

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ  
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

России // Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата. Труды ФГБУ ВНИИСХМ. Обнинск. – 2013. – Вып. – 38. С.41–53.

9. Телеснина В.М., Климович Е.Ю. Особенности постагрогенной динамики растительности в южной тайге (на примере Костромской области) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), 2015. – Т. 120. – № 3. – С. 47–59.

10. Rusina S., Bambe B. & Daugaviete M. Changes in ground vegetation of arable lands under afforestation in Latvia // Baltic Forestry – 2011. – N 17. – pp. 243–255.

11. Lopes de Gerenyu V., Kurganova I., Kuzyakov Y. Carbonpools and sequestration in former arable Chernozems depending on restoration period // Ekologija. – 2008. – V. 54(4). P. 38–44.

12. Várallyay, G. The Impact of Climate Change on Soils and on Their Water Management // Agronomy Research. – 2010. – 8. – pp. 385–396.

13. WCRP, 2021. // URL: <https://wcrp-cmip.org/cmip-phase-6-cmip6/>

УДК 910.2:911.3

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ  
АГРОЛАНДШАФТА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Тишков А.А.<sup>1,2</sup>, Белоновская Е.А.<sup>1</sup> Кренке А.Н.<sup>1</sup>, Некрич А.С.<sup>1</sup>,  
Суховеева О.Э.<sup>1</sup>, Чвырев А.А.<sup>1</sup>, Титова С.В.<sup>1</sup>, Царевская Н.Г.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ФБГУ Институт географии РАН, Москва, Россия*

*<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», Белгород, Россия*

*E-mail: [tishkov@igras.ru](mailto:tishkov@igras.ru)*

В 2022 г. в рамках программы «Приоритет 2030» и проектного кластера Института географии РАН, Института наук о Земле НИУ БелГУ и других участников сформирован блок проектной деятельности. Среди проектов Института географии РАН под общей «шапкой» «Адаптация модели регионального развития Белгородской области в условиях истощения природного капитала» для участия в настоящем консорциуме были выделены следующие: (1) Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных земель Белгородской области и ее модельных территорий, (2) Новые подходы и методы управления гидролого-геохимическими процессами и восстановление водного режима, (3) Рекомендации по переходу на углеродно-нейтральное хозяйство, (4) Разработка рекомендаций по формированию экологического каркаса Белгородской области.

Из более 20 категорий рисков развития современного аграрного производства Белгородской области приоритетно были выделены следующие:

- рост засушливости южных и юго-восточных регионов области;
- истощение природного капитала, в т.ч. запасов почвенного гумуса и водных ресурсов;
- сокращение биоразнообразия, в т.ч. флористического пула для восстановления степей;
- снижение площади пашни и ее доли в структуре аграрных земель, рост эрозии почв и доли низкопродуктивной пашни;
- падение инвестиционной активности бизнеса в АПК;
- риски приграничного положения региона;
- сравнительно низкая суммарная площадь региональной сети ООПТ и отсутствие условий для создания экологического каркаса территории.

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Снижение возможных негативных эффектов выявленных рисков возможно путем проведения комплексных крупномасштабных агроэкологических исследований (наземных и дистанционных) региона, разработки новых подходов и методов, а на их основе – рекомендаций по оптимизации структуры агроландшафта области. *Какие для этого есть основания?*

Во-первых, Институт географии РАН давно и достаточно успешно с разных эколого-географических позиций занимается проблемами комплексной пространственной оценки состояния агроландшафтов староосвоенных территорий. Они пока не решены. Сама сезонная, погодичная и сукцессионная изменчивость агроландшафта, фиксируемая, например дистанционными методами высокого разрешения, в 21 в., охватывает не только структуру, текущее и потенциальное плодородие, но и весь спектр условий для устойчивого производства аграрной продукции и защиты почв от деградации. Их знание помогает создавать эколого-географические основы мониторинга и управления землями сельскохозяйственного назначения.

Во-вторых, имеющиеся системы периодической кадастровой оценки и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, включая Единую федеральную информационную систему о землях сельскохозяйственного назначения (<https://efis.mcx.ru/landing/>) позволяют достаточно подробно выявлять тренды в динамике структуры агроландшафта региона, качественных и количественных характеристик его пространственных элементов, в т.ч. пашни, строить карты землепользования, характеристик почв и содержания в них разных элементов питания. Исследования Института географии РАН, особенно дистанционные, дополняют такие маэтриалы и способны количественно оценивать некоторые тренды, например, в продуктивности зональных ландшафтов (Тишков и др., 2021).

