

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ АГРОФИЗИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИИ

**Представлены новые возможности для анализа и оценки агрофизических свойств почвенного покрова, использования агрофизической информации в ландшафтном земледелии. Эти возможности реализуются путем использования геостатистических методов, получения топоизоплет свойств и выделения контуров оптимальной, неблагоприятной или крайне неблагоприятной агрофизической обстановки.**

**Ключевые слова:** агрофизическая оценка, геоинформационные системы (ГИС), изоплеты, почва, ландшафт, физические свойства.

При оптимизации управления сельскохозяйственными ландшафтами возникает необходимость учета и оценки латеральной неоднородности почвенно-физических свойств. До настоящего времени разработки в области оценки и оптимизации физических свойств почв ведутся в масштабах отдельного почвенного горизонта или целого почвенного профиля [1, 4, 6, 8]. Однако в зависимости от масштаба рассматриваемого явления подходы и критерии количественной оценки должны быть специфическими, они должны учитывать закономерности варьирования свойств и процессов не только в пределах элементарных почвенных ареалов, но и почвенного покрова в целом [5, 10]. Поэтому проблема несовершенства существующих подходов и методических отличий при выделении границ почвенных контуров и различных по почвенно-физическим условиям зон является весьма актуальной. Для отображения фактической ситуации в агроландшафте требуются новые подходы, в основе которых должна лежать традиционная гео- и почвенная информация с учетом пространственной структуры варьирования физических свойств. Представление, анализ и обобщение такой информации возможны с применением геостатистических методов и использованием геоинформационных систем (ГИС), которые находят все более широкое применение как в почвоведении, так и в смежных областях естествознания (науках о Земле). В оболочках программных пакетов ГИС можно осуществлять построение и анализ карт. Применение географической информационной системы является следующим качественным этапом изучения пространственных объектов. Наряду с ГИС существует целый ряд других информационных систем, однако глав-

ным преимуществом ГИС над этими системами является возможность манипулирования и анализа обрабатываемой и получаемой информации.

Географическая информационная система (ГИС) – это автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит графическая информация. Современные ГИС комбинируют информацию трех уровней: карты, модели и базы данных, содержащие подробные сведения о конкретных точках пространства [11].

Информация в ГИС содержится в виде тематических слоев, которые могут отображать данные как в виде растровых, так и в виде векторных изображений, и подчиняется единому правилу: один слой – один параметр (свойство, комбинация свойств, тип объекта и т. д.). В векторной модели информация о точках, линиях и полигонах кодируется и хранится в виде набора координат  $x, y$ . Местоположение точки (точечного объекта), например, почвенного разреза описывается парой координат  $(x, y)$ . Линейные объекты, такие как дороги, реки, сохраняются как наборы координат  $x, y$ . Полигональные объекты типа речных водосборов, земельных участков хранятся в виде замкнутого набора координат. Векторная модель особенно удобна для описания дискретных объектов и меньше подходит для описания непрерывно меняющихся свойств, таких как типы почв или изменение физических свойств почв.

В агрофизике основой для работы с ГИС являются почвенная карта, топокарта, спутниковые снимки. Для исследований необходимо наличие готовой, желательно крупномасштабной топографической основы и почвенной кар-

ты с определенной координатной сеткой, шаг которой будет определяться размером поля, почвенным покровом, рельефом и целями исследования. При отсутствии топокарты необходимо провести нивелирную съемку поля, а при отсутствии почвенной карты – сделать морфологическое описание почвенных разрезов. На следующем этапе проводятся полевые измерения физических свойств, урожайности и отбор образцов для лабораторных исследований, рассчитываются агрофизические показатели и создаются сводные таблицы изученных свойств. При проведении полевых исследований используются экспресс-методы, которые позволяют быстро и эффективно оценить физические свойства почв, а соответственно агрофизическую ситуацию почвенного покрова в ландшафте.

Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями системы. Например, географическая информация и информация по физическим свойствам почв может быть в разных масштабах. Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе. ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными и выделения данных, необходимых для конкретной задачи. Как, например, построение изоплет физических свойств почв на основе базы данных с помощью той или иной процедуры интерполяции (кригинг, сплайн, IDW и т. п.), получение изолиний, представляющих собой горизонтальные сечения построенной поверхности на уровнях, равных заданным значениям (отдельные слои электронной карты).

