

УДК 634.1 : 631.452

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА ПИЩЕВОЙ И ВОДНЫЙ РЕЖИМЫ ПЛОДОВЫХ И ВИНОГРАДНЫХ ЦЕНОЗОВ

Попова В.П., д-р с.-х. наук, **Сергеева Н.Н.**, канд. с.-х. наук,
Фоменко Т.Г., канд. с.-х. наук, **Черников Е.А.**, канд. с.-х. наук,
Ярошенко О.В., канд. с.-х. наук, **Ненько Н.И.**, д-р с.-х. наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства» (Краснодар)

Реферат. Получены новые теоретические знания о закономерностях взаимосвязей пищевого, водного режимов почв и питательного режима плодовых растений для создания систем воспроизводства плодородия почв. Разработаны динамические модели взаимосвязи агрохимических показателей в системе «почва-растение» садового ценоза в зависимости от уровня плодородия почв и алгоритм их систематизации для создания базы данных (на примере яблони).

Предложены новые методические подходы для оценки степени изменчивости почвенного плодородия интенсивных садовых ценозов при локальном применении минеральных удобрений и водных мелиораций, которые направлены на повышение экологической устойчивости черноземных почв, оптимизацию продуктивности многолетних растений и ресурсосбережение. Разработан способ оптимизации питания плодовых насаждений интенсивного типа, включающий применение усредненного поправочного коэффициента, отражающего степень обеспеченности почвы элементами питания. Исследования причин и механизмов засоления почв виноградников юга Тамани показали, что источником засоления являются склоны горы Комендантская, которые представлены слабо водопроницаемыми засоленными глинистыми почвами.

Ключевые слова: плодовые и виноградные ценозы, агрохимические свойства почв, плодородие, питательный режим растений, фертигация, засоление

Summary. The new theoretical knowledges of regularities and interrelations of the nutrition and water modes of soils and the nutritious mode of fruit and grapes plants for the creation of reproduction systems of soil fertility are obtained. The dynamic models of interrelation of agrochemical indicators in the "soil-plant" system of a garden cenosis depending on the level of soil fertility and an algorithm of their systematization are developed for creation of the database (on the example of an apple-tree). The new methodical approaches for assessment of variability degree of soil fertility of intensive garden cenosis in case of local use of mineral fertilizers and water melioration are proposed directed to increase in ecological stability of chernozem soils, optimization of productivity of perennial plants and resource-saving. It is carried out the way of nutrition optimization of intensive fruit orchards including the application of the average correction coefficient reflected the provision degree of the soil nutrition elements.

The research of the reasons and mechanisms of soils salinization of vineyards of the South of Taman showed that a source of salinization are the Commandant's mountain slopes provided by the badly penetrating for water clay soils with salinization.

Key words: fruit and grapes cenoses, agrochemical properties of soils, fertility, nutrition mode of plants, fertigation, salinization

Введение. Интенсификация производственно-технологических процессов в современном плодоводстве и виноградарстве, основанная на химизации и применении современной высокопроизводительной сельскохозяйственной техники, способствует усилению процессов деградации почв. Агрогенные почвы, а особенно черноземы, претерпевают существенную трансформацию. В насаждениях плодовых культур и винограда интенсив-

ность воздействий на почву значительно выше, чем при возделывании однолетних сельскохозяйственных культур как по уровню химико-техногенных воздействий, так и по выносу органических веществ [1, 2, 3].

На Северном Кавказе в летний период довольно часто проявляются стрессовые факторы среды – экстремально высокие температуры воздуха, периоды засухи и суховеи, это приводит к недостаточному обеспечению плодовых растений влагой, снижению активности поглощения питательных веществ из почвы и, как следствие, к снижению продуктивности. Недостаток почвенной влаги приводит к нарушению водного и пищевого режимов растений, что вызывает ответные, взаимосвязанные и глубокие изменения процессов транспирации, фотосинтеза, ферментативных и энергетических превращений углеводного, фосфорного и азотного обмена – всех сторон жизнедеятельности плодовых растений. Эти изменения в итоге нередко сказываются на формировании урожая и качестве плодов, возникает периодичность плодоношения, снижается зимостойкость деревьев [3, 4, 5].