В-третьих, «ведомственная» информация для наших целей оптимизации структуры агроландшафта Белгородской области требует актуального и ретроспективного анализа на основе рядов мультиспектральной информации, цифровых моделей рельефа и пр., а также использования методов машинного обучения и непараметрического анализа для построения моделей для выявления свойств агроландшафта и его отдельных элементов при разных сценариях аграрного производства в регионе (Кренке, 2020).

Известно, что общая площадь земель сельскохозяйственного назначения в России с каждым годом снижается. За последние 10 лет их площади уменьшились на 5 млн. га. Всего же, с 1990 г. они сократились почти в два раза. Как правило, земли переходят в категории Лесного фонда, земель населенных пунктов и земель промышленности. Но при этом площади под посевами на используемых в аграрном производстве землях растут. В статье (Тишков, Некрич, 2022) ранее было декларировано, что «наблюдаемое «сужение» аграрного пространства в Белгородской области пока не сказывается на поддержании сравнительно высокой продуктивности пашни и территориальной охране зональных степных экосистем региона, способных эффективно влиять на баланс углерода в черноземных почвах (Суховеева и др., 2020). Понятно, что только оптимизация структуры степного агроландшафта в таких староосвоенных аграрных регионах как Белгородская область, с высвобождением части площадей неэффективной пашни для инициации восстановительной сукцессии, позволит региону приблизиться к решению задач «углеродного нейтрального земледелия» («карбонового АПК»), при котором восстанавливающиеся степи на зональных черноземах компенсируют за счет аккумуляции углерода его вековые потери на пашне в Белгородской области (Чендев и др., 2017;

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Smelansky, Tishkov, 2012), в т.ч. за счет эрозии (Геннадиев и др., 2010; Лисецкий, Маринина, 2011; Жидкин, Чендев, 2014).

Запасы углерода в почвах Белгородской области изменяются от 15-20 кгС/м<sup>2</sup> в лесах на дерново-подзолистых и серых лесных до 30-50 кг С/м<sup>2</sup> в настоящих и луговых степях на черноземах (оподзоленных, выщелоченных и типичных). Максимальные удельные показатели запасов углерода в почвах области характерны для целинных степных участков заповедника Белогорье (например, «Ямская степь»). Заметно ниже они в агроландшафте на пашне на черноземах (15-30 кг С/м<sup>2</sup>). При выведении черноземов из сельскохозяйственного использования и старте их самовосстановления в них растет концентрация стабильных форм общего углерода при скорости аккумуляции до 100-300 гС/м<sup>2</sup> в год в первые 5-10 лет и 30гС/м<sup>2</sup> в год в среднем за 77-летний период сукцессии (Тишков, 2012; Лопес де Гореню и др., 2009; Курганова и др., 2010). Т.е. оптимальное соотношение в агроландшафте площадей пашни и восстанавливающихся степных залежей в сочетании с эффективной агротехникой (внесение органических и минеральных удобрений, борьба с эрозией) и сохранением высокого уровня выхода сельскохозяйственной продукции с интенсивно используемых земель будет способствовать переходу региона к «углеродной нейтральности земледелия».

Перечислим вопросы для поиска ориентиров оптимизации структуры агроландшафта Белгородской области.

(1) Каково должно быть соотношение площади пашни и площади восстанавливающихся черноземов, выведенных из распашки (охраняемых степей, имеющих сукцессионный статус ранних и средних стадий восстановления, возможно статус региональных ООПТ) для «углеродно-нейтрального земледелия» в регионе?

(2) Как соотносится площадь выявленных сохранившихся участков степи (они занимают около 2 %, т.е. всего 47 тыс. га) с вовлеченными в распашку землями? А как оценивается их вклад в современный углеродный пул агроландшафта области?

(3) Как учесть разнородность рельефа, выявляемую с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) при оценках динамики и баланса углерода степных экосистем в агроландшафте? Позволяет ли она шкалировать пространственный тренд продуктивности пашни (запасов гумуса) и очерчивать ее низкопродуктивную периферию?

(4) Как учесть сезонность и аграрные циклы при оценках динамики и баланса углерода в степном агроландшафте?

(5) Сколько нужно сохранить в агроландшафте региона черноземов с положительным трендом сукцессии (стока углерода), чтобы уравновесить действующие (актуальные) потери углерода пашни – по историческим (прогрессирующий процесс) и по современным (относительно стабилизированный процесс) трендам?

(6) Как молодые леса региона могут содействовать развитию «углеродно-нейтрального земледелия»? Пока понятно, что они будут активно аккумулировать углерод всего несколько десятилетий, а потом станут такими же источниками эмиссии углекислого газа, как и пашня и пр.

