

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОСИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Червань А.Н.^{1,2}, Нарожняя А.Г.³

¹РУП «Институт почвоведения и агрохимии» Национальной академии наук Беларуси, Минск;

²УО «Белорусский государственный университет», Минск, e-mail: ChervanAlex@mail.ru;

³ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: narozhnyaya_a@bsu.edu.ru

Приведена технология территориального планирования неистощительного природопользования в сельскохозяйственных ландшафтах на примере Республики Беларусь. Направления использования почвенно-земельных ресурсов устанавливаются на основе геосистемного анализа структуры почвенного покрова. Исследования выполнены с использованием многофункционального геоинформационного программного комплекса ArcGIS с использованием автоматизированных подходов к агроэкологической оценке и типологии сельскохозяйственных земель. Структура базы данных почвенно-ресурсного потенциала агроландшафтов ключевых почвенно-экологических районов предусматривает общий, факторный, ресурсный и оценочный тематические блоки. Приведены алгоритмы автоматизированной типологии земель и оценки почвенно-ресурсного потенциала в базе данных по картометрическим показателям структуры почвенного покрова в границах почвенных комбинаций. Результаты пространственного и геостатистического анализа позволили обосновать организацию территории базового почвенно-экологического района, оптимизировать структуру посевных площадей в агроландшафтах с указанием научно обоснованных видов и объемов сельскохозяйственной продукции, что удовлетворяет стратегии природоохранного землеустройства.

Ключевые слова: геосистема, природопользование, почвенная комбинация, территориальное планирование

THE TECHNOLOGY OF GEOSYSTEM ANALYSIS FOR SPATIAL PLANNING OF ENVIRONMENT MANAGEMENT

Chervan A.M.^{1,2}, Narozhnyaya A.G.³

¹Institute for Soil Science and Agrochemistry of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk;

²Belarussian State University, Minsk, e-mail: ChervanAlex@mail.ru;

³Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, e-mail: narozhnyaya_a@bsu.edu.ru

The technology of spatial planning for sustainable environmental management in agricultural landscapes on the example of the Republic of Belarus is described in the article. Use of soil and land resources are established on the basis of geosystem analysis of soil cover structure. The researches were performed using a multifunctional geoinformation software complex ArcGIS with use of automated approaches to agro-ecological assessment and typology of agricultural land. The database structure of soil-resource potential of agricultural landscapes and environmental soil key areas provides the common, factor, resource and evaluation thematic blocks. The algorithms of the automated land typology and evaluation of soil and resource potential of the database on the performance dimensions on landscape maps the soil cover structure within the boundaries of soil combinations are presented. The results of the spatial and geostatistical analysis were used to justify the organization of the territory of the underlying soil and environmental area, optimize the structure of sown areas in agricultural landscapes with indication of scientifically-based types and volumes of agricultural products that satisfy environmental land management strategies.

Keywords: geosystem, use of nature, soil combination, spatial planning

Удовлетворение потребностей растущего населения в естественных продуктах жизнеобеспечения и комфортного проживания в экологически безопасных условиях относится к четко обозначившимся в XXI в. вызовам современности. Одним из важнейших аспектов этой проблемы является учет природных ресурсов с оценкой естественного потенциала их использования.

Ввиду неразрывной связи социально-экономического развития и проблем окружающей среды вопросы комплексного и системного учета почвенно-земельных ресурсов поднимались неоднократно [4, 9, 12]. Комплексное изучение почвенно-земельных ресурсов реализуется в рассмотрении почвы и почвенного покрова как живой географической системы – геосистемы [2, 11]. Процессы организации, самосохранения, регулирования геосистем не могут быть выведены из свойств ее частей и объясняться доминирующими аналитико-механистическими подходами в исследованиях [2], так как существование природных систем в виде неделимых целых делает разложение их на составные части бессмысленным или невозможным [3].

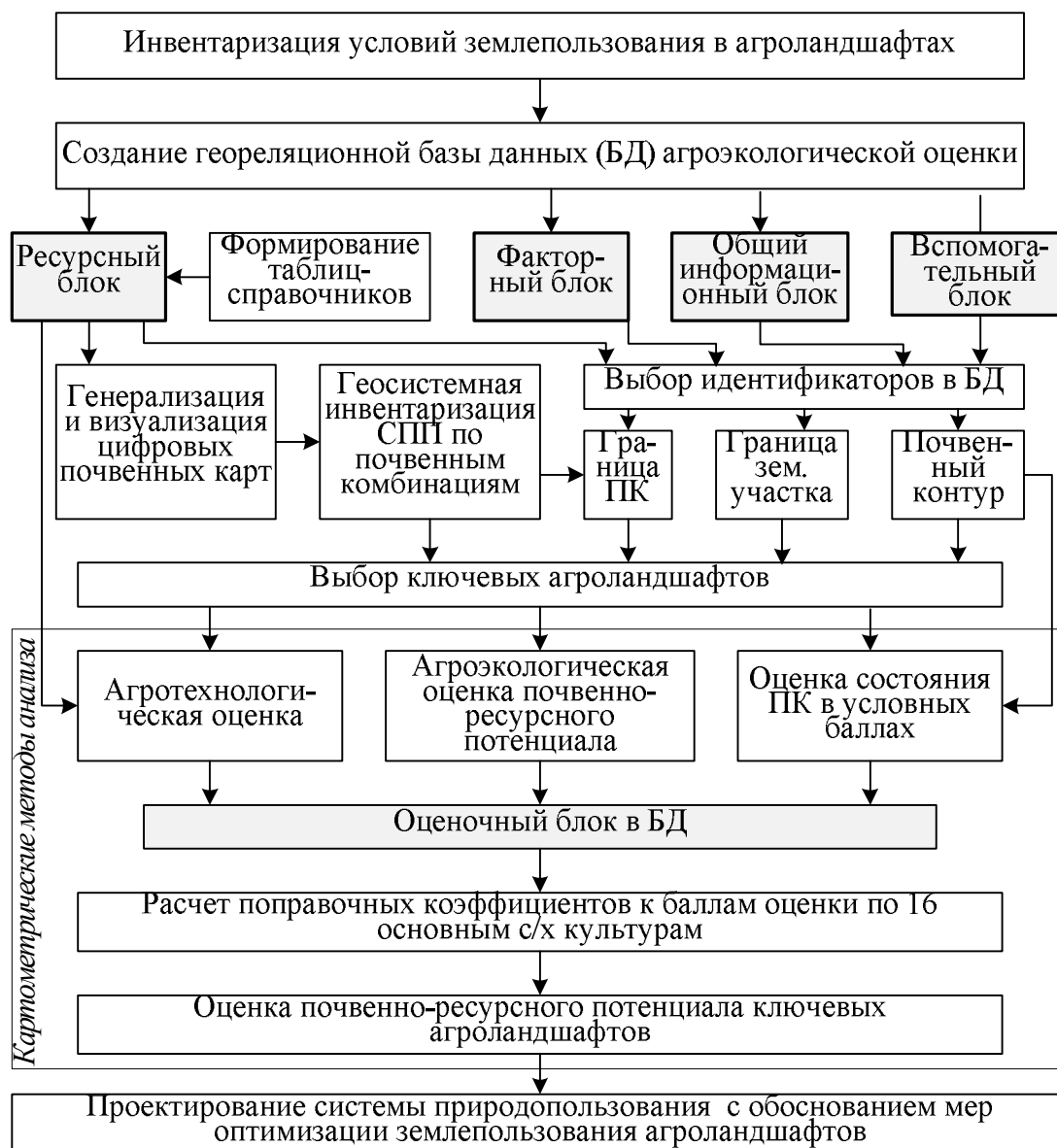
В условиях интенсификации природопользования возникает необходимость создания способов формирования и резонансного возбуждения внутренних сил взаимодействия в геосистемах. Однако это возможно лишь после нахождения признаков выделения и типологии геосистем, что может обеспечиваться только в ходе системного анализа территории.

Ранее нами обосновано использование почвенных комбинаций как инвариантов геосистем [8]. Для создания систем природоохранного природопользования предлагается проводить агроэкологическую оценку [10] и группировку почв [7, 14]. Наилучшие условия для практического использования результатов агроэкологической оценки достигаются при доведении ее до состояния аналитической информационной или геоинформационной системы [5; 16]. Существуют примеры оценки природно-ресурсного потенциала (ПРП) на основе базы данных ArcInfo, основой которой служит характеристика СПП [6, 13].

Разрабатываемый в рамках настоящего исследования геосистемный анализ почвенно-земельных ресурсов на основе агроэкологической оценки природно-ресурсного потенциала по параметрам почвенных комбинаций и направлений фактического землепользования определяет стратегию их использования и охраны, экологического нормирования, повышения плодородия почв, обеспечения экологически безопасного устойчивого землепользования и минимизацию риска проявления опасных изменений в режиме экологических функций почв.

Материалы и методы исследования

Геосистемный анализ является составной частью технологии проектирования системы природопользования с обоснованием мер оптимизации. Основные его этапы приведены на рисунке.



Блок-схема геосистемного анализа почвенно-ресурсного потенциала по почвенным комбинациям

Работы выполняются с использованием многофункциональной ГИС ArcGIS с использованием автоматизированных подходов для анализа данных.

Инвентаризационные работы включают векторизацию почвенных карт (М 1:50 000, М 1:10 000) районов и сельскохозяйственных организаций, материалов агрохимического обследования сельскохозяйственных земель, материалов схем землеустройства районов, схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций, данных актуального тура агрохимических обследований территорий хозяйств, материалов кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, результатов картометрического анализа структуры почвенного покрова с оценкой неоднородности почвенного покрова с использованием шкалы контрастности почв и коэффициентов расчлененности почвенного покрова [8].

Для проведения инвентаризации создают геореляционную базу данных геосистемного анализа, данные в которой распределены по трем масштабным уровням исследований (табл. 1) – региональный (Поозерье, Центральная Беларусь, Полесье), локальный (4–5 районов в каждом регионе) и местный (сельскохозяйственные организации).

Таблица 1

Структура базы данных почвенно-ресурсного потенциала агроландшафтов ключевых почвенно-экологических районов

Информационные блоки данных	Информационные слои пространственных данных												
	Республиканский уровень	Поозерье					Центральная			Полесье			
		Браславский	Глубокский	Полоцкий	Ушачский	Шумилинский (СПК)	Дзержинский (УП)	Кореличский	Новогрудский	Столбцовский	Житковичский	Лунинецкий	Пинский (СПК)
1. Общий	границы (административные, хозяйственные, другие)												
	дорожная сеть												
	селитебная сеть												
2. Ресурсный	болота												
	почвенные комбинации (геосистемы)												
	земли												
	почвы												
	растительность												
3. Факторный	водоохранные зоны и прибрежные полосы												
	гидрография												
	специализация землепользователей												
	зоны особого госрегулирования												
	мелиорация												
	рельеф												
	водно-эрозионный потенциал												
4. Вспомогательный	дефляционный потенциал												
	опытные стационары, ключевые участки мониторинговых												
	особо охраняемые природные территории												
	ландшафты												
	геоботанические площадки												
	промышленные объекты												
	ключи геосистем												
	минеральные воды												
5. Оценочный	полезные ископаемые												
	подземные воды												
	агрогруппировка												
	плодородие почв												
	применение севооборотов												
	мелиоративная освоенность												
	почвенно-экологическое районирование												
	природно-мелиоративное районирование												
	рекреационное районирование												
	физико-географическое районирование												
хозяйственно-функциональное районирование													
кадастровая оценка													

На этапе инвентаризации формируются следующие блоки:

1. Общий информационный блок пространственных данных учитывает границы единиц административно-территориального деления как частей почвенно-экологического районирования; хозяйственно-функционального зонирования субъектов хозяйствования.
2. Ресурсный блок содержит информационные слои почвенных комбинаций (геосистем), почв, растительности, болот, видов и типов земель согласно кадастровому учету.
3. Факторный — определяет пространственное расположение (распределение) водоохраных зон и прибрежных полос водных объектов, гидрографическую сеть территорий, границы и специализации землепользований, зоны особого государственного регулирования, мелиоративное состояние почвенного покрова, рельеф территорий, лесохозяйственные и лесоустроительные рубки, эрозионный и дефляционный потенциал территорий и другие факторы состояния и агроэкологической оценки почвенно-земельных ресурсов.
4. Вспомогательный — содержит дополнительную информацию антропогенного и природного характера, прямо или косвенно влияющую на инвентаризацию и оценку почвенно-земельных ресурсов. К ней отнесены данные о дорожной сети, каналах, расположении населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, промышленных объектов, ландшафтное районирование территорий, геоморфологические и геоботанические условия, полезные ископаемые и пр.

Оценочный блок отражает результаты районирования территорий по факторам природной среды, а также материалы разного рода оценок почвенно-земельных ресурсов: агроэкологической оценки, в том числе агрогруппировки земель, агротехнологической, кадастровой оценки, мелиоративной освоенности и др.

С большинством атрибутивных таблиц указанных классов данных связаны таблицы-справочники, выполняющие как минимум две функции. Во-первых, право на их модификацию имеет ограниченный круг лиц, что уменьшает количество ошибок и неточностей, связанных с такой корректировкой. Во-вторых, таблицы-справочники избавляют пользователей базы данных от необходимости вводить в нее большое количество данных с клавиатуры, предоставляя возможность выбирать нужные сведения из заранее подготовленных списков. Это не только делает работу рядового пользователя с базой данных значительно комфортнее, но и служит дополнительной защитой от неточностей, связанных с использованием различными пользователями разной терминологии при описании одних и тех же характеристик почвенно-земельных ресурсов. Также по отдельным атрибутивным таблицам созданы программные домены, наличие которых позволяет осуществлять контроль ввода данных, исключить пробелы или недопустимые значения в атрибутивных таблицах. Инвентаризационный этап и оверлейные операции над данными сопровождаются проверкой

топологии с помощью встроенных модулей обработки информации в базе геоданных.

Геосистемная инвентаризация в базе геоданных соответствует территориальной иерархичности оцениваемых единиц (от типа почвы к категории земель через почвенные комбинации).

Наиболее острая проблема в технологии формирования базы данных показателей геосистемного анализа почвенно-земельных ресурсов заключается в поиске и использовании идентификаторов (кодов опознавания индивидуумов). От ее решения зависит обретение базой таких важных свойств, как интероперабельность, универсальность технологии формирования и стандартизация вывода информации, применение автоматизированных методов агроэкологической оценки ресурсов и др. В предлагаемой базе геоданных предлагается использовать три идентификатора, каждый из которых способен учитывать признаки и характеристики почвенно-земельных ресурсов в любом масштабе, независимо от территориальной или ведомственной принадлежности. Это почвенный контур, граница земельного участка и граница почвенной комбинации.

Почвенные комбинации предлагается использовать в качестве инварианта состояния почвенно-земельных ресурсов территории, они топологически и типологически объединяют факторы почвообразования в любом масштабе, следовательно, содержат информацию для объективной оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов и установления нормативных требований к использованию и охране земель [15]. В таблице 2 представлено соотношение групп почвенных ареалов в формуле почвенной комбинации. Индексы геосистем, которые могут представлять собой типы земель с позиции природопользования, приведены в соответствии с иерархической номенклатурой и критериями группировки почвенных комбинаций [8].

На следующем этапе проводят анализ данных в виде агроэкологической, агротехнологической оценок и оценку состояния почвенных комбинаций в условных баллах, используя картометрические методы (рисунок).

Оценке состояния почвенной комбинации, выраженной в условных баллах и одновременно характеризующей и внешнее воздействие, и естественную предрасположенность его влияния, отводится особое место в учете почвенно-земельных ресурсов. Это обусловлено тем, что установление нормативных требований к использованию почвенно-земельных ресурсов с учетом всего многообразия почвенных условий землепользования должно выполняться на системной основе в границах типовых территориальных единиц. Выбранные в качестве типов земель в базе данных почвенные комбинации на основе геосистемного подхода к структуре почвенного покрова позволяют учесть все многообразие природных (почвенных) условий землепользования,

проявляющееся уже на районном уровне инвентаризации.

Таблица 2

Диапазон встречаемости почвы – возможной занимаемой площади в почвенной комбинации на примере водораздельных пространств (min-max), в %

Индекс Почва	1111; 1111(2); 1112(1); 1112; 1113; 1113(4); 1114(3); 1114; 1114(5); 1115	1121; 1121(2); 1122(1); 1122; 1123; 1123(4); 1124(3); 1124; 1124(5); 1125	1211; 1211(2); 1212(1); 1212; 1213; 1213(4); 1214(3); 1214; 1214(5); 1215	1221; 1221(2); 1222(1); 1222; 1223; 1223(4); 1224(3); 1224; 1224(5); 1225	1311; 1311(2); 1312; 1313; 1313(4); 1314(3); 1314; 1314(5); 1315	1321; 1321(2); 1322(1); 1322; 1323; 1323(4); 1324(3); 1324; 1324(5); 1325; 1326(тв); 1326(тп+тв); 1326(тп); 1326(тн+тп); 1326(тн)
ДП	35–85	30–65	40–85	30–65	35–75	20–45
ДПБ0-1	30–70	35–75	35–75	40–85	35–75	35–75
ДПБ2	15–45	20–55	20–50	35–75	15–45	30–65
ДПБ3	5–25	15–45	5–25	15–45	0–20	10–35
ДПБиг	0–15	5–15	0–10	5–25	0–20	10–25
ДБ1	15–35	25–55	25–55	20–45	25–55	15–40
ДБ2	5–20	20–45	15–35	15–45	15–40	15–45
ДБ3	0–20	15–35	5–25	10–35	5–25	10–35
ТВ	0–15	5–25	0–5	0–20	0–5	0–20
ТП	0–10	5–20	0–5	0–15	0–5	0–20
ТН	0–15	5–25	0–5	0–5	0–5	0–5
АДБ0-1	5–15	5–25	5–20	5–25	0–20	5–25
АДБ2	0–20	5–25	0–20	0–15	0–15	0–15
АДБ3	0–15	0–20	0–5	0–20	0–15	0–15
АДилБ	0–15	0–20	0–5	0–10	0–15	0–15
АТН	0–15	0–20	0–5	0–15	0–15	0–10

Агроэкологическая оценка включает расчет в базе данных коэффициентов контрастности, расчлененности (сложности) и неоднородности почвенного покрова по каждой почвенной комбинации. Для территорий агроландшафтов и «ключевых участков» геосистем, где существует кадастровый учет в виде земельно-информационной системы, производят расчет контурности видов земель (существующего использования) и ее соответствия природной неоднородности.

Мерой неоднородности может служить коэффициент неоднородности структуры почвенного покрова, рассчитываемый как произведение контрастности и расчлененности входящих в формулу почвенной комбинации групп почв. Вариант сельскохозяйственного использования отдельно оценивается для возделывания разных сельскохозяйственных культур. Коэффициент неоднородности является наиболее интегральным показателем, указывающим на целесообразность и эффективность агротехнологий в границах каждого типа земель агроландшафта.

Основными факторами агротехнологической оценки являются содержание в почве гумуса, подвижных форм фосфора и калия, физической глины, кислотность почвы. Эти данные используются для расчета индекса окультуренности почв с использованием предварительно написанных на языке Python формул.

Наиболее важным этапом работ является расчет поправочных коэффициентов к баллам проведенных оценок. Значения поправочных коэффициентов рассчитывают в геоинформационной среде в автоматизированном режиме исходя из следующих факторов: вид земель, эродированность (или эрозионная опасность) и мелкоконтурность, дифференцированные по возделываемым культурам, завалуненность, окультуренность, генезис почвообразующих пород, содержание физической глины, агроклиматические условия отдельно по 16 основным сельскохозяйственным культурам.

В результате учета поправочных коэффициентов к каждому баллу бонитета почв по каждому элементарному участку для всех основных культур рассчитан балл агротехнологической оценки в тех же границах. Такой сплошной (все виды культур, все элементарные участки, все поправочные коэффициенты) пространственный анализ позволил для территории каждого рабочего участка провести качественную группировку приоритета возделывания той или иной культуры по шкале от 1 до 5 на территорию ключевых агроландшафтов.

Оценка почвенно-ресурсного потенциала – заключительный этап геосистемного анализа. Границы выполнения оценки совмещаются с границами хозяйственно-функционального зонирования для учета целевого назначения не отдельных земельных участков, а крупных территорий хозяйствования. Рассмотрение агроландшафтов как подсистем геосистем, имеющих типовые параметры буферности и устойчивости к антропогенным воздействиям, позволяет выполнить хозяйственно-функциональное зонирование, основанное на анализе современного состояния использования почвенно-земельных ресурсов. Проводят оценку потенциала по следующим направлениям:

- 1) современная организация территории и сложившиеся землепользования в границах агроландшафта с выделением хозяйственно-функциональных зон;
- 2) выделенные геосистемные типы;
- 3) естественный и производственный ресурсный потенциал для определения предпочтительных направлений природопользования.

Сравнивая эти оценки, выявляют конфликтные территории.

Такой комплексный геосистемный анализ, выполненный в базе геоданных почвенно-земельных ресурсов с использованием геоинформационных технологий, позволяет установить пространственное распределение почвенных комбинаций, однозначно указывающих на автоморфное, полугидроморфное или гидроморфное состояние почвенного покрова, а также на возможность проявления эрозионных процессов, что служит информационной основой при определении неистощительных направлений природопользования, а в случае возделывания сельскохозяйственных культур — для проектирования севооборотов.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемая в работе методика была использована для оценки территории Республики Беларусь. В результате инвентаризации и комплексных оценок территории были выделены наиболее однородные типы земель, которым присвоены понижающие коэффициенты: более 0,90 – в потенциале это лучшие агроэкологические условия для пахотного использования. Поправка 0,80...0,90 означает ограниченность пахотного при благоприятной возможности лугового использования. Понижающий коэффициент, равный 0,75...0,70, определяет территории, непригодные для отвода под пашню. Параллельно проводилась оценка типов земель с определением возможности лугового использования. В связи с тем, что продуктивность естественных луговых и пастбищных земель слабо связана с неоднородностью почвенного покрова, поправка к баллу бонитета почв не вводилась.

На этапе оценки почвенно-ресурсного потенциала установлены зонообразующие группы земель и землепользователей (табл. 3). Для территорий агроландшафтов и «ключевых участков» геосистем, где существует кадастровый учет в виде земельно-информационной системы, произведен расчет контурности видов земель (существующего использования) и ее соответствия природной неоднородности почвенного покрова. Качественная оценка выполнена на основе данных продукционной способности почвенных комбинаций.

Таблица 3

Зонообразующие группы земель и землепользователей

Зона	Подзона	Зонообразующие группы	
		земель	землепользователей
Сельскохозяйственная	Интенсивного ведения сельского хозяйства	пахотные	крестьянские (фермерские) хозяйства
		под постоянными культурами	
		луговые улучшенные	
	Традиционного ведения сельского хозяйства	пахотные	сельхозорганизации; подсобные и учебные хозяйства организаций
		залежные	
		луговые, кроме луговых закустаренных под водными объектами и болотами (в рыбхозцелях)	
Лесохозяйственная	Интенсивного лесопользования	лесные	организации, ведущие лесное хозяйство
		под лесопосадками	
		под вырубками	
	Охотхозяйственная	лесные под водоемами (в охотничьих целях)	охотхозяйства
Природоохранная	Регулируемая	земли особо охраняемых природных территорий, памятники	
	Нерегулируемая	под болотами (верховыми и переходными)	любые, кроме с.-х. организаций и торфопредприятий
Рекреационная	Благоустроенная	земли объектов рекреации (оздоровительные лагеря, памятники историко-культурного наследия и т.д.)	
	Естественная	земли мест с возможностью организации отдыха населения	
Застроенная	Под жилой и гражданской застройкой	земли населенных пунктов и садоводческих товариществ	
		захоронения	горисполкомы, сельсоветы
		земли под зданиями и	любые
	Инфраструктурная	под дорогами и коммуникациями	любые
	Промышленная	земли промышленных объектов	
земли под объектами разработки и добычи ископаемых			

Специальная	загрязненные (радионуклидами и промышленными отходами)	любые
	нарушенные	любые

Оценка природно-ресурсного потенциала в границах инвентаризированных почвенных комбинаций с определенным баллом бонитета позволяет определить основные направления рационального природопользования агроландшафтов.

Учет современной организации территории и сложившегося землепользования в границах агроландшафта с выделением хозяйственно-функциональных зон с использованием результатов геосистемной инвентаризации используют для оценки естественного и производственного ресурсных потенциалов и определения предпочтительных направлений природопользования, а также выявления конфликтных территорий на заключительном этапе предлагаемой технологии. Рассчитаны площади и местоположение земель с необходимым комплексом противодеградационных мероприятий, не столько повышающих ресурсный потенциал, сколько являющихся наиболее уязвимым звеном в адаптивно-ландшафтной системе природопользования.

На основе установленных зон были рассчитаны площади для сельскохозяйственных организаций с выделением площади и местоположения земель с необходимым комплексом противодеградационных мероприятий (табл. 4).

Таблица 4

Пример использования почвенно-ресурсного потенциала для определения видов природопользования в базовом районе Южной почвенно-экологической провинции

Наименование сельскохозяйственной организации	Предпочтительное использование, га				земли с необходимым комплексом природоохранных и противодеградационных мероприятий
	пахотное		луговое		
	интенсивное	традиционное	интенсивное	традиционное	
ОАО «Дяковичи»	1866,5		2194		451,5
ОАО «Приозерское-Агро»	4596,2		3053,5		714,3
ОАО «Туровщина»	3383,2	3524,7	5185	8969,7	6118,4
КСУП «Белев»	1155,3		1244,8		165,9
КСУП «Коленское»	394,4	5248,9	1344,8	3390,2	1158,7
КСУП «Красный Бор»	3718,9		2302,2		272,9
КСУП «Люденевичи»	8112,1		328,7	7318,8	3808,4
КФХ Шруба М.Г.	541,5	222,7	642,5	1034,5	336,8

Использование предлагаемой технологии геосистемного анализа позволило установить, что в базовом районе Южной почвенно-экологической провинции необходимо на 15,7% площади территории внедрять комплекс природоохранных и противодеградационных мероприятий. Дополнительным преимуществом предлагаемой методики является точная локализация агроэкологически уязвимых территорий с расчетными показателями естественной буферной способности.

Выводы

Методика геосистемного анализа природно-ресурсного потенциала агроландшафтов с помощью ГИС-технологий предусматривает:

1) оценку критериев и учет факторов, осложняющих эффективное и экологически безопасное использование земель, по материалам крупномасштабного обследования почвенно-земельных ресурсов и отчетных данных о деятельности сельскохозяйственных предприятий, установлении роли каждого из них в совокупном влиянии на возможность интенсивного землепользования;

2) комплекс работ по инвентаризации критериев и факторов с последующей их комплексной оценкой при помощи ГИС-технологий;

3) определение почвенно-ресурсного потенциала ключевых территорий с учетом качественных показателей буферности геосистем к антропогенному воздействию;

4) разработку итоговых картосхем и картодиаграмм рекомендательного характера на разных уровнях хозяйствования: регион – район – хозяйство (агроландшафт) – рабочий участок;

5) агроэкологическое обоснование организации территории, оптимизации структуры посевных площадей и земель в агроландшафтах с указанием научно обоснованных видов и объемов сельскохозяйственной продукции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-50062.

Список литературы

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий // под ред. В.И. Кирюшин, А.Л. Иванов. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2005. – 783 с.
2. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. – М.: Наука, 1988. – 261 с.
3. Берталанфи Л. Общая теория систем – критический обзор / Л. Берталанфи // Исследования по общей теории систем : сб. переводов // под ред. В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82.
4. Витченко А.Н. Теоретические и прикладные основы оценки агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук (11.00.01) / А.Н. Витченко; Белгосуниверситет. – Минск, 1996. – 29 с.
5. Канатьева Н.П. Применение геоинформационного картографирования для оценки

состояния агроландшафтов Северного Приволжья / Н.П. Канатьева, Ф.Н. Лисецкий, П.А. Украинский // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – Т. 25. – № 24. – С. 157–161.

6. Рожков В.А. Формализация описаний и анализа СПП / В.А. Рожков // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты: сб. докл. междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 1–3 марта 2007 г.). – СПб., 2007. – С. 18–22.

7. Романова Т.А. Агроэкологическая составляющая потенциала почвенно-земельных ресурсов / Т.А. Романова, А.Ф. Черныш, А.Н. Червань, А.Э. Радюк // Почвоведение и агрохимия. – 2010. — № 2(45). – С. 40–49.

8. Романова Т.А. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова / Т.А. Романова, А.Н. Червань // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 300–310.

9. Савастру Н.Г. Агроэкологическая оценка почвенного покрова Владимирского ополья для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.Г. Савастру, Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. — М., 1999. – 24 с.

10. Смирнова Л.Г. Применение геоинформационных систем для агроэкологической оценки земель при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Л.Г. Смирнова, А.Г. Нарожняя, Ю.Л. Кривоконь, А.А. Петрякова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 11. – С. 11–14.

11. Сочава В.В. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.

12. Территориальное планирование в Республике Беларусь / сост. В.И. Быль [и др.]. // под ред. Г.В. Дудко. – Минск: ФУ Аинформ, 2007. – 312 с.

13. Червань А.Н. Научные основы организации территории и использованием базы данных структуры почвенного покрова формата ArcGIS 9.2 (на примере Полоцко-Шумилинского агроэкологического района) / А.Н. Червань // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии (к 100-летию со дня рождения проф. В.А. Дементьева): материалы IV междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 окт. 2008 г.). – Минск, 2008. – С. 119–120.

14. Черныш А.Ф. Агроэкологическая оценка и группировка земель, подверженных водно-эрозионным процессам в агроландшафтах Беларуси / А.Ф. Черныш, Н.Н. Цыбулька, Л.А. Тишук // НТИ и рынок. – 1998. — Вып. № 3. – С. 14–18.

15. Черныш А.Ф. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Беларуси / А.Ф. Черныш, А.Н. Червань, Ю.П. Качков // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1(50). – С. 26–41.