

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ****М. В. Ванеева, Е. А. Высоцкая**

**Реферат.** Микрорельеф поверхности полей сельскохозяйственных угодий оказывает существенное влияние на распределение влаги и перенос почвенного вещества. Изучение и описание процессов горизонтального переноса и аккумуляции имеет важное значение для мониторинга динамики процессов современного педогенеза в условиях аграрного производства в системе точного земледелия. Целью исследования является сравнить эффективность и достаточность геодезических съемок с различной плотностью пикетных точек (разреженной и детальной) для идентификации элементов микрорельефа и их связи с пространственной вариабельностью свойств почв сельскохозяйственных угодий, с применением спутникового геодезического оборудования для изучения физико-химических и агрохимических свойств почв на территории Воронежской области. В ходе исследования были изучены приемы сплошной и разреженной топографической съемки микрорельефа участка поверхности поля Верхнехавского района Воронежской области с применением спутниковых геодезических измерений. Сделан вывод, что применение детальной геодезической съемки микрорельефа через 20 - 50 м только на отдельных проблемных участках исследуемой территории значительно экономит время полевых работ. Также анализ результатов исследования показал, что высота сечения горизонталей 0,50 м при выявлении границ значимых элементов микрорельефа поля при незначительно меньшей информативности оказывается достаточной в сравнении с высотой сечения 0,25 м, требующей большего объема полевых работ. Топографическая карта, получаемая при использовании сечения 0,50 м, позволяет определять границы отрицательных и положительных форм микрорельефа, при этом подробность прорисовки границ при сечении 0,25 м не вносила существенных отличий в форму и расположение элементов съемки. Обоснована возможность использования спутниковой геодезической съемки для изучения пространственной неоднородности почвенного покрова, связанной с влиянием микрорельефа местности при проведении почвенного картирования и изучении горизонтальной изменчивости физико-химических свойств почв, для целей планирования мероприятий в системе точного земледелия.

**Ключевые слова:** спутниковые измерения, геодезическая съемка, микрорельеф агроландшафта, топографический план, почвенное картирование, физико-химические свойства почв, точное земледелие.

**Для цитирования:** Ванеева М.В., Высоцкая Е.А. Анализ применения методов спутниковых геодезических измерений при изучении пространственной изменчивости физико-химических свойств почв агроландшафтов в системе точного земледелия // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 3(15). С. 65-72 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-65-72>

**Введение.** Почва, ее плодородие, физико-химические и агрохимические свойства существенно влияют на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. Состояние почвенных ресурсов является важным фактором при экономическом планировании сельхозпроизводства. Согласно положениям, сформулированным В. В. Докучаевым, А. А. Роде и Н. М. Сибирцевым, особую роль в почвообразовании и формировании свойств почв играет физико-географическое положение и рельеф местности [1, 2, 3]. На преобразование почвенного покрова полей, в частности на образование плодородного гумусового слоя, так же оказывают влияние растительный покров, климат, водный баланс, механическая обработка почв, внесение удобрений и другие факторы [4, 5, 6]. Их взаимосвязь и взаимовлияние формируют агроландшафт. Территория Верхнехавского района Воронежской области характеризуется долинно-балочным рельефом с участками овражно-балочной сети. Для полей, используемых в сельскохозяйственном производстве, характерны небольшие уклоны - менее 2°, наблюдаются западины, блюдца, промоины, бугры, небольшие воронки, кочки и др. формы

микрорельефа. Неровности поверхности Земли, вплоть до микрорельефа, влияют на перераспределение тепла, влаги, определяют состав растительности, а так же распределение элементов минерального питания в почвенном профиле, что меняет физико-химические свойства почв [7, 8]. В отрицательных формах рельефа, таких как западины, впадины и ложбины, скапливается больше влаги, чем в положительных. С осадками вниз по склонам перемещается почвенный материал, а значит, на полях может наблюдаться неравномерность физико-химических свойств и состава почв [9, 10]. Современным методом регулированием необходимого уровня питательных веществ, для повышения и поддержания почвенного плодородия полей влияющего на продуктивность растений является система точного земледелия, применяющая инновационные технологии дифференциального внесения удобрений [11, 10]. Данная технология базируется на использовании информационных технологий, автоматических устройств и научных исследованиях пахотных территорий. Так как планирование севооборотов и распределение удобрений топоориентированно, основой для

реализации точного земледелия служат геоинформационные системы (ГИС) и картографические материалы полей землепользования [12, 13, 14]. Поэтому для представительной оценки состояния пашни, изучения физико-химических характеристик почвенного покрова и содержания гумуса, для планирования посевов сельскохозяйственных культур и внесения удобрений необходимы картографические материалы крупных масштабов, описывающие мезо- и микрорельеф рельефа территории.

