

УДК: 631.48

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-408-424

М. А. Кондратьева<sup>1</sup>, И. А. Самофалова<sup>2</sup>

## КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

### АННОТАЦИЯ

Разработана серия карт агротехнологической типологии земель. Геоморфологический анализ условий землепользования проведен на основе разработанных морфометрических карт. Рельеф хозяйства холмисто-увалистый, с высотами в пределах 178–252 м, с преобладающими уклонами 1,5–5°. Вертикальное расчленение изменяется в пределах 15–89 м, густота горизонтального расчленения варьируется от 0,5 до 2,9 км/км<sup>2</sup>. На основе цифровой версии почвенной карты м-ба 1:10 000 созданы карты индикаторов свойств почв, в т. ч. содержания физической глины (ФГ), переувлажнения почв, степени эродированности. Более половины территории землепользования представлено почвами с содержанием ФГ 40–50%; чуть менее распространены почвы среднесуглинистого состава с содержанием ФГ 30–40%, их доля составляет 34 %. Около 25 % площади землепользования подвержено эрозии, в т. ч. слабой и средней степени, еще 24 % избыточно увлажнены. Анализ геоморфологических факторов позволил выделить пять агротехнологических групп земель, среди которых наиболее широкое распространение имеет полугидроморфно-эрэзационная группа (48 % площади). Данная группа занимает высотный ярус 190–220 м с уклонами поверхностей рельефа более 2°. В почвенном покрове характерно участие слабо- и среднесмытых дерново-подзолистых и дерново-бурых почв со слабоглееватыми и глееватыми, а также намытыми. Доля эродированных почв составляет 28 %, переувлажненных — 6 %. Интенсивное использование земель данной группы возможно в специальных противоэрэзационных системах земледелия с применением гидротехнических, лесных и других мелиораций. Эрозионная группа земель занимает высотный ярус от 220 м с крутизной поверхностей рельефа, превышающих 2°. Площадь данной группы — 1 158 га (24 %). Для этой группы характерен контрастный почвенный покров, в котором значительно участие слабо- и среднесмытых почв — 35 %, а доля полугидроморфных не превышает 2,5 %. Различия в урожайности на различных компонентах эрозионных структур могут быть сглажены только при высоком уровне применения удобрений. Интенсивное использование возможно при условии ограничений в структуре пашни и применении противоэрэзационных мероприятий. Полугидроморфно-подчиненная и гидроморфно-пойменная группы земель занимают площади 716 га (15 %) и 559 га (12 %) соответственно. В составе почвенного покрова гидроморфно-пойменной группы участвуют аллювиальные и болотные почвы. Такие земли требуют особых подходов при использовании.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** агротехнологическая оценка, морфометрические карты, устойчивое развитие, ГИС

<sup>1</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Россия, 614000, e-mail: mariya.kondrateva03@mail.ru

<sup>2</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Россия, 614000, e-mail: samofalovairaida@mail.ru

Maria A. Kondratieva<sup>1</sup>, Iraida A. Samofalova<sup>2</sup>

## CARTOGRAPHIC SUPPORT OF THE GEOINFORMATION SYSTEM OF AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LANDS

### ABSTRACT

A series of maps of agroecological typology of lands has been developed. A series of morphometric maps has been developed for geomorphological analysis of land use conditions, including maps of terrain elevation, slope steepness, vertical and horizontal dissection. The farm has a hilly relief with elevations ranging from 178 to 252 m with predominant slopes of 1.5–5°. Vertical dissection varies within 15–89 m, the density of horizontal dissection varies from 0.5 to 2.9 km/km<sup>2</sup>. Based on the digital version of the soil map at a scale of 1:10 000, maps of soil property indicators have been created, including physical clay (PC) content, soil waterlogging, and the degree of erosion. More than half of the land use area is represented by soils with a FG content of 40–50 %, slightly less common are soils of medium loamy composition with a FG content of 30–40 %, their share is 34 %. About 25 % of the land use area is subject to erosion, including weak and moderate erosion, another 24 % is excessively moistened. Analysis of geomorphological factors made it possible to identify five agroecological groups of lands, among which the most widespread is the semi-hydromorphic-erosive group (48 % of the area). This group occupies an altitudinal tier of 190–220 m with slopes of relief surfaces of more than 2°. The soil cover is characterized by the participation of slightly and moderately eroded sod-podzolic and sod-brown soils with slightly gleyic and gleyic, as well as washed soils. The share of eroded soils is 28 %, waterlogged — 6 %. Intensive use of lands of this group is possible in special anti-erosion farming systems with the use of hydraulic engineering, forest and other meliorations. The erosion group of lands occupies an altitudinal tier of 220 m with a relief surface steepness exceeding 2°. The area of this group is 1 158 ha (24 %). This group is characterized by a contrasting soil cover, in which slightly and moderately eroded soils participate significantly — 35 %, the share of semi-hydromorphic soils does not exceed 2.5 %. Differences in yield on various components of erosion structures can be smoothed out only with a high level of fertilizer application. Intensive use is possible subject to restrictions in the structure of arable land and the use of anti-erosion measures. Semi-hydromorphic-subordinate and hydromorphic-floodplain groups of lands occupy areas of 716 ha (15 %) and 559 ha (12 %), respectively. The soil cover of the hydromorphic-floodplain group includes alluvial and marshy soils. Such lands require special approaches when used.

**KEYWORDS:** agroecological assessment, morphometric maps, sustainable development, GIS

### ВВЕДЕНИЕ

Картографирование земель сельскохозяйственного назначения является одной из актуальных задач современной картографии. В советское время для всех субъектов были созданы сельскохозяйственные карты различного территориального охвата, назначения, содержания и разных масштабов. Изданые в разное время сельскохозяйственные карты в настоящее время не удовлетворяют возросшим требованиям науки и практики [Юндунов и др., 2003; Юндунов, 2007; Кирюшин, 2020; Елтошкина, 2022].

Проектирование новых систем земледелия и научноемких агротехнологий осуществляется на основе материалов почвенно-ландшафтного картографирования и ГИС агроэко-

<sup>1</sup> Perm State Agro-Technological University, 23, Petropavlovskaya str., Perm, 614000, Russia,  
*e-mail:* mariya.kondrateva03@mail.ru

<sup>2</sup> Perm State Agro-Technological University, 23, Petropavlovskaya str., Perm, 614000, Russia,  
*e-mail:* samofalovairaida@mail.ru

логической оценки земель. Подход к агроэкологической оценке земель и проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия может быть реализован лишь на основе картографических материалов, отражающих ландшафтную дифференциацию условий, которые учитываются при формировании систем земледелия [Гопп и др., 2017]. Сложившийся опыт агроэкологической оценки земель и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия для крупных сельскохозяйственных предприятий в различных природно-сельскохозяйственных зонах и провинциях свидетельствует о необходимости разработки региональных и локальных агрогеоинформационных систем [Денисова, 2019; Шнедт и др., 2023].

В связи с проектированием адаптивно-ландшафтных систем земледелия и научноемких агротехнологий возрастают требования к землеоценочной основе и соответствующим картографическим материалам. Традиционные существующие материалы крупномасштабного почвенного картографирования не отвечают этому требованию по причине слабого отражения почвенного покрова, недостаточного отображения рельефа, литологических и гидрологических условий, почвенно-ландшафтных связей, что не позволяет получить единое, целостное представление о качественном состоянии земель сельскохозяйственного назначения [Самофалова и др., 2013; Кирюшин, 2020; Столбовой, Гребенников, 2020; Елтошкина, 2022].

В настоящее время является актуальным картографирование современного состояния сельскохозяйственных угодий, их свойств, использования и мероприятий по улучшению агроэкологических свойств и качественных характеристик почв и их охраны [Гопп и др., 2017; Денисова, 2021; Кузнецова и др., 2023а; Кондратьева, Самофалова, 2024; Самофалова, 2024]. Наличие бумажных карт для комплексных оценок сельскохозяйственных угодий крупного и среднего масштабов является уже недостаточным для рационального ведения сельскохозяйственного производства.