Изучение механизмов и закономерностей обмена веществ между растениями и окружающей средой, именуемого в агрохимии процессом питания растений, требует выявления динамики и уровня интенсивности перехода веществ из среды (почвенный раствор, воздух, удобрения) в состав растительной ткани и различных органов растений, в состав сложных органических соединений, синтезируемых растением, и выведения ряда веществ из него.

Анализ биологических особенностей многолетних растений, определение влияния биотических факторов на их режим питания и физиологические параметры, ростовые и продукционные процессы позволяют выявить закономерности и взаимосвязи в системе «почва-растение-урожай» для построения динамических моделей взаимосвязи агрохимических показателей в системе «почва-растение» садового ценоза в зависимости от уровня плодородия почв и разработать алгоритм систематизации агрохимических показателей почв в садовых ценозах для создания базы данных.

Высокое содержание гумуса и глин, свойственное черноземам, обуславливая буферность по отношению к воздействию химических реагентов, определяет в то же время чрезвычайно высокую чувствительность черноземов к увеличению увлажнения.

Полученные к настоящему времени результаты исследований показывают, что вносимые при фертигации удобрения имеют сравнительно малый контакт с активной частью поглощающей корневой системы плодовых растений, и это способствует недостаточности их питания [6, 7, 8].

Многолетнее локальное применение удобрений и малообъемного орошения приводит к высокой вариабельности параметров почвенного плодородия садовых ценозов. Однако определить достоверно степень неоднородности почвенного покрова в плодовых насаждениях затруднительно, в этих условиях трудно выбрать место отбора представительной пробы почвы для получения объективных данных обеспеченности растений элементами питания.

Современные общепринятые методики агрохимического обследования почв садовых ценозов не позволяют реально оценить степень изменчивости параметров плодородия почв при локальном применении удобрений и установить необходимость регулирования питательного режима растений. Поэтому для определения объективной обеспеченности плодовых растений питательными веществами необходима разработка и использование новых методических подходов к оценке параметров почвенного плодородия садовых ценозов, возделываемых по интенсивным технологиям.

В последние годы под влиянием меняющихся условий климата и интенсификации процессов возделывания многолетних культур более явно проявляются проблемы почвенно-экологического характера: вторичное засоление, возникновение гидроморфных ком-

плексов. Так, в Анапо-Таманской зоне виноградарства России, наиболее насыщенной производством виноградарской продукции, из 65000 га условно пригодных под виноградники земель – около 25000 га имеют существенное количество лимитирующих факторов плодородия для виноградников [9, 10]. Сильное влияние оказывают природные условия зоны: складчатые гряды Таманского полуострова связаны с выходами третичных глин и современными отложениями грязевых сопок. Верхние горизонты солонцеватых южных чернозёмов содержат до 0,15 % легкорастворимых солей. В нижних горизонтах (на втором метре) четко выражен горизонт их аккумуляции, где количество солей достигает 2 %. Все это приводит к изменению почв, занятых виноградниками.

Полученные результаты показывают необходимость проведения дальнейших систематических исследований, направленных на выявление изменения плодородия черноземных почв Северо-Кавказского региона.

В связи с обозначенными проблемами цель исследований заключается в установлении взаимосвязей пищевого, водного режима почв и питательного режима плодовых и виноградных растений при разных уровнях минерального питания в различных почвенно-климатических условиях.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в стационарных полевых опытах в интенсивных насаждениях яблони ЗАО «ОПХ «Центральное» (Краснодар), ООО «Сады Предгорья» Северского района Краснодарского края, в фермерских хозяйствах Ростовской области.

В основу работы положен метод полевого и лабораторного опытов. Учеты и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями и методиками исследований [11-13].

Лабораторные анализы почвенных образцов проведены согласно соответствующим ГОСТам [14-20]. В почвенных образцах определяли: влажность почвы, катионно-анионный состав водной вытяжки, рН солевой суспензии, содержание органического вещества, сумму поглощенных оснований, содержание нитратного азота, обменного аммония, подвижного фосфора и обменного калия.

Растительные образцы подвергались мокрому озолению по методу Гинзбург (смесью серной и хлорной кислот). Азот определялся хлораминовым методом по Починку, фосфор – методом Мерфи-Райли с колориметрическим окончанием, калий – пламенном фотометре, кальций и магний – комплексонометрическим методом [21]. Пигменты (хлорофилл и каротиноиды) в листьях растений определяли спектрометрическим методом; массовую концентрацию фенолкарбоновых кислот (аскорбиновой, хлорогеновой и кофейной) и массовую концентрацию свободных аминокислот – с применением капиллярного электрофореза.

Полученные экспериментальные данные анализировали методами математической статистики с применением дисперсионного анализа в программах StatSoft STATISTICA 8.0 и Microsoft Office Excel 2003 согласно «Методике полевого опыта» [22]. Построение 2D-диаграмм пространственной неоднородности агрохимических свойств почвы садового ценноза осуществляли с использованием программного обеспечения Surfer 8 согласно учебно-методическому пособию [23].

Лабораторный анализ почвенных и растительных образцов проводили в аналитических лабораториях научного центра агрохимии и почвоведения, в центре коллективного пользования, в лаборатории физиологии и биохимии растений. Лаборатории оснащены современным аналитическим оборудованием: микроволновая система пробоподготовки МС-6, пламенный фотометр ПФА-354, Спектрофотометр UNICO 2800, Капель 104 Р, фотозлектроколориметр КФО-У4.2, ионметр И-130.2М, влагометр весовой МХ-50, аналитические весы VIBRA и др.

Обсуждение результатов. Получены новые экспериментальные данные о взаимодействии составляющих системы «почва-удобрение-многолетнее растение-природная среда». Установлено влияние органоминеральных удобрений (ОМУ) пролонгированного действия на черноземе выщелоченном в насаждениях яблони на увеличение активности нитрификаторов.

Содержание нитратного азота в слое почвы 0-60 см возросло в среднем на 57,6 %, нитрификационная способность почвы – на 12,9 %. Отмечено повышение содержания органического вещества на 9,0 % за счёт наличия в составе ОМУ бактериальной культуры *Bacillus Subtilis*. Увеличилось содержание других биофильных элементов: обменного калия, подвижного фосфора – от 15,4 % до 27,9 %.

Отмечена статистически достоверная положительная корреляция содержания нитратного азота и общего гумуса в заданном диапазоне значений с коэффициентом $r = 0,8$, (ошибка коэффициента – $m_r = \pm 0,1$), гумуса и азота подвижного аммония ($r = 0,7$, $m_r = \pm 0,1$), подвижных соединений калия ($r = 0,9$, $m_r = \pm 0,06$), марганца ($r = 0,7$, $m_r = \pm 0,2$) и цинка ($r = 0,7$, $m_r = \pm 0,2$), подвижных соединений фосфора и количества гумуса в почве ($r = 0,7$, $m_r = \pm 0,1$).

Выявленная взаимосвязь содержания азота нитратов и обеспеченности почвы сада органикой была подтверждена в сезонной динамике при агрохимическом обследовании плодовых насаждений интенсивного типа и использована для расчета дифференцированных норм применения минеральных удобрений. Содержание валовых форм основных элементов питания в листьях яблони на удобренном фоне в течение 3-х лет было наиболее стабильным.

В системе «почва-растение» выявлена достоверная положительная корреляция между обеспеченностью растений азотом и содержанием в почве нитратного азота ($r = 0,9$), обеспеченностью калием и содержанием обменного калия ($r = 0,8$). Установлены взаимосвязи содержания меди, цинка и марганца в листьях с содержанием подвижной меди, цинка, марганца в почве сада ($r = 0,8$, $r = 0,8$, $r = 0,7$, соответственно).