Современное картографирование выполняется в цифровом формате, цифровые модели местности (ЦММ) строят по материалам геодезических наземных съемок, тахеометрической и спутниковой, и результатам Дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе аэрофотосъемок [15, 16]. Применение аэрофотосъемок беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и спутниковых методов ДЗЗ является эффективным, рентабельным и актуальным особенно на больших территориях [17, 18, 19]. Тем не менее, следует отметить, что для изучения пространственных вариаций микрорельефа пашни с перепадами отметок точек менее 1 метра, высотной точности спутниковых растровых изображений не достаточно. Ортофотопланы составленные, по снимкам с БПЛА отличаются высокой планово-высотной точностью, и позволяют отобразить все неровности рельефа поля [20]. Однако, в настоящее время аэрофотосъемка с беспилотников не всегда возможна. Альтернативой, методам ДЗЗ служат наземные геодезические съемки электронными тахеометрами и спутниковыми ГНСС-приемниками. Для достижения точности крупномасштабных планов и обеспечения их достаточной достоверности при выполнении этих съемок необходимо определить координаты большого количества точек, для больших площадей землепользования это затратно. На равнинных пахотных полях с уклоном менее  $1^\circ$ , при изучении микрорельефа, для снижения временных и финансовых расходов, целесообразно выполнять наземную топографическую съемку различной детализации.

Целью исследования является сравнить эффективность и достаточность геодезических съемок с различной плотностью пикетных точек (разреженной и детальной) для идентификации элементов микрорельефа и их связи с пространственной вариативностью свойств почв сельхозугодий, с применением спутникового геодезического оборудования на территории Верхнехавского района Воронежской области.

**Условия, материалы и методы.** В рамках исследования на поле площадью 1 97 га, расположенном в Верхнехавском районе Воронежской области, выполнена геодезическая топографическая съемка с применением спутникового оборудования EFT M2 GNSS. Территория района исследований находится на южной покатости Окско-Донской равнины. Общий наклон поля составляет менее  $1^\circ$ , но присутствует множество западин присутствующих

микрорельефу, характерному для местности. В границах изучаемого поля отмечается визуально определяемая неравномерность развития сельскохозяйственных культур, приуроченная к элементам микрорельефа.

Для осуществления съемки выполнена геодезическая привязка к пунктам Государственной геодезической сети (ГГС), посредством калибровки спутникового приемника EFT M2 GNSS с использованием базовых станций EFT-CORS данного региона. В качестве опорных использованы три пункта триангуляции 2 класса «Беловка», «Верхняя Хава», «Андреевка» и два пункта 3 класса - «Малая Приваловка» и «Мичурин», расположенные вокруг объекта исследований выделенного жирным контуром близ пункта «Беловка» на рисунке 1.

На изучаемой территории произведена изначально менее детальная геодезическая съемка с помощью GNSS приемника на вехе, по линиям расположенным через 100-150 м. Пикетные точки по линиям расположены через 50-70 м, в зависимости от видимых неровностей микрорельефа поля, набрано 445 пикетов. Полевые работы заняли 12 часов. После построения цифровой модели местности и визуального анализа рельефа по изолиниям и отметкам точек, выявлены несколько проблемных участков вариаций микрорельефа, где произведена дополнительная детальная съемка. На каждой отмеченной территории измерены порядка 15-25 точек, за три часа работы. После дополнительных измерений расстояние между пикетами составило 20-70 м.

Координаты пикетов определены в режиме реального времени по технологии RTK в течение 5 секунд относительно ближайших базовых станций EFT-CORS «Усмань». Средняя квадратическая погрешность (СКП) плановых координат пикетных точек относительно пунктов ГГС составила 5-7 см, высотная 5-8 см [21].

Результаты съемки обработаны в графическом редакторе AutoCAD Civil 3D. Для оценки данных полевых работ составлены топографические планы с высотой сечения рельефа 0,5 м и 0,25 м. В программу AutoCAD Civil 3D загружается txt файл спутниковых измерений, далее в разделе «Группы точек» отображаются высоты пикетных точек и используя команду «создать поверхность» по полученным точкам строится цифровая модель рельефа, в заданных с помощью «полилинии» границах. При построении поверхности применяли метод интерполяции TIN, основанный на триангуляции Делоне, где вершинами треугольников являются наши пикетные точки. Данный метод позволяет избежать ошибок, вызванных неверной интерполяцией. При необходимости для количественной оценки вариаций микрорельефа, с помощью функции «Пульт управления объемами» можно определять объемы западин или возвышенностей относительно заданной поверхности [20].