Массив пространственной и статистической информации носит разновременной и разномасштабный характер и требует использования новых современных возможностей — геоинформационного картографирования (ГК), которое можно применять для проведения агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения. Применение ГИС с этой целью позволяет перевести на новую качественную основу решение этой сложной проблемы, особенно при проектировании интенсивных систем земледелия и агротехнологий, адаптивно-ландшафтных систем земледелия высокой точности.

ГИС-подходы для анализа земельных ресурсов интенсивно развиваются во всем мире [Кондратьева, Чашин, 2021; Шнедт и др., 2023; Ерунова и др., 2024; Wilson, 2012; Conrad et al., 2015; Kirbyushin et al., 2021; Hawker et al., 2022]. Рассматривают информационные системы нескольких уровней: регионального, государственного и локального. Говоря о последнем — на данном уровне ГИС создается непосредственно для определенного хозяйства с целью увеличения эффективности использования земельного ресурса, повышения качества продукции и увеличения коэффициента рентабельности.

Картографическое обеспечение геоинформационной системы (ГИС) агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения включает в себя набор карт, которые создаются на основе цифровой модели рельефа. Карты позволяют представить результаты исследования в наглядном виде, с необходимой точностью и детальностью отображая реально существующую действительность и возможные модели развития. Для создания карт сельскохозяйственных угодий используют, например, такие картографические сервисы, как Google Maps, Яндекс.Карты, 2ГИС, SAS.Planet.

Основой цифровизации сельского хозяйства являются API-платформы и решения в области обработки больших данных, технологии предиктивной аналитики и системы поддержки управления [Тесленок, Тесленок, 2015; Денисова, 2019; Щербина, 2019]. Эти

цифровые решения используются для инвентаризации земельного фонда и его агроэкологической оценки.

В Пермском крае задача цифровой инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения и их качественной оценки для конкретного предприятия является важной, отвечая концепции цифровой трансформации сельского хозяйства.

Цель исследования — провести оценку агроэкологических условий на локальном уровне для выделения факторов, ограничивающих сельскохозяйственное исследование почв (земель) и отражающих пространственную дифференциацию почвенного покрова.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Агроэкологический анализ выполнен для территории колхоза имени Вахитова Бардымского округа Пермского края (Нечерноземная зона). Площадь исследуемой территории занимает 4 826 га, в т. ч. пашни — 1 288,02 га. Территория хозяйства расположена в зоне хвойно-широколиственных лесов. Климат — умеренно-континентальный, со среднемесячными температурами января  $-15,8^{\circ}\text{C}$ , июля  $18,1^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность периода с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  — 120 дней, годовое количество осадков — 497 мм, большая часть которых выпадает в теплый период года — 280 мм.

В почвенном покрове преобладают дерново-средне- и слабоподзолистые глинистые и тяжелосуглинистые почвы. Почвообразующими породами для них служат покровные лессовидные суглинки и элювий песчаников. Распространены также элювии пермских красноцветных глин, делювиальные и современные аллювиальные отложения.

Территория землепользования располагается в пределах Тулвинско-Прикамской возвышенности, завершающей Уфимское плато, с высотами 200–300 м. Преобладание склоновых поверхностей различной длины и крутизны определили повсеместное развитие процессов эрозии. Характерно обширное расчленение территории сетью логов со значительной глубиной и крутизной склонов до  $13\text{--}15^{\circ}$ .

Создана серия агроэкологических карт, где базовой картой служила почвенная карта хозяйства м-ба 1:10 000. Серия морфометрических карт создана на основе глобальной ЦМР FABDEM<sup>1</sup> с пространственным разрешением 1" (размер ячейки  $30\times30$  м). Высотная точность оценивается в 1,12–2,88 м (по величине средней ошибки) и до 5 м для лесопокрытых территорий, что значительно точнее, чем для всех других общедоступных ЦМР [Кузнецова и др., 2023б; Hawker et al., 2022]. Возможности использования глобальных ЦМР нового поколения в агроэкологических исследованиях среднего и крупного масштабов рассмотрены в работах [Кузнецова и др., 2023а, 2023б; Ерунова и др., 2024]. Для дешифрирования актуальных контуров полей использованы высокодетальные космические снимки ESRI Satellite (ArcGIS/World Imagery). При построении карт использовали программную среду QGIS 3.2.8 и SAGA. Карты созданы в системе координат EPSG:32640 WGS 84 / UTM zone 40N. Координатная сетка построена на основе EPSG:4326 WGS 84 в м-бе 1:50 000. Геоморфометрический анализ ЦМР выполнен с использованием функциональных возможностей набора инструментов «Basic terrain analysis» SAGA GIS [Conrad et al., 2015]. Для создания карт вертикального и горизонтального расчленения территории использовали методику, изложенную ранее [Кондратьева, Чашин, 2021].

Выделение агроэкологических групп земель и их оценка осуществляется по агроэкологическим условиям, определяющим формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия. При их выделении учитывали положение в высотном ярусе и крутизну поверхностей рельефа. Преобразование непрерывных растров морфометрических характеристик рельефа в дискретные раstry группы земель осуществляли методом перекласси-

<sup>1</sup> Цифровая модель рельефа FABDEM. Электронный ресурс: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset> (дата обращения 02.06.2025)

ификации (по типу «Переклассификация с использованием операторов отношений») в растровом калькуляторе QGIS.

Методологические аспекты выделения агроэкологических групп земель и их оценки изложены в работах [Кирюшин, 2020; Кузнецова и др., 2022; Шпедт и др., 2023]. Для агроэкологической оценки и группировки земель используют данные мониторинга земель — результаты землеустроительных, почвенных, геоботанических, гидрологических, агрохимических, эрозионных, фитосанитарных и других обследований и изысканий. Методология выделения агроэкологических групп земель (агроэкологическая типология земель) предполагает анализ и условное объединение земель в группы, отражающие их общие свойства и качество, для конкретного совместного использования с учетом природно-экологических и социально-экономических условий. Основная задача типологии — выделить агроэкологически однородные территории и установить их пригодность для сельскохозяйственных растений, имеющих близкий диапазон жизненных потребностей и предъявляющих сходные требования к факторам внешней среды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для рационального использования земель на разных территориальных уровнях необходима актуальная картографическая база данных, позволяющая проводить анализ состояния качества сельскохозяйственных угодий и дифференциацию оценки плодородия почв, а также выявлять зоны деградации по данным дистанционного зондирования. Картографическое обеспечение тематическими материалами возможно с использованием геоинформационных технологий. Основой является агроэкологический анализ рельефа по морфометрическим данным, которые могут быть получены путем обработки топографических карт, космических снимков и моделей рельефа [Чащин и др., 2021].

Рельеф хозяйства — холмисто-увалистый, с высотами в пределах 178–252 м, густо расченен долинно-балочной сетью. Наименьшие отметки высот (141–180 м) приурочены к поймам рр. Брюзля и Большая Нюня (рис. 1а).

Уклоны поверхностей рельефа — до 1,5° (20 % площади). Как правило, к ним приурочены почвы гидроморфного ряда. Значительная часть территории хозяйства характеризуется уклонами 1,5–3°, что составляет 39 % (рис. 1б). При таких значениях крутизны начинают проявляться первые признаки эрозии. Значительную часть территории (26 %) занимают склоны крутизной 3–5°, к которым приурочены слабосмытые почвы. Наибольшие значения уклонов 5° и более приурочены к склонам долинно-балочной сети, а также к водораздельным поверхностям. Большая часть обрабатываемых земель располагается в пределах поверхностей с уклонами до 5°.

Горизонтальное расчленение территории изменяется от 0,5 до 2,9 км/км<sup>2</sup> с наиболее характерными значениями 0,5–1,5 км/км<sup>2</sup> (рис. 2а).