При наличии ГИС и географической информации можно для любой точки получить характеристику плотности, водопроницаемости на разных глубинах, а также раскрыть более сложные, требующие дополнительного анализа закономерности – каковы значения агрофизических свойств для данного типа почв и т. п. С помощью ГИС можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать сценарии по типу «что будет, если...». Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее значимы два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, на-

зываемый буферизацией: вокруг точечного (почвенный разрез, скважина), линейного (река, овраг, дорога), полигонального (озеро, почвенный контур) объекта на заданном радиусе выделяется зона. И далее возможно проанализировать, какие объекты попадают в эту зону. Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интегрировать данные о почвах, агрофизических свойствах, уклоне, растительности и землевладении со ставками земельного налога. Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты, схемы или графика. Карта – это очень эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации. Наиболее существенный момент при построении карт (в том числе и агрофизических) – это разбивка свойств по градациям. Для правильной интерпретации полученных карт рекомендуется воспользоваться традиционными в почвоведении классификациями. В качестве критериев для агрофизических оценок по плотности, сопротивлению пенетрации, водопроницаемости и запасам продуктивной влаги часто используются классификации, приведенные в отечественной и зарубежной литературе [1, 2, 3, 7, 9, 12].

Дальнейшая работа со слоями электронной карты (картограммами свойств) зависит от задач, стоящих перед исследователем. Например, можно получить пространственную информацию о почвенных свойствах, которые лежат в определенном интервале, заданном пользователем, т. е. выделить зоны с благоприятными и неблагоприятными физическими условиями или в неоднородном почвенном покрове рассчитать удельные площади с различными категориями физических свойств пахотного горизонта относительно площади определенного почвенного контура и т. д.

В качестве примера приведем работы с ГИС при агрофизической оценке комплексного почвенного покрова Владимирского ополья (г. Суздаль) по результатам исследований, прово-

димых коллективом факультета почвоведения МГУ [5].

Общая площадь обследованного участка составила 2,7 га. Для исследования свойств почвенного покрова участка была заложена регулярная сеть точек, имеющих точные координаты. Проведенные ранее работы [6, 10] показали, что пространственная организация плотности комплекса серых лесных почв характеризуется чередованием почвенных структур диаметром около 30–40 метров. В связи с этим для изучения физических свойств почв был выбран шаг регулярной сетки 30 м. Всего на участке расположилось 44 точки, в которых проводилось изучение морфологического строения почв, а для комплексной характеристики агрофизического состояния определялись следующие свойства: плотность почвы, влажность, соответствующая НВ, коэффициент фильтрации и сопротивление пенетрации. Опробование физических свойств проводилось в пахотном и подпахотном горизонтах на глубинах 0, 10, 20, 30, 40, 50 см, что позволило охарактеризовать состояние основной части корнеобитаемого слоя. Также были проведены нивелирная и теодолитная съемки и по всем точкам сетки. Полученные данные были обработаны и проанализированы с использованием статистических и геостатистических методов и пакетов программ STATISTICA 6.0, Surfer 7.0, ArcGIS 8.3.

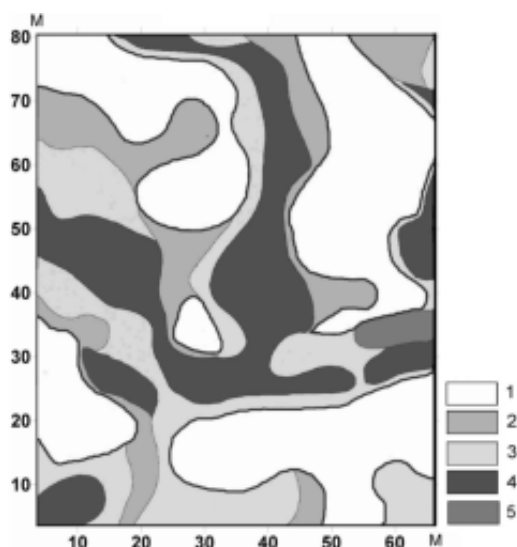
Почвенная карта-схема участка представлена на рис. 1. Основными структурообразующими элементами в почвенном покрове Владимирского ополья являются серые лесные почвы различной степени оподзоленности и серые лесные почвы, имеющие в составе своего профиля второй гумусовый горизонт (ВГГ). ВГГ наиболее важный в диагностическом и агрофизическом отношении горизонт почв ландшафтов ополья, и его роль в функционировании почв и подборе мероприятий по использованию почвенного покрова возрастает с увеличением его мощности.