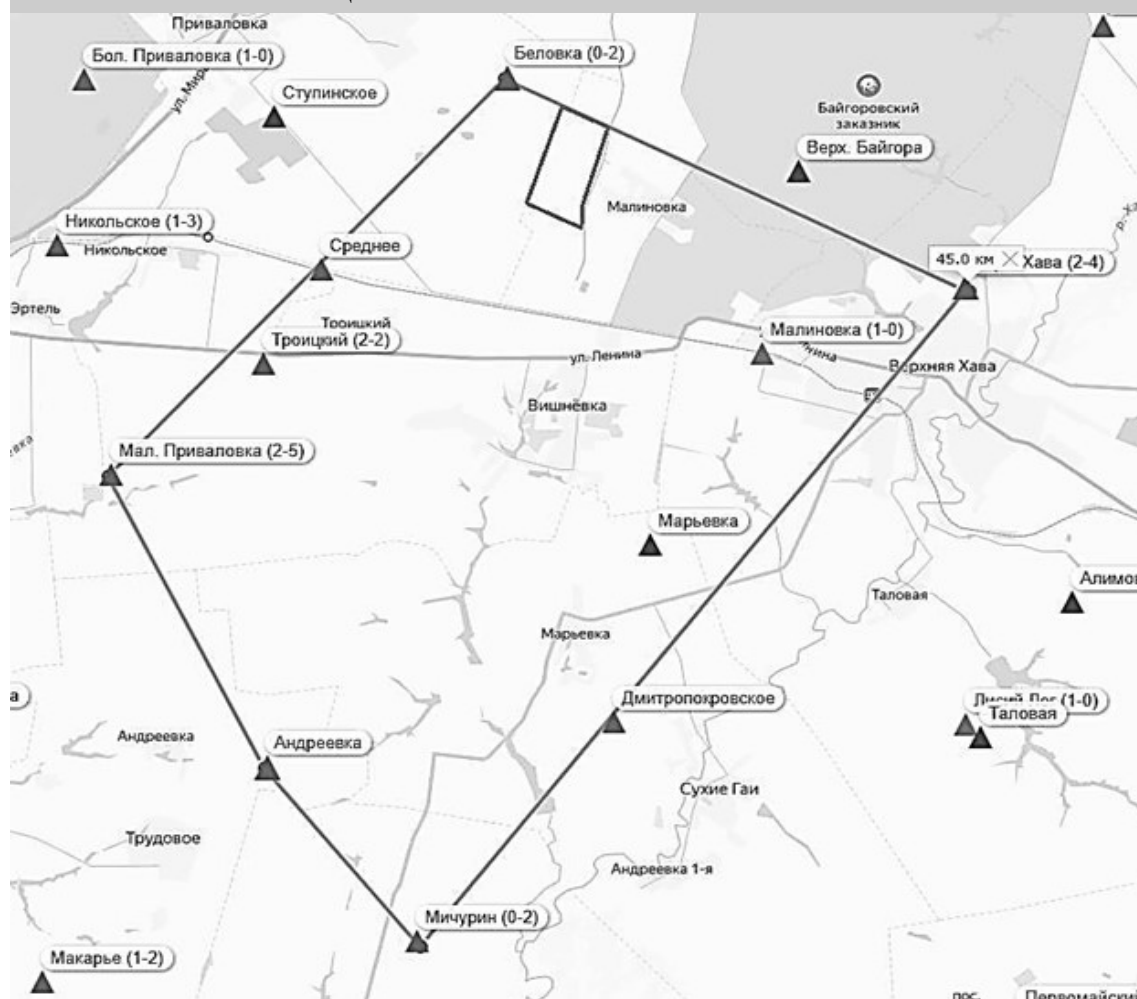


Рис. 1 – Расположение пунктов опорной геодезической сети

**Результаты и обсуждение.** Для изучения физико-химических и агрохимических свойств почв, как правило, составляют почвенные карты и профили, информативность которых будет зависеть от масштаба и количества проб почвы. На отдельных полях хозяйств, при изучении генезиса почв и взаимосвязи структуры почвенного покрова с агроландшафтом как правило, составляют карты крупного масштаба 1:200 – 1:2000 [20].

Точность полученных спутниковым методом плановых координат пикетов соответствует точности масштаба 1:500, которому отвечает графическая точность 0,10 м. Точность высот точек достаточна для построения изолиний с высотой сечения рельефа 0,5 м и 0,25 м. Фактическая погрешность измерений высот (5-8 см) не превышает допустимую погрешность для сечения 0,25 м (0,08 м), что позволяет строить планы с данным сечением рельефа [22].

Исходя из приведенных требований, результаты полевых измерений позволяют построить крупные топографические планы 1:500 и мельче, с высотой сечения рельефа 0,25 м и выше.