Вертикальное расчленение варьируется от 15 до 89 м. Наиболее характерные значения находятся в пределах 30–45 м, а наибольших значений (45 и более м) данный показатель достигает в восточной части землепользования, что свидетельствует о значительном эрозионном потенциале этой части территории (рис. 2б).

На основе морфометрического анализа рельефа определены высотные ярусы: менее 180, 180–220 и более 220 м. Выделенные ярусы различаются условиями дренированности территории и степенью проявления эрозионных процессов. Для низменного яруса характерна слабая степень дренированности территории, преобладают уклоны поверхности менее 1,5°. Здесь широко распространены гидроморфные и полугидроморфные почвы и пойменные ландшафты рр. Брюзля и Большая Нюня.

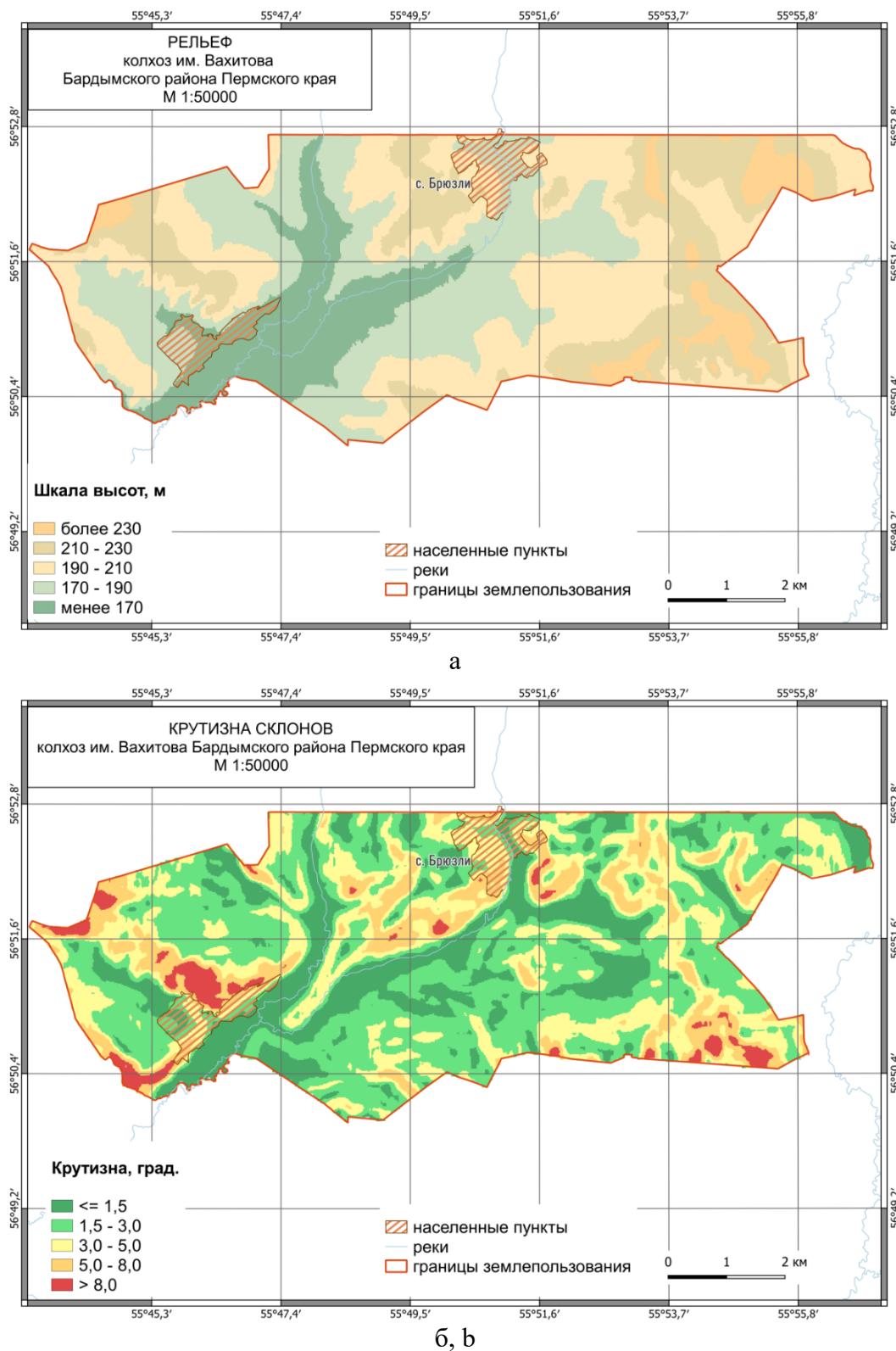


Рис. 1. Морфометрические карты: а — высот местности, б — уклоны поверхности  
Fig. 1. Morphometric maps: a — terrain heights, b — surface slopes

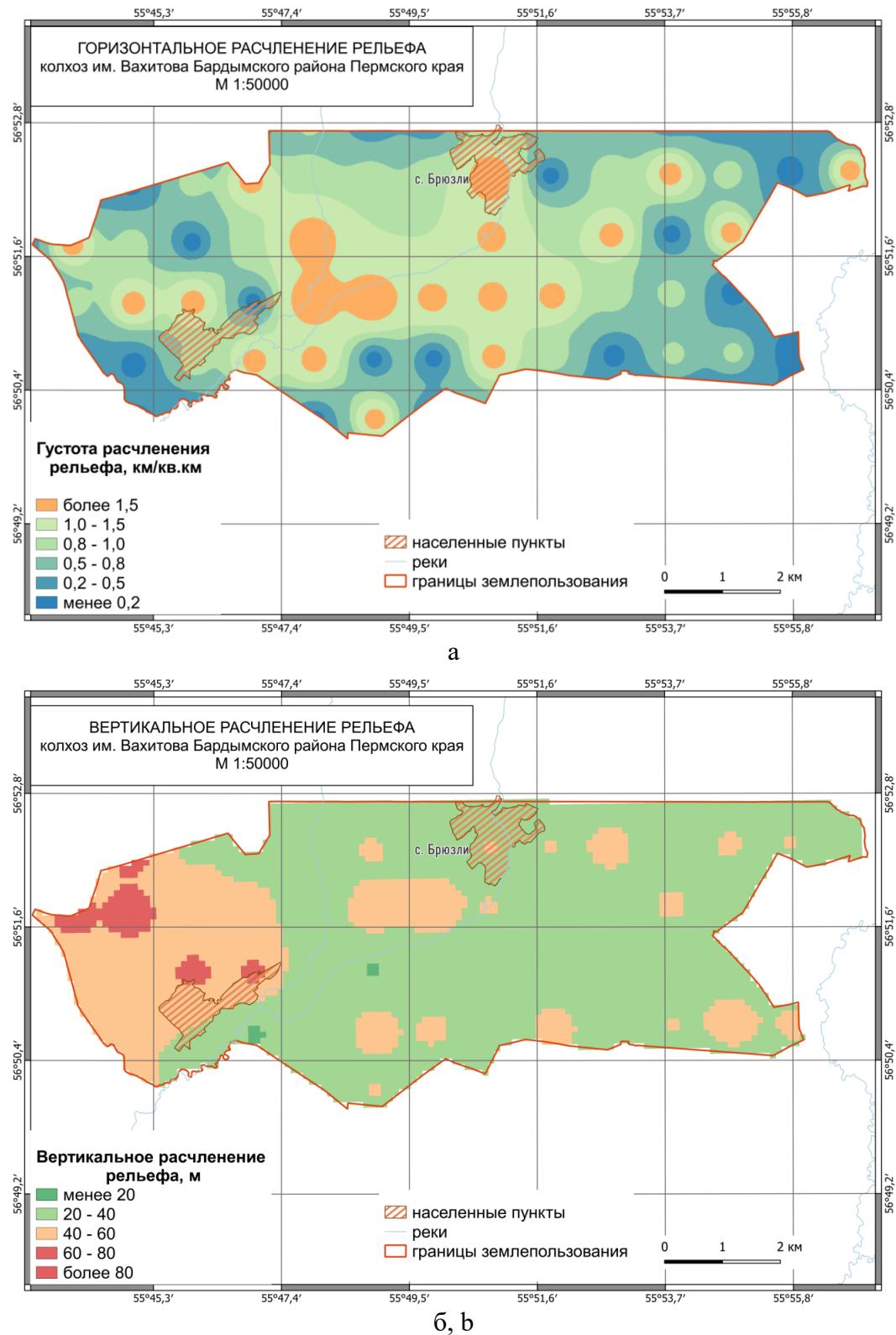


Рис. 2. Морфометрические карты горизонтального (а) и вертикального (б) расчленения  
Fig. 2. Morphometric maps of horizontal (a) and vertical (b) dissection

