

## References

- Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
- Vershinin P. V. *Pochvennaya struktura i usloviya yeye formirovaniya* [The soil structure and the conditions of its formation]. Moscow-Leningrad, 1958, 189 p.
- Vershinin P. V. *Tverdaya faza pochvy kak osnova yeye fizicheskogo rezhima. Osnovy agrofiziki* [The solid phase of the soil as the basis of its physical mode. Fundamentals of Agrophysics]. Moscow, 1959, part II, 910 p.
- Zinchenko S. I. Osobennosti razvitiya kornevoy sistemy zernovykh kul'tur [Features of the development of the root system of grain crops] // *Zemledeliye*, 2015, no. 6, pp. 32–35.
- Uskov I. B., Yakushev V. P., Chesnokov Yu. V. Upravleniye agrobiologicheskimi sistemami – fiziko-agronomicheskiye i genetiko-seleksionnyye aspekty (k 85-letiyu Agrofizicheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta) [Agrobiological systems management – physical-agronomic and genetic-breeding aspects (to the 85th anniversary of the Agrophysical Research Institute)] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2017, t. 52, no. 3, pp. 429–436.
- Shein E. V., Milanovskiy E. Yu., Khaydapova D. D., Pozdnyakov A. I., Tyugay Z. N., Pochatkova T. N., Dembovetskiy A. V. *Praktikum po fizike tverdoy fazy pochv: Uchebnoye posobiye* [Practicum on physics of solid phases of soils: Textbook]. Moscow: Buki Vedi, 2017, 119 p.
- Khaydapova D. D., Chestnova V. V., Shein E. V., Milanovskiy E. Yu. Reologicheskiye svoystva chernozemov tipichnykh (Kurskaya oblast') pri razlichnom zemlepol'zovanii [Rheological properties of typical chernozems (Kursk region) under different land use] // *Pochvovedeniye*, 2016, no. 8, pp. 1–9.
- Markgraf W., Horn R., Peth S. An approach to rheometry in soil mechanics – Structural changes in bentonite, clayey and silty soils // *Soil & Tillage Research*. 2006. Vol. 91. pp. 1–14.
- Mezger T. G. *The Rheology Handbook*. Hanover, Germany, 2011. 436 p.

УДК 631.4 + 631.58 : 004.9(476)

DOI:10.25695/AGRPH.2022.01.04

**КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ БЕЛАРУСИ**

А. Н. Червань

*Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск;**Белорусский государственный университет, г. Минск**220019, г. Минск, ул. Маршала Лосика, д. 4-48**E-mail: ChervanAlex@mail.ru**Поступила в редакцию 16 ноября 2021 г., принята к печати 24 февраля 2022 г.*

В статье представлен структурно-функциональный анализ почвенных и агрохимических условий с использованием ГИС, картографически обеспечивающий типовое проектирование систем адаптивно-ландшафтного земледелия в сельскохозяйственных организациях и районах Беларуси. Приведена методика создания пространственной основы для оптимизации элементов системы земледелия по результатам агротехнологической и агроэкологической оценок почвенно-ресурсного потенциала в формате геореляционной базы данных. Представлены результаты геосистемного учета и геостатистической оценки факторов производительной способности почв для целей точного управления адаптивно-ландшафтным земледелием. Почвенные комбинации используются в качестве инварианта состояния почвенно-земельных ресурсов территории. Рассмотрены картометрические параметры состояния геосистем в границах почвенных комбинаций для определения целевого назначения сельскохозяйственных земель и экологически оправданной степени интенсификации их использования. Выполнена оценка неоднородности структуры почвенного покрова с использованием показателей контрастности и расчлененности ареалов почв в комбинации. Агротехнологическая оценка почвенно-земельных ресурсов проведена по существенным агрохимическим показателям и агрофизическим свойствам. Почвенно-ресурсный потенциал рассчитан с учетом поправочных коэффициентов к бонитету почв по результатам агротехнологической и агроэкологической оценок в границах типологических (законмерно повторяющихся) почвенных комбинаций – территориальных единиц адаптивно-ландшафтного земледелия. Описание почвенно-ресурсного потенциала по ключевым территориям с учетом буферности геосистем к антропогенному воздействию позволяет осуществить территориальное планирование на четырех уровнях: регион – район – сельскохозяйственная организация – рабочий участок.

**Ключевые слова:** агроландшафт, почва, структура почвенного покрова, адаптивно-ландшафтная система земледелия, ГИС, геосистема.

**CARTOGRAPHIC SUPPORT OF MANAGED ADAPTIVE LANDSCAPE FARMING IN AGRICULTURAL  
LANDSCAPES OF BELARUS**

A. N. Chervan

*Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk;  
Belarusian State University, Minsk  
4-48, Marshala Losika St., Minsk, 220019  
E-mail: ChervanAlex@mail.ru*

The article presents a structural and functional analysis of soil and agrochemical conditions using GIS, which cartographically provides a typical design of adaptive landscape farming systems in agricultural organizations and regions of Belarus. A technique of creating a spatial basis for optimizing the elements of the farming system based on the results of agrotechnological and agroecological assessments of the soil resource potential in the format of a georelational database is given. The results of geosystem accounting and geostatistical assessment of soil productivity factors for the purpose of precision management of adaptive landscape agriculture are presented. Soil combinations are used as an invariant of the state of soil and land resources of the territory. The map-metric parameters of the geosystems state within the boundaries of soil combinations were considered to determine the intended purpose of agricultural lands and the environmentally justified degree of their use intensification. The heterogeneity of the soil cover structure was assessed using the indicators of contrast and dissection of soil areas in a combination. An agrotechnological assessment of soil and land resources was based on significant agrochemical indicators and agrophysical properties. The soil-resource potential was calculated taking into account the correction coefficients for soil bonitet based on the results of the agrotechnological and agroecological assessments within the boundaries of typological (regularly repeated) soil combinations as territorial units of adaptive landscape agriculture. The description of the soil resource potential in the key areas, taking into account the buffering of geosystems to anthropogenic impact, makes it possible to carry out territorial planning at four levels: region - district - agricultural organization - working area.

**Key words:** agricultural landscape, soil, soil cover structure, adaptive-landscape farming system, GIS, geosystem.

**ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение продовольственной безопасности и комфортного проживания в экологически удовлетворительных условиях при сохранении темпов роста населения является весьма актуальным вызовом XXI в. Ввиду тесной связи социально-экономического развития и проблем окружающей среды вопросы системного актуального учета земельных (в том числе почвенных) ресурсов поднимались неоднократно (Сочава, 1978; Витченко, 1996; Черныш, Червань, Качков, 2013). Территориальное планирование является консенсуальным решением задач многофункционального землепользования на основе анализа противоречий между экологическими, экономическими, социальными, технологическими условиями и интересами землепользователей. Комплексное изучение почвенно-земельных ресурсов осуществляется посредством рассмотрения почвы и почвенного покрова как живой географической системы – геосистемы (Арманд, 1988). Процессы организации, самосохранения и регулирования геосистем не могут быть определены исходя из свойств ее частей и объяснены при помощи доминирующих в исследованиях аналитико-механистических подходов, так как существование природных систем в виде единых целых делает разделение их на составные части бессмысленным или невозможным (Берталанфи, 1969). С увеличением интенсификации природопользования возникает необходимость разработки способов формирования и управления связями и внутренним взаимодействием природных компонентов в геосистемах. Однако для

этого требуется определить признаки, необходимые для выделения и типологии геосистем, что, как правило, осуществляется лишь в ходе системного анализа территории.

Обоснование использования почвенных комбинаций как инвариантов геосистем и результаты их применения в землеустроительной практике приводились ранее (Савастру, 1999), при этом в качестве основы систем природоохранного природопользования рассматривались результаты агроэкологической оценки (Киришин, Иванов, 2005; Зайдельман, Никифорова, 2009) и группировки почв. Наилучшие условия для практического использования результатов агроэкологической оценки достигаются при приведении их в состояние аналитической информационной или геоинформационной системы (Рожков, 2007). Имеют место случаи использования геоинформационных средств оценки природно-ресурсного потенциала на основе баз данных в формате ArcInfo, которая выполняется исходя из характеристики структуры почвенного покрова (Червань, Черныш, 2020).

Целью настоящего исследования является разработка методики геосистемного анализа почвенно-земельных ресурсов на основе агроэкологической оценки природно-ресурсного потенциала по параметрам почвенных комбинаций и в зависимости от фактического целевого назначения земельных участков. Результаты применения такого подхода определяют стратегию неистощительного использования земель с учетом экологического нормирования для расширенного воспроизводства плодородия почв, то есть позволяют территориально

планировать экологически безопасное устойчивое землепользование (Дудко, 2007) и свести к минимуму риски опасных изменений экологических функций, выполняемых почвами.

Достижение указанной цели предполагает последовательное решение таких задач, как нахождение признаков выделения и определение типологии геосистем, разработка автоматизированных подходов к типологическому учету почвенно-земельных ресурсов в геоинформационной среде, использование картометрических параметров в качестве инвариантов состояния геосистем и проведение агроэкологической оценки типов земель

по почвенным комбинациям для дифференциации систем земледелия.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

На примере территории Беларуси рассмотрены приемы геосистемного анализа почвенно-ресурсного потенциала, подходящие также для нечерноземной зоны России. Методика предполагает использование многофункциональной ГИС в приложении ArcGIS и автоматизированных приемов геообработки данных. Основные этапы проведения геосистемного анализа для проектирования систем адаптивно-ландшафтного землепользования приведены на рис.



Рис. Блок-схема агроэкологической оценки почвенно-ресурсного потенциала по почвенным комбинациям

Инвентаризационный этап работ предполагает проведение векторизации почвенных карт (М 1:50 000, М 1:10 000) районов и сельскохозяйственных организаций, материалов агрохимического обследования сельскохозяйственных земель, схем землеустройства районов, схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций, данных актуального тура агрохимических обследований территорий хозяйств и материалов кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения.

Инвентаризация условий землепользования выполняется в геореляционной базе данных геосистемного анализа, информация в которой распределена по трем масштабным уровням исследований – региональный (Поозерье, Центральная Беларусь, Полесье), локальный (4–5 районов в каждом регионе) и местный (сельскохозяйственные организации).

На этапе инвентаризации формируются следующие блоки:

– Общий информационный блок пространственных данных: учитывает границы административно-территориальных единиц как территориальных единиц почвенно-экологического районирования; хозяйственно-функциональное зонирование субъектов хозяйствования.

– Ресурсный: содержит слои почвенных комбинаций (геосистем), почв, формаций растительности, болот, видов земель согласно кадастровому учету.

– Факторный: определяет расположение водоохраных зон и прибрежных полос водных объектов, границы и специализации землепользований, зоны особого государственного регулирования, мелиоративное состояние почвенного покрова, рельеф, лесохозяйственные и лесоустроительные рубки, эрозионный и дефляционный потенциал и другие параметры состояния и агроэкологической оценки почвенно-земельных ресурсов.

– Вспомогательный: включает дополнительные сведения о воздействиях природного или техногенного происхождения, существенные для инвентаризации и оценки земельных и почвенных ресурсов. Это характеристики дорожной сети, мелиоративных каналов, населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, промышленных объектов, ландшафтные особенности, геоморфологические и геоботанические условия.

– Оценочный блок: отражает результаты районирования территорий по факторам природной среды, а также результаты разноплановых оценок ресурсов: агроэкологической, агротехнологической, кадастровой оценки, мелиоративной освоенности, разные виды районирования и др.

С большинством атрибутивных таблиц указанных классов связаны таблицы-справочники, предназначенные для снижения количества ошибок при формировании базы данных. По отдельным атрибутивным таблицам созданы программные домены, наличие которых позволяет осуществлять контроль ввода данных, а также исключать 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 технологии формирования базы данных для геосистемного анализа почвенно-земельных ресурсов заключается в поиске и использовании идентификаторов (опознавательных кодов). В предлагаемой базе геоданных рекомендуется использовать три идентификатора, каждый из которых может учитывать характеристики почвенно-земельных ресурсов в

любом масштабе вне зависимости от территориальной или ведомственной принадлежности, – контуры почвенных таксонов, граница земельного участка и граница почвенной комбинации.

Также в качестве инварианта состояния почвенно-земельных ресурсов территории предлагается использовать комбинации почв, поскольку они топологически и типологически объединяют факторы почвообразования и, следовательно, содержат информацию, необходимую для объективной экологической оценки почвенно-ресурсного потенциала и определения нормативных требований к использованию и охране земель (ТКП, 2014; ТКП, 2018). Удельные соотношения групп почвенных ареалов в почвенной комбинации представлены в табл. 1. Индексы геосистем, которые могут представлять собой типы земель с позиции природопользования, приведены в соответствии с иерархической номенклатурой и критериями группировки почвенных комбинаций (Романова, Червань, 2011).

На следующем этапе проводится анализ данных посредством агроэкологической и агротехнологической оценки, а также определение состояния почвенных комбинаций в условных баллах с использованием картометрических методов (рис.). Оценке состояния почвенной комбинации, результаты которой выражены в условных баллах и одновременно отражают как внешнее воздействие, так и естественную предрасположенность к чему-либо, отводится особое место в учете почвенно-земельных ресурсов. Это обусловлено тем, что определение нормативных требований к использованию почвенно-земельных ресурсов с учетом всего многообразия почвенных условий землепользования должно выполняться на системной основе в границах типовых территориальных единиц. Поэтому отдельно в базе данных учитываются результаты картометрического анализа структуры почвенного покрова и оценки неоднородности почвенного покрова, проведенной с использованием шкалы контрастности почв и коэффициентов расчлененности почвенных комбинаций по разработанным ранее методикам (Савастру, 1999; Романова, Червань, 2011). Коэффициент неоднородности структуры почвенного покрова рассчитывается как произведение контрастности и расчлененности почв, составляющих почвенную комбинацию, и является наиболее приемлемым интегральным показателем, характеризующим целесообразность и эффективность применения агротехнологий в границах каждого типа земель. Для территорий агроландшафтов и «ключевых участков» геосистем, где существует кадастровый учет в виде земельно-информационной системы, определяются контурность видов используемых земель и ее соответствие природной неоднородности.

Таблица 1. 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(5); 1326(тп + тв); 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

**Примечание:** \* – индекс соответствует коду почвенной комбинации.

Основной задачей агротехнологической оценки является определение содержания в почве гумуса, подвижных форм фосфора и калия, физической глины, а также кислотности почвы. Полученные данные применяются для расчета индекса окультуренности почв с использованием предварительно написанных на языке Python формул.

Наиболее важным этапом работ является расчет поправочных коэффициентов к баллам, полученным в результате агротехнологической и агроэкологической оценок. Значения поправочных коэффициентов соответствуют методике кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, расчеты проводятся в геоинформационной среде в автоматизированном режиме исходя из следующих факторов: вид земель, эродированность (или эрозионная опасность) и мелкоконтурность, завалуненность, окультуренность, генезис почвообразующих пород, содержание физической глины, агроклиматические условия отдельно по культурам.

С учетом поправочных коэффициентов к средневзвешенному баллу бонитета почв по каждому элементарному участку для всех 16-ти основных сельскохозяйственных культур рассчитывается балл по итогам агротехнологической оценки в тех же границах. Дополнительно оценивается разница баллов естественного бонитета почв с учетом поправок для возделывания каждой культуры. Такой сплошной (все виды культур, все элементарные участки, все поправочные коэффициенты) пространственный анализ позволил провести качественную группировку культур по приоритету возделывания (по шкале от 1 до 5) в рассматриваемых агроландшафтах для каждого рабочего участка.

Заключительный этап агроэкологической оценки агроландшафтов – учет почвенно-ресурсного потенциала. Границы проведения учета совмещаются с границами хозяйственно-функциональных зон для определения целевого назначения не отдельных земельных участков, а крупных землепользований. Рассмотрение почвенных комбинаций как подсистем геосистем, имеющих типовые параметры буферности и устойчивости к антропогенным воздействиям, позволяет выполнить хозяйственно-функциональное зонирование, основанное на анализе современного состояния и использования почвенно-земельных ресурсов. Оценка потенциала проводится по следующим направлениям: 1) современная организация территории в границах землепользования с выделением хозяйственно-функциональных зон; 2) типы геосистем; 3) естественный и производственный ресурсный потенциал предпочтительных направлений природопользования. При сравнении результатов проведенных оценок выявляются конфликтные территории.

### ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДИКИ

Предлагаемая в работе методика была использована для оценки территории во всех почвенно-экологических условиях Беларуси. В результате инвентаризации и комплексных оценок территории выделены наиболее однородные типы земель, которым присвоены понижающие коэффициенты. Наиболее благоприятные для пахотного использования земель агроэкологические условия определяются коэффициентом не менее 0,90. Поправка 0,80...0,90 означает потенциальную ограниченность пахотного и благоприятную

возможность лугового использования. Понижающий коэффициент, равный 0,75...0,70, определяет территории, непригодные для пахотного использования. Параллельно проводилась оценка типов земель с определением возможности лугового использования. В связи с тем, что продуктивность естественных луговых и пастбищных земель в незначительной степени определяется неоднородностью почвенного покрова, поправка к баллу бонитета почв не вводилась.

На этапе оценки почвенно-ресурсного потенциала установлены зонообразующие группы земель и землепользователей (табл. 2). Для агроландшафтов и «ключевых участков» геосистем, где существует кадастровый учет в виде земельно-информационной системы, проведено определение контурности видов земель и ее соответствия природной неоднородности почвенного покрова.

Качественная оценка выполнена на основе данных о продукционной способности почвенных комбинаций.

Учет современной организации территории и сложившегося порядка землепользования в границах сельскохозяйственных организаций, а также выделение хозяйственно-функциональных зон с использованием результатов геосистемной инвентаризации являются основой для оценки естественного и производственного ресурсного потенциала и определения предпочтительных направлений природопользования. Рассчитаны площади и определено местоположение земель, нуждающихся в проведении комплекса противодеградационных мероприятий, которые не столько повышают ресурсный потенциал, сколько являются наиболее уязвимым звеном в адаптивно-ландшафтной системе природопользования (табл. 3).

Таблица 2. Зонообразующие группы земель и землепользователей

Хозяйственно-функциональная зона	Подзона	Зонообразующие группы	
		земель	землепользователей
Сельскохозяйственная	интенсивного ведения сельского хозяйства	пахотные под постоянными культурами луговые улучшенные	крестьянские (фермерские) хозяйства
	традиционного ведения сельского хозяйства	пахотные залежные луговые, кроме луговых закустаренных под водными объектами и болотами (в рыбохозяйственных целях)	сельхозорганизации; подсобные и учебные хозяйства организаций те же, а также предприятия мелио систем
Лесохозяйственная	интенсивного лесопользования	лесные под лесопосадками под вырубками	организации, ведущие лесное хозяйство
	охотхозяйственная	лесные под водоемами (в охотничьих целях)	охотхозяйства
Природоохранная	регулируемая	земли особо охраняемых природных территорий, памятники природы	
	нерегулируемая	под болотами (верховыми и переходными)	любые, кроме сельхозорганизаций 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 земли под зданиями и сооружениями	горисполкомы, сельсоветы 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

Таблица 3. Пример использования почвенно-ресурсного потенциала в базовом районе Южной почвенно-экологической провинции Беларуси

Наименование сельскохозяйственной организации	Предпочтительное использование, га				земли, нуждающиеся в проведении 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 «Люденевици»	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 на 15,7% площади территории необходимо проведение комплекса природоохранных и противодеградационных мероприятий. Дополнительным преимуществом предлагаемой методики является точная локализация агроэкологически уязвимых территорий с расчетом показателей естественной буферной способности почв.

Применение пространственного координатного метода оптимизации землепользования с учетом результатов оценки нормируемых агротехногенных нагрузок на типы земель и агроэкологического состояния почвенных комбинаций позволило качественно дифференцировать системы земледелия по отдельным элементам: типам севооборотов, способам обработки почвы, системе удобрения и мелиорации.

Оценка агроэкологического состояния земель сельскохозяйственного назначения и определение их типологии на территории сельскохозяйственных организаций выполнены по почвенным микрокомбинациям при помощи ГИС-технологий с учетом гранулометрического состава, литологии почвообразующих пород, степени увлажнения и эродированности почв.

Оценка бонитета почвенного покрова проводилась при помощи принятых в Беларуси методов с одной только разницей, что средневзвешенный балл определялся не для рабочих участков и сельхозорганизаций в административных границах, а для закономерно организованных типов земель и агроландшафтов. Такой подход означает проведение оценки с точки зрения возможности использования под пашню или луга не только сельскохозяйственных земель, но всех геосистем с учетом их неоднородности.

Повторяемость геосистем в пространстве допускает определенный уровень обобщения данных и экстраполяцию их на территории с идентичной структурой почвенного покрова. Подобный системный метод агроэкологической оценки почвенно-ресурсного

потенциала открывает новые возможности для прогнозирования и картографической экстраполяции данных при недостатке информации, так как не требует учета индивидуальной характеристики каждого типа земель.

Сходство некоторых типов земель и результатов их оценки позволяет сократить количество типов земель до 15-ти, а также ранжировать баллы типов земель с точки зрения пригодности для пахотного использования после мелиорации по следующим 5-ти группам с интервалом в 7 баллов: 1 – менее 34 (непригодные); 2 – 35...41 (малопригодные); 3 – 42...48 (среднепригодные); 4 – 49...55 (пригодные); 5 – 56 и более (наиболее пригодные). Шаг деления выбирался таким образом, чтобы в каждую группу входило сходное количество типов земель. Это означает, что сама принадлежность к тому или другому типу земель определяет среднюю величину балла и группу пригодности для пахотного использования. При определении групп пригодности учитывалось влияние гидротехнической мелиорации. Если балл типа земель после осушения не изменяется или снижается, номер группы уменьшается на единицу (как, например, для водоразделов плоских высоких на рыхлых породах «1.3.1.1»). Если же после мелиорации балл типа земель повышается более чем на 5, номер группы пригодности увеличивается на единицу («1.1.2.3», «1.2.2.3» и «1.3.2.3»).

В базовых хозяйствах структура почвенного покрова может существенно различаться в зависимости от характера распространения одноименных типов земель. Основа земель пахотного фонда, относящихся к группе «пригодных» при условии проведения мелиорации (группа 4), – это типы земель водоразделов выпуклых и плоских низких на связных супесях и легких суглинках, подстилаемых с глубины менее 1,0 м моренными суглинками, «1.2.2.3» и «1.3.2.3», бонитет которых без мелиорации составляет 35 и 39 баллов, но после регулирования водного режима повышается до 51 и 46.

Типы земель, которые пригодны для использования под пашню без проведения гидротехнической мелиорации (группа 4), относятся к категории водоразделов плоских высоких на тех же

породах «1.3.1.3», имеют баллы 51–53, однако, как свидетельствуют данные табл. 16, их доля в базовых хозяйствах составляет всего 3%.

К группе «среднепригодных» (3) принадлежат типы земель водоразделов фрагментарных высоких и низких на двучленных породах «1.1.1.3» и «1.1.2.3» с баллами 40–41 (без проведения мелиораций). Вместе с водоразделами выпуклыми на двучленных с водоупором породах «1.2.1.3» они занимают 12% площади, но поправка на  $K_n = 0,74$  позволяет усомниться как в целесообразности проведения мелиораций, так и в самой пригодности фрагментарных водоразделов для использования под пашню. По общей продукционной способности они близки к типам земель водоразделов выпуклых и плоских низких на рыхлых породах «1.2.2.1» и «1.3.2.1», баллы бонитета которых без проведения мелиораций равны 34 и 37, а с ее проведением – 39 и 35. Такие типы земель занимают более 50% территории каждого хозяйства и относятся к числу малопригодных (группа 2) для пахотного использования, но качественно ценных для лугового хозяйства.

Низкое плодородие (баллы 32–37 без проведения мелиорации и 35–38 после ее проведения) и высокая степень неоднородности почвенного покрова земель типов «1.2.1.1», «1.3.1.1» и «1.3.2.1», использование которых под пашню нецелесообразно (группы 1 и 2), в рассматриваемых хозяйствах нивелируются не песчаным, а супесчаным гранулометрическим составом и наиболее оптимальными водно-физическими свойствами. Это позволяет допустить, что использование (в том числе ограниченное) таких земель под луга или увеличение доли трав в структуре севооборотов будут эффективными. Типы земель глубоких депрессий «2.2.2.6», в сумме занимающие 4–23% территории

базовых хозяйств и относящиеся к числу наиболее благоприятных для земледелия после проведения мелиорации (балл 62), целесообразно использовать как под пашню, так и под улучшенные луга.

### ВЫВОДЫ

Методика геосистемного анализа природно-ресурсного потенциала агроландшафтов с помощью ГИС-технологий предусматривает оценку критериев и учет факторов, осложняющих эффективное и экологически безопасное использование земель, по материалам крупномасштабного обследования почвенно-земельных ресурсов и отчетным данным о деятельности сельскохозяйственных предприятий с определением влияния каждого из них на возможность интенсивного землепользования. Неотъемлемой частью агроэкологической оценки в любом масштабе является комплекс работ по определению критериев и факторов инвентаризации естественных ресурсов природопользования с их последующей комплексной оценкой при проведении геосистемной инвентаризации с помощью ГИС-технологий.

Описание почвенно-ресурсного потенциала базовых агроландшафтов, основанное на качественной оценке почвенного покрова, а также экспертный учет типов земель, охватывающий более широкий спектр факторов, определяющих их природные особенности, дают представление о конкретных особенностях хозяйствования, группировке и распространении типов земель. Почвенно-ресурсный потенциал определяется для ключевых (характерных) территорий с учетом качественных показателей буферности геосистем к антропогенному воздействию и сопровождается разработкой картографических материалов рекомендательного характера на разных уровнях хозяйствования: регион – район – сельскохозяйственная организация – рабочий участок.

### Список литературы

- Арманд А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. 261 с.
- Берталанфи Л. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем: сб. переводов / Под ред. В. Н. Садовского, Э. Г. Юдина. М.: Прогресс, 1969. С. 23–82.
- Витченко А. Н. Теоретические и прикладные основы оценки агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси: автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Минск, 1996.
- Зайдельман Ф. Р., Никифорова А. А. Агроэкологическая почвенно-мелиоративная карта Нечерноземной зоны Европейской России масштаба 1:1500000 // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1393–1403.
- Кирюшин В. И., Иванов А. Л. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2005. 783 с.
- Рожков В. А. Формализация описаний и анализа СПП // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты: сб. докл. междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 1–3 марта 2007 г.). Санкт-Петербург, 2007. С. 18–22.
- Романова Т. А., Червань А. Н. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2011. № 3. С. 300–310.
- Савастру Н. Г. Агроэкологическая оценка почвенного покрова Владимирского Ополя для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 1999.
- Сочава В. В. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
- Территориальное планирование в Республике Беларусь / Сост. В. И. Быль [и др.]; под ред. Г. В. Дудко. Минск: ФУ Аинформ, 2007. 312 с.
- Технические кодекс установившейся практики ТКП 17.03-05-2018 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по определению деградации земель (почв). Общие положения. Утв. Постановлением Минприроды от 16.07.2018 г. № 2-Т. Минск, 2018.



- Технические кодекс установившейся практики ТКП 17.03-04-2014 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения. Утв. Постановлением Минприроды от 24.12.2014 г. № 16-Т. Минск, 2014.
- Червань А. Н., Черныш А. Ф. Эрозионные агроландшафты Беларуси: борьба с эрозией почв и территориальное планирование землепользования // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7 (2020 г.); Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. С. 338–356.
- Черныш А. Ф., Червань А. Н., Качков Ю. П. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Беларуси // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 1. С. 26–41.

### References

- Armand A. D. *Samoorganizatsiya i samoregulirovaniye geographicheskikh system* [Self-organization and self-regulation of geographic systems]. Moscow: Nauka, 1988, 261 p.
- Bertalanfi L. *Obshchaya teoriya system – kriticheskiy obzor* [General theory of systems – a critical review] // *Issledovaniya po obshchey teorii sistem: sb. perevodov* / Ed. V. N. Sadovskiy, E.G. Yudin. Moscow: Progress, 1969, pp. 23–82.
- Vitchenko A. N. *Teoreticheskiye i prikladnyye osnovy otsenki agroekologicheskogo potentsiala landshaftov Belarusi* [Theoretical and applied bases for assessing the agroecological potential of Belarusian landscapes. Dr. geogr. sci. abst. diss.]. Minsk, 1996.
- Zaydelman F. R., Nikiforova A. A. *Agroekologicheskaya pochvenno-meliorativnaya karta Nechernozemnoy zony Evropeyskoy Rossii masshtaba 1:1500000* [Agroecological soil reclamation map of the Nonchernozem zone of European Russia at a scale of 1: 1500000] // *Pochvovedeniye*, 2009, no. 11, pp. 1393–1403.
- Kiryushin V. I., Ivanov A. L. *Agroekologicheskaya otsenka zemel', proyektirovaniye adaptivno-landshaftnykh system zemledeliya i agrotekhnologiy* [Agroecological assessment of lands, design of adaptive landscape systems of agriculture and agricultural technologies]. Moscow: FGUN Rosinformagrotekh, 2005, 783 p.
- Rozhkov V. A. *Formalizatsiya opisaniy i analiza SPP* [Formalization of descriptions and analysis of SPP] // *Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochvennogo pokrova: teoreticheskiye i prikladnyye aspekty: sb. dokl. mezhdunar. nauch. konf. (Sankt-Peterburg, 1–3 marta 2007 g.)*. St. Petersburg, 2007, pp. 18–22.
- Romanova T. A., Chervan' A. N. *Teoreticheskiye osnovy i prakticheskaya znachiimost' issledovaniy struktury pochvennogo pokrova* [Theoretical foundations and practical significance of studies of the structure of the soil cover] // *Pochvovedeniye*, 2011, no. 3, pp. 300–310.
- Savastru N. G. *Agroekologicheskaya otsenka pochvennogo pokrova Vladimirskogo Opol'ya dlya proyektirovaniya adaptivno-landshaftnykh system zemledeliya* [Agroecological assessment of the soil cover of the Vladimir Opolye for the design of adaptive landscape farming systems. PhD boil. sci. abst. diss.]. Moscow, 1999.
- Sochava V. V. *Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh* [Introduction to the theory of geosystems]. Novosibirsk: Nauka, 1978, 319 p.
- Territorial'noye planirovaniye v Respublike Belarus'* [Territorial planning in the Republic of Belarus] / Comp. ed. V. I. Byl' [et al.]; ed. G. V. Dudko. Minsk: FU Ainform, 2007, 312 p.
- Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.03-05-2018 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по определению деградации земель (почв). Общечные положения. Утв. Постановлением Минприроды от 16.07.2018 г. № 2-Т [Technical code of established practice TCP 17.03-05-2018 Environmental protection and use of natural resources. Lands. The order of work to determine land (soil) degradation. General provisions. Approved. by the Resolution of the Ministry of Natural Resources. July 16, 2018, no. 2-T]. Minsk, 2018.
- Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.03-04-2014 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения. Утв. Постановлением Минприроды от 24.12.2014 г. № 16-Т [Technical code of established practice TCP 17.03-04-2014 Environmental protection and nature management. Lands. Prevention of degradation and restoration of degraded reclaimed agricultural land. General provisions. Approved. by the Resolution of the Ministry of Natural Resources. December 24, 2014, no. 16-T]. Minsk, 2014.
- Chervan' A. N., Chernysh A. F. *Eroziionnyye agrolandshafty Belarusi: bor'ba s eroziyey pochv i territorial'noye planirovaniye zemlepol'zovaniya* [Erosion agrolandscapes of Belarus: the fight against soil erosion and territorial planning of land use] // *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy*. Вып. 7 (2020); Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ им. М.В. Ломоносова. Moscow: Moscow State University, 2020, 378 p.
- Chernysh A. F., Chervan' A. N., Kachkov Yu. P. *Printsipy ekologicheskogo normirovaniya dopustimoy antropogennoy nagruzki na pochvennyy pokrov agrolandshaftov Belarusi* [Principles of ecological regulation of the permissible anthropogenic load on the soil cover of agricultural landscapes of Belarus] // *Pochvovedeniye i agrokhimiya*, 2013, no. 1, pp. 26–41.