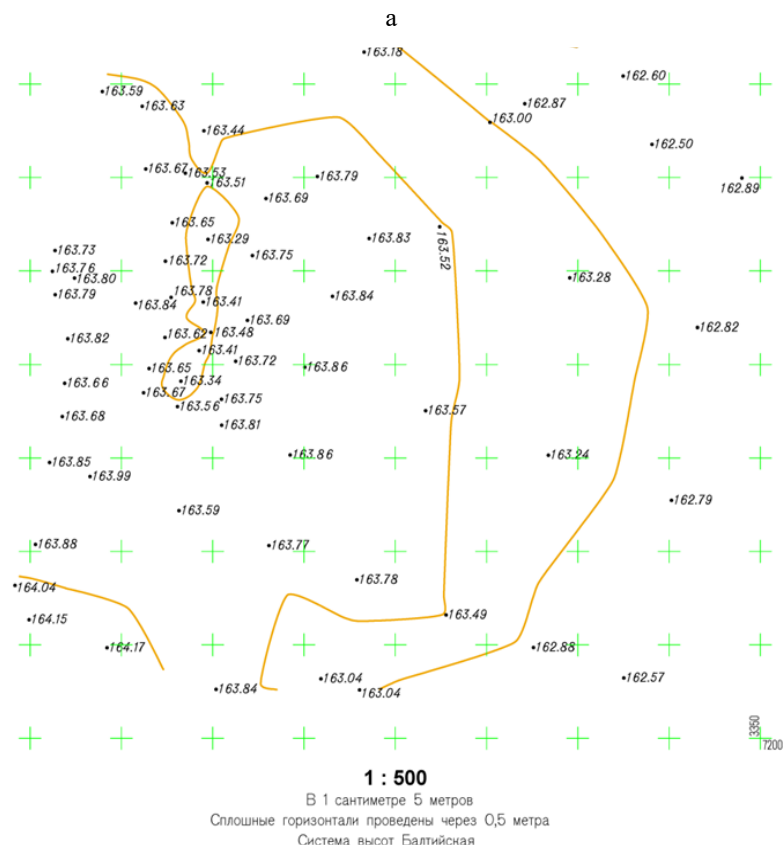
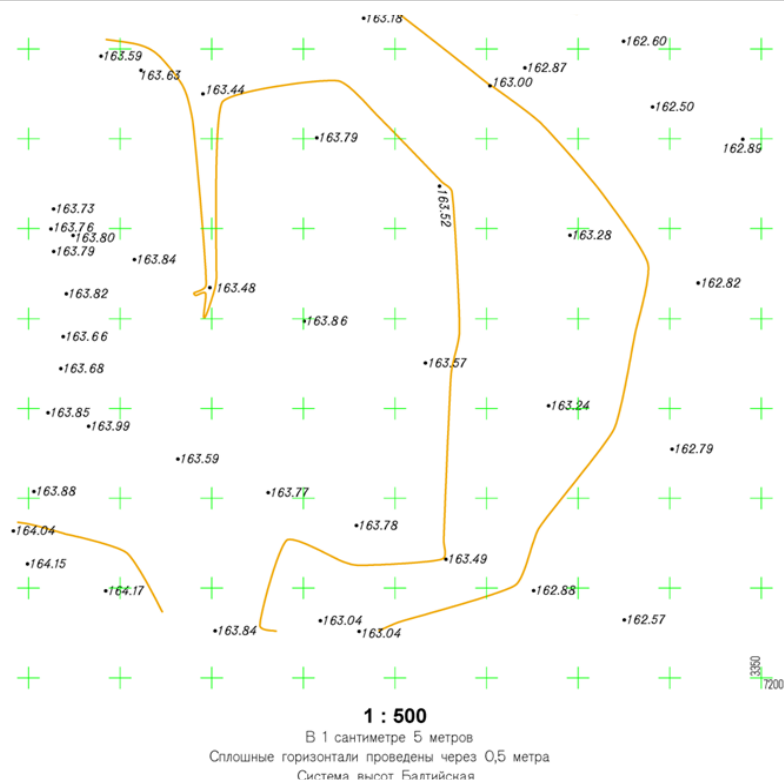
В ходе проведения исследования составлены цифровые топографические планы отдельно по результатам разреженной съемки и по

дополнительным измерениям.

Рассмотрим участок поля 12,5 га с неявно выраженными западинами и перепадами высот менее 0,50 м. При полевых измерениях на такой местности сложно визуально отследить повышения или понижения.

Изучая изолинии с высотой сечения 0,5 м полученного топоплана разреженной съемки, наблюдаются большие заложения между горизонталями, что говорит о спокойном рельефе. Однако присутствует участок, где есть значительное отклонение (петля) одной из горизонталей к точке с более низкой отметкой, относительно остальных, а это говорит о некоторых неровностях поверхности, по форме изолинии форму рельефа можно определить как ложбину, но в нашем случае это говорит о наличии западины (рис. 2, а).

Для более детального отображения поверхности, используя на контроллере спутникового приемника настраивается карта показывающая положение пикетных точек измеренных ранее. В режиме RTK в поле определяют расположение искомого пикета. Таким образом, в районе точки с более низкой отметкой дополнительно было снято 20 пикетов, а по результатам так же построен топоплан с сечением 0,5 м (рис. 2, б).



б

Рис. 2 – Фрагменты топографического плана пашни с высотой сечения рельефа 0,5 м разреженной съемки (а) и подробной съемки (б)

Рассматривая результаты более детальной съемки можно отметить, что благодаря дополнительным точкам, на плане наглядно видно впадину, а не ложбину, так как вместо

вытянутой горизонтали получили замкнутую.

Рассмотрим ситуацию с визуально видимыми неровностями рельефа в полевых условиях (рис. 3).