Нижняя граница яруса возвышенных равнин ограничена высотой 220 м. Для него свойственны хорошие условия дренированности территории, в зависимости от уклонов здесь формируются плакорные фации с зональными почвами. При уклонах выше  $2^{\circ}$  развивается эрозия. Высотный ярус 180–220 м характеризуется преобладанием склоновых поверхностей с уклонами выше  $3^{\circ}$  и значительным расчленением сетью ложбин и балок.

Почвенный покров территории представлен дерново-подзолистыми, дерново-бурыми, дерново-глеевыми, дерновыми намытыми, аллювиальными, болотными низинными почвами. Основной фон почвенного покрова землепользования формируют дерново-подзолистые почвы (рис. 3), в т. ч. дерново-слабо- и мелкоподзолистые (преимущественно сильносмытые).

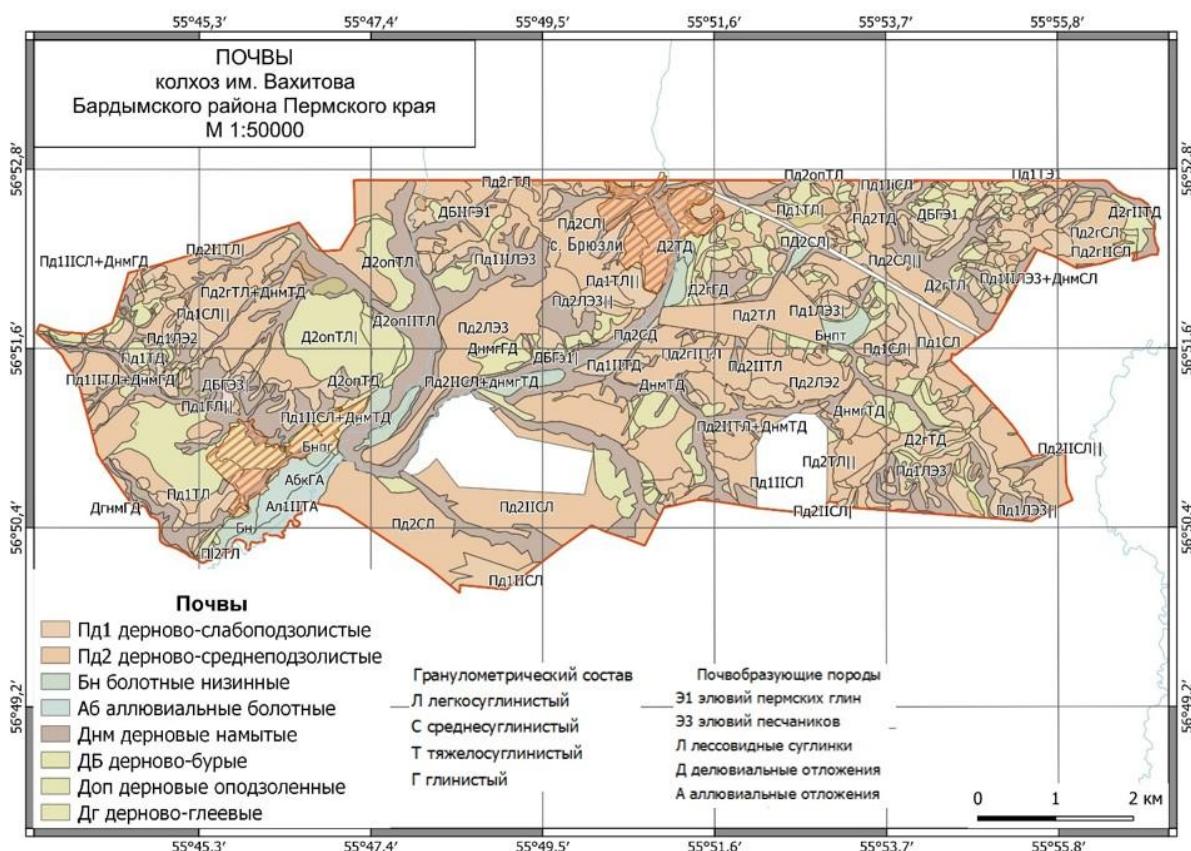
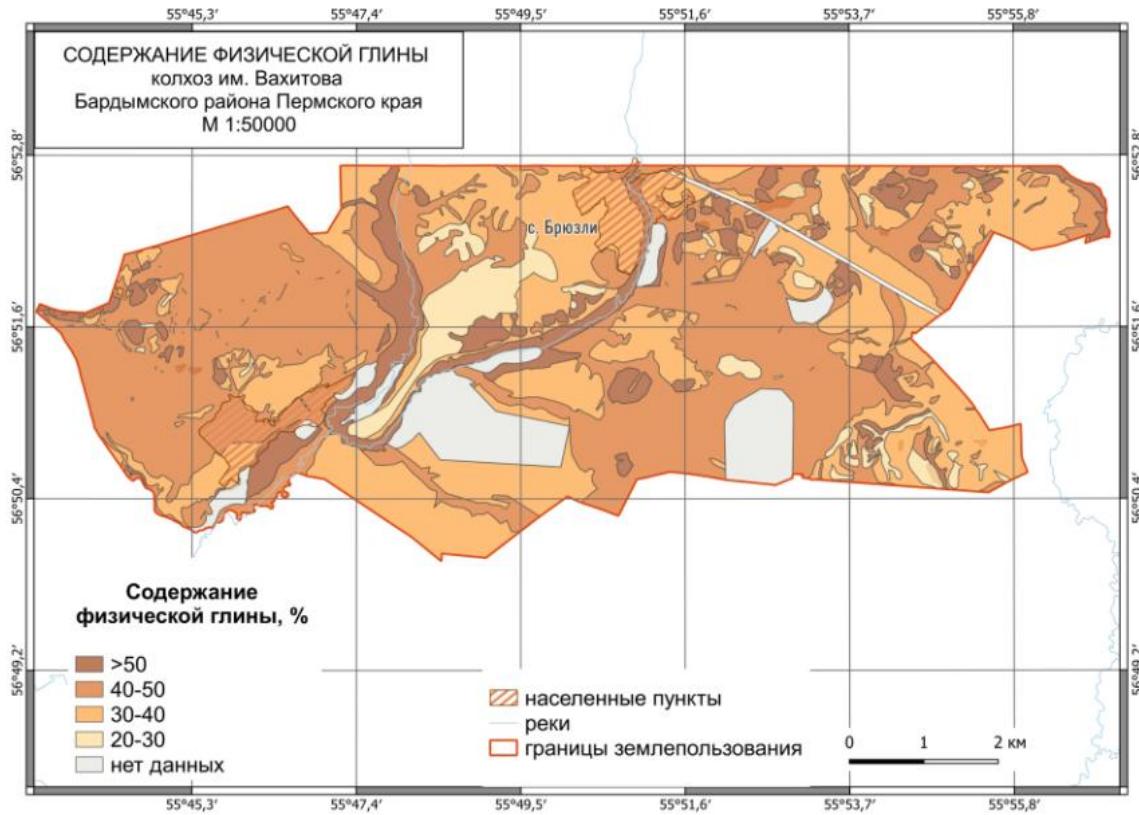


Рис. 3. Базовая почвенная карта  
Fig. 3. Basic soil map

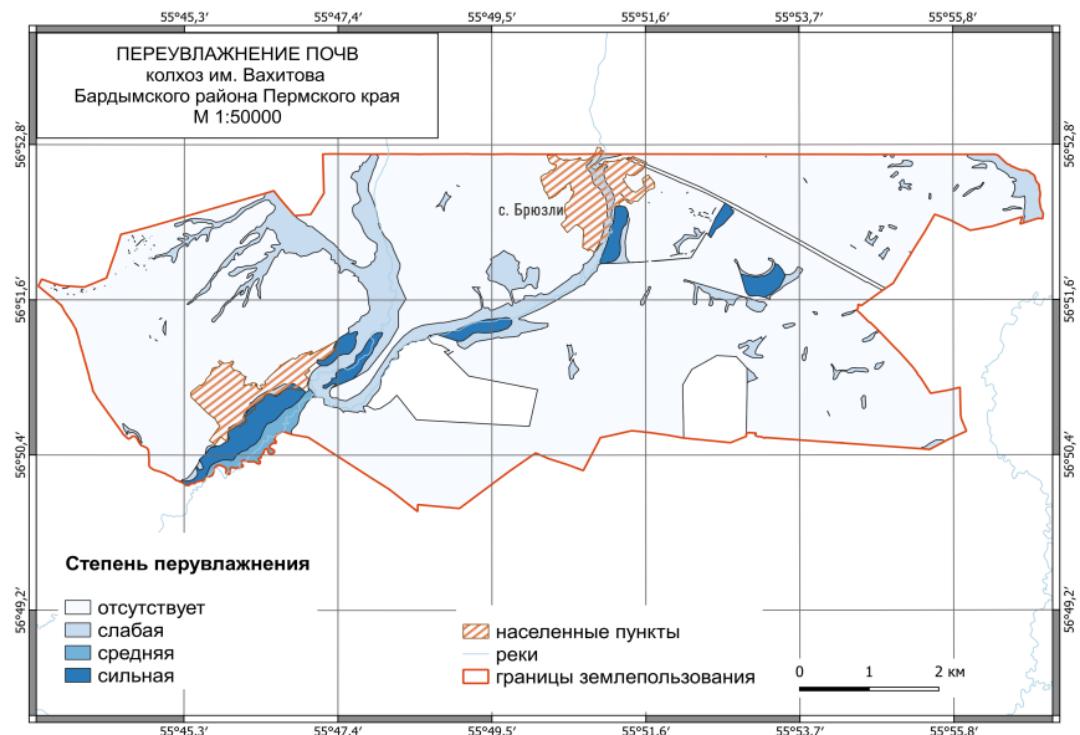
Дерново-среднеподзолистые почвы имеют тяжело- и среднесуглинистый состав и занимают ровные поверхности водоразделов, покатых и пологих склонов. Дерново-слабоподзолистые почвы большей частью приурочены к склонам. В ложбинообразных понижениях и долинно-балочной сети сформировались намытые дерново-глеевые почвы, которые образованы на делювиальных отложениях. К склонам привершинных водосборных ложбин и балок приурочены дерновые оподзоленные и дерновые почвы.

Содержание физической глины (ФГ) характеризует гранулометрический состав почв [Теории и методы физики почв, 2007; The Pedosphere and its Dynamics, 1999; Blott, Ryee, 2012; Soil Survey Manual..., 2017]. Пространственное изменение содержания ФГ является причиной варьирования водно-физических свойств: агрегатного и микроагрегатного составов, удельной поверхности, основной гидрофизической характеристики, влаго-

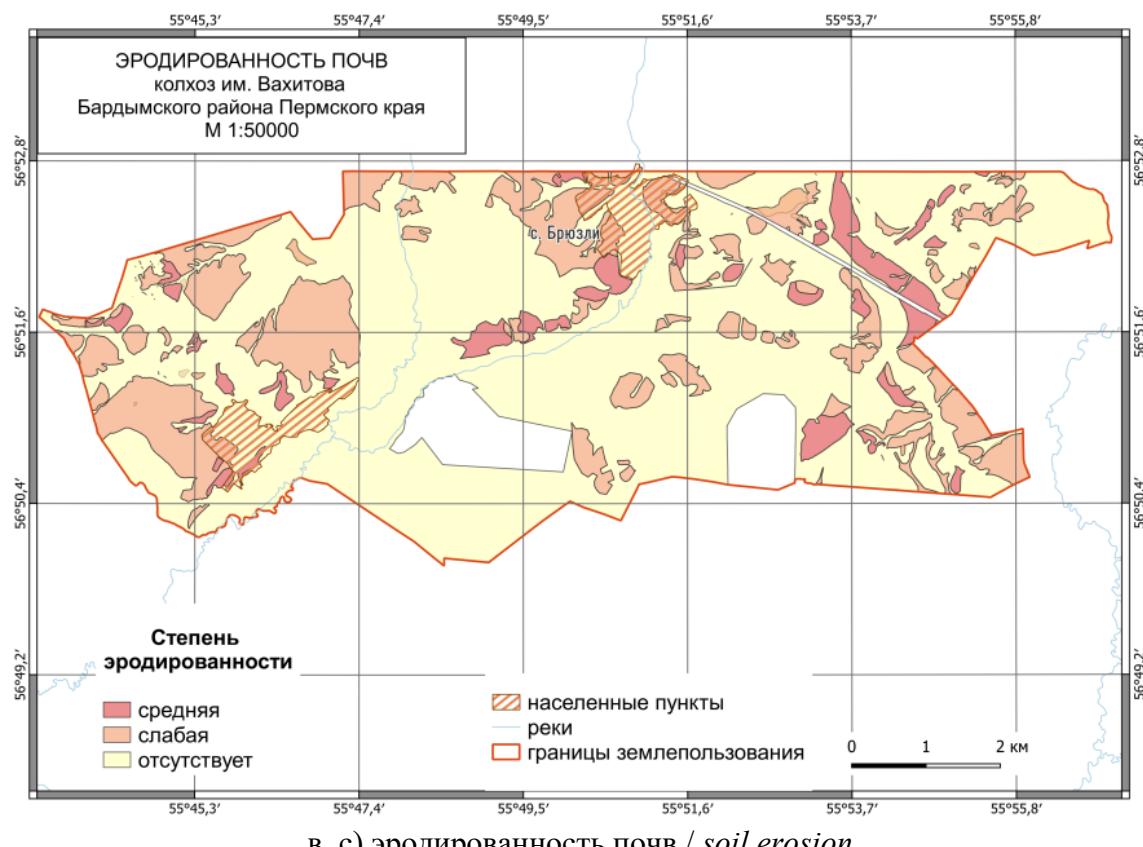
проводности [Татаринцев и др., 2012; Самофалова, 2014]. Высокое содержание ФГ является лимитирующим фактором, ограничивающим сельскохозяйственное использование земель [Татаринцев и др., 2012; Самофалова и др., 2013; Кирюшин, 2020]. Содержание ФГ варьируется в почвах хозяйства от 20 до 65 % (рис. 4а).



а) содержание физической глины / physical clay content



б, б) переувлажненность почв / soil waterlogging



в, с) эродированность почв / *soil erosion*

Рис. 4. Карты индикаторов свойств почв  
Fig. 4. Maps of soil property indicators

Выделены 5 категорий ЭПА по содержанию физической глины в горизонтах А, А<sub>1</sub>, А<sub>пах</sub>:

1. Содержание физической глины 20–30 % имеют почвы: дерново-слабо- и среднеподзолистые различной степени смытости; почвообразующими породами для них служит элювий песчаников, площадь этой категории составляет 254 га.
2. Содержание физической глины 30–40 % характерно для дерново-средне- и слабоподзолистых почв, в т. ч. среднесмытых; почвообразующими породами для них послужили лессовидные суглинки. В эту категорию также входят почвы овражно-балочной сети, площадь — 1 629 га.
3. Содержание физической глины 40–50 % имеют дерново-слабо- и среднеподзолистые, дерново-глееватые, дерновые оподзоленные, почвы овражно-балочной сети; занимаемая площадь — 2 099 га.
4. Содержание физической глины от 50 до 65 %: дерново-бурые разной степени смытости, дерновые намытые, аллювиальные; занимаемая данной категорией площадь — 507 га.
5. В отдельную категорию выделены почвы с органогенным профилем.

Таким образом, на большей части земель преобладают почвы тяжело- и среднесуглинистой разновидностей, занимая 77 % от общей площади.

В числе факторов, снижающих агроэкологический потенциал почв хозяйства, присутствуют эродированность и переувлажненность почв. Избыточное увлажнение является одним из важнейших факторов, ограничивающих использование почв. Этот фактор

лимитирует рост и развитие сельскохозяйственных культур, нивелирует другие благоприятные свойства почв, делает малоэффективным внесение удобрений [Юндунов и др., 2003; Юндунов, 2007; Самофалова и др., 2013; Кирюшин, 2020; Столбовой, Гребенников, 2020; Елтошкина, 2022; Кондратьева, Самофалова, 2024].

Переувлажненные почвы, преимущественно слабогидроморфные, занимают 24 % площади землепользования. Они приурочены, главным образом, к элементам долинно-балочной сети (рис. 4б).

Высокая энергия рельефа определяет широкое распространение смытых почв. Площадь смытых (преимущественно слабосмытых) почв составляет более 1 200 га, или 25 % площади (рис. 4в). В наибольшей степени смыву подвержены дерново-слабо- и мелкоподзолистые почвы на лессовидных суглинках, а также дерново-бурые почвы, приуроченные к приводораздельным склонам с уклонами более 3°.

На основе анализа факторов, снижающих агротехнологический потенциал почв хозяйства, выделены агротехнологические группы земель (рис. 5): зональные, эрозионные, полугидроморфно-эрэзионные, гидроморфно-подчиненные, гидроморфно-пойменные.

Зональная группа земель соответствует дренированным плоским равнинам на четвертичных отложениях и представлена зональными почвами (почвы: Пд1, Пд2). Эта группа занимает высотный ярус от 220 м с уклонами поверхности в пределах 2°. Общая площадь зональной группы земель не превышает 1,5 %, и поэтому при разработке агротехнологий возможно ее включить в группу эрозионных земель, на площадь которых приходится почти четверть территории площади хозяйства (24 %).

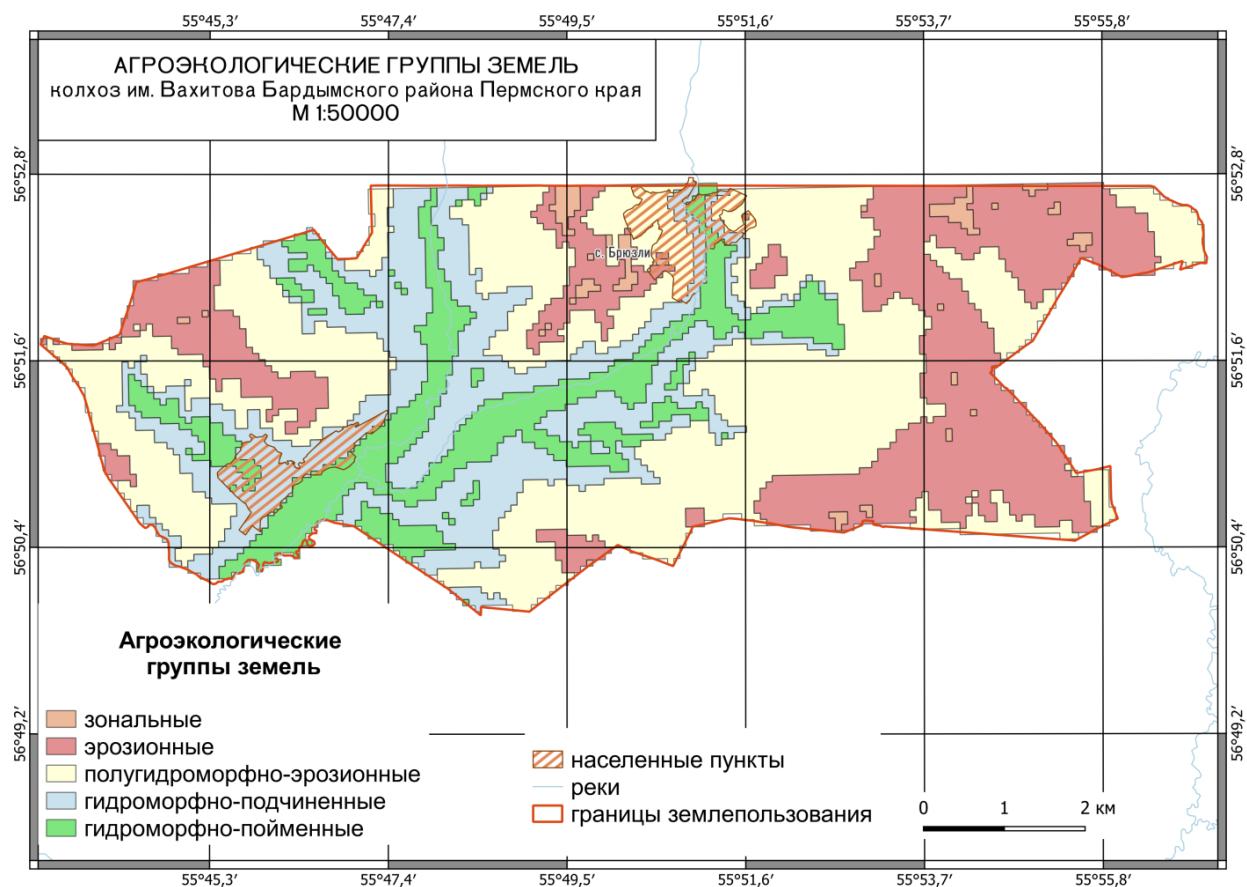


Рис. 5. Карта агротехнологических групп земель

Fig. 5. Map of agroecological land groups

Эрозионная группа земель (1 158 га) занимает этот же высотный ярус, но с крутизной поверхностей рельефа, превышающей 2°. Для этой группы земель характерно увеличение контрастности и сложности почвенного покрова, в котором значительно участие слабо- и среднесмытых почв — 35 %, доля полугидроморфных не превышает 2,5 %. Различия в урожайности на разных компонентах эрозионных структур могут быть сглажены только при высоком уровне применения удобрений.

Большая часть территории хозяйства отнесена к полугидроморфно-эрэзионной группе земель (почвы: ДБ, Дг, Днм, Доп). Группа занимает высотный ярус 190–220 м с уклонами поверхностей рельефа более 2°. В почвенном покрове характерно участие слабо- и среднесмытых дерново-подзолистых и дерново-бурых почв со слабоглееватыми и глееватыми, а также намытыми почвами. Доля эродированных почв составляет 28 %, переувлажненных — 6 %; в целом на долю этой агроэкологической группы приходится 2 327 га (48 %).

Высотный ярус менее 190 м характеризуется слабой дренированностью. В зависимости от характера уклонов, ярус отчетливо разделен на 2 группы: полугидроморфно-подчиненную (почвы: Бн, Пд<sup>Г</sup>, Дг) и гидроморфно-пойменную (почвы: Аб). Первая из них, площадью 716 га (15 %), приходится на ложбинообразные понижения крутизной более 1,5°. Гидроморфно-пойменная группа земель занимает площадь 559 га (12 %).

Цифровое картографирование по основным компонентам ландшафта и свойствам почв помогло определить факторы, ограничивающие сельскохозяйственное использование: переувлажнение и эрозию, что в свою очередь позволило выделить агроэкологические группы земель для рационального природопользования. Для конкретных условий хозяйства невозможно использование зональных агротехнологий, т. к. эта группа земель представлена фрагментарно. Большая часть сельхозугодий расположена на эрозионных и гидроморфных землях, предполагающих соответствующее использование. В соответствии с характером лимитирующих факторов на исследуемой территории и набором мероприятий по их преодолению сформировались типы земель, представляющие собой однородные участки, объединенные по агроэкологическим требованиям культур и условиям возделывания. Подбор культур необходимо проводить в соответствии с почвенно-ландшафтными условиями. В зависимости от категории земель проектируется их дальнейшее сельскохозяйственное использование.

## ВЫВОДЫ

Определение качества угодий, их пригодность к сельскохозяйственному использованию является приоритетной задачей современного общества. Уточнение почвенных разновидностей является необходимым для составления экономических прогнозов, планирования природоохранных мероприятий, а также разработки схем использования сельскохозяйственных угодий. Использование геоинформационных технологий дает такую возможность и решает важнейшую оптимальную задачу сохранения и воспроизводства агроландшафтов.

Настоящее исследование демонстрирует применение на практике следующих ключевых аспектов агроэкологической оценки земель. Во-первых, оно предоставляет сельскохозяйственным предприятиям практический инструментарий для агроэкологической оценки земель, включая методы анализа лимитирующих факторов и разработки адаптивных систем землепользования. Во-вторых, работа демонстрирует эффективность применения современных геоинформационных технологий и цифровых моделей рельефа нового поколения (FABDEM) для решения задач агроэкологического картографирования. Данный подход позволяет получить целостное представление о состоянии агроландшафтов. Полученные результаты имеют выраженную локальную специфику, однако предла-

гаемые методические подходы могут быть адаптированы и для других территорий со сложными почвенно-ландшафтными условиями.

Научную ценность представляет созданная серия специализированных картографических материалов, которые отражают современное состояние земель и служат основой для прогнозного моделирования.

Проведенное исследование открывает новые перспективы для развития прецизионного земледелия и устойчивого управления земельными ресурсами, соответствующим современным тенденциям цифровизации сельского хозяйства. Полученные результаты могут быть использованы как для решения прикладных задач сельхозпроизводства, так и для дальнейших научных изысканий в области агроэкологического картографирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Гопп Н. В., Нечаева Т. В., Савенков О. А., Смирнова Н. В., Смирнов В. В.* Методы геоморфометрии и цифрового картографирования для оценки пространственной изменчивости свойств агросерой почвы склона. *Почвоведение*, 2017. № 1. С. 24–34. DOI: 10.1134/S1064229317010082.

*Денисова Е. В.* Применение геоинформационных технологий для анализа состояния земель сельскохозяйственного назначения. *Астраханский вестник экологического образования*. 2019. № 4. С. 33–39.

*Денисова Е. В.* Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий. *Исследование земли из космоса*, 2021. № 5. С. 15–24. DOI: 10.31857/S0205961421050031.

*Елтошкина Н. В.* Геоинформационное картографирование земель сельскохозяйственного назначения. *Московский экономический журнал*, 2022. № 3. С. 31–46.

*Ерунова М. Г., Кузнецова А. С., Шнедт А. А., Якубайлик О. Э.* Геоморфометрический анализ рельефа сельскохозяйственных территорий на основе данных дистанционного зондирования. Проблемы плодородия почв в современном земледелии. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель. Красноярск, 2024. С. 413–416. DOI: 10.52686/9785605087878\_413.

*Кирюшин В. И.* Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель. *Почвоведение*, 2020. № 7. С. 871–879. DOI: 10.31857/S0032180X20070060.

*Кирюшин В. И., Юрова А. Ю., Дубачинская Н. Н.* Комплексная оценка сельскохозяйственных земель на примере Южного Урала. *Почвоведение*, 2021. Т. 54. № 11. С. 1721–1731. DOI: 10.31857/S0032180X21110083.

*Кондратьева М. А., Самофалова И. А.* Картографическое обеспечение раздела «Агроэкологические карты» в региональном атласе. ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: МГУ, Географический факультет, 2024. Т. 30. Ч. 2. С. 120–135. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-120-135.

*Кондратьева М. А., Чащин А. Н.* Оценка эрозионной опасности рельефа на основе цифрового моделирования. ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: МГУ, Географический факультет, 2021. Т. 27. Ч. 2. С. 241–252. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-241-252.

*Кузнецова А. С., Ерунова М. Г., Якубайлик О. Э.* Технологии создания банка геопространственных данных опытно-производственных хозяйств ФИЦ КНЦ СО РАН. Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири. Материалы международной научно-производственной конференции. Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2023а. С. 239–244. DOI: 10.52686/9785604525050\_376.

*Кузнецова А. С., Пушкарев А. А., Краснощеков К. В., Якубайлик О. Э., Ерунова М. Г.* Применение FABDEM и других современных цифровых моделей рельефа в системе аграрного мониторинга. Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2023б. № 4(32). С. 139–147. DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012.

*Самофалова И. А.* Системный анализ гранулометрического состава дерново-подзолистых почв. Актуальные проблемы аграрной науки в XXI веке. Материалы международной научно-практической конференции, ФГБУО ВО Пермская ГСХА. Пермь: Прокрость, 2014. С. 97–100.

*Самофалова И. А.* Агроэкологическая оценка баланса гумуса и элементов питания в почвах нечерноземной зоны. Проблемы плодородия почв в современном земледелии. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель. Красноярск: НИИСХ ОП ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. С. 126–129. DOI: 10.52686/9785605087878\_126.

*Самофалова И. А., Мудрых Н. М., Каменских Н. Ю., Лобанова Ю. А.* Агроэкологическая типизация земель как основа совершенствования внутрихозяйственного землеустройства, системы севооборотов и удобрений. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. № 5(103). С. 45–50.

*Столбовой В. С., Гребенников А. М.* Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ. Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева, 2020. Вып. 104. С. 31–67. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67.

*Татаринцев В. Л., Татаринцев Л. М., Рассыпнов В. А.* Гранулометрический состав почв Алтайского Приобья и его агроэкологическая оценка. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012. № 6(92). С. 36–40.

Теории и методы физики почв. Коллективная монография. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.

*Тесленок К. С., Тесленок С. А.* Геоинформационно-картографическое обеспечение управленических решений сельскохозяйственного природопользования. Молодой ученый, 2015. Т. 5. № 6(86). С. 59–62.

*Чащин А. Н., Самофалова И. А., Мудрых Н. М.* Использование морфометрических показателей рельефа для почвенного картографирования пашни в условиях средней тайги в северной части Пермского края. ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: МГУ, Географический факультет, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 162–174. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-162-174.

*Шпедт А. А., Ерунова М. Г., Злотникова В. В.* Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов с использованием ГИС-технологий. Земледелие, 2023. № 8. С. 9–13. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-8-9-13.

*Щербина Т. А.* Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы. Россия: тенденции и перспективы развития, 2019. № 14-1. С. 450–453.

*Юндунов Х. И.* Геоинформационное картографирование при агроэкологической оценке сельскохозяйственных угодий Иркутской области. Актуальные вопросы развития регионального АПК. Иркутск: ИрГАУ, 2007. 91 с.

*Юндунов Х. И., Елтошкина Н. В., Пономаренко Е. А.* Картографическое и геоинформационное обеспечение оптимизации землепользования. Материалы региональной научно-практической конференции. Иркутск: ИрГАУ, 2003. С. 58–59.

*Blott S. J., Pye K.* Particle Size Scales and Classification of Sediment Types Based on Particle Size Distributions: Review and Recommended Procedures. *Sedimentology*, 2012. No. 59(7). P. 2071–2096.

*Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E. K., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J.* System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 2015. V. 8. Iss. 7. P. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.

*Hawker L., Uhe P., Neal J., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C.* A 30 m Global Map of Elevation with Forests and Buildings Removed. *Environmental Research Letters*, 2022. V. 17. Iss. 2. Art. 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.

Soil survey manual. Soil Survey Division Staff. United States Department of Agriculture. 2017. No. 18. 120 p.

*Van Ranst E.* The Pedosphere and its Dynamics. A Systems Approach to Soil Science. V. 1: Introduction to Soil Science and Soil Science Resources. N. G. Juma, Salman Productions, University of Alberta, Edmonton. 1999. Hardcover, 315 p. *Geoderma*, 2001. V. 101. Iss. 3–4. P. 149–151. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00014-3.

*Wilson J. P.* Digital Terrain Modeling. *Geomorphology*, 2012. V. 137. Iss. 1. P. 107–121. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012.

## REFERENCES

*Blott S. J., Pye K.* Particle Size Scales and Classification of Sediment Types Based on Particle Size Distributions: Review and Recommended Procedures. *Sedimentology*, 2012. No. 59(7). P. 2071–2096.

*Chashchin A. N., Samofalova I. A., Mudrykh N. M.* The Use of Morphometric Indicators of the Relief for Soil Mapping of Around Plants in the Conditions of the Middle Taiga in the Northern Part of the Perm Region. InterCarto. InterGIS. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2021. V. 27. Part 4. P. 162–174 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-162-174.

*Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E. K., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J.* System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 2015. V. 8. Iss. 7. P. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.

*Denisova E. V.* Application of Geoinformation Technologies for the Analysis of the State of Agricultural Lands. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2019. No. 4. P. 33–39 (in Russian).

*Denisova E. V.* Assessment of the Efficiency of Agricultural Land Use using GIS Technologies. *Earth Research from Space*, 2021. No. 5. P. 15–24 (in Russian). DOI: 10.31857/S0205961421050031.

*Eltoshkina N. V.* Geoinformation Mapping of Agricultural Land. *Moscow Economic Journal*, 2022. No. 3. P. 31–46 (in Russian).

*Erunova M. G., Kuznetsova A. S., Shpedt A. A., Yakubailik O. E.* Geomorphometric Analysis of the Relief of Agricultural Areas Based on Remote Sensing Data. *Soil Fertility Problems in Modern Agriculture. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, dedicated to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands. Krasnoyarsk, 2024. P. 413–416 (in Russian). DOI: 10.52686/9785605087878\_413.

*Gopp N. V., Nechaeva T. V., Savenkov O. A., Smirnova N. V., Smirnov V. V.* The Methods of Geomorphometry and Digital Soil Mapping for Assessing Spatial Variability in the Properties of Agrogray Soils on a Slope. *Eurasian Soil Science*, 2017. V. 50. No. 1. P. 20–29. DOI: 10.1134/S1064229317010082.

*Hawker L., Uhe P., Neal J., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C.* A 30 m Global Map of Elevation with Forests and Buildings Removed. *Environmental Research Letters*, 2022. V. 17. Iss. 2. Art. 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f.

*Kiryushin V. I.* Methodology for Integrated Assessment of Agricultural Land. *Eurasian Soil Science*, 2020. V. 53. No. 7. P. 960–967. DOI: 10.31857/S0032180X20070060.

*Kiryushin V. I., Yurova A. Y., Dubachinskaya N. N.* Comprehensive Assessment of Agricultural Land by the Example of the Southern Urals. *Eurasian Soil Science*, 2021. V. 54. No. 11. P. 1721–1731. DOI: 10.31857/S0032180X21110083.

*Kondrateva M. A., Chashchin A. N.* Assessment of Erosion Risk of Relief Based on the Digital Modeling. *InterCarto. InterGIS*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2021. V. 27. Part 2. P. 241–252 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-241-252.

*Kondratieva M. A., Samofalova I. A.* Cartographic Support of the Section “Agroecological Maps” in the Regional Atlas. *InterCarto. InterGIS*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2024. V. 30. Part 2. P. 120–135 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-120-135.

*Kuznetsova A. S., Erunova M. G., Yakubailik O. E.* Technologies for Creating a Bank of Geospatial Data of Agricultural Experimental Production Facility of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”. Modern Problems and Prospects for the Development of Agrochemistry, Agriculture and Related Sciences on Soil Fertility and Productivity of Field Crops in Siberia. Proceedings of the International Scientific and Production Conference. Krasnoyarsk: Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 2023a. P. 239–244 (in Russian). DOI: 10.52686/9785604525050\_376.

*Kuznetsova A. S., Pushkarev A. A., Krasnoshchekov K. V., Yakubailik O. E., Erunova M. G.* Application of FABDEM and other Modern Digital Elevation Models in the Agricultural Monitoring System. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2023b. No. 4(32). P. 139–147 (in Russian). DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012.

*Samofalova I. A.* System Analysis of the Granulometric Composition of Soddy-Podzolic Soils. Actual Problems of Agrarian Science in the XXI Century. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Perm State Agricultural Academy. Perm: Prokrost, 2014. P. 97–100 (in Russian).

*Samofalova I. A.* Agroecological Assessment of the Balance of Humus and Nutrient Elements in Soils of the Non-Chernozem Zone. Soil Fertility Problems in Modern Agriculture. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the development of virgin and fallow lands. Krasnoyarsk: The Scientific Research Institute of Agriculture — a separate division of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. P. 126–129 (in Russian). DOI: 10.52686/9785605087878\_126.

- Samofalova I. A., Mudrykh N. M., Kamenskikh N. Yu., Lobanova Yu. A.* Agro-Ecological Land Typification as a Basis for Improving On-Farm Land Management, Crop Rotation and Fertilizer Systems. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2013. No. 5(103). P. 45–50 (in Russian).
- Shcherbina T. A.* Digital Transformation of Agriculture in the Russian Federation: Experience and Prospects. Russia: Development Trends and Prospects, 2019. No. 14-1. P. 450–453 (in Russian).
- Shpedt A. A., Erunova M. G., Zlotnikova V. V.* Methodology for Assessing the Natural Resource Potential of Agricultural Landscapes using GIS Technologies. Zemledelie (Agriculture), 2023. No. 8. P. 9–13 (in Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2023-8-9-13.
- Soil survey manual. Soil Survey Division Staff. United States Department of Agriculture. 2017. No. 18. 120 p.
- Stolbovoy V. S., Grebennikov A. M.* Soil Quality Indicators of Arable Lands in the Russian Federation. Dokuchaev Soil Bulletin, 2020. V. 104. P. 31–67 (in Russian). DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67.
- Tatarintsev V. L., Tatarintsev L. M., Rassypnov V. A.* Granulometric Composition of Soils of the Altai Ob Region and its Agroecological Assessment. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2012. No. 6(92). P. 36–40 (in Russian).
- Teslenok K. S., Teslenok S. A.* Geoinformation and Cartographic Support for Management Decisions in Agricultural Nature Management. Young Scientist, 2015. V. 5. No. 6(86). P. 59–62 (in Russian).
- Theories and Methods of Soil Physics. Collective monograph. Moscow: Grif and K, 2007. 616 p. (in Russian).
- Van Ranst E.* The Pedosphere and its Dynamics. A Systems Approach to Soil Science. V. 1: Introduction to Soil Science and Soil Science Resources. N. G. Juma, Salman Productions, University of Alberta, Edmonton. 1999. Hardcover, 315 p. Geoderma, 2001. V. 101. Iss. 3–4. P. 149–151. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00014-3.
- Wilson J. P.* Digital Terrain Modeling. Geomorphology, 2012. V. 137. Iss. 1. P. 107–121. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012.
- Yundunov H. I.* Geoinformation Mapping in Agroecological Assessment of Agricultural Lands in the Irkutsk Region. Current Issues in the Development of the Regional Agro-Industrial Complex. Irkutsk: IrSAU, 2007. 91 p. (in Russian).
- Yundunov H. I., Eltoshkina N. V., Ponomarenko E. A.* Cartographic and Geoinformation Support for Land Use Optimization. Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference. Irkutsk: IrSAU, 2003. P. 58–59 (in Russian).