Детальное пространственное обследование агроландшафта показало, что физические свойства почв сильно варьируют в преде-

лах исследуемого участка. В качестве примера приведем послойный анализ значений плотности почвы (рис. 2). Используя оценочные критерии классификации по А.Г. Бондареву [1], можно отметить, что в целом для всего участка характерны оптимальные значения ( $< 1,3 \text{ г/см}^3$ ).

При сопоставлении топоизоплант значений плотности почв на различных глубинах с почвенной картой обнаруживается связь между морфологией почв и значениями плотности. Свыше 90% площади серых лесных оподзоленных почв имеют повышенную плотность и высокую однородность значений во всех слоях глубже 10 см.

Участки с пониженной плотностью соответствуют контуру почв со вторым гумусовым горизонтом. Их площадь с глубиной сокращается, со-



Цифрами обозначены почвы: 1 – серая лесная (СЛ); 2 – СЛ слабооподзоленная; 3 – СЛ среднеоподзоленная; 4 – СЛ сильнооподзоленная с ВГГ; 5 – СЛ остаточно-карбонатная.

Рисунок 1. Почвенная карта экспериментального участка Владимирского ополья

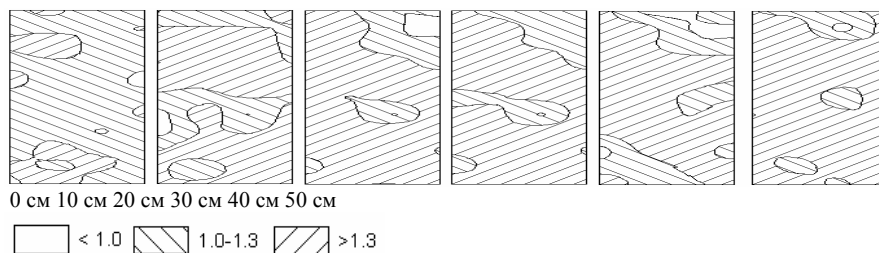


Рисунок 2. Топоизопланты плотности ( $\text{г/см}^3$ ) серых лесных почв Владимирского ополья в пределах опытного участка

храняясь лишь в точках с наиболее мощным ВГГ. При этом значения внутри контуров сильно варьируют. Причины такой изменчивости в пределах одной почвенной таксономической единицы во многом определяются различной мощностью второго гумусового горизонта в пределах контура. В центральной части прорисованного почвенного контура и на его периферии эта разница может быть весьма значительной (рис. 3).

Так, например, диапазон варьирования мощности горизонта Ah на исследуемом участке – от полуметра до нескольких сантиметров, а это вполне сопоставимо с точностью методов пробоотбора. Она может быть существенно меньше даже высоты почвенного бура, и, соответственно, при послыном отборе проб на плотность и влажность производится захват не только этого горизонта, но и горизонта, его подстилающего, иногда значительно отличающегося по физическим свойствам. Визуально классифицируя почву по наличию ВГГ, даже если он представляет собой лишь небольшую (например, 2 см) прослойку между горизонтами Апах и АЕ, этой координате на карте дается усредненное значение статистической выборки исследуемого ЭПА или информация, полученная на ключевом разрезе в точке со значительно более мощным ВГГ (например, около 40–50 см). Однако, как было отмечено выше, мощность горизонта Ah значительно сказывается на его функциональной роли в почвенном покрове. Генетический профиль, к примеру, корнеобитаемого слоя какой-либо почвенной разности в разных точках контура может сильно различаться, а по агрофизическим условиям эти точки могут быть даже статистически более близки к соседнему контуру.