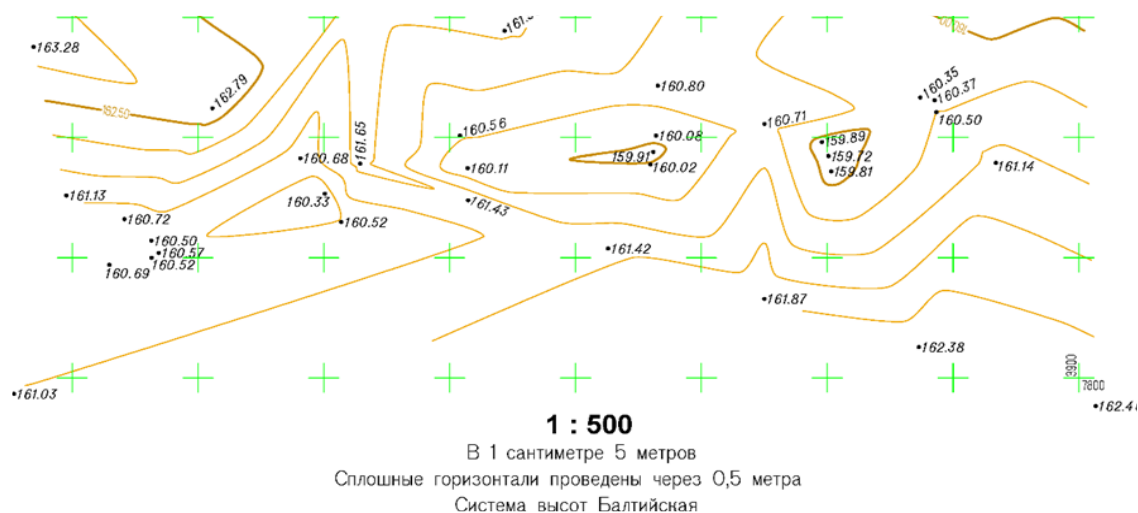


Рис. 3 – Участок поля

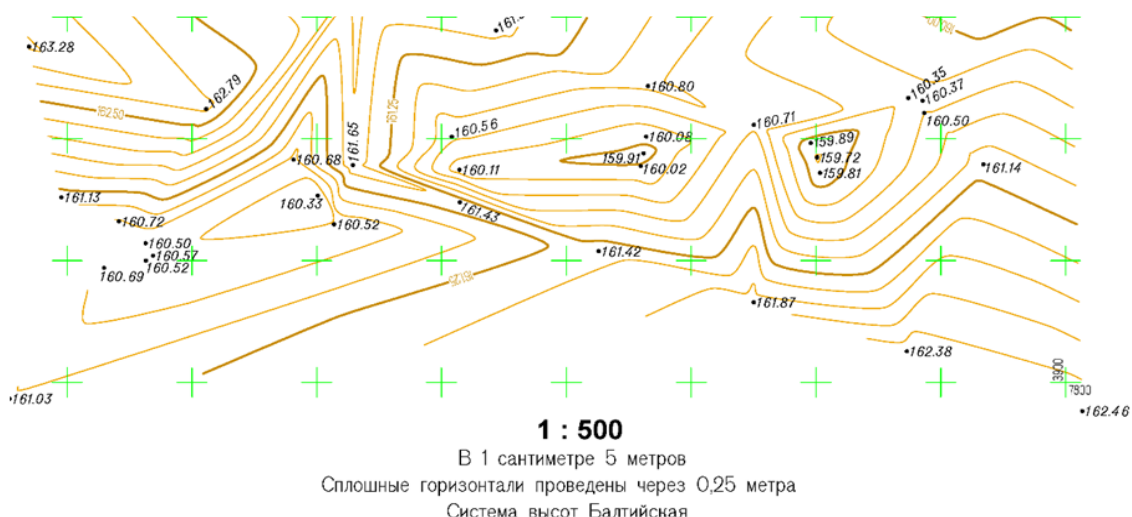
На участке 6,4 га, цепочкой расположены несколько вытянутых западин, с перепадом высот 1,00 - 2,46 м. В первом случае разреженная съемка, выполнялась вдоль линии расположения западин через 100 - 150 м, поперек протяженности через 20 - 40 м по высоким и низким точкам рельефа. По результатам

съемки построены цифровые топопланы с высотой сечения рельефа 0,5 м (рис. 4, а) и 0,25 м (рис. 4, б).

Рассматривая полученный рельеф, следует отметить, что прослеживаются три отдельные небольшие западины, общий рисунок изолиний с разным сечением рельефа не меняется.



