

## **МЕТОДОЛОГИЯ И КАТЕГОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕПОЗИТАРНЫХ, БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИХ, ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СЕРВИСНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ**

**©2015 г. А. Л. Иванов**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2  
e-mail: ivanov\_al@esoil.ru*

Рассматривается методология, структура и основные категории фундаментальных исследований программы Президиума РАН по приоритетному направлению “Депозитарные функции, технологии индикации состояния и рисков деградации почв России в системе ландшафтного планирования и рационального природопользования”. Проведение исследований предусмотрено по пяти проектам: цифровая дистанционная инвентаризация и мониторинг пахотных почв; трансформация, эволюция и деградация почв в условиях агрогенеза и глобальных изменений климата; депозитарные и экологические функции почв в агроландшафтах; оптимизация использования почвенных ресурсов; анализ показателя почвенного микробиома в процессах связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляцией вегетационного процесса. Теоретической основой программы являются созданные ранее типология и система агроэкологической оценки земель, методология и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия, теория создания и функционирования растительно-микробных ассоциаций, методика таксономической идентификации структуры более 100 почвенных микробиомов, развитие теории об экологических функциях почв. Методология программы отличается от предыдущих подходов тем, что исследование функций (групп функций) почв проводится на основе статического и динамического описания процессов энергомассообмена, на глобальном биосферном уровнях, с оценкой оказания услуг почвы предоставляемых социуму. Разработана блок-схема научных исследований и методы. На депозитарном уровне применяются эмпирический анализ, физическое моделирование, имитация пространства состояний и т.д. Биоценоотические функции описываются на основе изучения циклов трансформации, мониторинга, метагеномной индикации, зондирования, цифровой инвентари-

зации и других современных технологий. Выделены объекты, категории, основные тренды трансформации, эволюции и деградации почв; приемы адаптации, управления и регулирования; главные ожидаемые научные и прикладные результаты комплексного исследования.

*Ключевые слова:* цифровая инвентаризация, мониторинг, пахотные почвы, деградация почв, изменений климата, агроландшафт, почвенные ресурсы, микробиом, органическое вещество.

Программа фундаментальных исследований, разработанная Почвенным институтом им. В.В. Докучаева и Всероссийским НИИ сельскохозяйственной микробиологии, утверждена в перечне программ Президиума Российской академии наук по отраслям и направлениям науки по приоритетным направлениям (Постановление президиума РАН № 10115-54 от 3 февраля 2015 г.)

Программа соответствует положениям “Прогноза научно-технического развития Российской Федерации до 2030 года” предполагает необходимость развития новых подходов к экологическому мониторингу природных сред, оценке состояния и динамики ресурсов агроландшафтов, модельному описанию биогеохимических потоков, энерго- и массопереноса, возможной дополнительной мобилизации потенциала плодородия почв, увеличения коэффициента использования промышленных удобрений, повышения биопродуктивности, предотвращения деградации почв, в том числе, латентных ее проявлений.

Изучение почв России с позиций оценки их депозитарных, агроэкологических и сервисных функций, охраны, рационального использования и обеспечения продовольственной безопасности, важнейшая задача, требующая междисциплинарных интеллектуальных усилий. К тому же эколого-экономическое единство современного землепользования на биосферных принципах, предусматривает эффективное управление метаболизмом растений минеральным и водно-воздушным режимами почв, комплексного и оперативного прогноза и экспресс-анализа климатических, почвенных показателей, физиологических и агроэкологических требований растений для оптимально заданного уровня биопродуктивности агроландшафтов. Исследования имеют большое значение для решения обширного круга вопросов, связанных с развитием систем экологического мониторинга, диагностики состояния

природных и антропогенных систем, повышением агроэкологического уровня земледелия, биосферного природопользования.

Научно-исследовательскими учреждениями земледельческого и мелиоративного профиля отделения сельскохозяйственных наук РАН (ранее объединенных в структуре Россельхозакадемии) в течение последнего десятилетия разрабатывалась и координировалась программа научных исследований по разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В результате были разработаны типология и система агроэкологической оценки земель, методология проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, подготовлены соответствующие методические руководства, разработаны инновационные проекты адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий для ряда сельскохозяйственных предприятий и регионов. В результате сложились необходимые научные предпосылки, приоритеты и научный задел для дальнейшего развития этого направления. Отечественный и международный приоритеты защищены и бесспорны, они полностью соответствуют мировым тенденциям биосферного природопользования.

В то же время велись исследования в области метагенома почв. Сформирована и постоянно пополняется коллекция почвенных образцов (разных типов почв, степени нарушенности, с разным характером использования) для анализа почвенного микробиома. Создана и обработана оригинальная методика получения высокоочищенных ДНК из почвы, освоены методики конструирования оптимального набора мультикомплексных fusion-праймеров, позволяющих проводить одновременный анализ 20 почвенных образцов, с выходом около 3–3.5 тыс. нуклеотидных последовательностей на образец, анализа почвенной микробиоты, с использованием полимеразной цепной реакции, с детекцией в реальном времени и таксономическим анализом сложных микробных сообществ.

К настоящему моменту имеются данные о таксономической структуре более чем 100 почвенных микробиомов, проведены эксперименты по анализу и возможности использования информации о почвенной микробиоте как индикатору состояния почв и их функций. Подобная информация по почвам страны получена впервые.

Имеющиеся наработки в области метагенома почв свидетельствуют о возможности использования этой информации в качестве интегрального показателя качества почв и их функционирования, а также перспективности применения достижений этого направления почвоведения для дальнейшего развития подходов адаптивно-ландшафтного земледелия и ландшафтного планирования в целом.

Предпосылками для проведения исследований подобного рода в России являются наличие авторитетных классических школ почвоведения, десятков стационарных опытов и широкого разнообразия почв, находящихся в различном агроэкологическом состоянии. Результаты выполнения данного проекта могут существенно обогатить мировую науку как качественно новыми фундаментальными знаниями, так и инновационными практическими решениями, которые в силу их универсальности могут быть использованы в разных отраслях народного хозяйства.

Отличительной особенностью предлагаемого подхода является изучение функций (групп функций) почв с позицией статической оценки и описания их динамики на микропроцессном (энергомассообмен) и биосферном уровнях, производимой работы и сервиса (услуг) предоставляемой почвой социуму, взамен традиционно принятому пониманию функции как роли, значению и т.п.

Последнее направление в мировой науке о почвах, с явно выраженной прагматикой, с разной степенью успеха развивается особенно интенсивно (Одум, 1959; Лархер, 1978; Groot, 1992). Между тем отечественная научная школа в почвоведении (Вернадский, 1940; Ковда, 1975; Добровольский, Никитин, 1990 и др.) и теоретический задел в научном земледелии (Кирюшин, 2011; Тихонович, 2006, Иванов и др., 2012 и др.) позволяют решить проблему адаптировано к современному социально-экономическому пространству и природно-климатическим изменениям, фундаментальнее и более ориентированное для прикладного использования.

Программа включает пять самостоятельных проектов:

- цифровая дистанционная инвентаризация и мониторинг пахотных почв России;
- трансформация, эволюция и деградация почв в условиях агрогенеза и глобальных изменений климата;

- депозитарные и экологические функции почв в агроландшафтах;

- оптимизация использования почвенных ресурсов;

- анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляцией вегетационного процесса.

В краткосрочной перспективе предусмотрено создание интеллектуальной экспертной системы, пространственной базы данных депозитарных функций почв, агроландшафтов и почвенного микробиома. Важным является использование современных биоинформационных средств, физико-технического базиса и программных пакетов для описания функций и процессов, структурно-функциональной организации почвенного ценоза, оценка агроэкологического состояния почв, разработка системы индикаторов экологической устойчивости агроландшафтов, в том числе с учетом микробиотических и генетических резервов почвенного микробиома для определения нормативов допустимой нагрузки и обеспечения эффективности затрат.

Не менее важным представляется развитие методов и системы проектирования агроландшафтов и их инфраструктуры на принципах функциональной поляризации и формирования экологического каркаса территории, с учетом опыта адаптивно-ландшафтного землепользования в России.

В общем виде их осуществление предполагается в рамках следующих направлений:

- депозитарные и экологические функции почв в агроландшафтах: статика и динамика (оценка влияния сельскохозяйственной деятельности человека и глобальных климатических изменений на состояние почв, направленность элементарных почвенных процессов и регулирование агробиохимических циклов биофильных (в первую очередь фосфора и азота) элементов в экосистемах; миграция микроэлементов, баланс углерода – критерий оценки состояния агроэкосистем; качественный состав органического вещества почвы и микробного сообщества как показатель почвенного плодородия и здоровья экосистем;

- русский чернозем – основное богатство России – состояние и прогноз его изменений под воздействием природных и антропогенных факторов);

– рациональное использование почвенного покрова (агро-экологическая оценка состояния почвенного покрова; адаптивно-ландшафтные системы земледелия как технология предотвращения деградации почв, воспроизводства их плодородия, повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий и обеспечения продовольственной безопасности России; моделирование рисков деградации, эффективный мониторинг сельскохозяйственных земель).

Практическое использование предлагаемых теоретических и методологических принципов и подходов, а также эмпирического обобщения ожидаемых экспериментальных результатов исследований расширит возможности устранения ряда важнейших противоречий между экологизацией и интенсификацией сельскохозяйственного производства при реализации задач обеспечения продовольственной безопасности России, создания научной основы для разработки основных направлений эколого-сельскохозяйственной политики и рационального использования сельскохозяйственных земель России, совершенствования системы предотвращения деградации почв как составной части адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Это позволит значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий и будет способствовать устранению зависимости России от поставок импортной сельскохозяйственной продукции, общему оздоровлению экологической обстановки и созданию безопасных условий жизни населения нашей страны.

Внедрение разработанных технологий расширит возможность коренной реконструкции в системе планирования сельскохозяйственного использования земель.

Методология исследований по программе представлена в концептуальной блок-схеме (рисунок).

На основе работы Г.В. Добровольского и Е.Д. Никитина (1990), биогеоценологические и глобальные функции почв (педосферы) структурированы в три большие группы: депозитарные, биогеоценологические, экологические и сервисные (услуги). Выделение в перечне первой и последней групп представляется принципиально важным, с учетом принятого выше понимания функций почв.

В соответствии с этим выделяются объекты и категории исследования. Становится возможным их масштабирование, определение размеров, размерностей, а также приемов и методов прак-

## Методология, структура и категории фундаментальных исследований по программе. Прикладные аспекты



тического управления и регулирования: от компенсаторных и агротехнологий, мер адаптации к уровню интенсификации и природоклиматическим метаморфозам до оптимизации использования земельных ресурсов агроландшафтов и рационального природопользования в целом. Таксономическая иерархия в этом случае также соблюдается.

Методы изучения и контроля, соотнесенные с выделенными группами функций, ранжируются следующим образом. На депозитарном уровне используются:

- эмпирический (морфологический, биохимический, геномный, химический, физический, физико-химический, минералогический и т.д.) анализ;

- термодинамическое и физическое моделирование механизмов, процессов и компонентов;

- оценка и имитация пространства состояний системы.

Для характеристики биоценологических функций необходимы: концептуально-эмпирический анализ круговоротов, трансформации, энергомассообмена в агроэкосистеме; описание экологических и сервисных функций (услуг); мониторинг, индикация состояния, зондирование, цифровая инвентаризация, ГИС и т.д.

Исзуемые тренды также различаются. На первом уровне это аккумуляция, биоразнообразие и сукцессии, элементный небаланс, нарушение равновесия и т.д. На более высоком уровне иерархии – трансформация, эволюция и деградация почв, антропогенез, соответствие эволюции почвообразования изменениям климата и т.д.

Принципиальным является научная и прикладная интерпретация, а также конкретные размерности на том или ином уровне изучаемых групп почв.

Программа междисциплинарная. В реализации ее примут участие, кроме Почвенного института им. В.В. Докучаева и Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии, творческие коллективы из ученых Агрофизического института им. А.Ф. Иоффе, НИИСХ Центрально-черноземной полосы им. В.В. Докучаева, Белгородский НИИСХ, Курский НИИ АПП и вновь созданной совместной лаборатории по оценке экономической деградации почв МГУ им. М.В. Ломоносова.



Материалы представлены на интернет-сайте Почвенного института им. В.В. Докучаева (<http://esoil.ru>), доступны для обсуждения, но уже сейчас понятно что, программа будет положена в качестве приоритетной в планах научных исследований на перспективу<sup>1</sup>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вернадский В.И.* Биогеохимические очерки. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 250 с.
2. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах. Экологическое значение почв. М.: Наука, 1990. 262 с.
3. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. и др.* Агробиогеохимический цикл фосфора. М., 2012. 513 с.
4. *Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 445 с.
5. *Ковда В.А.* Биохимические циклы в природе и их нарушение человеком. М.: Наука, 1975. 73 с.
6. *Лархер В.* Экология растений. М.: Мир, 1978. 185 с.
7. *Тихонович И.А.* Теоретические основы и практические возможности экологизации сельскохозяйственного производства на основе растительно-микробного взаимодействия // Проблемы интенсификации и экологизации земледелия России. М.: Россельхозакадемия, 2006. С. 55–77.
8. *Odum E.P.* Fundamentals of ecology. 2 Aufl. Saunders Comp, Philadelphia–London, 1959.
9. *Groot R.S.* Function of nature. Wolters–Noordhoff, 1992. 316 p.

## METHODOLOGY AND CATEGORIES OF STUDYING DEPOSITARY, BIOGEOCENOTIC, ECOLOGICAL AND SERVICE FUNCTIONS OF SOILS

**A. L. Ivanov**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017 Russia, Moscow, Pyzhevskii 7, bld. 2  
e-mail: ivanov\_al@esoil.ru*

The methodology, structure and major categories of fundamental studies are considered to be carried out within the framework of the Pro-

---

<sup>1</sup> Программа обсуждена и одобрена на совместном заседании Научного совета по земледелию, мелиорации, водного и лесного хозяйства РАН, ученых советов Почвенного института им. В.В. Докучаева и ВНИИ сельхозмикробиологии.

gram adopted by the Presidium of Russian Academy of Sciences in accordance with the priority trend in “Depositary functions, indication technology of the state and risks of soil degradation in the system of planning and rational environment conservation in Russia”. These studies are foreseen to be realized according to 5 projects including digital remote sensing inventory and monitoring of arable lands; transformation, evolution and degradation of soils due to agrogenesis and global climate changes; depositary and ecological functions of soils in agrolandscapes; optimal use of the soil resources; analysis of the soil microbiome index in processes associated with the soil formation, organic matter transformation and fine regulation of the vegetative process. Theoretically the above program is based upon the available typology and the system of agro-ecological valuation of lands; methodology and projecting of adaptive-landscape systems in agriculture; the development of the theory of creating and functioning of plant-microbial associations; methods of taxonomic identification of more than 100 soil microbiomes and the development of the theory of soil ecological functions. This methodology differs from available approaches by the fact that the study of soil functions (function groups) is carried out as based upon the statistic and dynamic description of the energy-mass exchange processes at global biosphere levels and services rendered by the soil at the current stage of the human society’s development. A block-scheme of studies and methods has been elaborated. The empiric analysis, physical modeling, the state simulation in space are used at the depositary level. Biocenotic functions are described on the basis of studying the cycles of transformation, monitoring, metagenome indication, digital inventory and the other up-to-date technologies. The objects, categories, basic trends in transformation, evolution and degradation of soils as well as the adaptation, management and regulation practices have been determined; the results of scientific and applied studies are expected to be successfully obtained.

*Keywords:* digital inventory, monitoring, arable lands, soil degradation, climate change, agrolandscape, soil resources, microbiome, organic matter.