География

Geography

УДК 631.4 + 504.062:528.8 + 330.15

ТИПОЛОГИЯ ГЕОСИСТЕМ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А. Н. ЧЕРВАНЬ[1)]***, Ю. С. ДАВИДОВИЧ***[1)]

[1)]*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь*

Аннотация. Изложены принципы и методика типологии геосистем Белорусского Полесья на основе геоинформационного пространственного анализа структуры почвенного покрова. Приведен алгоритм идентификации геосистем через состав и строение почвенных комбинаций с использованием белорусской номенклатуры и подходов к классификации почв. Дано обоснование выбранной номенклатуры почвенных комбинаций, рассмотрена иерархическая группировка геосистем Полесья с учетом морфометрических, геоморфологических, гипсометрических, литологических и иных характеристик. Указаны приемы использования шкалы контрастности и модифицированной оценки расчлененности структуры почвенного покрова с применением автоматизированного картометрического анализа, позволившие составить интегрированное холистическое представление о геосистемах Полесского региона. На территории Белорусского Полесья идентифицированы 25 вариантов природных систем, дифференцирующихся на 101 мезокомбинацию почв в зависимости от орографических, геоморфологических, гипсометрических и литологических условий, что в совокупности составляет 68 % разнообразия географической среды республики, оцениваемой по структуре почвенного покрова. Геосистемы рассмотрены в качестве территориальных единиц по направлениям природопользования в соответствии с функциональными типами административных районов Беларуси. Представлена экспликация площадей геосистем региона. Оценена целесообразность использования данных дистанционного зондирования Земли в определении состояния геосистем Белорусского Полесья.

Ключевые слова: геосистема; Белорусское Полесье; почвенная комбинация; структура почвенного покрова; дистанционное зондирование Земли; территориальное планирование; почвенно-ресурсный потенциал.

Образец цитирования:
Червань АН, Давидович ЮС. Типология геосистем Белорусского Полесья. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2024;2:3–23.
EDN: BSBAQP

For citation:
Chervan AN, Davidovich YS. Typology of geosystems of Belarusian Polesie. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2024;2:3–23. Russian.
EDN: BSBAQP

Авторы:
Александр Николаевич Червань – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой почвоведения и геоинформационных систем, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.
Юрий Сергеевич Давидович – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики.

Authors:
Aliaksandr N. Chervan, PhD (agricultural sciences), docent; head of the department of soil science and geographic information systems and leading researcher at the laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.
chervan@bsu.by
Yury S. Davidovich, junior researcher at the research laboratory of landscape ecology, faculty of geography and geoinformatics.
seg98001@gmail.com

CC BY NC

TYPOLOGY OF GEOSYSTEMS OF BELARUSIAN POLESIE

A. N. CHERVAN[a], *Y. S. DAVIDOVICH*[a]

[a]*Belarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*
Corresponding author: A. N. Chervan (chervan@bsu.by)

Abstract. The principles and methodology of the typology of geosystems of the Belarusian Polesie based on geoinformation spatial analysis of the soil cover structure are outlined. An algorithm for identifying geosystems through the composition and structure of soil combinations using Belarusian nomenclature and approaches to soil classification is presented. The justification for the selected nomenclature of soil combinations is given, the hierarchical grouping of geosystems of the Polesie is considered taking into account morphometric, geomorphological, hypsometric, lithological and other characteristics. Techniques for using the contrast scale and a modified assessment of the dissection of the soil cover structure with the use of automated map-metric analysis are indicated, which made it possible to create an integrated holistic view of the geosystems of Polesie region. On the territory of Belarusian Polesie 25 variants of natural systems have been identified, differentiated into 101 soil mesocombinations depending on orographic, geomorphological, hypsometric and lithological conditions, which together constitute 68 % of the geographical environment diversity of the republic assessed by the soil cover structure. Geosystems are considered as territorial units in areas of environmental management in accordance with the functional types of administrative districts of Belarus. An explication of the areas of geosystems in the region is presented. The feasibility of using Earth remote sensing data in determining the state of geosystems of Belarusian Polesie has been assessed.

Keywords: geosystem; Belarusian Polesie; soil combination; soil cover structure; Earth remote sensing; territorial planning; soil-resource potential.

Введение

В последние десятилетия на фоне почти критических климатических изменений планетарного масштаба [1] возрастают экологические и социальные потребности населения в эффективном использовании природных ресурсов территории в соответствии с их потенциалом. Согласно резолюции 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»[1] предотвращение деградации почвенных и земельных ресурсов, а также восстановление деградированных экосистем являются одной из целей устойчивого развития [2]. В 2014–2015 гг. ряд стран приняли участие в пилотном проекте в рамках Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием, посвященном достижению нейтрального баланса деградации земель[2] [3], несмотря на озвученное на саммите «Рио + 20» отсутствие значимых результатов в этой области за 20-летний период [4]. При этом деградация земель понимается как снижение либо потеря биологической продуктивности в результате землепользования или действия естественных процессов, в том числе связанных с деятельностью человека[3].

В Беларуси особое природоохранное и почвенно-ресурсное значение имеет Полесский регион, отличающийся сложным генезисом и, соответственно, более высоким уровнем биоразнообразия. Управление такими территориями требует разработки подходов и методов как наземных, так и дистанционных исследований с использованием систем тематической обработки пространственных данных [5].

Процессы изменения состояния земель, которые могут быть описаны как переход из одного класса земельного покрытия в другой, протекают быстро либо постепенно[4]. Быстрые изменения являются результатом значительных нарушений окружающей среды, стихийных бедствий или вмешательства человека. К постепенным изменениям, например, относятся изменения в плодородии почвы, растительности либо климате. Признаками деградации земель в определенной мере может считаться как снижение

[1]Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года // Организация Объединенных Наций : сайт. Нью-Йорк, 2023. URL: https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/92/pdf/n1529192.pdf (дата обращения: 11.12.2023).

[2]LDN target setting // United Nations Convention to Combat Desertification : website. Bonn, 2023. URL: http://www.unccd.int/actions/ldn-target-setting-programme (date of access: 19.12.2023).

[3]Integration of the sustainable development goals and targets into the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the Intergovernmental Working Group report on land degradation neutrality // United Nations Convention to Combat Desertification : website. Bonn, 2023. URL: https://www.unccd.int/official-documentscop-12-ankara-2015/3cop12 (date of access: 21.12.2023).

[4]Expert meeting on ecosystem accounts // System of Environmental-Economic Accounting : website. New York, 2023. URL: https://seea.un.org/events/expert-meeting-ecosystem-accounts (date of access: 13.12.2023).

фактической или потенциальной продуктивности почв из-за потери биомассы, так и снижение уровня биоразнообразия либо сложности экосистем.

Рациональное природопользование остается одной из важнейших проблем не только Полесского региона, но и всей Беларуси. Оперативное принятие управленческих решений в сфере природопользования требует наличия надежной и постоянно действующей системы регулирования землепользования на основе ежегодных отчетов о состоянии земельных ресурсов[5]. В настоящий момент эта проблема активно решается с применением современных геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли. В исследованиях [6–8] отмечается, что использование геосистемного подхода в типологии структуры почвенного покрова (СПП) управляемых территорий и актуализация данных с применением методов дистанционного зондирования Земли обеспечивают методическую и информационную основу устойчивого природопользования.

Изученность вопроса типологии геосистем и ее практического использования

На методическую необходимость рассмотрения биогеоценоза и почвы в единой системе – геосистеме – указывает Н. Ф. Реймерс после выполнения значительного терминологического исследования в области природопользования: в геосистеме реализуется принцип системной дополненности и формируется устойчивое единство биологических и биокосных систем[6]. Развитие биогеоценологического направления в изучении почв предопределяется тем, что большинство почвоведов понимают почву как открытую суперсложную систему (это подтвердилось на XVI Международном конгрессе по почвоведению [9]) и как подсистему биогеоценоза, или геосистемы [10]. Вследствие наличия в геосистеме как биотических, так и абиотических составляющих, в своем развитии подчиняющихся законам механики, термодинамики, биологии, географии и других областей знания, выбор типологической единицы остается невелик: в качестве ее принимается почва как биокосная подсистема геосистемы. В таком случае состояние и изменчивость геосистемы идентифицируются через инвариант – СПП.

Многие исследователи, в том числе В. С. Крыщенко[7], сходятся во мнении, что почва, как система открытого типа, стремится к динамическому равновесному состоянию. Это позволяет использовать ее в качестве ключевого объекта системного анализа геосистем, особенно принимая во внимание мультимасштабное сохранение информации на разном таксономическом уровне почвенного покрова [11–13]. Рассматривая современную парадигму природопользования, В. И. Кирюшин [14] указывает на детерминированность практического использования результатов системного анализа почвы, как правило, в биогеоценозах и агроценозах ее экологическими и производственными функциями. М. Ю. Пузаченко [15] и А. Дж. Джеррард [16] отмечают целесообразность применения методов общей теории систем, системного подхода и синергетики к изучению почвенного покрова, являющегося результатом пространственно-временного взаимодействия различных внешних факторов и компонентов геосистемы, с одной стороны, и собственного развития, с другой стороны. Формируются представление об иерархических уровнях структурной организации почвенного покрова и дифференцированные приемы управления природопользованием[8] [14; 17]. В. М. Фридланд [18] отмечает существенную неполноту традиционной почвенной карты как модели реального почвенного покрова и указывает на необходимость анализа иерархического системного характера СПП. На V Всероссийском съезде Общества почвоведов имени В. В. Докучаева В. А. Рожков [19] делает вывод о том, что путь к созданию в первом приближении формализованного почвоведения находится в пределах изучения СПП в качестве инварианта геосистемы. Преимущества карт СПП для целей территориального планирования природопользования отмечены и в предыдущих исследованиях авторов [20–23]. Почвенная комбинация (в ранге от микро- до макрокомбинаций) состоит из элементарных почвенных ареалов или их групп и является существенным свойством (признаком) любой геосистемы, поскольку составляет ее внутреннюю структуру и открывает возможность выполнения структурно-функционального анализа.

Для автоматизации технологических этапов картографирования, инвентаризации и прогнозирования динамики природных систем наиболее объективным и подходящим техническим средством считается использование материалов тематического дешифрирования разновременных данных дистанционного

---

[5]Кодекс Республики Беларусь о земле от 23 июля 2008 г. № 425-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2008. № 187, 2/1522.

[6]*Реймерс Н. Ф.* Природопользование : словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. 638 с.

[7]Базы данных состава и свойств почв : учебник / В. С. Крыщенко [и др.]. Ростов н/Д : Изд-во РСЭИ, 2008. 145 с.

[8]*Добротворская Н. И.* Структура почвенного покрова в системе агроэкологической оценки земель в лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук : 06.01.03. Барнаул, 2009. 40 с.

зондирования Земли. Материалы космической съемки и спутниковых измерений вегетационных индексов подстилающей поверхности (NDVI, ARVI, BDMI, SIPI), оперативно получаемые с группировок планетарных природно-ресурсных спутников, в том числе с Белорусского космического аппарата, позволяют на основе автоматизированных алгоритмов осуществлять непрерывный мониторинг текущего состояния природных систем и прогнозировать динамику их развития.

Геоинформационные технологии включают инструментарий системного пространственного анализа, который при должных алгоритмах обработки данных способствует оперативному получению качественных сведений заданной точности для всей территории землепользования, что обеспечивает решение большого числа задач не только сельскохозяйственного производства, но и лесохозяйственного управления, природоохранной деятельности и других вариантов территориального планирования[9] [22; 24]. Базовой пространственной информационной основой регулирования землепользования и мониторинга земельных ресурсов в Беларуси является земельно-информационная система (ЗИС)[10] [25]. В настоящее время проведена актуализация локальных ЗИС за счет тематического слоя «Почвы»[11], что позволило выполнить кадастровую оценку земель сельскохозяйственного назначения [26] и открыло возможности учета природно-ресурсного потенциала при решении задач территориального планирования. Отмечаемая ограниченность объектового состава ЗИС на территории лесных земель [25] может быть преодолена с помощью предлагаемого геосистемного подхода к учету природных ресурсов.

Вопросы оптимизации природопользования с применением ГИС-технологий успешно решаются в рамках разработки адаптивно-ландшафтных систем [14], прецизионного землепользования [27] и экологического земледелия [28]. В решении задач территориального планирования развитие ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования Земли [19; 29] также опирается на методологию пространственного геоинформационного анализа геосистем [15; 21]. Природная организация геосистем, описываемая почвенными комбинациями, характеризуется информативностью типов земель, что позволяет учесть и оценить ресурсный потенциал геосистем и оптимизировать направления их использования на основе системного анализа почвенных карт и материалов дистанционного зондирования Земли[12] [30–32]. В настоящее время адаптивно-ландшафтные системы землепользования являются методологическим подходом к ведению растениеводства, что в условиях высокой доли гидротехнически мелиорированных земель и глобальных климатических изменений приобретает особую актуальность в регионе Белорусского Полесья.

Геосистемы выступают основными носителями качественной и количественной информации о состоянии природных ресурсов в границах каждой почвенной комбинации, что позволяет говорить о них, как об инвариантах почвенно-земельных ресурсов с качественными различиями устойчивости к процессам деградации земель [33; 34]. Неоднородность почвенного покрова рассматривается в качестве обратно пропорционального критерия возможности снижения проявления деградационных процессов, например зарастания древесно-кустарниковой растительностью или постмелиоративной деградации почвенно-земельных ресурсов.

Целью данного исследования является впервые выполняемая типология геосистем крупного региона – Белорусского Полесья – в границах закономерно организованных почвенных комбинаций на основе автоматизированного геоинформационного анализа цифровых почвенных карт. Объектом исследования выступает СПП региона. Использование геосистемного подхода ориентировано на рассмотрение вопросов естественной неоднородности СПП в аспекте определения направлений эффективного землепользования при сохранении биоразнообразия в рамках территориального планирования природопользования. При этом генетически обусловленная номенклатура почвенных комбинаций с количественной оценкой качественных признаков и картометрических показателей СПП обеспечивает геосистемную инвентаризацию типов земель – первичных единиц кадастрового учета и оценки земельных ресурсов, в том числе качественного, количественного и пространственного анализа.

---

[9] *Савин И. Ю.* Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук : 03.00.27. М., 2004. 47 с. ; *Пузаченко Ю. Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Academia, 2004. 416 с.

[10] Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания, ведения (эксплуатации и обновления) : ТКП 610-2023 (33520). Взамен ТКП 610-2017 (33520) ; введ. 01.01.2024. Минск : Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, 2023. IV, 107 с.

[11] Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования) : утв. Ком. по зем. ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь 21.05.2002 г. / Ком. по зем. ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии ; сост.: Н. И. Смеян [и др.]. Минск, 2002. 19 с.

[12] *Курьянович М. Ф.* Структура почвенного покрова Белорусского Полесья и ее агропроизводственная интерпретация на основе материалов дистанционных съемок : автореф. дис. … канд. с.-х. наук : 06.01.03. Минск, 2016. 24 с.

Формирование устойчивой структуры землепользования с экономических и экологических позиций является актуальной задачей для разных уровней административного планирования – от регионального (Белорусское Полесье) и областного до локального (хозяйственного).

Материалы и методы исследования

Исходными данными для инвентаризационных и оценочных работ геосистемного анализа регионального и районного уровня в Белорусском Полесье являются материалы локальных ЗИС, в частности тематические слои о почвенном покрове, а также разномасштабные планово-картографические сведения о физико-географических условиях региона.

В числе прочих в структуре базы данных в программной среде ГИС с использованием специализированного программного обеспечения (*ArcGIS* (версия 10.8), *ENVI* (версия 5.6), *SNAP*) для типологии геосистем учитывались следующие данные:

- информация почвенных карт (масштаб 1 : 50 000 и 1 : 10 000) районов и сельскохозяйственных организаций;
- материалы схем землеустройства районов, а также схем внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций (масштаб 1 : 50 000 и 1 : 10 000);
- материалы кадастровой оценки земель сельскохозяйственных организаций;
- данные дистанционного зондирования Земли.

Информация мультиспектральной съемки в настоящей работе использована для определения возможной актуализации состояния геосистем в аспекте направлений природопользования в соответствии с основным документом территориального планирования – Государственной схемой комплексной территориальной организации (ГСКТО) Республики Беларусь 2012 г. [35] и 2017 г. Для формирования мозаики индексных мультиспектральных изображений территории Белорусского Полесья был сформирован предварительный набор данных из снимков тестовых полигонов, сделанных с космических летательных аппаратов «Landsat-8» и (или) «Landsat-9», а также спутников «Sentinel-2A» и (или) «Sentinel-2B» с учетом оптимальных сроков аэрокосмических съемок растительного и почвенного покрова.

Для формирования индексных изображений мозаики использовались данные коллекции «Landsat 8–9» уровня 2, которая включает в себя спутники «Landsat-8» и новейшие спутники «Landsat-9», оснащенные оперативным датчиком изображения территории (OLI) и инфракрасным тепловым датчиком (TIRS). Инфракрасный тепловой канал регистрируется с разрешением 100 м, но в данном исследовании передискретизируется до 30 м, что удовлетворяет пространственной точности инвентаризации геосистем.

Также для формирования индексных изображений мозаики использовались данные системы спутников «Sentinel-2A» и «Sentinel-2B» с 11 спектральными каналами. Пространственное разрешение 4 основных каналов («Blue», «Green», «Red», «NIR») составляет 10 м, пространственное разрешение тепловых каналов и ближнего инфракрасного канала – 20 м. Для полученных мультиспектральных снимков были выполнены процедуры радиометрической и атмосферной коррекции. Временное разрешение двух спутников «Sentinel-2», работающих вместе, составляет 5 дней.

Признаки качественного состояния геосистем неразрывно связаны с критериями их пространственной идентификации (табл. 1). По общей динамике природных, в том числе почвообразующих, процессов в СПП выделяются группы внепойменных (водораздельные пространства) и пойменных мезокомбинаций. В зависимости от орографических условий водораздельные пространства подразделяются на водоразделы, характеризующиеся поверхностным водным стоком, и депрессии, аккумулирующие сток.

По геоморфологическим особенностям и рисунку почвенных ареалов геосистемы водоразделов дифференцируются на фрагментарные (молодые моренные образования с сетчатым рисунком структуры), выпуклые (сглаженные моренные и водно-ледниковые равнины с лопастным рисунком) и плоские (донно-моренные, водно-ледниковые, озерно-аллювиальные равнины, отличающиеся локальным застоем влаги и, как следствие, пятнистым рисунком). Депрессии, или понижения в рельефе, подразделяются на долинообразные (вытянутые сточные понижения с пологими склонами, широким основанием и полосчатым почвенным покровом) и озеровидные (обширные компактные понижения рельефа, обладающие концентрической или пятнистой структурой). Отдельную группу составляют переходные зоны – геосистемы с неупорядоченным расположением почвенных ареалов, чаще всего представленные комплексом двух вариантов мезокомбинаций. Ввиду наибольшей энтропийной меры переходные зоны являются наиболее устойчивыми к любому нежелательному воздействию геосистемами и представляют собой экологический каркас территории.

Таблица 1

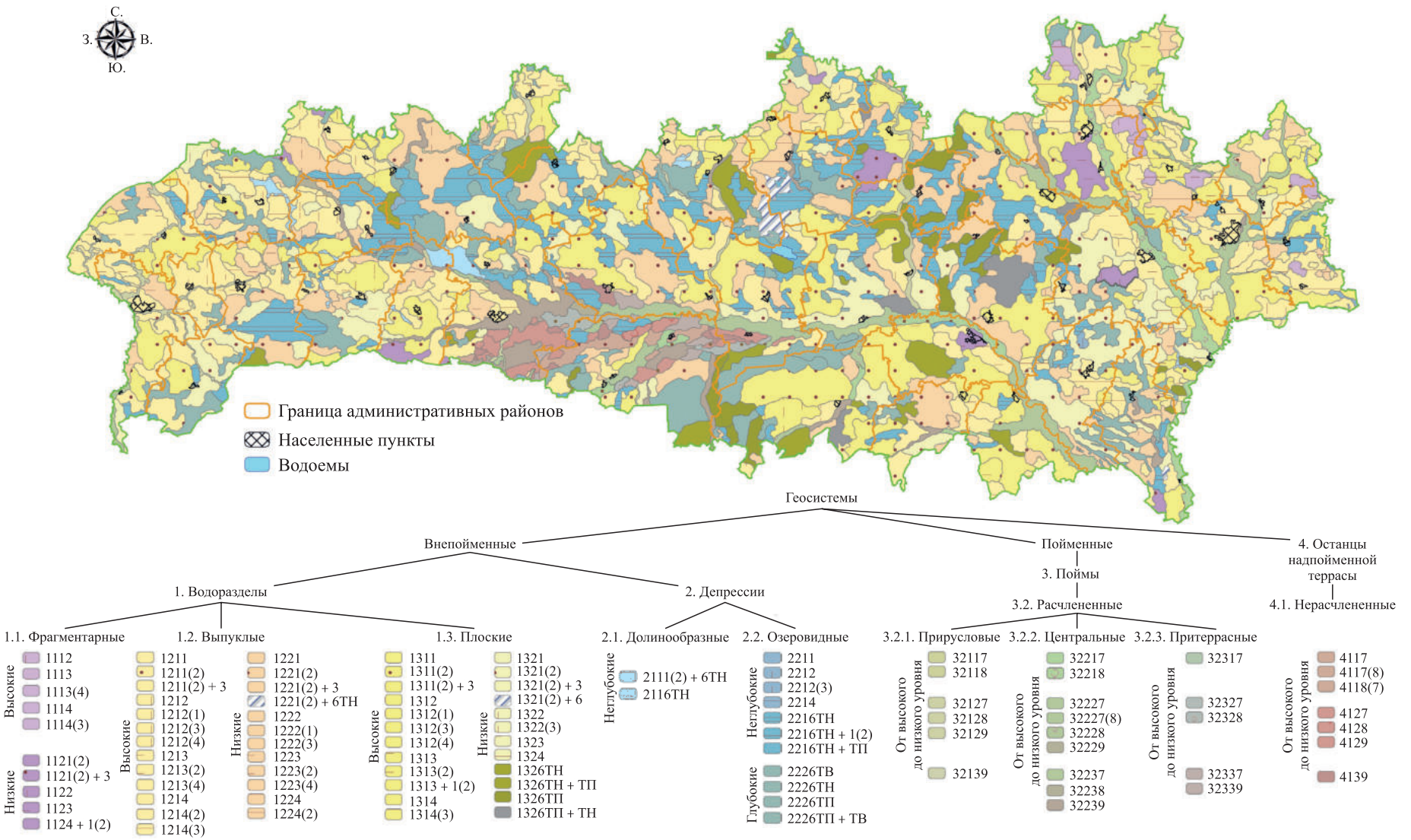
Иерархические критерии идентификации геосистем

Table 1

Hierarchical criteria for identifying geosystems

<table>
<tr><td>Критерии</td><td colspan="9">Почвенные комбинации (типы земель)</td></tr>
<tr><td>Общая динамика природных процессов</td><td colspan="5">Внепойменные</td><td colspan="4">Пойменные</td><td rowspan="3">4. Останцы надпойменной террасы</td></tr>
<tr><td>Орографический критерий</td><td colspan="3" rowspan="2">1. Водоразделы</td><td colspan="2" rowspan="2">2. Депрессии</td><td colspan="4">3. Поймы</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Нерасчлененные (3.1)</td><td colspan="3">Расчлененные (3.2)</td></tr>
<tr><td>Геоморфологический критерий</td><td>1. Фрагментарные</td><td>2. Выпуклые</td><td>3. Плоские</td><td>1. Долинообразные</td><td>2. Озеровидные</td><td>1. Прирусловые</td><td>2. Центральные</td><td>3. Притеррасные</td></tr>
<tr><td>Гипсометрический критерий</td><td colspan="3">1. Высокие
2. Низкие</td><td colspan="2">1. Неглубокие
2. Глубокие</td><td colspan="4">1. Высокого уровня
2. Среднего уровня
3. Низкого уровня</td><td>1. Высокого уровня
2. Среднего уровня
3. Низкого уровня</td></tr>
<tr><td>Литологический критерий (почвообразующие породы)</td><td colspan="5">1. Рыхлые породы
2. Двучленные породы без водоупора
3. Двучленные породы с водоупором
4. Суглинистые породы
5. Глинистые породы
6. Торф</td><td colspan="4">7. Аллювий рыхлый
8. Аллювий связный
9. Торф пойменный</td><td>1. Рыхлые породы
2. Двучленные породы без водоупора
3. Двучленные породы с водоупором
4. Суглинистые породы
5. Глинистые породы
6. Торф
7. Аллювий рыхлый
8. Аллювий связный
9. Торф пойменный</td></tr>
</table>

Источник: [21].



Масштаб 1 : 2 000 000 (основа 1 : 50 000)

Рис. 1. Геосистемы Белорусского Полесья, идентифицированные по СПП

Fig. 1. Geosystems of Belarusian Polesie identified by the structure of the soil cover

Каждая геосистема определена гипсометрически: водоразделы распределены на две группы – высокие (косвенным признаком является наличие не более 40 % переувлажненных почв на рыхлых породах и не более 30 % переувлажненных почв на связных породах) и низкие (более 40 и 30 % соответственно); депрессии разделены на неглубокие (с преобладанием минеральных заболоченных почв) и глубокие (заторфованные); поймы дифференцированы на поймы высокого, среднего и низкого уровня. По составу и литологии выделены девять вариантов почвообразующих пород: рыхлые породы – пески рыхлые и связные, подстилаемые или сменяемые песками рыхлыми; двучленные породы без водоупора – супеси рыхлые и связные (реже суглинки), подстилаемые песками (реже супесями); двучленные породы с водоупором – супеси рыхлые и связные (реже пески), подстилаемые мореной или другой водоупорной породой; суглинистые породы – суглинки легкие пылеватые и супеси связные, подстилаемые мореной; глинистые породы – моренные и озерно-ледниковые глины; торф (низинный (ТН), верховой (ТВ) или переходный (ТП)), аллювий рыхлый, аллювий связный и торф пойменный.

Орографический подход, применяемый для водораздельных пространств, для пойм заменяется подразделением их на нерасчлененные (почвы сменяются только в продольном направлении поймы) и расчлененные (смена почв происходит в поперечном сечении поймы). Последние по геоморфологическим особенностям дифференцируются на прирусловые, центральные и притеррасные. Таблица 1 дает представление об информации, закодированной в типовых названиях геосистем и отраженной в их формулах. Каждому варианту геосистемы на каждом уровне группировки присвоена цифра, так что итоговый индекс состоит из четырех (для пойменных геосистем из пяти) последовательных цифр. Он использован для обозначения единицы пространственного анализа геосистем в ГИС (см. рис. 1).

Количественными признаками геосистем как природных образований являются размер (площадь почвенных мезокомбинаций) и внутренняя неоднородность. Качественные признаки геосистем следует разделять на внешние и внутренние. Под внешними признаками понимаются критерии идентификации вариантов геосистем – общединамические, орографические, геоморфологические и литологические условия местности. При рассмотрении агроландшафтов внутренними признаками геосистем могут служить показатели агроэкологического состояния землепользования, выраженные через культуртехнические, агромелиоративные и другие оценки земельных участков. Основным внутренним признаком является неоднородность СПП. Мерой неоднородности геосистем служит коэффициент неоднородности СПП, рассчитываемый как произведение контрастности и расчлененности входящих в формулу почвенной комбинации групп элементарных почвенных ареалов.

Результаты и их обсуждение

Разработан номенклатурный список всех геосистем, встречающихся на территории Белорусского Полесья, а также унифицированная система условных обозначений каждой из них. Общее количество геосистем с учетом всех вариантов почвообразующих пород составляет 101 (см. рис. 1), что соответствует 68 % разнообразия географической среды Беларуси. Каждая из геосистем была закодирована в домене базы данных ГИС и получила символьное представление, что позволяет автоматизировать процесс инвентаризации СПП региона и составление производных картографических материалов. В среде ГИС предусмотрен системный учет типа почвенной комбинации, долевого участия почв разного генезиса, гранулометрического состава, степени увлажнения и характера подстилания почвообразующих пород.

Сочетания групп элементарных почвенных ареалов, включающих особенности почвенных разновидностей и растительных ассоциаций, образуют хорошо различимые на космических снимках, повторяющиеся в пространстве образы, отражающие комплекс физико-географических показателей. Соотношение групп почвенных ареалов в формуле почвенных комбинаций на примере геосистем водораздельных пространств Полесья представлено в табл. 2.

В качестве элементов формулы геосистемы буквенными индексами обозначены группы элементарных почвенных ареалов: ДП – дерново-подзолистые, ДПБ – дерново-подзолистые заболоченные (ДПБ0 – оглеенные на контакте, ДПБ1 – временно избыточно увлажненные, ДПБ2 – глееватые, ДПБ3 – глеевые), ДПБиг – дерново-подзолистые заболоченные с иллювиально-гумусовым горизонтом, ДБ – дерновые заболоченные (ДБ1 – временно избыточно увлажненные, ДБ2 – глееватые, ДБ3 – глеевые), ТБ – торфяно-болотные (ТН – низинные, ТВ – верховые и ТП – переходные), АДБ – пойменные дерновые (АДБ0 – оглеенные на контакте, АДБ1 – временно избыточно увлажненные, АДБ2 – глееватые, АДБ3 – глеевые), АДилБ – пойменные иловато-болотные, АТН – пойменные торфяно-болотные. Для примера: запись $ДПБ1^{60}$ + $ДПБ2^{30}$ + $ДБ2^{10}$ означает, что в почвенной комбинации 60 % составляют дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные почвы, 30 % – дерново-подзолистые глееватые почвы и 10 % – дерновые глееватые почвы, представленные крупными контурами (более 1 га) контрастных почвенных разновидностей.

Таблица 2

Состав почвенных комбинаций
на примере геосистем водораздельных пространств (min – max), %

Table 2

Composition of soil combinations using
the example of watershed spaces geosystems (min – max), %

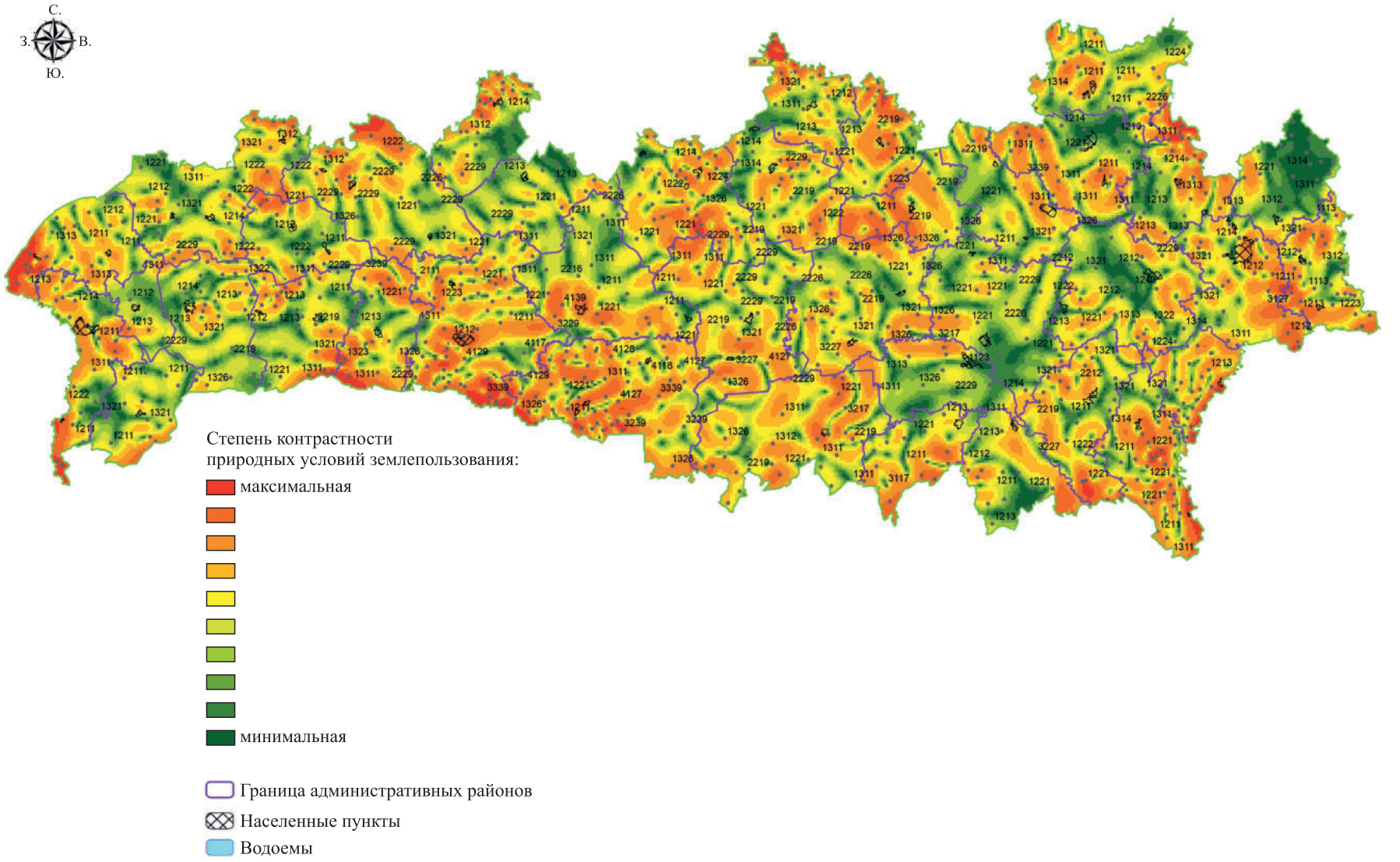
Почвы	Индекс почвенной комбинации					
	1111, 1111(2), 1112, 1112(1), 1113, 1113(4), 1114, 1114(3), 1114(5), 1115	1121, 1121(2), 1122, 1122(1), 1123, 1123(4), 1124, 1124(3), 1124(5), 1125	1211, 1211(2), 1212, 1212(1), 1213, 1213(4), 1214, 1214(3), 1214(5), 1215	1221, 1221(2), 1222, 1222(1), 1223, 1223(4), 1224, 1224(3), 1224(5), 1225	1311, 1311(2), 1312, 1313, 1313(4), 1314, 1314(3), 1314(5), 1315	1321, 1321(2), 1322, 1322(1), 1323, 1323(4), 1324(3), 1324(5), 1326ТП + ТВ
ДП	35–85	30–65	40–85	30–65	35–75	20–45
ДПБ0 + ДПБ1	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 + АДБ1	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

В границах геосистем Белорусского Полесья с использованием базы данных ГИС выполнен геостатистический картометрический анализ. Получены количественные показатели СПП – коэффициенты контрастности, расчлененности и неоднородности геосистем. Результаты расчета и группировки итогового коэффициента неоднородности приведены на рис. 2 и 3.

Контрастность геосистем (см. рис. 2), как степень классификационного различия почв, составляющих формулу мезокомбинации, определена по схеме, разработанной Ю. К. Юодисом, с использованием монофакторной шкалы контрастности почв Беларуси. Расчет коэффициента расчлененности мезокомбинаций осуществлен путем отнесения суммы длин границ расчленяющих геосистему разновидностей почв к ее площади. Коэффициент неоднородности (см. рис. 3) является интегральным показателем совокупного влияния коэффициентов контрастности и расчлененности геосистем.

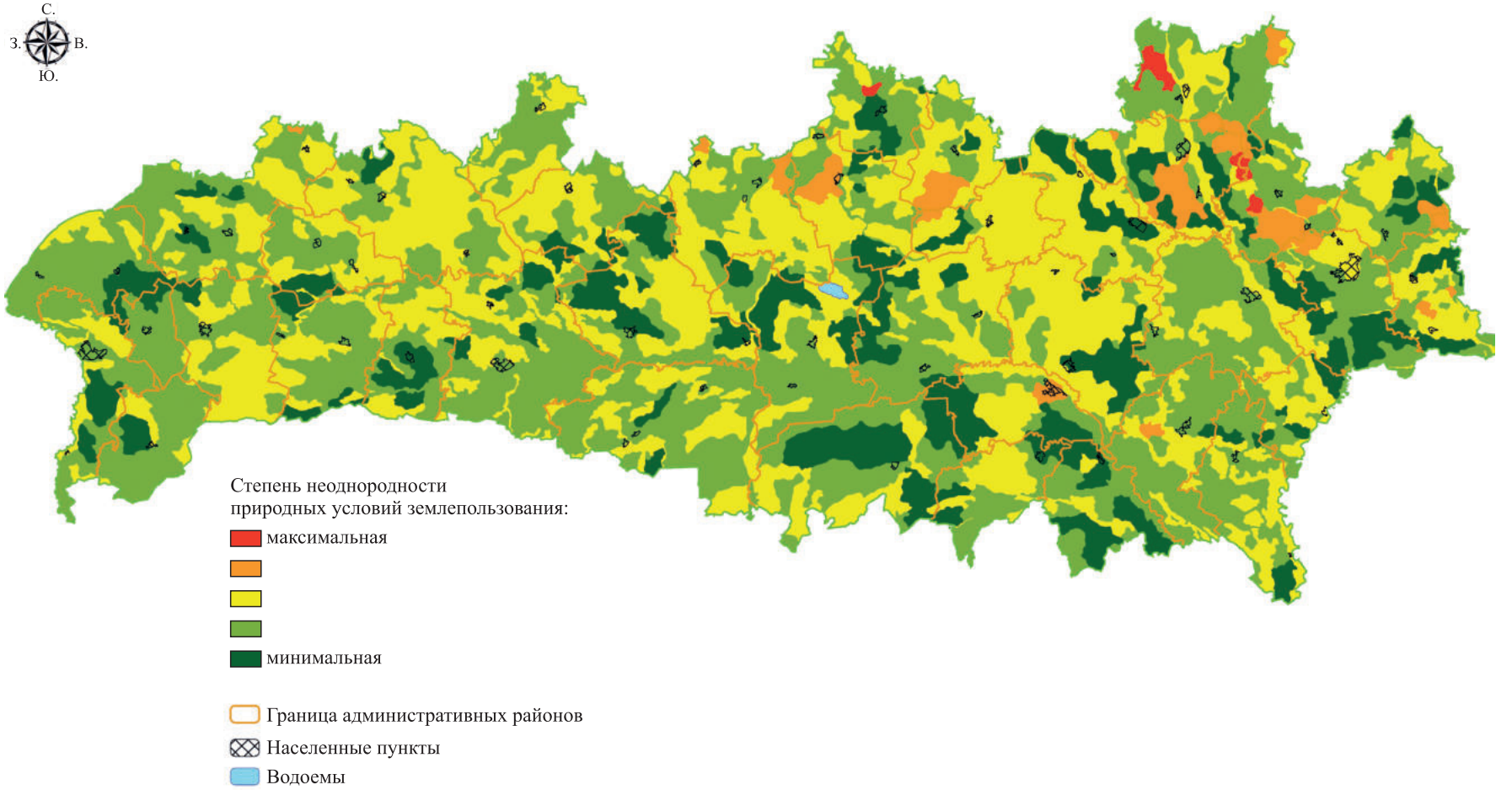
В формуле почвенной комбинации геосистемы закодированы природные условия почвообразования, почвенно-ресурсный потенциал и признаки устойчивости к внешнему воздействию, что подтверждается предыдущими исследованиями [23; 24; 30; 31].

Таким образом, картометрический анализ карт-слоев в границах геосистем позволяет объединить морфологический (пространственный) и генетический (функциональный) анализ природных условий. В табл. 3 указаны граничные значения картометрических показателей геосистем для целей территориального планирования. Результаты такого анализа являются основой типологического планирования направлений природопользования (уровень административного района) и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия (уровень сельскохозяйственной организации).



Масштаб 1 : 2 000 000 (основа 1 : 50 000)

Рис. 2. Контрастность СПП Белорусского Полесья
Fig. 2. Contrast level of soil cover structure in Belarusian Polesie



Масштаб 1 : 2 000 000 (основа 1 : 50 000)

Рис. 3. Неоднородность СПП Белорусского Полесья

Fig. 3. Heterogeneity of the soil cover structure of the Belarusian Polesie

Таблица 3

Количественные показатели СПП геосистем

Table 3

Quantitative indicators of the structure of soil cover of geosystems

Картометрические коэффициенты	Критерии оценки почвенного покрова			
	Оптимальное состояние	Допустимое состояние	Неудовлетворительное состояние	Критическое состояние
Коэффициент сложности	Менее 1,0	1,0–2,5	2,6–4,0	Более 4,0
Коэффициент контрастности	0–1,5	1,6–3,0	3,1–4,5	Более 4,5
Коэффициент неоднородности	Менее 1,5	1,5–7,5	7,6–18,0	Более 18,0

В ходе идентификации пространственной структуры геосистем оценивались показатели их неоднородности с учетом полученных ранее закономерностей взаимосвязи биоразнообразия и педоразнообразия [36], так как в перспективе направления природопользования могут предусматривать природоохранное и рекреационное использование почвенных комбинаций[13] [37]. Геосистемы выступают едиными территориальными (пространственными) системами, в которых взаимосвязано размещение сельскохозяйственных и лесных земель, поселений, транспортной сети и сохранившихся в естественном состоянии природных объектов.

В соответствии с составом геосистем на территории Белорусского Полесья (см. рис. 1) по площади преобладают 25 геосистем, внутренняя структура и показатели неоднородности которых предопределяют организацию сельскохозяйственной, лесохозяйственной, природоохранной и даже туристической деятельности на новом методическом и информационном уровне. База разновременных аэрокосмических снимков актуализирует данную основу для экологического и хозяйственно-функционального зонирования территории, организации мониторинга на геосистемном уровне в Полесском регионе. Особого внимания с точки зрения биоразнообразия заслуживают геосистемы пойм (17 вариантов), а с точки зрения сельскохозяйственной деятельности – геосистемы останцов надпойменной террасы, отличающиеся более высокими показателями продуктивной способности почв (8 вариантов).

На примере территории пяти районов Полесья выделены 15 вариантов природных систем, дифференцированных на мезокомбинации почв в зависимости от орографических, геоморфологических, гипсометрических и литологических условий (см. легенду к карте на рис. 1). Типология геосистем свидетельствует о том, что в рассматриваемых районах общей площадью 1525,5 тыс. га водораздельные пространства, характеризующиеся стоком поверхностных вод, занимают 628,7 тыс. га, или 41,1 % общей площади, причем большую их часть (522,2 тыс. га, или 83,0 %) составляют выпуклые низкие и плоские низкие водоразделы, указывающие не только на незначительную трансформацию рельефа оледенениями, но и на перспективность луговодческого направления, обусловленную большей степенью естественного гидроморфизма почв агроландшафтов.

Фрагментарные водоразделы встречаются на территории рассматриваемых районов только в одном варианте. Приуроченные обычно к молодым конечно-моренным грядам и возвышенностям, они не характерны для региона Белорусского Полесья, где отсутствуют скопления холмов и бугров с крутыми короткими склонами разной экспозиции, чередующиеся с межхолмными понижениями, объясняющими сложный сетчатый рисунок СПП.

Выпуклые водоразделы представляют собой слабо- или средневолнистые сглаженные конечно-моренные, водно-ледниковые или эоловые возвышенности и холмы. В сравнении с фрагментарными выпуклые водоразделы более сильно, но менее глубоко расчленены расположенными вдоль склонов тальвегами, западинами и ложбинами стока, придающими мезокомбинациям почв лопастный рисунок. Такие геосистемы, как отражено на рис. 1 и в табл. 4, выражены в Пинском, Лунинецком и особенно Петриковском районах Полесья. Выпуклые низкие водоразделы отличаются бóльшим разнообразием, чем плоские высокие геосистемы, что подтверждается легендой к карте мезокомбинаций на рис. 1. Выпуклые высокие и низкие водоразделы характеризуются особенно большим разнообразием геосистем за счет частой смены разных по гранулометрическому составу почвообразующих пород. Среди них преобладают моренно-зандровые волнистые равнины на рыхлых (1211 и 1211(2)) и двучленных с водоупором (1213) почвообразующих породах, в СПП которых доминируют дерново-подзолистые автоморфные и временно избыточно увлажненные почвы в сочетании с дерново-подзолистыми и дерновыми глееватыми почвами в нижних частях склонов.

[13] *Volungevičius J.* The peculiarities of soil cover territorial differentiation in the context of landscape structure (in case of Lithuania's territory) : summ. of doctoral diss. : 06P. Vilnius, 2007. 50 p.

Наиболее выровненные участки донно-моренных образований, водно-ледниковых равнин и озерно-ледниковых низин относятся к категории геосистем плоских водоразделов. Поверхностный сток влаги здесь замедлен, что отражается в наличии большого числа замкнутых западин с переувлажненными, часто заболоченными почвами, создающими пятнистый рисунок СПП. Для всей территории Беларуси регион Полесья отличается максимальным разнообразием плоских водоразделов, не уступающих по количеству вариантов выпуклым водоразделам. Несмотря на небольшую общую долю в границах рассматриваемых пяти районов, плоские водоразделы встречаются повсеместно. Плоские высокие и низкие водоразделы представлены геосистемами на рыхлых (1311(2)) и двучленных (1313) породах при абсолютном преобладании рыхлых пород. В пределах плоских низких водоразделов на рыхлых почвообразующих породах формируются автохтонные верховые и переходные болота (1326ТП).

Геосистемы депрессий – это крупные понижения рельефа, характеризующиеся аккумуляцией поверхностного стока, разгрузкой грунтовых вод и вследствие этого значительной долей переувлажненных почв. По морфометрии выделяются долинообразные и озеровидные депрессии, происхождение и возможности использования которых существенно различаются.

В качестве самостоятельных геосистем в пяти районах депрессии суммарно занимают 294,9 тыс. га (табл. 5). Территориально они приурочены к Лунинецкому и Пинскому районам, что подтверждается существующей сетью гидротехнических мелиоративных систем, поскольку почвенный покров таких геосистем является первоочередным объектом регулирования водного режима. Долинообразные депрессии представлены неглубокими депрессиями (широкими тальвегами) с преобладанием дерновых заболоченных песчаных и супесчаных почв с включением торфяных почв низинного типа. Геосистемы озеровидных депрессий имеют компактную замкнутую форму, нередко с микрозападинами. Озеровидные глубокие депрессии, как правило, заполнены торфом низинного типа, иногда перекрываемым пластом переходного и даже верхового торфа.

Геосистемы пойм в регионе очень разнообразны, они представлены более чем 20 вариантами (см. легенду к карте на рис. 1) преимущественно низкого уровня. Речные долины в регионе имеют широкие поймы общей площадью 340,9 тыс. га, дифференцируемые на прирусловые, центральные и притеррасные. Почвенные комбинации этих геосистем часто включают аллювиальные иловато-торфяно-болотные и дерновые заболоченные почвы на аллювии рыхлом, реже аллювии связном.

Особую группу в границах рассматриваемых районов Полесья составляют геосистемы останцов надпойменной террасы, это наиболее перспективные сельскохозяйственные земли в связи с наибольшими показателями продуктивности почвенного покрова, сложенного дерново-карбонатными и дерново-карбонатными заболоченными почвами. Данные геосистемы приурочены к Пинскому и Столинскому районам (соответственно южной и северной частям региона) и отличаются благоприятными водно-физическими и химическими свойствами, что открывает возможности интенсификации сельскохозяйственной деятельности. В настоящее время здесь наблюдается значительная доля крестьянских (фермерских) хозяйств, специализирующихся на овощеводстве.

Территория геосистем переходных зон является примером пестрого сочетания водоразделов и депрессий или разных геосистем с одинаковыми геоморфологическими, но отличающимися орографическими либо литологическими условиями, когда выделение отдельных геосистем невозможно. В границах рассматриваемых районов доля переходных зон невысока (менее 6 % от общей площади) вследствие незначительного геоморфологического влияния последних стадий оледенения на территории республики. Переходные зоны характеризуются чрезвычайной неоднородностью природных условий, их хозяйственное использование возможно лишь выборочно. Однако в естественном состоянии они представляют собой устойчивые геосистемы с высоким уровнем биологического разнообразия и экологическим значением, превосходящим экономический эффект природопользования.

Типология геосистем в границах объектов исследования разного уровня (почвенно-экологических, административных районов, землепользований) позволяет сравнивать объекты на основе анализа их внутренней структуры, так как содержит достаточно полную информацию обо всем комплексе факторов, определяющих их природную специфику. Анализ СПП выявляет и учитывает то обстоятельство, что одни и те же типы земель присутствуют во всех районах, которые различаются главным образом по общей площади, занимаемой тем или иным типом земель. Это дает возможность существенно сократить перечень выделов и разрабатывать технико-экономические обоснования проектов территориального планирования, имеющие принципиально близкие подходы к решению задач эффективного природопользования.

Для целей территориального планирования в границах инвентаризованных геосистем возможно создание прогнозных интерактивных карт динамики растительности лесов, лугов и болот при разных сценариях землепользования – от негативных до оптимальных. Такая практика позволит учитывать динамику структуры землепользования и повысить контроль за основными экологическими параметрами, определяющими состояние полесских экосистем.

Таблица 4

Экспликация площадей геосистем Житковичского, Лунинецкого, Петриковского, Пинского и Столинского районов Полесья и возможность их интенсивного использования

Table 4

Explication of geosystems areas of the Zhitkovichi, Luninets, Petrikovsky, Pinsky and Stolinsky districts of Polesie and the possibility of their intensive use

Административный район	Общая площадь обследования, тыс. га	Водоразделы													Депрессии				Поймы					Останцы надпойменной террасы			
		Фрагментарные				Выпуклые				Плоские																		
		Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	В том числе		Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	В том числе		Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	В том числе			Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	В том числе		Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	Прирусловые на аллювии рыхлом или связном	Центральные на аллювии рыхлом или связном	Притеррасные на аллювии рыхлом или связном либо торфе пойменном	Площадь, тыс. га	Доля от общей площади, %	Надпойменные террасы высокого уровня	Надпойменные террасы среднего и высокого уровня
				высокие	низкие			высокие (на рыхлых или связных породах)	низкие (на рыхлых или связных породах)			высокие (на рыхлых или связных породах)	низкие (на рыхлых или связных породах)	крупные заторфованные массивы			долинообразные и озеровидные неглубокие	озеровидные глубокие									
Житковичский	289	0	0	0	0	50	17,0	35	15	78	27,0	60	16	2	42	15,0	28	14	99	34,0	1	75	23	20	7,0	6	14
Лунинецкий	271	0	0	0	0	56	20,7	33	23	51	18,8	19	32	6	122	45,0	62	60	40	14,8	30	8	2	2	0,7	1	1
Петриковский	282	1	0,4	0	1	142	50,0	62	80	44	15,6	9	16	19	61	21,6	22	39	33	12,0	13	16	4	1	0,4	1	0
Пинский	326	1	0,3	0	1	70	21,5	39	31	57	17,5	10	45	2	69	21,2	35	34	80	24,5	1	71	8	49	15,0	1	48
Столинский	240	0	0	0	0	26	11,0	13	13	49	21,0	1	31	17	5	2,0	2	3	92	38,0	1	57	34	68	28,0	8	60
Возможности интенсивного использования:																											
в естественном состоянии	–	–	–	*2*	*4*	–	–	*3 (4)*	*4 (3)*	–	–	*4 (2)*	*5 (4)*	*6*	–	–	*5*	*6*	–	*6*	*5 (6)*	*4 (5)*	*5 (6)*	–	–	*2 (3)*	*3 (4)*
при условии проведения гидромелиоративных мероприятий	–	–	–	*2*	*4*	–	–	*1 (2)*	*3*	–	–	*2 (3)*	*4*	*4*	–	–	*3*	*3*	–	*6*	*5*	*4*	*4*	–	–	*1*	*2*

Примечание. Возможности интенсивного использования: 1 – неограниченны; 2 – локально неограниченны; 3 – слабоограниченны; 4 – среднеограниченны; 5 – сильноограниченны; 6 – отсутствуют.

Следует отметить, что состав почвенных таксонов в агроландшафтах не является неизменным: процессы сработки торфа, проявления дефляции почв, перераспределения влаги вследствие непроектной работы элементов мелиоративной сети приводят к увеличению контрастности почвенного покрова [38]. На эродированных разновидностях почв наблюдаются достоверное снижение урожайности возделываемых культур, ухудшение агрофизических свойств почв. Количественная оценка неоднородности СПП геосистем в баллах приведена в табл. 5 (от минимального (1 балл) до максимального (5 баллов) уровня), данные которой свидетельствуют о факторном влиянии не только рельефа местности, но и генезиса и гранулометрического состава почвообразующих пород, предопределяющих в первую очередь водно-физические свойства почв и, следовательно, поведение влаги в почвенном профиле – значимом факторе роста и развития культурной и естественной растительности.

Таблица 5

Количественная оценка неоднородности СПП геосистем

Table 5

Quantitative assessment of the heterogeneity of the soil cover structure of geosystems

Геосистемы (типы земель)				Индекс почвенной комбинации	Оценка, баллы
Водоразделы	Фрагментарные	Низкие	На двучленных породах	1123	5
			На связных породах	1124	5
	Выпуклые	Высокие	На рыхлых породах	1211	5
			На двучленных породах	1212	4
			На связных породах	1213	4
			На лёссовых и лёссовидных породах	1214	3
		Низкие	На рыхлых породах	1221	4
			На двучленных породах	1222	4
			На связных породах	1223	3
			На лёссовых и лёссовидных породах	1224	3
	Плоские	Высокие	На рыхлых породах	1311	4
			На двучленных породах	1312	4
			На связных породах	1313	3
			На лёссовых и лёссовидных породах	1314	3
		Низкие	На рыхлых породах	1321	2
			На двучленных породах	1322	3
			На связных породах	1323	3
			На лёссовых и лёссовидных породах	1324	3
Депрессии		Неглубокие	С минеральными почвами	211	3
		Глубокие	С торфяными почвами	222	1
Заторфованные участки				1326	2
Поймы центральные и притеррасные				322(3)	3
Останцы надпойменной террасы				41(2)	3

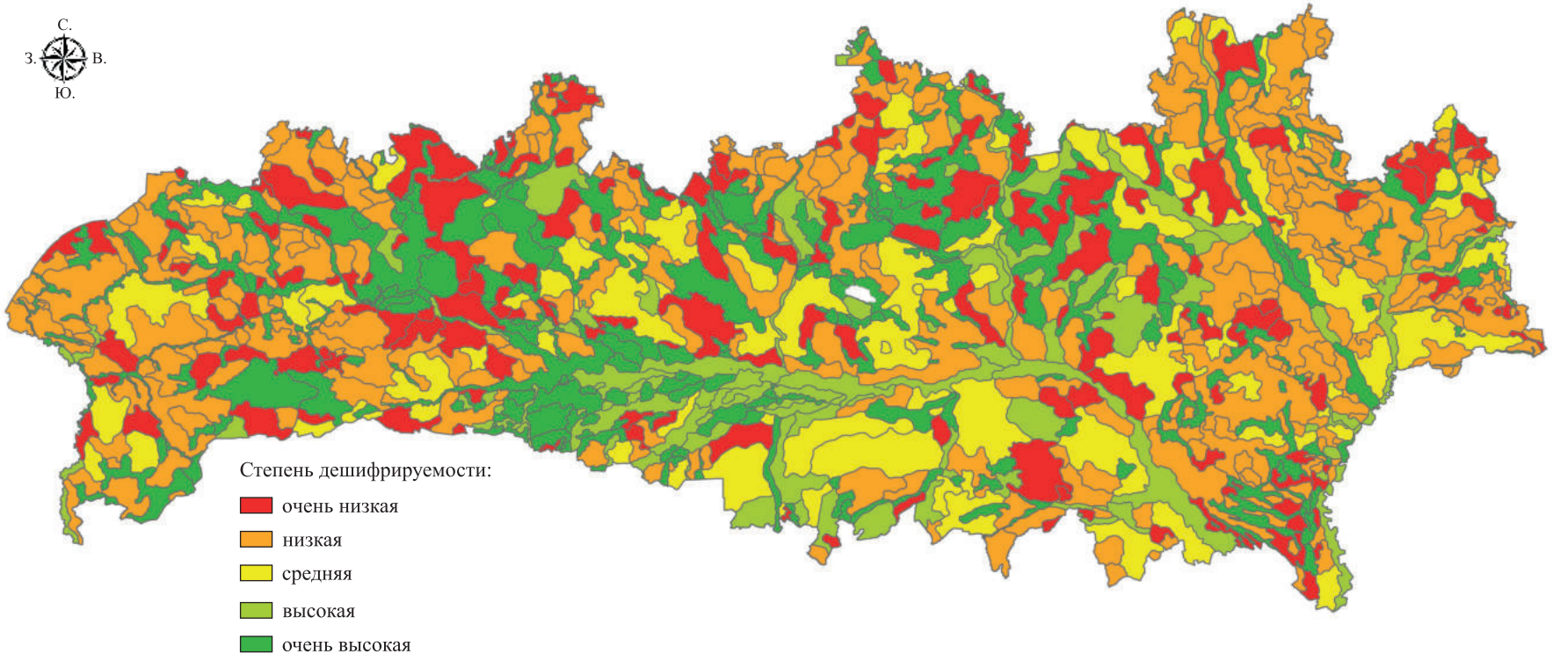


Рис. 4. Степень дешифрируемости геосистем Белорусского Полесья по данным дистанционного зондирования Земли
Fig. 4. Degree of decoding of geosystems in Belarusian Polesie by Earth remote sensing data

Масштаб 1 : 2 000 000 (основа 1 : 50 000)

Рис. 5. Функциональная типология районов Полесья в соответствии с ГСКТО
Fig. 5. Functional typology of districts in Polesie in accordance with GSKTO

Расчет показателей неоднородности в границах геосистем позволяет прогнозировать развитие и направление изменений в СПП и, соответственно, в структуре землепользования. Необходимо также отметить, что высокая неоднородность СПП пространственно коррелирует с локализацией типа антропогенно преобразованных почв. Возможно резкое снижение экологической устойчивости агроландшафтов, поскольку дефляционная опасность почвенного покрова возрастает на 20–30 %. Например, максимальная степень неоднородности почвенного покрова для геосистем Полесья, выявленная по результатам картометрического анализа, характерна для выпуклых высоких водоразделов на двучленных почвообразующих породах без водоупора, реже с водоупором (1212(3)) и центральных пойм высокого и среднего уровня на аллювии рыхлом, иногда с участием иловато-торфянистых отложений (32127 + 9). Высокий естественный уровень неоднородности и педоразнообразия в первом случае обусловлен литологией отложений в СПП, а во втором случае – геоморфологическими условиями почвообразования. Полученные для данных почвенных комбинаций показатели неоднородности свидетельствуют о том, что пахотное использование в таких условиях далеко не всегда целесообразно и может осуществляться только выборочно. Однако, как показал пространственный анализ границ геосистем и видов использования земель по данным ЗИС и дистанционного зондирования Земли, в этих условиях часто наблюдается интенсивное пахотное землепользование.

В базе данных ГИС для каждой геосистемы дополнительно учитываются природные факторы, осложняющие хозяйственное использование геосистем в естественном состоянии. К их числу отнесены как неустранимые (неоднородность почвенного покрова), так и устранимые (эрозия, дефляция, низкое плодородие, заболоченность) факторы.

Объективная характеристика природных условий геосистем в естественном состоянии независимо от фактического направления землепользования позволяет сформировать систему поддержки принятия решений по предпочтительному направлению землепользования с вариантами в естественном или преобразованном виде, при трансформировании которых можно предвидеть объем затрат и экологические последствия.

Для целей территориального планирования региона Белорусского Полесья в статье приводятся результаты пространственного анализа дешифрируемости геосистем по данным дистанционного зондирования Земли (см. рис. 4) и границ функциональной типологии административных районов (см. рис. 5) в соответствии с ГСКТО Республики Беларусь 2012 г. [35] и 2017 г.

Степень дешифрируемости рассчитана на основании формул каждой почвенной комбинации, системно учитывающих прежде всего степень увлажнения и неоднородность СПП. Представленные в табл. 6 данные указывают на целесообразность первоочередного использования дистанционных методов оценки состояния геосистем в Ганцевичском, Ляховичском, Октябрьском и Столинском районах в связи с их принадлежностью к аграрному типу согласно функциональному зонированию в ГСКТО 2017 г. и наличием более 40 % хорошо дешифрируемых условий в соответствии с типологией геосистем. Особое место в данном аспекте занимают Брестский, Солигорский и особенно Пинский районы, так как территориальное планирование направлений землепользования на геосистемной основе необходимо для их многоцелевого функционирования и может быть обеспечено дистанционными методами оценки состояния геосистем (доля площади группы максимального дешифрирования превышает 30 %).

Таблица 6

Дешифрируемость геосистем районов Полесья с учетом функциональной типологии

Table 6

Decoding of geosystems of districts in Polesie taking into account the functional typology

Функциональный тип по ГСКТО 2017 г.	Административный район	Доля площади группы по степени дешифрируемости данных дистанционного зондирования Земли, %				
		Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Аграрный	Брагинский	11,26	**56,70**	6,52	5,26	20,26
	Ветковский	30,12	35,53	18,35	2,00	14,00
	Ганцевичский	17,18	26,25	13,94	*8,38*	*34,24*
	Дрогичинский	18,27	**44,36**	11,64	0,02	25,71
	Лоевский	7,61	**40,83**	18,24	15,76	17,57
	Ляховичский	22,68	37,27	0,01	*10,70*	*29,34*
	Малоритский	6,55	**51,65**	11,07	0,00	30,73
	Октябрьский	25,27	0,00	11,03	*23,84*	*39,86*
	Стародорожский	17,82	**41,79**	17,25	3,02	20,12
	Столинский	9,70	8,65	18,82	*38,34*	*24,50*

Окончание табл. 6
Ending of the table 6

Функциональный тип по ГСКТО 2017 г.	Административный район	Доля площади группы по степени дешифрируемости данных дистанционного зондирования Земли, %				
		Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Агропромышленный	Буда-Кошелевский	4,95	**52,25**	18,06	0,22	24,52
	Глусский	35,42	23,90	4,49	8,65	27,55
	Ельский	26,83	37,89	17,52	6,19	11,56
	Жабинковский	1,96	**68,48**	18,10	0,00	11,46
	Житковичский	6,51	24,07	29,89	*21,95*	*17,57*
	Ивановский	33,98	26,31	23,55	1,18	14,99
	Калинковичский	23,22	11,79	19,82	*28,46*	*16,70*
	Лельчицкий	4,36	16,80	**48,27**	18,47	12,10
	Любанский	18,56	32,98	12,92	0,00	35,55
	Петриковский	7,27	31,86	22,42	22,39	16,06
	Хойникский	8,57	**61,12**	5,74	8,73	15,84
Многофункциональный	Брестский	19,76	24,78	10,33	*3,22*	***41,91***
	Гомельский	1,56	**51,70**	29,73	11,07	5,93
	Жлобинский	25,06	26,82	28,23	6,66	13,22
	Мозырский	15,72	19,05	32,79	28,16	4,28
	Пинский	15,29	18,55	9,02	*12,14*	***44,99***
	Речицкий	12,21	**57,77**	10,69	6,69	12,65
	Солигорский	20,32	31,40	4,13	*10,67*	*33,47*
Природоохранный и туристско-рекреационный	Каменецкий	10,56	**57,00**	14,85	0,00	17,60
	Пружанский	17,86	**52,74**	6,57	0,00	22,84
Промышленно-аграрный	Березовский	19,76	24,78	10,33	*3,22*	***41,91***
	Добрушский	12,82	**48,24**	20,85	4,94	13,16
	Ивацевичский	35,69	18,58	4,36	*2,31*	*39,06*
	Кобринский	25,77	**40,61**	3,90	3,14	26,58
	Лунинецкий	18,27	13,39	31,04	*11,90*	*25,40*
	Наровлянский	3,89	26,30	**44,11**	23,58	2,12
	Рогачевский	10,68	**65,77**	10,82	1,90	10,84
	Светлогорский	23,75	9,34	25,35	*16,94*	*24,63*

Примечание. Полужирным начертанием выделены экстремальные (выше 40 %) значения показателя, а курсивным начертанием – суммарно экстремальные (выше 40 %) значения максимальной степени дешифрируемости.

Заключение

Геосистемный подход позволяет сформировать методологическую и пространственно-временную основу для объединения данных ЗИС, дистанционного зондирования Земли и мониторинга земель для целей территориального планирования, предусматривающего эффективное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды как в регионе Полесья, так и на всей территории республики.

Закономерное пространственное размещение геосистем, выявляемое при крупно- и среднемасштабном картографировании почвенного покрова и обусловливаемое многократным повторением одного или нескольких образующих элементов (почвенных комбинаций), предопределяет возможность их типологии, характеризующейся схожими уровнями почвенно-ресурсного потенциала и реакцией на внешнее воздействие при разных сценариях природопользования. На территории Белорусского Полесья идентифицированы 25 вариантов природных систем, дифференцирующихся на 101 мезокомбинацию почв в зависимости от орографических, геоморфологических, гипсометрических и литологических условий, что в совокупности составляет 68 % разнообразия географической среды республики, оцениваемой по СПП. Типология

геосистем Белорусского Полесья открывает возможность системного учета природных условий для идентификации оптимальных направлений природопользования в регионе.

Для целей территориального планирования выявлена целесообразность использования данных дистанционного зондирования Земли при оценке состояния геосистем в административных районах в соответствии с их функциональной типологией по ГСКТО Республики Беларусь 2017 г. Ограниченное количество геосистем в пределах республики (мезо- и макрокомбинации), Полесского региона, любого административного района и сельскохозяйственной (лесохозяйственной) организации (микро- и мезокомбинации) позволяет с известной точностью прогнозировать изменение качественного состояния и количественного состава почвенно-земельных ресурсов.

Таким образом, стратегия эффективного экологически обоснованного природопользования заключается в адекватной оценке полифункциональных возможностей геосистем разного ранга и приведении направлений использования земель в соответствие с почвенно-ресурсным потенциалом и степенью их возможной интенсификации.

Библиографические ссылки

1. Prăvălie R, Bandoc G, Patriche C, Sternberg T. Recent changes in global drylands: evidences from two major aridity databases. *Catena*. 2019;178:209–231. DOI: 10.1016/j.catena.2019.03.016.

2. Montanarella L, Pennock DJ, McKenzie N, Badraoui M, Chude V, Baptista I, et al. World's soils are under threat. *Soil.* 2016; 2(1):79–82. DOI: 10.5194/soil-2-79-2016.

3. Eswaran H, Lal R, Reich PF. Land degradation: an overview. In: Bridges EM, Hannam ID, Oldeman LR, Penning de Vries FWT, Scherr SJ, Sombatpanit S, et al., editors. *Response to land degradation.* Boca Raton: CRC Press; 2019. p. 20–35. DOI: 10.1201/9780429187957-4.

4. Chervan AN, Chizh DA. Continuing the Rio + 20 Sustainable Development Summit. *Zemlya Belarusi.* 2012;4:5. Russian. EDN: IBQPFN.

5. Shalkevich FE, Topaz AA, Shalkevich MF. The structure of the Pripyat floodplain soil and its typification on materials of distance shooting, occurring at different times. *Zemlya Belarusi.* 2010;2:42–48. Russian. EDN: ZRXZOF.

6. Chernysh AF, Kachkov JP, Bachila SS. Land types as a necessary element of substantiation and implementation of territorial organization of agrolandscapes of Belarus. *Pochvovedenie i agrokhimiya.* 2014;1:9–23. Russian. EDN: YLTUNN.

7. Червань АН, Давидович ЮС, Романова МЛ. Геосистемный подход к территориальному планированию агроландшафтов Припятского Полесья Беларуси. В: Гуня АН, Гакаев РА, Вагапова АБ, редакторы. *Природно-ресурсный потенциал и экологическая реабилитация деградированных ландшафтов. Сборник материалов Международной научно-практической конференции; 17–18 марта 2023 г.; Грозный, Россия.* Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова»; 2023. с. 348–355.

8. Kachkov YP, Bashkintsava OF, Yatsukhno VM, Chernysh AF. Land typisation and use of its results in the working sites forming. *Zemlya Belarusi.* 2011;3:41–48. Russian. EDN: WDHRAZ.

9. Targulyan VO, Goryachkin SV. 16th International congress on soil science. *Pochvovedenie.* 1999;11:1400–1406. Russian.

10. Романова ТА. *Диагностика почв Беларуси и их классификация в системе ФАО – WRB.* Минск: [б. и.]; 2004. 428 с.

11. McBratney AB, Santos MLM, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma.* 2003;117(1–2):3–52. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.

12. Nikiforova AA, Fleis ME, Belyonova NK. The systems approach in soil science and landscape science. *Knowledge Organization.* 2023;50(1):34–46. DOI: 10.5771/0943-7444-2023-1-34.

13. Hengl T. Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences.* 2006;32(9):1283–1298. DOI: 10.1016/j.cageo.2005.11.008.

14. Кирюшин ВИ, Иванов АЛ, редакторы. *Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий.* Москва: Росинформагротех; 2005. 784 с.

15. Пузаченко МЮ. Многомерный анализ почвенного покрова на основе полевой и дистанционной информации. В: Иванов АЛ, Сорокина НП, Савин ИЮ, Самсонова ВП, Мешалкина ЮЛ, Конюшкова МВ, редакторы. *Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования.* Москва: Почвенный институт имени В. В. Докучаева; 2012. с. 253–269.

16. Джеррард АДж. *Почвы и формы рельефа. Комплексное геоморфолого-почвенное исследование.* Фурсенко РВ, Видре ЕМ, переводчики; Селиверстов ЮП, редактор. Ленинград: Недра; 1984. 208 с.

17. Fu G, Chen S, McCool DK. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS. *Soil and Tillage Research.* 2006;85(1–2):38–49. DOI: 10.1016/j.still.2004.11.009.

18. Фридланд ВМ. *Структура почвенного покрова.* Москва: Мысль; 1972. 423 с.

19. Рожков ВА. Тектологическая концепция почвоведения. В: Казеев КШ, Тищенко СА, редакторы. *Материалы V Всероссийского съезда Общества почвоведов имени В. В. Докучаева; 18–23 августа 2008 г.; Ростов-на-Дону, Россия.* Ростов-на-Дону: Ростиздат; 2008. с. 14.

20. Romanova ML, Chervan AN, Ermolenkova GV, Puchilo AV. Soil and land resources of Pripyat Polesie. *Nauka i innovatsii.* 2015;8:7–10. Russian. EDN: UHPBYR.

21. Romanova TA, Chervan AM, Andreeva VL Theoretical basis and practical significance of investigations into soil cover patterns. *Eurasian Soil Science.* 2011;44(3):272–280. DOI: 10.1134/S106422931101011X.

22. Червань АН, Романова МЛ, Пучило АВ, Климчик ГЯ, Клыш АС. Анализ современного состояния ландшафта репрезентативной части бассейна Немана. В: Ковалевич АИ, Усеня ВВ, Багинский ВФ, Булко НИ, Гедых ВБ, Гончаренко ГГ и др., редакторы. *Проблемы лесоведения и лесоводства. Выпуск 74.* Гомель: Институт леса НАН Беларуси; 2014. с. 469–475.

23. Chervan AN. Cartographic support of managed adaptive landscape farming in agricultural landscapes of Belarus. *Agrofizika*. 2022;1:21–29. Russian. EDN: NYURYW.

24. Chervan AN, Tsybulka MM, Yatsuhno VM. Methodological approaches and practical application of the results of land/soil degradation assessment in Belarus. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* 2022;86(1):55–68. Russian. DOI: 10.31857/S2587556622010058.

25. Коробкин АС, Самсоненко ИП, Теренева АП, Шарох НН. *Методика совместного использования глобальных данных и данных земельно-информационной системы Республики Беларусь для подготовки национальной отчетности в рамках Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке.* Минск: [б. и.]; 2020. 92 с.

26. Мороз ГМ, Дробыш СВ, Зданович ТН, Угначева НВ, Теренева АП, Павлюкевич ОА и др. *Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика.* Мороз ГМ, Лапа ВВ, редакторы. Минск: ИВЦ Минфина; 2017. 208 с.

27. Schröder D, Haneklaus S, Schnug E. Information management in precision agriculture with LORIS. In: Stafford JV, editor. *Precision agriculture '97. Papers presented at the First European conference on precision agriculture; 1997 September 7–10; Warwick, England. Volume 2.* Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd.; 1997. p. 821–826.

28. Позняк СС, Романовский ЧА. *Экологическое земледелие.* Позняк СС, редактор. Минск: МГЭУ имени А. Д. Сахарова; 2009. 327 с.

29. Wu J, Qi Y. Dealing with scale in landscape analysis: an overview. *Geographic Information Sciences.* 2000;6(1):1–5. DOI: 10.1080/10824000009480528.

30. Chervan AN, Gartsueva EY. Geosystem approach to land use planning of administrative district in Pripyat Polesie. *Zemlya Belarusi.* 2012;2:31–34. Russian. EDN: WCBUGX.

31. Chervan AN, Gartsueva EY. Geosystem approach to land use planning of administrative district in Pripyat Polesie (ending). *Zemlya Belarusi.* 2012;3:42–46. Russian. EDN: ZSRAXV.

32. Яновский АА. Методические предпосылки дистанционного картографирования деградированных торфяных почв Беларуси. В: Карабанов АК, Бамбалов НН, Березовский НИ, Бровка ГП, Волчек АА, Кадацкая ОВ и др., редакторы. *Природопользование. Выпуск 21.* Минск: [б. и.]; 2012. с. 192–198.

33. Сочава ВБ. *Введение в учение о геосистемах.* Новосибирск: Наука; 1978. 319 с.

34. Konovalova TI. Variability of geosystems. *Geografiya i prirodnye resursy.* 2004;2:5–11. Russian.

35. Vlasiuk NN. State comprehensive scheme of territorial organization of the Republic of Belarus. Main focus and priorities. *Vestnik of Brest State Technical University. Series: Construction and Architecture.* 2012;1:3–5. Russian. EDN: YPZMFF.

36. Chervan AN, Kindeev AL, Sazonov AA. Soil cover patterns and pedo- and biodiversity of the Berezinsky Biospheric Reserve. *Eurasian Soil Science.* 2022;55(10):1348–1359. DOI: 10.1134/S1064229322100027.

37. Sorokina NP, Kozlov DN. Experience in digital mapping of soil cover patterns. *Eurasian Soil Science.* 2009;42(2):182–193. DOI: 10.1134/S1064229309020094.

38. Haaren C, Galler C, Ott S. *Landscape planning. The basis of sustainable landscape development.* Leipzig: Federal Agency for Nature Conservation; 2008. 52 p.

Получена 19.02.2024 / исправлена 09.07.2024 / принята 18.09.2024.
Received 19.02.2024 / revised 09.07.2024 / accepted 18.09.2024.