Разработаны динамические модели взаимосвязи агрохимических показателей в системе «почва-растение» садового ценоза в зависимости от уровня плодородия почв и алгоритм систематизации агрохимических показателей черноземных почв в садовых ценозах для создания базы данных (на примере яблони).

Обеспеченность почвы сада элементами питания оказывала значительное влияние на режим питания растений и способствовала увеличению продуктивности яблони, снижению осыпания плодов в весенне-летний и летний периоды. При наступлении жаркого засушливого периода в июле-августе, на фоне применения некорневых подкормок удобрением СелиКа в дозе 15-20 л/га, отмечено увеличение содержания связанной формы воды и пролина в листьях растений. Снижение содержания хлорофилла (а+б), каротиноидов и белка в августе характеризует повреждение хлорофилл-белкового комплекса хлоропластов. Повышение при этом содержания органических кислот цикла Кребса свидетельствует об интенсификации дыхания, что может служить показателем активизации обменных процессов при адаптации растений яблони к засухе.

Увеличение содержания фенолкарбоновых кислот (аскорбиновой, хлорогеновой и кофейной) в листьях в июле характеризует проявление защитного механизма клеточных мембран от разрушения свободными радикалами. Увеличение сахаров в августе повышает засухоустойчивость растений яблони, увеличивая водоудерживающую способность клеток и предотвращая преждевременное опадение плодов.

Новые знания о динамике свойств почв, обеспеченности элементами питания, физиологическом состоянии плодовых растений в стрессовых условиях возделывания использованы для создания «Базы типовых технологий и технологических карт возделывания плодовых культур, дифференцированных по культурам и типам насаждений» (свидетельство о госу-

дарственной регистрации базы данных № 2016621227. Заявка № 2016620955, дата поступления 12 июля 2016 г. Дата Гос. регистрации в Реестре баз данных 08 сентября 2016 г.) и «Базы типовых технологий и технологических карт возделывания ягодных культур, дифференцированных по способам возделывания» (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016621229. Заявка № 2016620967, дата поступления 12 июля 2016 г. Дата Гос. регистрации в Реестре баз данных 08 сентября 2016 г.).

Разработаны методические подходы для агрохимического обследования плодовых насаждений интенсивного типа и расчета дифференцированных норм применения минеральных удобрений, позволяющие усовершенствовать способы отбора проб почв при проведении агрохимического обследования, рассчитывать оптимальные дозы применения минеральных удобрений в интенсивных плодовых насаждениях и осуществлять дифференцированное применение агрохимических средств по отдельным внутрипольным контурам почвенного плодородия, снизить антропогенную нагрузку за счет рационального применения минеральных удобрений и, как результат, повысить рентабельность производства.

Получен патент РФ № 2588640. Заявка № 2015106779/13; заявлено 26.02.2015; опубликовано 10.07.2016 г. «Способ оптимизации питания плодовых насаждений интенсивного типа».

В условиях недостаточного увлажнения на обыкновенных черноземах Ростовской области (ЗАО «Агрофирма «КРОНА») в плодовом саду, в зоне локализации поливной воды и внесения удобрений, установлено увеличение показателей реакции почвенной среды на 6,8-11,0 %, подвижного фосфора – на 1,0-11,7 мг/кг, обменного калия – на 25-143 мг/кг, обменного магния – на 4,82-8,56 мг-экв./100 г., обменного натрия – на 0,43-0,79 мг-экв./100 г. и удельной электропроводности почвы – на 0,025-0,030 мСм/см, по сравнению с почвой за пределами очага внесения удобрений.

При фертигации в зоне локального внесения удобрений не отмечено существенного изменения содержания гумуса и нитратного азота. Применение многолетнего капельного орошения в садах интенсивного типа привело к постепенному вымыванию ионов кальция из мест локализации поливной воды. Снижение содержания обменного кальция в почве в результате орошения составило 3,21 – 8,56 мг-экв./100г. почвы, непосредственно в точке падения капли раствора.

Результаты исследований подтвердили ранее полученные данные, что продолжительное капельное орошение плодовых деревьев привело к насыщению почвенно-поглощающего комплекса (ППК) катионами Na^+ и Mg^{2+} и обеднению Ca^{2+} , что позволяет сделать вывод о сдвиге ионного равновесия за счет активного внедрения в ППК вредных для плодовых растений Na^+ и Mg^{2+} и вытеснения из него Ca^{2+} . Неблагоприятные изменения физико-химических свойств почвы, вероятнее всего, обусловлены плохим качеством поливной воды.

Для изучения изменения солевого состава почв виноградников были проведены отборы почвы на ключевых участках, расположенных в верхней, средней и нижней частях катены геохимического сопряжения в ландшафте: от склонов горы Комендантская через наклонную морскую пластовую равнину с виноградниками вдоль одной из ложбин и в северной части – виноградной плантации у подножья горы Комендантская.

Установлено, что в верхней части равнины развиты солончаковатые, глубокосолончаковатые слабозасоленные и незасоленные до 2 м темные слитые квазиглеевые почвы (Vertisols). Химизм засоления – сульфатный натриевый. Вертикальное распределение солей элювиальное с быстрым увеличением их содержания от поверхности до глубины 50-100 см и более медленным глубже. Отсутствие хлоридов в почвах ровных участков общего склона свидетельствует о выносе солей не столько вертикально вниз, сколько в сторону вниз по уклону местности. Ниже по склону засоление почв происходит преимущественно в ложбине, пересекающей равнину и плантацию с севера на юг. В средней части склона

пластовой равнины сформировались незасоленные до 2 м агрогумусово-квасиглеевые почвы (Haplic Chernozem (Clayic, Aric, Stagnic)). Слабое хлоридно-сульфатное натриевое засоление с мелкокристаллическим гипсом в твердой фазе и отчетливо выраженным аккумулятивным максимумом по натрию и хлоридам в середине профиля на глубине 60-150 см отмечается только в почвах ложбины. В нижней части склона равнины развиты агрочерноземы миграционно-сегрегационные тяжелосуглинистые (Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic), которые не засолены до 2,5 м.

Выявлено влияние солевого состава почвы на состояние и продуктивность винограда сорта Пино нуар. В центре солончакового пятна, где гипсоносный горизонт залегает с глубины 60 см, все растения винограда были сильно угнетены или погибли. Различная степень угнетения растений подтверждается основными показателями продуктивности и структуры урожая. Отмечена статистически достоверная разница по таким показателям, как средняя масса ягоды, урожайность в кг/куст и в т/га. При удовлетворительном состоянии винограда урожайность составила 4,88 т/га, урожайность угнетённых растений снизилась на 21 %, а при сильном угнетении – на 71 %.

Заключение. Анализ характера взаимодействия составляющих системы «почва-удобрение-многолетнее растение» в условиях плодового агроценоза центральной зоны Краснодарского края на выщелоченном чернозёме показал положительное влияние удобрений на активность биологических процессов. С внесением ОМУ связана активность нитрификации, увеличение содержания в почве (0-60 см) подвижных соединений фосфора и калия. В слое почвы 0-40 см возросло содержание бора, меди и цинка.

Увеличение содержания подвижных соединений макро- и микроэлементов в почве, связанное с внесением органоминеральных удобрений, оказывало значительное влияние на режим питания яблони, обуславливающий интенсивность и направленность синтетических процессов у растений: количество сформировавшихся плодов составило от 160 до 175 шт./1 кв. м площади проекции кроны (сорт яблони Прикубанское), что на 6-72 % больше, чем на контроле.

Апробация предложенных методических подходов для агрохимического обследования плодовых насаждений интенсивного типа и расчета дифференцированных норм применения минеральных удобрений на базе ЗАО «Агрофирма «КРОНА» показала, что локальное применение минеральных удобрений при капельном орошении плодовых насаждений усиливает микроизменчивость наиболее важных параметров почвенного плодородия.

В зоне локализации минеральных удобрений установлено увеличение показателей реакции почвенной среды, содержание подвижного фосфора, обменного калия, обменного магния, обменного натрия и удельной электропроводности почвы, по сравнению с почвой за пределами очага внесения удобрений.

Применение предложенных методических подходов сокращает количество вносимых удобрений (2 % азотных, 8 % фосфорных и 7 % калийных).

Литература

1. Система земледелия в садоводстве и виноградарстве Краснодарского края. – Краснодар: ФГБНУ СКЗНИИСиВ, 2015. – 241 с.
2. Попова, В.П. Плодородие чернозёма в плодовом саду / В.П. Попова, Н.Г. Пестова, Н.Н. Сергеева // Земледелие. – 1999. – № 3. – С. 11.
3. Сергеева, Н.Н. 15-летний мониторинг состояния плодородия садовых почв на юге России / Н.Н. Сергеева, Н.Г. Пестова, О.В. Ярошенко // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 2 (12). – С. 185-189.

4. Сергеева, Н.Н. Содержание свободного пролина в листьях яблони при применении некорневых подкормок / Н.Н. Сергеева, Н.И. Ненько, Ю.И. Сергеев // Materials of the XI international research and practice conference "Science and civilization-2015" 30 Jan. – 07 Feb. 2015, V 22 Ecology Geography and geology agriculture.- Sheffield : Science and Education LTD 2015.- Н. 50-53

5. Попова, В.П. Удобрение садов (рекомендации) / В.П. Попова, Н.Н. Сергеева, Т.Г. Фоменко. – Краснодар, 2010. – 36 с.

6. Фоменко, Т.Г. Пространственная неоднородность почв садовых ценозов в условиях локального применения удобрений и водных мелиораций / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, Н.Г. Пестова, Е.А. Черников // Агрехимия. – 2015. – №2. – С. 13-22.

7. Фоменко, Т.Г. Изменение параметров почв садовых ценозов при локальном применении удобрений и водных мелиораций / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, Н.Г. Пестова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2015. – № 3. – С. 39-43.

8. Фоменко, Т.Г. Влияние локального применения удобрений и водных мелиораций на изменение параметров почв садовых ценозов и их продуктивность / Т.Г. Фоменко, В.П. Попова, Н.Г. Пестова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2015. – № 33 (3). – с. 60-73. – Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/03/07.pdf>.

9. Попова, В.П. Вторичное засоление виноградников Анапо-Таманской зоны / В.П. Попова, А.В. Бондарь, Е.А. Черников // Научные труды СКЗНИИСиВ. – Краснодар; ГНУ СКЗНИИСиВ, 2014. – Том 6. – С. 18-24.

10. Попова, В.П. Изучение процессов вторичного засоления чернозёмных почв виноградников Тамани / В.П.Попова, А.В.Бондарь, Е.А. Черников, Т.Г.Фоменко // Наука Кубани, 2014. – № 3. – С. 33-38.

11. Кондаков, А.К. Методические указания по закладке и проведению опытов с удобрениями в плодовых и ягодных насаждениях / А.К. Кондаков, А.А. Пастухова. ЦИНАО. – М., 1981. – 39 с.

12. Марков, Ю.А. Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур. – Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1985. – 117 с.

13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под общ. ред. Седова Е.Н. и Огольцовой Т.П. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.

14. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – Введ. 01.06.1990. Переиздание. – М.: Стандартиформ, 2006. – 5 с.

15. ГОСТ 26423-26428-85. Определение катионно-анионного состава водной вытяжки. – Введ. 01.01.1986. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 39 с.

16. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – Введ. 01.07.1993. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с.

17. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. – Введ. 01.01.1990. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 5 с.

18. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – Введ. 01.07.1987. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 7 с.

19. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – Введ. 01.07.1993. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 5 с.

20. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – Введ. 01.07.1993. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 7 с.

21. Агрехимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 276 с.

22. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

23. Силкин, К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: учебно-методическое пособие для вузов / К.Ю. Силкин. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 66 с.