустыне, вследствие сокращения долговечности древостоев и стоимости почвенного покрова, он уменьшается в 3,0–4,3 раза.

По результатам системного анализа расчетных данных на величину почвозащитного эффекта наибольшее влияние оказывает защитная лесистость территории ( $r^2 = 60,9\%$ ). Лесорастительные условия и породный состав определяют его на 18,5 и 3,3%.

Значительную долю (7–18%) эффекта от ветроломных ПЗЛП, формирующегося за период функционирования семенного поколения древостоя, составляет стоимость товарной древесины, получаемой в процессе рубок ухода и лесовозобновительной рубки. Она увеличивается пропорционально росту защитной лесистости ( $r^2 = 60\%$ ) и качеству лесорастительных условий ( $r^2 = 24\%$ ) и мало зависит от биологии главной породы.

Несколько иную динамику имеет эффект от заготовки и реализации продукции побочного лесополь-

Таблица

**Величина и структура регионального эколого-экономического эффекта от лесомелиоративного обустройства пахотных земель на плакорах и склонах юга ЕТР**

Эффекты от лесомелиоративного обустройства пашни	Лесостепь – полупустыня	Лесостепь – сухая степь
	Ветроломные лесные полосы	Стокорегулирующие лесные полосы
Лесообразующие породы	Скороспелые – долговечные	
Влияющий фактор	Защищенность полей, 50–100%	Крутизна склона, 2,1–6,0°
Абсолютная величина эффекта, тыс. руб./га облесенного землепользования		
Среднегодовой (дисконтированный)	50–279	34–261
Общий за срок службы	1990–8400	595–10 101
Относительная величина эффекта (доля в общей структуре), %		
Почвозащитный	41–69	55–80
Агромелиоративный (дополнительная продукция растениеводства)	0,5–1	4–12*
Заготовка древесины	7–18	9–27
Заготовка недревесной продукции	9–34	2–5
Средообразующий (климаторегулирующий)	1–2	0,5–1
Социальный (экономия в сфере АПК и ОМС)	1–6	1–3

Пр и м е ч а н и е: \* – интегральный показатель, включающий не только прибавку урожая (как у ветроломных лесных полос), но и предотвращенные убытки от гибели посевов на смытых почвах.

зования (лекарственного сырья, ягод, грибов), повышения продуктивности охотничьих угодий, средозащитной (депонирование углерода и обогащение воздуха кислородом, фитонцидами, очищение его от пыли) и социальной (складывается из экономии в системе медицинского обслуживания и агропромышленного комплекса за счет сокращения периода нетрудоспособности сельского населения, а также дохода от экологического туризма) функции ПЗЛП на территории дефляционно-опасных районов. Наибольшую величину и долю (до 42%) в структуре всего совокупного эффекта он имеет в наиболее лесодефицитных районах и на 80–86% обусловлен увеличением норматива защитной лесистости полей. Влияние на него качества лесорастительных условий и биологии главной породы составляет 10–12%.

Доля агромелиоративного эффекта (стоимости дополнительной продукции растениеводства в зерновом эквиваленте) оценивается в 0,5–1,1%. От лесостепи к разнотравной степи она несколько увеличивается в связи с ростом плодородия почвенного покрова и повторяемости засушливых лет, а от степи к сухой степи и полупустыне уменьшается в 1,8–2,7 раза – вследствие ухудшения почвенно-климатических условий. С повышением защитной лесистости в диапазоне от принятого до оптимального уровня агромелиоративный эффект увеличивается в 1,8–2,0 раза. При этом он в 1,2–1,5 раза больше на полях под защитой лесных полос из долговечной породы.

Величина агромелиоративного эффекта примерно на 40% зависит от уровня лесистости полей, на 27% – от природной зоны и на 3,0% – от главной древесной породы ПЗЛП.

Капиталоемкость обустройства склоновой пашни системой стокорегулирующих ПЗЛП (СЛП) и

простейших гидротехнических сооружений (ГТС) находится в строгой зависимости от качества почвенно-климатических условий (природной зоны), уклона местности и породного состава насаждений ( $r = 0,98, 0,96$  и  $0,93$ ). Она снижается к юго-востоку региона пропорционально снижению вероятности формирования эрозионно опасного стока. В лесостепи при оптимальной защитной лесистости 3,0–5,7% капиталоемкость составляет 4,3–8,9 тыс. руб. в расчете на 1 га агроландшафта, из которых на возведение ГТС приходится 27–49%. В сухой степи (лесистость 1,7–3,8%) капиталоемкость мероприятий снижается в 1,3–1,5 раза ( $r = 0,85–0,98$ ).