а

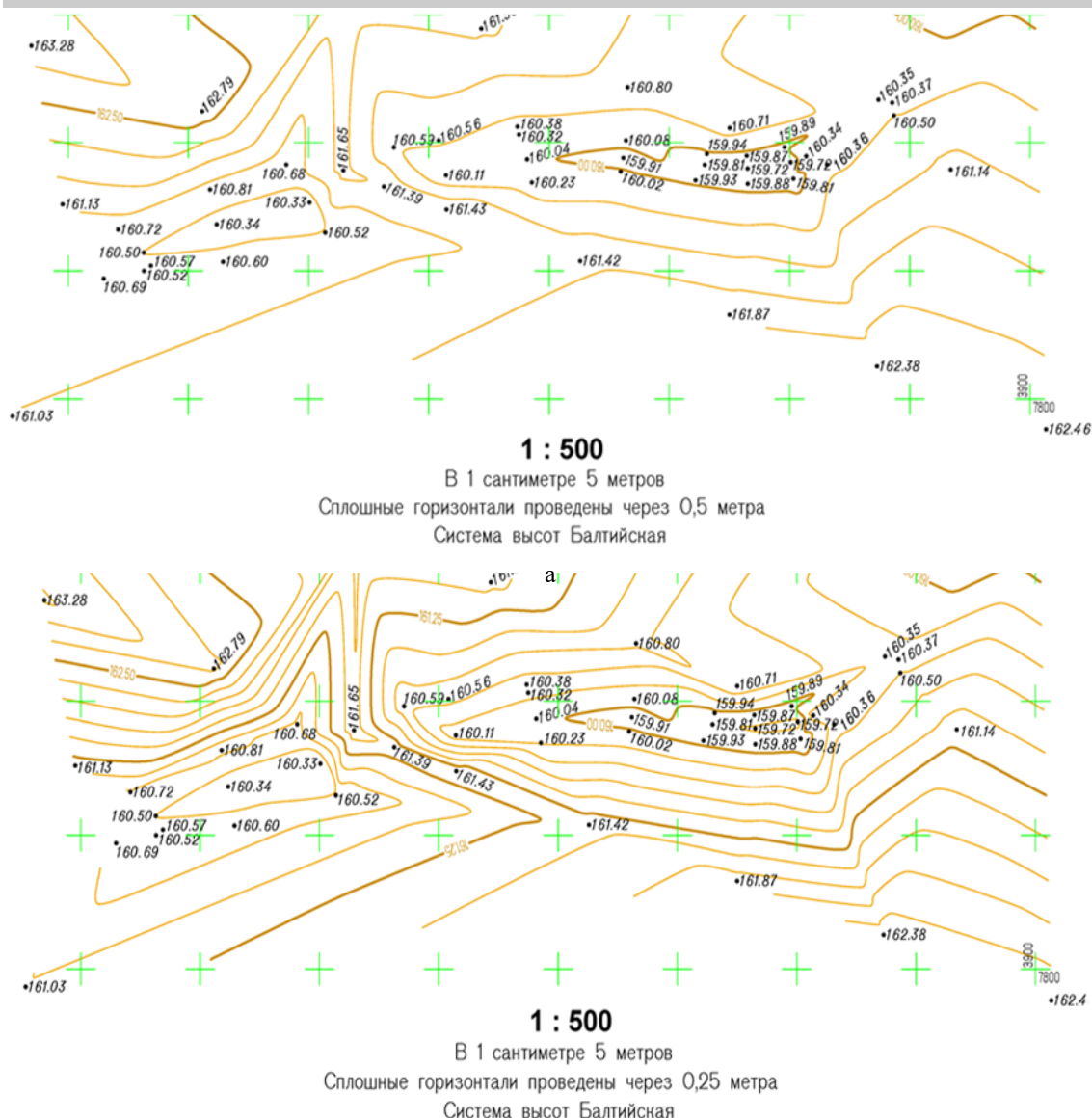


б

Рис. 4 – Фрагменты топографического плана пашни разреженной съемки с высотой сечения рельефа 0,5 м (а) и 0,25 м (б)

В качестве эксперимента дополнительно определены координаты еще 17 пикетов, через 40-70 м. добавив дополнительные точки,

получили цифровые топографические планы с высотой сечения рельефа 0,5 м (рис. 5, а) и 0,25 м (рис. 5, б).



6

Рис. 5 – Фрагменты топографического плана пашни подробной съемки с высотой сечения рельефа 0,5 м (а) и 0,25 м (б)

**Выводы.** Проведенные исследования свидетельствуют о том, что разреженная геодезическая съемка рельефа через 50 - 150 м равнинной местности обеспечивает общее представление о формах микрорельефа исследуемой территории. Вместе с тем, для детализации поверхности в некоторых случаях необходимо знать координаты пикетов через 20 - 50 м. Однако, при увеличении количества пикетных точек увеличивается и объем полевых работ как минимум вдвое, поэтому предложенный метод подробной съемки только отдельных участков экономит время и ресурсы.

Меньшая высота сечения топографического плана на общую картину рельефа, при перепадах высот больше 1 м, не повлияла, но увеличила загруженность плана, соответственно, можно утверждать, что высота сечения 0,5 м является оптимальной для решения, задач определения границ элементов микрорельефа в условиях севера Воронежской области.

Так же следует отметить, что после изучения топоплана можно запланировать точки для взятия почвенных проб, а с помощью спутникового GNSS оборудования по запланированным координатам найти в полевых условиях необходимые места отбора с минимальной погрешностью в плане. Подобный подход дает возможность значительно повысить точность процесса почвенного картирования при изучении пространственной неоднородности строения и свойств почв сельскохозяйственных угодий. Результаты исследований, выполненных предложенным методом, могут быть использованы для оптимизации производственного использования земельных ресурсов с разработкой мероприятий по пространственной дифференциации технологических приемов обработки почв, применения минеральных и органических удобрений, мелиорантов и средств защиты растений в системе точного земледелия.