Рассмотрим это на примере расчета такого важного агрофизического показателя, как запа-

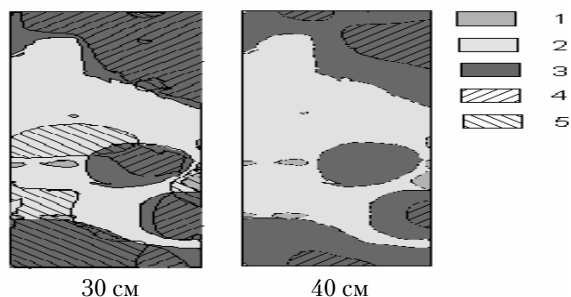


Рисунок 3. Распространение генетических горизонтов на различных глубинах: почвы: 1 – СЛ 2 – СЛ 3 – СЛ<sub>ВГГ</sub> горизонты: 4 – Ah (ВГГ) 5 – Ар.

сы продуктивной влаги. Как правило, эти оценки проводят на начальной стадии развития растений в пахотном слое 0–20 см, а также в середине вегетационного периода, когда растения используют влагу из слоя почвы метровой, а при неблагоприятных условиях и двух метровой толщины. Расчеты производят по отдельным горизонтам или слоям, а затем суммируют для всего почвенного профиля или для его ограниченной рамками исследования части.

Запасы продуктивной влаги (ЗПВ) были рассчитаны в слоях 0–20 и 0–50 см. При анализе ЗПВ в слое 0–20 см не выявлено значимых различий между почвенными разностями. Диапазон значений варьировал от 24 до 48 мм водного слоя, что соответствует допустимым и оптимальным запасам влаги по классификации В.В. Медведева [9]. Расчет в слое 0–50 см показал, что по наилучшим показателям выделяются почвы со вторым гумусовым горизонтом. Они в большей степени соответствуют требованиям растений по условиям влагообеспеченности в период произрастания всходов, и их значения близки оптимальным. При этом стоит отметить тенденцию уменьшения запасов влаги в профиле почвы с уменьшением мощности Ah, т.е. чем дальше от центра и ближе к периферии почвенного контура, тем ниже суммарные показатели влажности. Сопоставление мощности горизонта Ah и весенних запасов влаги в почвенном слое 0–50 см позволило выявить между этими показателями достоверную корреляционную связь (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,7 при уровне значимости  $p < 0,05$ ). Разница между значениями запасов продуктивной влаги в периферийной и центральной части дифференцированного по профилю почвенного контура достигала 45 мм водного слоя. Это значительное варьирование запасов влаги – в слое 0–20 см размах 20 мм водн. ст., в слое 0–100 см – 40 мм водн. ст. – превышало различия между классификационными градациями [3]. Такие различия отражаются на условиях влагообеспеченности растений, что подтверждается результатами моделирования водно-воздушного режима почв [5].

Учет этого представляется очень важным при проведении работ по картированию почвенного покрова с подобными образованиями (ВГГ). Отсутствие сведений по варьированию мощности ВГГ и глубине нижней границы этого горизонта, распространение свойств, изме-

ренных в одной точке почвенного контура, на площадь всего контура может привести к искажению информации (агрофизической, агрохимической и т. д.) (табл. 1).

Исходя из вышеизложенного, возникает вопрос, какой мощности почвенный слой или горизонт рассматривать в качестве основного при агрофизической оценке территории? Избежать постановки подобной проблемы позволяют обобщение послойной экспериментальной информации и характеристика состояния всего корнеобитаемого слоя с помощью ГИС-технологий. Преимущества такого подхода очевидны, т. к. именно графическая информация является основой интеграции пространственно распределенных данных в геоинформационных системах. В наших исследованиях использовался метод наложения, упоминавшийся выше. Напомним, что он включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения.

На рисунке 4 продемонстрирована схема наложения двух слоев электронного проекта в ГИС, первый представляет почвенную карту, второй слой характеризует варьирование плотности в пределах исследуемой территории. В результате получается наглядная и количественная картина закономерностей латерального распределения зон с различными почвенно-физическими параметрами внутри почвенных контуров. Можно оценить суммарный вклад каждой почвенной разности в латеральное распространение зон с неблагоприятными показателями плотности ( $>1,3$  г/см<sup>3</sup>) пахотного и подпахотного слоев, рассчитав удельную площадь этих зон относительно площади определенного почвенного контура (полигона):  $S_{уд} = (S_{кат} / S_{конт}) \times 100\%$ . Полученные цифры легко проанализировать и представить в графическом виде (рис. 4). Так из представленных диаграмм следует, что категории повышенной плотности в подпахотном слое на глубине 20–25 см присутствуют у всех почвенных разностей, однако их вклад в общее распределение различен. Минимальные процентные соотношения неоптимальных градаций физических свойств отмечены у серых лесных почв со вторым гумусовым горизонтом. Эти почвы являются характерными участками почвенного покрова, в

меньшей степени подверженными уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники, что является следствием дифференциации в содержании органического вещества у основных представителей почвенного комплекса. Анализ содержания углерода органических соединений показал, что максимальные значения для пахотного горизонта наблюдались именно у почв, имеющих в своем профиле горизонт Ah, достигая 2,8% при медиане 2,4%, для серых лесных почв эти показатели составляли 2,3% и 1,6% соответственно.

В заключение необходимо отметить, что дальнейшее развитие агроландшафтных подходов невозможно без сочетания традиционных экспериментальных методов исследования физических свойств почв с применением современных процедур аппроксимации и использования ГИС-технологий. Представленные материалы лишь демонстрируют новые возможности для анализа и оценки агрофизических свойств почвенного покрова, использования агрофизической информации в ландшафтном земледелии. Эти возможности реализуются путем исполь-

Таблица 1. Распределение значений плотности в пределах почвенных контуров на различных глубинах, % площади контура

Глубина, см		Плотность, г/см <sup>3</sup>			средневзвешенные значения
		< 1,0	1,0-1,3	>1,3	
30	СЛ <sub>ВГ</sub>	0	42	58	1,32
	ВГ	0	60	40	1,27
	СЛоп	0	8	92	1,42
	ЕВ	0	5	95	1,44
40	СЛ <sub>ВГ</sub>	9	48	43	1,25
	ВГ	30	68	2	1,06
	СЛоп	0	10	90	1,41
	ЕВ	2	24	74	1,37

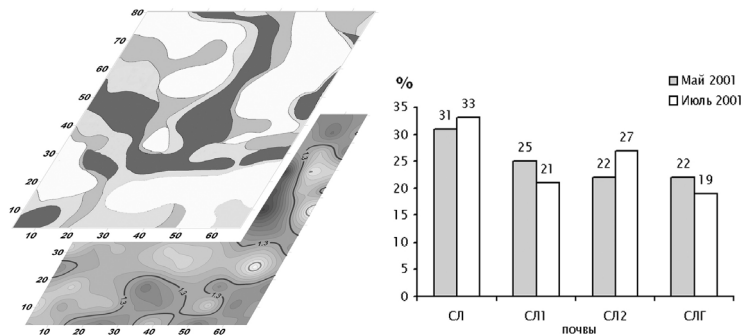


Рисунок 4. Схема наложения тематических слоев и диаграмма площадного распределения (%) категорий плотности  $>1,3$  г/см<sup>3</sup> для почвенных разностей опытного участка, глубина 20-25 см

зования геостатистических методов, получения топоизоэплет свойств и выделения контуров оптимальной, неблагоприятной или крайне неблагоприятной агрофизической обстановки. Визуализация географически определенного массива данных с помощью ГИС-технологий может

быть использована при создании динамически обновляющихся агрофизических карт (картограмм, карт-схем) на основе единичных или суммарных количественных показателей, количественно характеризующих агрофизическое состояние почвенного покрова.

**Список использованной литературы:**

1. Бондарев А.Г., Медведев В.В. Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. Тр. Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева, 1980. С. 85-98.
2. Бондарев А.Г., Русанов В.А., Медведев В.В. Уплотнение почв техникой (состояние проблемы и пути решения) // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1990. С. 20-25.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 200 с.
4. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 243 с.
5. Гончаров В.М. Использование методов математического моделирования при агрофизической оценке почвенного покрова // Вестник Оренбургского университета, 2008, №10(92).
6. Гончаров В.М., Тымбаев В.Г., Фаустова Е.В. Латеральная изменчивость агрофизического состояния комплексного почвенного покрова // Почвоведение, 2008, №10, С. 921-947.
7. Дмитриев Е.А. Глава из неоконченной книги «Неоднородность почв» // Масштабные эффекты при исследовании почв. – М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 8-39.
8. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. – М. Высшая школа, 1965. 323 с.
9. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 2. – М. Высшая школа, 1970. С. 74.
10. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.
11. Медведев В.В., Булыгин С.Ю., Лактионова Т.Н., Деревянко Р.Г. Критерии оценки пригодности земель Украины для возделывания зерновых культур // Почвоведение. 2002. №2. С. 216-227.
12. Шейн Е.В., Милановский Е.Ю. Пространственная неоднородность свойств на различных иерархических уровнях – основа структуры и функций почв // Масштабные эффекты при исследовании почв. – М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 47-61.
13. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998.
14. Lhotsk J., a kol.: Metodika zrodinn zhutninch pd. // ÚVTIZ Praha, 1984.

Сведения об авторе: Гончаров В.М., заместитель декана, старший научный сотрудник МГУ имени М.В.Ломоносова, кандидат биологических наук  
124683, г. Москва, г. Зеленоград, корп.1562, кв.201, тел. (495)773-45-84, e-mail:vmgoncharov@mail.ru

Goncharov V.M.

Use of gid-technologies in the course of agrophysical evaluation of a territory

The author explores new possibilities for analyzing and evaluating agrophysical parameters of soil cover, using agrophysics data in landscape farming. These possibilities are executed by use of geostatistical methods, receipt of topoizopleth properties and separation of contours of optimum, unfavorable or extremely unfavorable agrophysical environment.

Key words: agrophysical evaluation, geoinformation systems (GIS), isopleths, soil, landscape, physical properties.

**Bibliography:**

1. Bondarev, AG, Medvedev VV Some ways to determine the optimum parameters of agro properties of soil: Theoretical bases and methods of determining the optimum parameters of soil properties. Tr. Soils. In-ta im. VV Dokuchaev, 1980. S. 85-98.
2. Bondarev, AG, Rusanov VA, Medvedev VV Soil compaction technique (the state of problems and solutions) // Problems of Soil Science. M.: Nauka, 1990. S. 20-25.
3. Vadyunina AF, Korchagin ZA Methods of studying the physical properties of soils. M.: concentrations, 1986. 200 pp.
4. Voronin AD Fundamentals of soil physics. M.: MGU, 1986. 243 pp.
5. Goncharov VM Using mathematical modeling methods for assessing soil agro // Bulletin of Orenburg University, 2008, № 10 (92).
6. Goncharov VM, Tymbaev VG, Faustova EV Lateral variability of agro state complex soil // Soil Science, 2008, № 10, S. 921-947.
7. Dmitriev EA Head of the unfinished book «The heterogeneity of the soil» // Scale effects in the study of soils. - Moscow: MGU, 2001. S. 8-39.
8. Kaczynski NA Physics of the soil. Part 1. - M. Graduate School, 1965. 323 pp.
9. Kaczynski NA Physics of the soil. Part 2. - M. Graduate School, 1970. 74.
10. Medvedev VV Optimization of agro properties of chernozem. M.: concentrations, 1988. 160 pp.
11. Medvedev VV, Bulygin SY, Laktionova TN, Derevianko RG Criteria for assessing the suitability of land in Ukraine for grain cultivation // Soil Science. 2002. № 2. S. 216-227.
12. Shein EV, Milanovskiy EY Spatial heterogeneity of the properties at different hierarchical levels - based on the structure and functions of soil // Scale effects in the study of soils. - Moscow: MGU, 2001. S. 47-61.
13. Tsvetkov VY Geographic information systems and technologies. Moscow: Finance and Statistics, 1998.
14. Lhotsk J., a kol.: Metodika zrodinn zhutninch pd. // VTIZ Praha, 1984.