Увеличение крутизны склона с 2,1 до 5,0° вызывает необходимость повышения защитной лесистости пашни с 1,7 до 5,7%, а капиталоемкость создания систем СЛП увеличивается в 1,8–2,1 раза. На склонах крутизной 5,1–6°, вследствие уменьшения рядности (с трех до двух рядов) и ширины лесных полос в 1,5 раза, снижения норматива противозерозионной лесистости с 3,8–5,7% до 3,2–4,6%, капиталоемкость уменьшается в 1,1–1,3 раза. В диапазоне крутизны склона 2,1–6,0° из-за усложнения технологии затраты на создание ГТС увеличиваются в 2,4–3,1 раза.

На несмытых и слабосмытых почвах (крутизна склона 2–3°) создание СЛП из дуба (посевом желудей) обходится дешевле (2,8–4,2 тыс. руб./га), чем при использовании скороспелых пород. А на средне- и сильносмытых почвах, где их создают из нетребовательных к плодородию других долговечных пород посадкой семян – дороже (5,4–8,9 тыс. руб./га).

Совокупная эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации подверженных водной эрозии пахотных земель на юге Русской равнины за расчетный период функционирования СЛП составляет 0,6–10,1 млн руб. на 1 га защищенного

поля и почти линейно связана с уклоном местности ( $r^2 = 95\text{--}99\%$ ). При увеличении крутизны склона с  $2,1$  до  $6,0^\circ$  она возрастает в  $2,8\text{--}3,5$  раза, а от сухой степи к лесостепи – в  $2,5\text{--}5,3$  раза, достигая максимума при обустройстве полей на крутых склонах лесостепи, покрытых выщелоченными черноземами. Создание насаждений из долговечных древесных пород в том же диапазоне зонально-орographicеских условий повышает ее на  $8\text{--}50\%$ , по сравнению с насаждениями из скороспелых пород. Наибольший эффект достигается при облесении пашни с большим уклоном местности в лесостепи и черноземной степи.

Значительный вклад в совокупный эффект ( $12\text{--}50\%$ ) от противоэрозионных мероприятий вносит почвозащитный эффект (предотвращенный ущерб от смыва почвы) (см. табл.). Своего максимума он достигает при защите полей с черноземами и серыми лесными почвами на склонах крутизной более пяти градусов в лесостепной зоне и объясняется высокой вероятностью формирования опасного стока и рыночной стоимостью почвенного покрова. Повышение функциональной долговечности СЛП увеличивает этот эффект в среднем на  $10\%$ .

Доля эффекта от использования древесных ресурсов и побочного пользования СЛП составляет  $14\text{--}31\%$ . Она увеличивается от сухой степи к лесостепи на  $10\text{--}20\%$  – вместе с повышением качества лесорастительных условий, и от крутых склонов к пологим – на  $14\text{--}23\%$  обратно пропорционально величине совокупного эффекта. Создание лесных полос из долговечных, нетребовательных к плодородию почвы древесных пород вызывает повышение эффекта от лесопользования и его доли в  $1,8\text{--}2,0$  раза.

Вклад средозащитного эффекта не превышает  $1\%$ . Он увеличивается пропорционально производительности насаждений лесных полос и долговечности их древостоя.

Социальный эффект от функционирования СЛП составляет  $1\text{--}3\%$  совокупного многолетнего эффекта от противоэрозионного обустройства склоновых земель, имеет строгий зональный вектор – увеличивается в направлении повышения засушливости климата и снижения общей лесистости территории.

Агромелиоративная эффективность систем СЛП с ГТС (прибавка урожая, возникающая вследствие предупреждения повреждения посевов поверхностным стоком и улучшения микроклимата на межполосном поле) находится в прямой зависимости от качества лесорастительных условий и долговечности насаждений. С ростом засушливости климата она уменьшается на  $55\text{--}76\%$ . При увеличении крутизны распаханного склона эффект растет и составляет  $4\text{--}12\%$  от его совокупной величины, формирующейся вследствие противоэрозионного обустройства склоновой пашни.

Эффективность капитальных вложений в лесную мелиорацию пахотных земель дефляционно-опасных районов Русской равнины является в основном функцией качества лесорастительных условий. При формировании систем ветроломных ПЗЛП в расчете на оптимальную защитную лесистость в лесостепи она составляет от  $26$  до  $32$  руб. на один рубль вложений. По мере нарастания засушливости климата их эффективность снижается и в полупустынной зоне составляет шесть-семь рублей. Затраты на полезное лесоразведение окупаются уже в первый год полноценного функционирования лесных полос (на  $7\text{--}10$ -й год после их создания).

Эффективность капиталовложений в защиту севооборотов на склоновых землях от водной эрозии системами СЛП, усиленными простейшими гидротехническими сооружениями подчиняется тем же закономерностям, но в пределах природной зоны существенно повышается с ростом уклона местности. В рамках рассмотренных условий она составляет  $6\text{--}22$  руб. на один рубль вложений с таким же сроком их окупаемости, как и у ветроломных ПЗЛП.

#### **Выводы:**

– полезное лесоразведение является высокоэффективным средством мелиорации сельскохозяйственных земель во всем диапазоне физико-географических условий юга Русской равнины и в сопоставимых условиях всего умеренного пояса планеты;

– эффективность капитальных вложений в создание адаптированных систем ветроломных и стокорегулирующих ПЗЛП в комплексе с простейшими гидротехническими сооружениями, обеспечивающими оптимальную защитную лесистость полей, снижается с ростом засушливости климата и уменьшения уклона местности, но остается значительным;

– на территории зонального пояса лесостепь – северная полупустыня затраты на мелиоративные мероприятия окупаются уже в первый год полноценного функционирования лесных полос (на  $7\text{--}10$ -й год);

– от  $40$  до  $80\%$  эффекта обеспечивает почвозащитная функция систем лесных полос. Это позволяет рассматривать лесомелиоративное обустройство пахотных угодий как важнейшую меру по сохранению земельных ресурсов, повышению безопасности аграрного производства;

– полезное лесоразведение повышает также обеспеченность малолесных регионов лесными ресурсами, их рекреационный потенциал и качество окружающей среды (в сумме от  $10$  до  $50\%$  эффекта), а следовательно, способствует решению демографических проблем, и должно являться одной из важных составляющих государственных программ в области охраны природы, развития промышленного и социального комплексов на юге России.

**Благодарности.** Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2019-0002 «Разработать научные основы, новые методы, модели и технологии эффективного лесомелиоративного освоения и многоцелевого использования низкопродуктивных и деградированных земель засушливой зоны РФ» ФНЦ агроэкологии РАН. Номер государственной регистрации в ЦИТиС АААА-Б19-219071190049-7.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барabanov A.T. Научные основы противоэрозийной мелиорации // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2018. № 2(50). С. 23–29.
- Бобылев С.Н. Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты // Мир новой экономики. 2017. № 3. С. 90–96.
- Васильев Ю.И. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2003. 176 с.
- Воробьев С.А. Земледелие. М.: Агропромиздат, 1991. 490 с.
- Касимов Д.В., Касимов В.Д. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования. М.: Мир науки, 2015. 91 с.
- Корнеева Е.А. Полезащитные лесные полосы как фактор экономического роста эффективности аграрного производства. Междунар. науч.-практ. конф. «Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение» (Волгоград, 18–20 окт. 2018 г.). Волгоград: Изд-во ФНЦ Агроэкологии РАН, 2018. С. 96–99.
- Кулик К.Н., Барabanov A.T., Манаенков А.С., Кулик А.К. Обоснование прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области // Проблемы прогнозирования. 2017. № 6(165). С. 93–100.
- Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Методологические аспекты экономической оценки многофакторного воздействия на агроландшафты ветроломных лесных полос // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2012. № 3(27). С. 27–30.
- Медведев Н.В. Эколого-экономическая оценка ущерба сельскому хозяйству от эрозии почв // Почвоведение. 1986. № 2. С. 105–111.
- Медведева О.Е. Методы экономической оценки биоразнообразия. Теория и практика оценочных работ. М.: Диалог-МГУ, 1998. 120 с.
- Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- Нормативы формирования оптимальных лесомелиоративных комплексов на пахотных землях с учетом факторов деградации агроландшафтов в хозяйствах разной формы собственности. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2002. 56 с.
- Павловский Е.С. Защитные лесонасаждения – системообразующий элемент ландшафта агротерритории // Вестник РАСХН. 2002. № 3. С. 17–18.
- Рожков В.А. Оценка эрозийной опасности почв // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2007. № 59. С. 77–91.
- Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2008. 34 с.
- Трибунская В.М. Экономическая эффективность защитных лесных насаждений в системе охраны почв от эрозии. М.: Агропромиздат, 1990. 176 с.
- Трибунская В.М., Кузьмина Т.С. Нормативы прибавок урожая важнейших сельскохозяйственных культур от мелиоративного влияния полезащитных лесных полос. М.: Изд-во МСХ СССР, 1984. 99 с.
- Трибунская В.М., Щербакова Л.Б. Экономическая эффективность полезащитных лесных полос // Лесное хозяйство. 1978. № 10. С. 7–10.
- Bentrop G., Cernusca I., Gold M. Supporting U.S. agricultural landscapes under changing conditions with agroforestry: an annotated bibliography. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.C., 2018, p. 63.
- Borelli A., Conigliaro M., Olivier A. Agroforestry for landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.
- Brandle J.R., Hodges L., Zhou X.H. Windbreaks in North American agricultural systems, *Agroforestry Systems*, 2004, vol. 61, no. 1–3, p. 65–78, DOI: 10.1023/B:AGFO.0000028990.31801.62.
- Burgess P.J., Graves A., Garcia de Jalón S., Palma J.H.N. Modelling agroforestry systems, *Agroforestry for Sustainable Agriculture*, Mosquera-Losada M.R., Prabhu R. (eds.), Cambridge, Burleigh Dodds Science Publishing, 2019, p. 209–238, DOI: 10.19103/AS.2018.0041.13.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability*, 2018, no. 10, p. 33–37, DOI: 10.3390/su10093337.
- Jose S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview, *Agroforestry Systems*, 2009, vol. 76, no. 1, p. 1–10, DOI: 10.1007/s10457-009-9229-7.
- Porter J., Costanza R., Sandhu H., Sigsgaard L., Wratten S. The value of producing food, energy and ecosystem services within an agro-ecosystem, *Ambio*, 2009, vol. 38, no. 4, p. 186–193, DOI: 10.1579/0044-7447-38.4.186.
- Quinkenstein A. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe, *Environmental Science and Policy*, 2009, vol. 12, p. 1112–1121, DOI: 10.1016/j.envsci.2009.08.008.
- Smith Jo., Pearce B., Wolfe M. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2012, vol. 28, no. 1, p. 80–92, DOI: 10.1017/S1742170511000585P.
- Zomer R.J., Coe R., Place F., van Noordwijk M., Xu J. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. Working Paper 179. World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia, 2014, 33 p., DOI: 10.5716/WP14064.

Поступила в редакцию 25.07.2020

После доработки 11.09.2020

Принята к публикации 06.11.2020

A.S. Manaenkov<sup>1</sup>, E.A. Korneeva<sup>2</sup>

#### BIO-GEOGRAPHIC ASPECTS OF ESTIMATING THE EFFICIENCY OF ARABLE LANDS PROTECTION WITH FOREST BELTS

The article deals with the problem of evaluating the effectiveness of forest reclamation of arable land in the areas affected by wind and water erosion, which has recently become a little popular practice in Russia. The method of calculating the parameters of soil protection and environmental impact of the system of protected forest belts has been improved. A quantitative assessment of regional costs and

<sup>1</sup> Federal Scientific Center of Agro-ecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, Department of Forest Amelioration and Forestry Problems, Head of Department, D.Sc. in Agriculture; e-mail: manaenkov1@yandex.ru

<sup>2</sup> Federal Scientific Center of Agro-ecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, Department of Forest Amelioration and Forestry Problems, Senior Scientific Researcher, PhD in Agriculture; e-mail: korneeva.eva@list.ru

environmental and economic effects depending on the level of protective forest cover of fields and other bioengineering features of forest reclamation models was obtained relative to the soil and climate conditions of the south of the European territory of Russia. Their structure, absolute and relative values are determined. The regularities of the zonal dynamics of the efficiency of capital investments in protective afforestation are described, as well as the influence of natural and forest-cultural factors. It is established that the cost of protective afforestation pays off in the first year of full operation of forest belt systems, i. e. after 7 to 10 years of their growing. About 40 to 80% of the total ecological and economic effect of forest belts falls upon their soil protection influence and more than 10 to 50% upon the forest resource value, environmental and recreational functions. The contribution of the agro-ameliorative effect of windbreak forest belts, i. e. increase in grain crop yield, does not exceed 1%, and flow-regulation effect is about 4 to 12%. Thus, the protective afforestation could be first of all regarded as an important measure for preserving land resources, improving the safety of agricultural production, and as a means of providing low-forested regions with forest resources, improving the quality of the environment and solving social problems.

**Key words:** south of the European Territory of Russia, wind and water erosion, protective afforestation, regional costs, environmental and economic effects, capital investments

**Acknowledgements.** The work was performed under the State task no. 0713-2019-0002 "To develop scientific bases, new methods, models and technologies for effective forest-ameliorative development and multi-purpose use of low-productive and degraded lands of the arid zone of the Russian Federation" in the Federal Scientific Center of Agro-ecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences. The state registration number is AAAA-B19-219071190049-7.

## REFERENCES

- Barabanov A.T.* Nauchnye osnovy protiverozionnoi melioratsii [Scientific foundations of erosion control reclamation], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2018, no. 2(50), p. 23–29. (In Russian)
- Bentrup G., Cernusca I., Gold M.* Supporting U.S. agricultural landscapes under changing conditions with agroforestry: an annotated bibliography, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.C., 2018, p. 63.
- Bobylev S.N.* Ustojchivoe razvitie v interesah budushchih pokolenij: ekonomicheskie prioritety [Sustainable Development for Future Generations: Economic Priorities], *Mir novoj ekonomiki*, 2017, no. 3, p. 90–96. (In Russian)
- Borelli A., Conigliaro M., Olivier A.* Agroforestry for landscape restoration, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.
- Brandle J.R., Hodges L., Zhou X.H.* Windbreaks in North American agricultural systems, *Agroforestry Systems*, 2004, vol. 61, no. 1–3, p. 65–78, DOI :10.1023/B:AGFO.0000028990.31801.62.
- Burgess P.J., Graves A., Garcha de Jalón S., Palma J.H.N.* Modelling agroforestry systems, *Agroforestry for Sustainable Agriculture*, Mosquera-Losada M.R., Prabhu R. (eds.), Cambridge, Burleigh Dodds Science Publishing, 2019, p. 209–238, DOI: 10.19103/AS.2018.0041.13.
- Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D.* Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability*, 2018, no. 10, p. 33–37, DOI: 10.3390/su10093337.
- Jose S.* Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview, *Agroforestry Systems*, 2009, vol. 76, no. 1, p. 1–10, DOI: 10.1007/s10457-009-9229-7.
- Kasimov D.V., Kasimov V.D.* Nekotorye podkhody k otsenke ekosistemnykh funktsii (uslug) lesnykh nasazhdenii v praktike prirodopol'zovaniya [Some approaches to the assessment of ecosystem functions (services) of forest plantations in the practice of nature management], Moscow, Mir Nauki Publ., 2015, 91 p. (In Russian)
- Korneeva E.A.* [Protective forest belts as a factor of economic growth of agricultural production efficiency], *Agroekologiya, melioratsiya i zashchitnoe lesorazvedenie* [Agroecology, land reclamation and protective afforestation], Volgograd, Federal Scientific Center of Agro-ecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences Publ., 2018, p. 96–99.
- Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K.* Obosnovanie prognoza razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Volgogradskoi oblasti [Justification of the forecast of protective afforestation development in the Volgograd region], *Problemy prognozirovaniya*, 2017, no. 6(165), p. 93–100. (In Russian)
- Manaenkov A.S., Korneeva E.A.* Metodologicheskie aspekty ekonomicheskoi otsenki mnogofaktornogo vozdeistviya na agrolandshafty vetrolomnykh lesnykh polos [Methodological aspects of the economic assessment of the multifactor impact of wind-break forest belts on agrolandscapes], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie*, 2012, no. 3(27), p. 27–30. (In Russian)
- Medvedev N.V.* Ekologo-ekonomicheskaya otsenka ushcherba sel'skomu khozyaistvu ot erozii pochv [Ecological and economic assessment of soil erosion damage to agriculture], *Pochvovedenie*, 1986, no. 2, p. 105–111. (In Russian)
- Medvedeva O.E.* Metody ekonomicheskoi otsenki bioraznoobraziya. Teoriya i praktika otsenochnykh rabot [Methods of economic assessment of biodiversity. Theory and practice of evaluations], Moscow, Dialog-Moscow St. Univ. Publ., 1998, 120 p. (In Russian)
- Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methods of systematic research of agrosylvian landscapes], Moscow, All-Union Academy of Agricultural Sciences Publ., 1985, 112 p. (In Russian)
- Normativy formirovaniya optimal'nykh lesomeliorativnykh kompleksov na pakhotnykh zemlyakh s uchetom faktorov degradatsii agrolandshaftov v khozyaistvakh raznoi formy sobstvennosti* [Standards for the organization of optimal forest reclamation complexes on arable lands with due account of the factors of agricultural landscapes degradation at the farms of different ownership], Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 2002, 56 p. (In Russian)
- Pavlovskii E.S.* Zashchitnye lesonasazhdeniya – sistemoobrazuyushchij element landshafta agrotterritorii [Protective forest stands as a system-forming element of the agricultural landscape], *Vestnik Rossijskoj sel'skokhozyajstvennoj nauki*, 2002, no. 3, p. 17–18. (In Russian)
- Porter J., Costanza R., Sandhu H., Sigsgaard L., Wratten S.* The value of producing food, energy and ecosystem services within an agro-ecosystem, *Ambio*, 2009, vol. 38, no. 4, p. 186–193, DOI: 10.1579/0044-7447-38.4.186.
- Quinkenstein A.* Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe, *Environmental Science and Policy*, 2009, vol. 12, p. 1112–1121, DOI: 10.1016/j.envsci.2009.08.008.

Rozhkov V.A. Otsenka erozionnoi opasnosti pochv [Assessment of soil erodibility], *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2007, no. 59, p. 77–91. (In Russian)

Smith Jo., Pearce B., Wolfe M. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2012, vol. 28, no. 1, p. 80–92, DOI: 10.1017/S1742170511000585P.

Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation up to 2020], Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Publ., 2008, 34 p. (In Russian)

Tribunskaya V.M. Ekonomicheskaya effektivnost' zashhitnykh lesnykh nasazhdenij v sisteme okhrany pochv ot ehrozii [Economic efficiency of protective forest plantations in the system of soil erosion control], Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, 176 p. (In Russian)

Tribunskaya V.M., Kuz'mina T.S. Normativy pribavok urozhaya vazhneishikh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur ot

meliorativnogo vliyaniya polezashchitnykh lesnykh polos [Standards for crop increase of the most important agricultural crops due to the ameliorative influence of protective forest belts], Moscow, MSKh SSSR Publ., 1984, 99 p. (In Russian)

Tribunskaya V.M., Shcherbakova L.B. Ekonomicheskaya effektivnost' polezashchitnykh lesnykh polos [Economic efficiency of protective forest belts], *Lesnoe khozyaistvo*, 1978, no. 10, p. 7–10. (In Russian)

Vasil'ev Yu.I. Effektivnost' sistem lesnykh polos v bor'be s deflyatsiei pochv [The efficiency of the systems of forest belts for soil deflation control], Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Publ., 2003, 176 p. (In Russian)

Vorob'ev S.A. Zemledelie [Agriculture], Moscow, Agropromizdat Publ., 1991, 490 p. (In Russian)

Zomer R.J., Coe R., Place F., van Noordwijk M., Xu J. *Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics*. Working Paper 179. World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia, 2014, 33 p., DOI: 10.5716/WP14064.

Received 25.07.2020

Revised 11.09.2020

Accepted 06.11.2020