## Литература

1. Роде А.А. Почвоведение. Москва; Ленинград: Гослесбумиздат, 1955. 524 с.
2. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. / Отв. ред. д-р с.-х. наук, проф. Р. В. Ковалев; [АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т почвоведения и агрохимии]. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 92 с.
3. Сибирцев Н.М. Избранные сочинения. Т. 1. Почвоведение. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1951. 472 с.
4. Географические закономерности действия удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Л.М. Онищенко, С.В. Есипенко. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. 94 с. ISBN 978-5-9909934-6-4.
5. Никитина Л.В., Романенков В.А. Влияние систем удобрения в склоновом агроландшафте на калийный режим суглинистой почвы // Плодородие. 2020. №4 С. 30-38. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.10
6. Оценка питательности различных видов кормов, заготовленных из кукурузы, в зависимости от уровня химизации и почвенного покрова Республики Татарстан / Л.Т. Вафина, Р.В. Миникаев, Н.Ф. Вафин, С.В. Сочнева, Н.В. Трофимов // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2024. №1 (9). С. 13-19
7. Шпедт А.А., Никитина В.И. Влияние микрорельефа на агрохимические свойства чернозема и урожайность яровой пшеницы и ячменя // Почвоведение. 2009. № 8 С. 977-983.
8. Исмагилов Р.Р., Абдулвалеев Р.Р. Изменение уровня минерального питания растений на поле со сложным рельефом // Пермский аграрный вестник. 2016. №4 (16). С. 27-30.
9. Ванеева М.В., Куликов Ю.А. Формы рельефа поверхности сельхозугодий как фактор локального изменения состава и физико-химических свойств почв // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2024. № 2 (19). С. 99-104.
10. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 36-44.
11. Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России / Е.В. Рудой, М.С. Петухова, С.В. Рюмкин, Е.В. Труфляк, Н.Ю. Курченко; Новосиб. гос. аграр. ун-т, Кубан. гос. аграр. ун-т им. И.Т. Трубилина. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. 138 с. ISBN 978-5-94477-295-4
12. Шемняков Д.В., Налиухин А.Н. Изучение внутривариационной вариативности агрохимических показателей пахотных почв и определение потребности в удобрениях и мелиорантах в технологиях точного земледелия // Молокохозяйственный вестник, 2015. №2 (18), С. 55-64.
13. Maher A. El-Hallaq, Spatiotemporal analysis in land use and land cover using GIS case study: Gaza city (Period 1999 – 2007). Journal of Engineering Research and Technology. 2015. Vol 2. No 1. P. 48–55.
14. Каличкин В. К., Донченко А. С., Голохваст К. С. Формирование системы цифрового управления земледелием на основе мониторинга и длительных полевых опытов// Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2(14). С. 58-68.
15. Ванеева М.В., Высоцкая Е.А. Мониторинг пространственной вариации агроландшафтов в системе точного земледелия // Высокоэффективные технологии в агропромышленном комплексе: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Елец: ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина». 2025. С. 46–50.
16. Савин И. Ю., Жоголев А. В., Прудникова Е. Ю. Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517-528.
17. Трофимов Н. В., Яхин И. Ф. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 69-76.
18. Савин И. Ю., Прудникова Е. Ю. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 74. С. 66-77
19. Картографирование почвенно-земельного покрова как эффективный механизм формирования границ земельных участков сельскохозяйственного назначения / Д. А. Шаповалов, Д. И. Рухович, А. Л. Куляница, П. В. Королева // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 5 (365). С. 5-15.
20. Гладнев В.В., Ванеева М.В., Куликова Е.В. К вопросу о применении современных геодезических технологий в проектах защиты земель от эрозии // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. № 4. С. 1770-1784. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_6\_4\_25.
21. Ванеева М.В., Сорока Ю.С., Жаренков М.Н. Сравнительный анализ точности спутниковых определений в различных режимах измерений // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2022. № 1 (14). С. 81-87.
22. ГОСТ Р 59562-2021. Съемка аэрофототопографическая. Технические требования. Москва: Стандартинформ, 2021. 66 с.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

## Сведения об авторах:

Ванеева Марина Викторовна - старший преподаватель кафедры геодезии, e-mail: marina\_vaneeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5053-2166>

Высоцкая Елена Анатольевна - доктор биологических наук, профессор, декан факультета технологии и товароведения, e-mail: murka1979@mail.ru, ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-5992-7139>

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия.

# ANALYSIS OF SATELLITE GEODETIC MEASUREMENT METHODS APPLICATION IN STUDYING SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF AGROLANDSCAPES SOIL IN PRECISION FARMING SYSTEM

M. V. Vaneeva, E. A. Vysotskaya

**Abstract.** The surface microrelief of agricultural fields significantly influences moisture distribution and soil nutrient transport. Studying and describing the horizontal transport and accumulation processes is essential for monitoring the dynamics of modern pedogenesis processes in precision farming. The objective of this study is to compare the effectiveness and sufficiency of geodetic surveys with varying picket point densities (sparse and detailed) for identifying microrelief elements and their relationship to spatial variability of agricultural soil properties, using satellite geodetic equipment to study physicochemical and agrochemical properties of soils in Voronezh region. The study examined methods for continuous and sparse topographic surveys of the microrelief of a field surface in the Verkhnekhavskiy district of Voronezh region

using satellite geodetic measurements. It is concluded that the use of detailed microrelief surveys at 20-50 m intervals only in certain problematic areas of the study area significantly reduces fieldwork time. Analysis of the study results also revealed that a contour cross-section height of 0.50 m is sufficient for identifying the boundaries of significant field microrelief elements, while providing slightly less information, compared to a cross-section height of 0.25 m, which requires more fieldwork. A topographic map obtained using 0.50 meter cross-section allows for determination of boundaries of negative and positive microrelief forms, while the finer detail of boundaries at 0.25 meter cross-section does not significantly alter the shape and arrangement of survey elements. The feasibility of using satellite geodetic surveying to study the spatial heterogeneity of soil cover associated with the influence of terrain microrelief during soil mapping and the study of horizontal variability in soil physicochemical properties is substantiated for planning precision farming interventions.

**Key words:** satellite measurements, geodetic survey, agricultural landscape microrelief, topographic plan, soil mapping, physicochemical properties of soil, precision farming.