Понятно, что «углеродный калькулятор» и формула расчета пространственной оптимизации агроландшафта для «углеродно-нейтрального земледелия» для Белгородской области как примера староосвоенного региона ЦЧО еще только предстоит разработать с учетом актуального состояния земель региона. Так, в Белгородской области выявлено 702 участка сохранившейся степной растительностью на площади около 47 тыс. га, что составляет менее 1,7 % от территории всей области (Tishkov et al., 2020).

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Т.е. площадь, занятая степными сообществами, сократилась более чем в 35 раз от своего вероятного исходного состояния на начало массового освоения региона – конец 16 в. Выявленные участки мелкоконтурные и фрагментированные, расположены на неудобьях и сильно эродированных склонах балок и логов в окружении аграрного и индустриального ландшафта. Подавляющая часть участков имеет площадь менее 100 га. Самый крупный из них, площадью более 850 га, находится на границе Валуйского и Красногвардейского районов - меловые склоны реки Полатовка.

Пашня, ГОК и земли поселений, с одной стороны и участки заповедника «Белогорье» и другие ООПТ области - два противоположных по углеродной стратегии элемента степного агроландшафта региона. Но чтобы «уравновесить» потери углерода первой группы элементов ландшафта нужно создавать в регионе эффективную в отношении формирования углеродного пула сеть ООПТ сопоставимую по площади. Это в современных условиях невозможно. Но вполне возможно сбалансировать и минимизировать текущие потери углерода в аграрном производстве за счет изменения структуры агроландшафта, высвободив участки низкопродуктивной пашни для восстановления степей (с высоким стоком углерода) и создать более рациональную сеть региональных степных ООПТ. В отношении первого нами для ключевых участков подготовлены карты, выявляющие площади низкопродуктивной пашни и участки повышенной эрозии почв. Развитие рациональной сети степных ООПТ с режимом гумусонакопления в черноземах близким к природному – отдаленная перспектива. Потенциал земель для этого в области имеется.

Кроме того, Институт географии РАН в рамках проектного кластера предполагает включать в процесс оптимизации агроландшафта области и программу восстановления лесов на участках, где они были сведены в последние столетия (не на участках природных черноземных и меловых степей). Лесовосстановление как и восстановление степной растительности способны остановить потери почвенного углерода и эрозию в целом. Так, на типичных черноземах Ямской степи (Белгородская область) смыв почв под естественной растительностью либо не выражен, либо не превышает 1-3 т/га в год. Для белгородских черноземов, формирующихся под некосимой степью, даже на крутых бортах балок с уклонами до 20°, скорость эрозии составляла всего около 1 т/га в год. В свою очередь на морфологически идентичных склонах с аналогичным, но распаханым почвенным покровом темп эрозии почв возрастал на порядок и более. Например, распашка участка Ямская степь привела бы к увеличению скорости эрозии типичных черноземов на отдельных частях склона до 25 т/га в год и более.

Основой для восстановления степной растительности могут стать наши карты сохранившихся участков степей области, составленные в рамках инвентаризации степей России (Tishkov et al., 2020), а для программы восстановления лесов - составленная специально для данного проекта карта территорий, изначально занятых лесной растительностью на момент начала аграрного освоения региона. Согласно нашим расчетам, в 1780-х гг. лесистость Белгородской области составляла 18 % от общей площади, в 1870-х гг. она снизилась до 11,3 %, а в 1990-х гг. – 9,2 % (Цветков, 1957), а в 2022г. – 8,7 %. Важно, что представленные в области фрагменты меловых степей, никогда не занимались лесами. Это позволяет исключить их из программы лесовосстановления (Титова и др., 2014).

В заключении отметим, что синтез полевых и дистанционных данных по актуальному состоянию агроландшафта Белгородской области в рамках совместного проекта Института географии РАН и Института наук о Земле НИУ БелГУ стартовал только

## ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

в 20232 г. Он включает несколько этапов и подразумевает междисциплинарные исследования ландшафтоведов, почвоведов, гидрологов и биогеографов. На завершающем этапе предполагается построить серию карт актуального состояния агроландшафта, очертить в его границах элементы экологического каркаса, позволяющие снизить риски деградации пашни и ее дегумификации, используя методы машинного обучения создать модель для выявления свойств пространственных элементов агроландшафта для его оптимизации, в т.ч. на основе создания условий по снижению потерь углерода.

### Список литературы

1. Геннадиев А.Н., Жидкин А.П., Олсон К.Р., Качинский В.Л. Эрозия почв в различных условиях землепользования // Почвоведение. – 2010. – №9. – С. 1126-1134.
2. Жидкин А.П., Чендев Ю.Г. Обзор существующих представлений об эрозии почв в Белгородской области // Научные ведомости БГУ. Сер. «Естественные науки». – 2014. – № 23. – С. 147-155.
3. Кренке А.Н. Выявление инвариантных состояний агроландшафтов на основе иерархического факторного анализа дистанционной информации // Принципы экологии. – 2020. – №3. – С. 16-27.
4. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Швиденко А.З., Сапожников П.М. Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990-2004 гг // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 361-368.
5. Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А. Ресурсы и эрозионные потери почв // Фундаментальные исследования. Сер. «Сельскохозяйственные науки». – 2011. – №4. – С. 59-64.
6. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Кузяков Я.В. Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов // Агрехимия. – 2009. – №5. – С. 5-12.
7. Суховеева О.Э., Золотухин А.Н., Карелин Д.В. 2020. Климатообусловленные изменения запасов органического углерода в пахотных черноземах Курской области // Аридные экосистемы. – Т. 26. – № 2 (83). – С. 72-79.
8. Титова С.В., Кобяков К.Н., Золотухин Н.И., Полуянов А.В. Белогорье без белых гор? Угрозы степным экосистемам в Белгородской области / Под ред. д.г.н., проф. А.А. Тишкова. М., 2014. – 40 с.
9. Тишков А.А. Сукцессии растительности зональных экосистем: сравнительно-географический анализ, значение для сохранения и восстановления биоразнообразия // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – № 1 (5). – С. 1387-1391.
10. Тишков А.А., Кренке А.Н., Титова С.В., Белоновская Е.А., Царевская Н.Г. Изменения надземной фитомассы экосистем Северной Евразии в XXI веке // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Том 497. – № 2. – С. 193-198.
11. Тишков А.А., Некрич А.С. факторы территориальной дифференциации агроландшафта и перспективы сохранения степей белгородской области // Аридные экосистемы. – 2022. – № 2 (91). – С. 13-26.
12. Цветков М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII 1914 г. М.: Изд-во АН СССР. 1957. – 213 с.
13. Чендев Ю.Г., Хохлова О.С., Александровский А.Л. Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. – 2017. – № 5. – С. 515-531.

14. Smelansky I.E., Tishkov A.A. The Steppe Biome in Russia: Ecosystem Services, Conservation Status, and Actual Challenges // Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation. – 2012. – Vol. 6. – Springer, Dordrecht. – Pp. 45-101.

15. Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Zolotukhin N.I., Titova S.V., Tsarevskaya N.G., Chendev Yu.G. Preserved Sections of Steppes as the Basis for the Future Ecological Framework of Belgorod oblast // Arid Ecosystems. – 2020. – No. 10. – Pp. 36-43.

УДК 581.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОБИОТЕХНОЛОГИЙ  
В ОПТИМИЗАЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:  
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Тохтарь В.К.**

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», Белгород, Россия  
E-mail: tokhtar@bsu.edu.ru*

Продолжающееся ухудшение экологического состояния природной среды вызывает необходимость поиска путей и методов преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в функционирование природных систем [Тохтарь, Петин, 2012], включая эколого-геологические системы [Тохтарь, 2005; Тохтарь и др., 2011; Lisetskii et al., 2016]. Рекультивация нарушенных земель является реальным способом восстановления нарушенных экосистем, сохранения биологического разнообразия и увеличения экологической емкости территорий [Геоэкологические проблемы оптимизации..., 2013]. В связи с этим весьма важной представляется разработка и реализация новых подходов и методов биологической рекультивации антропогенно трансформированных ландшафтов [Тохтарь и др., 2012].

Развитие современных представлений о роли растений в улучшении окружающей среды привели к замене термина «фиторемедиация» на термин «фитотехнологии». Фитотехнологии определяются как: “Использование растительности для сдерживания, изолирования, удаления или разложения неорганических и органических загрязнителей в почвах, отложениях, поверхностных и грунтовых водах”. Термин “фитотехнологии”, используется для обозначения всех областей применения, в которых растения используются для регулирования загрязняющих веществ, даже без их удаления или уничтожения. Фитотехнологии основаны на основных физиологических механизмах, происходящих в высших растениях и связанных с ними микроорганизмах, таких как транспирация, фотосинтез, метаболизм и минеральное питание.

Ниже приведены примеры разрабатываемых фитотехнологий, которые успешно реализуются и/или могут быть реализованы коллективом НОЦ «Ботанический сад НИУ «БелГУ» в интересах горно-обогачительных комбинатов и предприятий, оценивающих экологическое состояние среды на подконтрольных им территориях.

**Фитотехнологии создания очистных систем (ФОС).** Для наполнения создаваемого ООО «Яковлевский ГОК» комплекса ФОС в лабораториях НОЦ «Ботанический сад» были разработаны способы массового выращивания и размножения перспективных для очистки сточных вод прибрежно-водных растений. Часть растений были получены из семян, другие, которые не размножались или плохо размножались семенами, были клонированы биотехнологическими методами. Для реализации этих