**For citation:** Vaneeva M.V., Vysotskaya E.A. Analysis of satellite geodetic measurement methods application in studying spatial variability of physicochemical properties of agrolandscapes soil in precision farming system. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 3(15). 65-72 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-65-72>

### References

1. Rode AA. *Pochvovedenie*. [Soil]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat. 1955; 524 p.
2. Rode AA. *Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii*. [System of soil science research methods. Edited by Doctor of Agricultural Sciences, Professor R.V. Kovalev]. AN SSSR. Sib. otd-nie. In-t pochvovedeniya i agrokhimii. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie. 1971; 92 p.
3. Sibirtsev NM. *Izbrannye sochineniya*. T.1. *Pochvovedenie*. [Selected works. Vol.1. Soil science]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo selskokhozyaystvennoy literatury. 1951; 472 p.
4. Sheudzhen AKh, Bondareva TN, Onishchenko LM, Esipenko SV. *Geograficheskie zakonomernosti deystviya udobreniy*. [Geographical patterns of fertilizer action]. Maykop: Poligraf-YuG. 2017; 94 p. ISBN 978-5-9909934-6-4.
5. Nikitina LV, Romanenkov VA. [Influence of fertilization systems in a slope agricultural landscape on the potassium regime of loamy soil]. *Plodorodie*. 2020; 4 30-38 p. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.10
6. Vafina LT, Minikayev RV, Vafin NF, Sochneva SV, Trofimov NV. [Assessment of nutritional value of various types of feed, prepared from corn, depending on the level of chemicalization and soil cover of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 1 (9). 13-19 p.
7. Shpedt AA, Nikitina VI. [Influence of microrelief on the agrochemical properties of chernozem and productivity of spring wheat and barley]. *Pochvovedenie*. 2009; 8. 977-983 p.
8. Ismagilov RR, Abdullayev RR. [Change in the level of mineral nutrition of plants in a field with complex relief]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2016; 4 (16). 27-30 p.
9. Vaneeva MV, Kulikov YuA. [Landforms of agricultural lands surface as a factor in local changes in the composition and physicochemical properties of soils]. *Modeli i tekhnologii prirodobustroystva (regionalnyy aspekt)*. 2024; 2 (19). 99-104 p.
10. Samsonova VP, Meshalkina YuL. [Assessing the role of relief in spatial variability of agrochemically important soil properties for intensively cultivated agricultural land]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2014; 3. 36-44 p.
11. Rudoy EV, Petukhova MS, Ryumkin SV, Truflyak EV, Kurchenko NYu. *Nauchno-obosnovanny prognoz razvitiya tochnogo zemledeliya v Rossii*. [Scientifically based forecast of precision farming development in Russia]. Novosib. gos. agrar. un-t, Kuban. gos. agrar. un-t im. I.T. Trubilina. Novosibirsk: ITs NGAU "Zolotoy kolos". 2021; 138 p. ISBN 978-5-94477-295-4
12. Shemnyakov DV, Naliukhin AN. [Study of intra-field variability of agrochemical parameters of arable soils and determination necessity for fertilizers and ameliorants in precision farming technologies]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2015; 2 (18). 55-64 p.
13. Maher A. El-Hallaq. *Spatiotemporal analysis in land use and land cover using GIS case study: Gaza city (Period 1999 – 2007)*. *Journal of Engineering Research and Technology*. 2015; Vol.2. No.1. 48-55 p.
14. Kalichkin VK, Donchenko AS, Golokhvast KS. [Formation of a digital agricultural management system based on monitoring and long-term field experiments]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2025; 2(14). 58-68 p.
15. Vaneeva MV, Vysotskaya EA. [Monitoring spatial variation of agricultural landscapes in the precision farming system. Highly effective technologies in the agro-industrial complex]. *Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Elets: FGBOU VO "Eletskiy gosudarstvennyy universitet im. I.A. Bunina"*. 2025; 46-50 p.
16. Savin IYu, Zhogolev AV, Prudnikova EYu. [Modern trends and problems of soil cartography]. *Pochvovedenie*. 2019; 5. 517-528 p.
17. Trofimov NV, Yakhin IF. [Problems and prospects of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2025; 2(14). 69-76 p.
18. Savin IYu, Prudnikova EYu. [On the optimal timing of satellite imagery for mapping arable soils]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2014; Issue 74. 66-77 p.
19. Shapovalov DA, Rukhovich DI, Kulyanitsa AL, Koroleva PV. [Mapping of soil and land cover as an effective mechanism for forming boundaries of agricultural land plots]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2018; 5 (365). 5-15 p.
20. Gladnev VV, Vaneeva MV, Kulikova EV. [On application of modern geodetic technologies in land erosion protection projects]. *International Agricultural Journal*. 2022; Vol.65. 4. 1770-1784 p. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_6\_4\_25.
21. Vaneeva MV, Soroka YuS, Zharenkov MN. [Comparative analysis of accuracy of satellite determinations in various measurement modes]. *Modeli i tekhnologii prirodobustroystva (regionalnyy aspekt)*. 2022; 1 (14). 81-87 p.
22. Semka aerofototopograficheskaya. *Tekhnicheskie trebovaniya*. [GOST R 59562-2021. Aerial phototopographic surveying. Technical requirements]. Moscow: Standartinform. 2021; 66 p.

### Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work

### Authors:

Vaneeva Marina Viktorovna - senior lecturer, Department of Geodesy, e-mail: [marina\\_vaneeva@mail.ru](mailto:marina_vaneeva@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-5053-2166>

Vysotskaya Elena Anatolevna - Doctor of Biological Sciences, Professor, Dean of Technology and Commodity science Faculty, e-mail: [murka1979@mail.ru](mailto:murka1979@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-5992-7139>  
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia.