

Использование беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем для картографирования почвенного покрова территории

Using unmanned aerial vehicles and geographic information systems for mapping the soil cover of the territory

Anton Lavrishchev^{1*}, Anna Kramer¹, Anastasia Klyatisheva¹

¹St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

* *Corresponding author*: av.lavrishchev@yandex.ru

Аннотация

Abstract

В статье представлены результаты почвенного картографирования территории с использованием беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем. Приведены данные геоморфологического исследования участка. С помощью нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки в геоинформационной среде QGIS создана цифровая карта рельефа территории с высотой сечения 1 метр. Установлено, что диапазон высот варьирует от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря. Представлены данные геоботанического обследования территории, проводимого с корректировкой точности выделения границ растительных ассоциаций с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. Выделено 30 растительных ассоциаций. Проведено изучение морфологических и физико-химических свойств почв картографируемого участка. В геоинформационной среде QGIS создана цифровая геоботаническая и почвенная карта. Выявлено, что почвенный покров представлен дерново-подзолистыми среднегумусными почвами тяжёлого гранулометрического состава с чёткой дифференциацией почвенного профиля по содержанию илистой фракции. Почвы обладают сильнокислой реакцией среды (pH_{KCl} 4,36 ед). Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100 г, достигая максимальных значений в подзолистом горизонте. Выявлена дифференциация значений ёмкости катионного обмена и степени насыщенности оснований по профилю, минимальные значения характерны для элювиального горизонта.

Ключевые слова: ГИС, БПЛА, QGIS, почвенное картографирование, геоботаническое обследование, цифровые карты

Keywords: GIS, UAV, QGIS, soil mapping, geobotanical survey, digital maps

Введение

Introduction

Почвенное картографирование является важнейшей составной частью информации об окружающей среде и, в первую очередь, о почвенном покрове, как о главном объекте сельскохозяйственного производства. Почвенные карты являются основой для агропроизводственной оценки почв и разработки конкретных мероприятий по поднятию их плодородия, охране и наиболее эффективному использованию.

Усовершенствовать процесс составления почвенных карт можно на основе современных технологий, использующих ГИС, сочетающих в себе аналитический аппарат с пространственным представлением информации. Современное почвенное картографирование неразрывно связано с применением новых технологических приёмов, основанных на использовании цифровых технологий.

Цифровая картография почв изучалась в работах целого ряда учёных. Среди подходов цифровой картографии почв широко используются разнообразные математические методы (Мешалкина, 2012; Grunwald, 2009). Развитие цифровых методов и технологий информационного анализа определили начало качественно нового этапа в развитии почвенной картографии (Козлов с соавт., 2012; Minasny et al., 2016). За последние десятилетия появились новые технологии (геоинформационные, дистанционные), методы и алгоритмы цифрового (автоматизированного) почвенного картографирования. Созданы предпосылки для начала работ по переработке карт, полученных традиционным способом и созданию новых цифровых почвенных карт.

В работах А.И. Павловой (2021, 2022) были рассмотрены вопросы цифрового картографирования сельскохозяйственных земель с применением географических информационных систем и данных дистанционного зондирования, полученных в результате аэрофотосъёмки местности с применением беспилотного летательного аппарата, а также вопросы корректировки почвенных карт-схем с использованием данных аэрофотосъёмки местности с управляемого беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Для корректировки почвенных карт автором использован геоморфологический методический подход картографирования контуров почв.

Молев А.А. (2021) исследовал концепцию мониторинга почв, как научного направления, его принципы и возможности применения в городском пространстве. Дистанционный мониторинг позволяет избежать лишних людских и временных затрат при анализе почв, позволяет более выборочно и точно охватывать большие площади, в

краткие сроки выявлять проблемные зоны и зоны с наилучшими показателями. Мажитова Г.З. с соавт. (2020) посвятили работу вопросу агроландшафтного картографирования, применения современных геоинформационных методов, материалов дистанционного зондирования Земли для разработки агроландшафтных карт и моделей. Были рассмотрены возможности и преимущества использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве и агроландшафтных исследованиях.

В целом, накоплен опыт использования БПЛА и ГИС в самых разных отраслях народного хозяйства, в том числе области земельного надзора (Мещанинова с соавт., 2021), почвенной картографии и мелиорации (Кузнецов с соавт., 2006; Королюк с соавт., 2010; Любич с соавт., 2014; Клебанович с соавт., 2014; Тубалов, 2015; Киселёва, 2020), цифровизации и роботизации сельского хозяйства (Панфилов с соавт., 2014), в том числе в точном земледелии (Башилов, 2005)

Апробация инструментов цифровизации в почвенном картографировании наряду с традиционными методами почвенной съёмки позволит усовершенствовать методические подходы при создании цифровых карт и баз данных. Цель работы – провести почвенное картографирование территории с использованием беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем.

В задачи исследований входило:

- используя средства БПЛА и ГИС составить геоморфологическую и геоботаническую карту территории;
- провести детальное почвенное обследование территории с оформлением цифровой почвенной карты в ГИС;
- изучить морфологические и физико-химические свойства почв.

Материалы и методы

Materials and Methods

Наиболее информативным методом по характеристике почвенного покрова является почвенная съёмка. Информативность почвенной карты зависит от масштаба выявления неоднородности почвенного покрова, от его сложности и цели применения карты. Почвенные карты составляются в следующих масштабах: детальные – от 1:200 до 1:2000; крупномасштабные – от 1:5000 до 1:50000; среднемасштабные – от 1:100000

до 1:300000; мелкомасштабные – от 1:500000 до 1:1000000; обзорные – мельче 1:1000000.

Детальные почвенные карты составляются на ограниченные территории и не являются массовым видом почвенной съёмки. Составление подобных карт производится при высокой комплексности почвенного покрова, а также при подробном изучении почв опытных сельскохозяйственных предприятий.

В наших исследованиях для апробации инструментов цифровизации при картографировании участка применялась детальная почвенная съёмка. Для проведения исследований был выбран участок, расположенный в Лужском районе Ленинградской области (Российская Федерация), в настоящее время находящийся в залежи. Площадь участка – 0,8 га. Детальная почвенная съёмка является комплексным исследованием и включает, помимо почвенной карты, составление геоботанической карты и карты рельефа.

При проведении геоботанической съёмки границы растительных контуров выделялись вручную, с подсчётом растений в ассоциации для выделения преобладающих видов. Контроль за точностью выделения границ растительных ассоциаций проводили с помощью аэрофотосъёмки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) SJRC F11 4k PRO, оснащённого камерой с разрешением 4k. Карту рельефа составляли на основе нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки.

Электронные карты рельефа, геоботаническую и почвенную карты создавали в программе QGIS. Методика создания электронных карт и баз данных ранее описана нами в работе (Лаврищев с соавт., 2021; Клятышева, 2021; Клятышева с соавт., 2022;).

Закладку почвенных разрезов на поле проводили, ориентируясь на смену растительных ассоциаций и элементов микрорельефа. Морфологическое описание почвенного профиля проводили по общепринятой методике (Общесоюзная инструкция..., 1973).

Географическую привязку расположения почвенных разрезов и точек нивелирной съёмки проводили с помощью GPS-навигатора Garmin eTrex 30 со встроенным барометрическим альтиметром. Аналитические работы проводили согласно следующим методикам:

– определение содержания гумуса проводили по методу И.В. Тюрина (Новицкий с соавт., 2021);

– определение гидролитической кислотности проводили по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);

– определение суммы обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} комплексонометрическим методом (Новицкий с соавт., 2021);

– определение ёмкости катионного обмена и степени насыщенности почв основаниями – расчётным методом.

Результаты исследований

Results and Discussions

Создание геоморфологической карты (карты рельефа)

Одним из основных факторов, который оказывает сильное влияние на неоднородность почвенного покрова в пределах небольшой по площади территории, является микрорельеф. Изучение рельефа проводили несколькими способами.

Для определения превышения (разницы высоты) между точками местности, а также высот этих точек относительно принятой отсчётной поверхности, проводили нивелирную съёмку. Результаты нивелирования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты нивелирной съёмки

Table 1. Results of leveling survey

№ точки	№ точки (навигатор)	h_1	h_2	h_3	h_4	Широта	Долгота
0	271	1,40			0,00	58°50'25,4"	30°08'02,4"
1	272	1,40	+2,40	-1,00	-1,00	58°50'25,1"	30°08'00,7"
2	273	1,38	+1,60	-0,22	-0,20	58°50'24,9"	30°07'59,6"
3	274	1,33	+1,20	+0,13	+0,10	58°50'24,7"	30°07'58,7"
4	275	1,24	+1,00	+0,24	+0,40	58°50'24,7"	30°07'57,8"
5	276	1,31	+1,16	+0,15	+0,24	58°50'24,6"	30°07'56,6"
6	288	1,45	+1,27	+0,18	+0,13	58°50'24,5"	30°07'56,7"
7	289	1,43	+0,80	+0,63	+0,60	58°50'24,3"	30°07'55,7"
8	295	1,50	+1,05	+0,45	+0,33	58°50'24,2"	30°07'54,6"
9	296					58°50'24,0"	30°08'53,2"

Примечание: h_1 – высота нивелира над землёй; h_2 – показания на геодезической рейке; h_3 – превышение высот относительно предыдущей точки; h_4 – превышение высот относительно точки «0» (т. 271).

Расположение точек нивелирной съёмки, а также точек закладки почвенных разрезов представлено на рисунке 1.

В качестве альтернативного способа изучения неоднородности рельефа использовали данные SRTM-съёмки. SRTM (Shuttle radar topographic mission) – международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной топографической съёмки её поверхности. Съёмка была проведена в феврале 2000 г с помощью специальной радарной системы двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR с борта шатла «Индевор» во время 11-дневной миссии STS-99. Полученная цифровая модель охватила 80% земной суши от 56° ю. ш. до 60° с. ш. (Nikolakoroulos, 2006). В течение этого времени с помощью метода называемого радарной интерферометрией (radar interferometry) было собранно огромное количество информации о рельефе Земли.

Информация SRTM-высот была взята с сервиса Google Earth Pro при формировании файла пути (.kmz), а затем, была обработана на платформе gprvisualizer.com и преобразована в файл точек (.gpx). В таблице 2 приведены данные экспорта данных высот точек из таблицы атрибутов программы QGIS

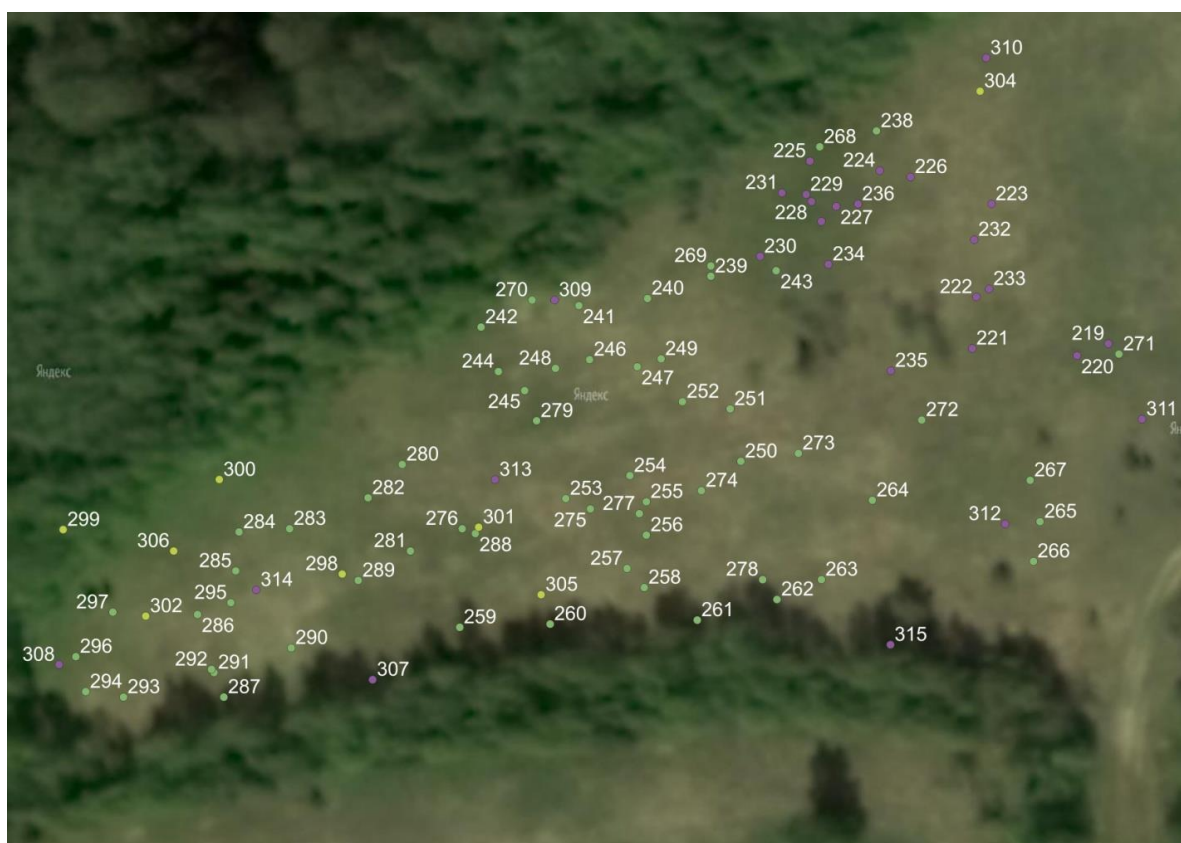
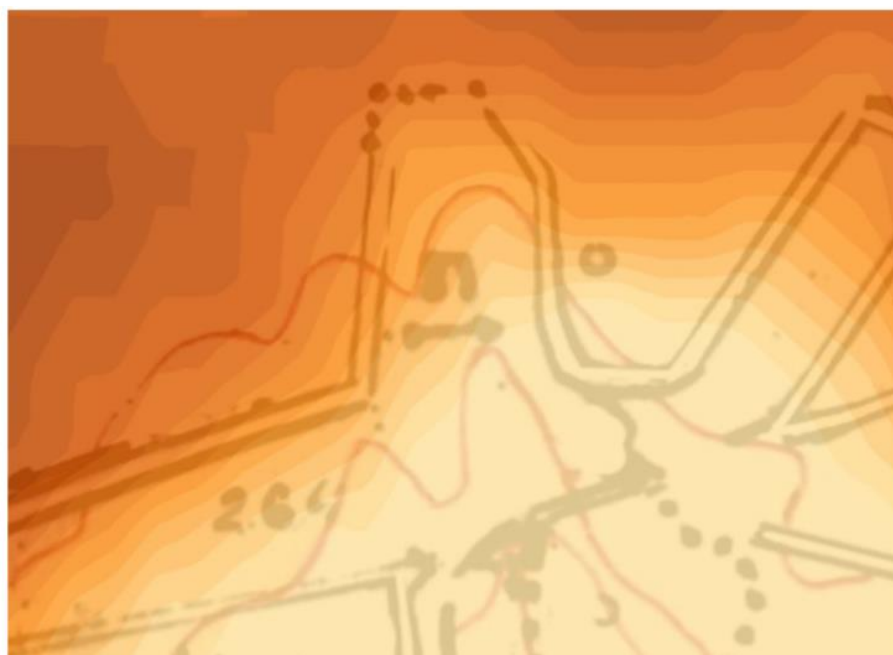
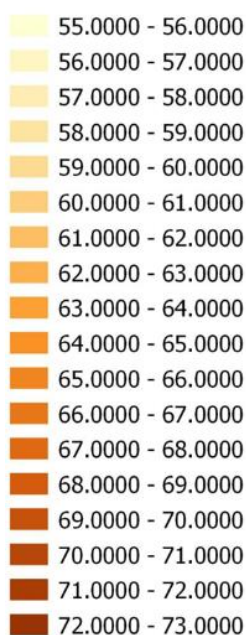


Рис. 1 Расположение точек нивелирной съёмки и закладки почвенных разрезов

Fig. 1. Location of leveling survey points and laying of soil sections

Таблица 2. Высота точек над уровнем моря**Table 2.** Height of points above sea level

№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м	№ точки	Высота над уровнем моря, м
219	59,99	239	55,69	259	58,60	279	56,78
220	59,85	240	56,18	260	58,64	280	57,10
221	58,33	241	56,00	261	57,14	281	57,04
222	58,07	242	56,37	262	57,34	282	57,01
223	58,86	243	53,72	263	57,39	283	57,11
224	59,82	244	55,24	264	57,64	284	57,12
225	60,61	245	55,24	265	57,04	285	57,11
226	59,21	246	54,38	266	56,82	286	57,10
227	59,12	247	54,40	267	56,99	287	57,10
228	59,12	248	54,37	268	57,60	288	57,46
229	60,63	249	54,63	269	57,17	289	57,47
230	61,19	250	55,09	270	57,18	290	58,77
231	61,46	251	55,86	271	55,98	291	58,87
232	58,13	252	56,99	272	55,95	292	59,31
233	57,63	253	56,68	273	54,95	293	59,95
234	56,37	254	58,19	274	54,37	294	59,96
235	56,37	255	58,21	275	55,54	295	58,67
236	56,71	256	57,06	276	57,08	296	59,96
237	54,01	257	57,06	277	57,24	297	60,44
238	55,66	258	57,03	278	55,45		

**Рис. 2** Карта рельефа, созданная на основе визуализации данных SRTM**Fig.2.** Relief map created from SRTM data visualization

Визуализация рельефа проводилась с помощью модуля Contour Plugin в программе QGIS. Полученная карта рельефа имеет высоту сечения 1 метр и охватывает диапазон высот от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря (рис. 2).

В программе Google Earth Pro был построен геоморфологический профиль (рис. 3).



Рис. 3 Геоморфологический профиль по направлению Запад – Восток
Fig. 3. Geomorphological profile in the West-East direction

Изучение рельефа показало, что территория картирования имеет небольшой уклон местности в направлении Запад-Восток. Амплитуда высот на участке, подлежащему детальному картографированию, достигает 7 метров.

Создание геоботанической карты

Пестрота почвенного покрова имеет высокую коррелятивную связь с растительностью. В связи с этим, согласно методике, на территории, подлежащей детальной почвенной съёмке, необходимо выделить растительные ассоциации.

На картируемом участке была проведена геоботаническая съёмка. Границы растительных контуров выделялись вручную, с подсчётом растений в ассоциации для выделения преобладающих видов.

По данным литературы при составлении крупномасштабных почвенных карт с использованием БПЛА существуют проблемы полевого этапа. Они заключаются в двух аспектах: отсутствие топоосновы для картографирования и необходимости поиска границ фитоценозов, которые традиционно и вполне обосновано рассматриваются в качестве границ фаций (Котлов с соавт.. 2018). Как указывают авторы статьи решение

может быть осуществлено с использованием GPS-станции и GPS-приемника, привязанного к местным координатам. Границы комплексного описания фаций отбиваются на трансектах и данных беспилотной аэрофотосъемки.

В наших исследованиях контроль за точностью выделения границ растительных ассоциаций проводили с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. На рис. 4 представлены примеры аэрофотоснимков, сделанных с помощью квадрокоптера SJRC F11 4k PRO. Кроме этого на границах ассоциаций создавались дополнительные GPS-точки, моделирующие цифровой контур.

В результате проведения геоботанической съёмки были выделены следующие растительные ассоциации:

- | | | | |
|----|---------------------------------|----|---------------------------------|
| 1 | тимофеечно-купырно-овсяничная | 16 | клеверно-лисохвосто-кострецовая |
| 2 | клеверно-купырно-пырейная | 17 | лисохвосто-кипрейно-камышовая |
| 3 | лисохвосто-бодянично-пырейная | 18 | лисохвосто-снытьево-таволговая |
| 4 | зверобойно-звезчато-кострецовая | 19 | лисохвосто-пырейно-таволговая |
| 5 | купырно-звезчато-клеверная | 20 | вейно-геранно-кипрейная |
| 6 | снытьево-лисохвосто-пырейная | 21 | вейно-ежово-геранная |
| 7 | тимофеево-таволжно-бодячная | 22 | овсянично-купырно-таволговая |
| 8 | зверобойно-подморенно-клеверная | 23 | таволгово-ежово-лисохвостая |
| 9 | ежово-купырно-снытьевая | 24 | купырно-лисохвосто-бодячная |
| 10 | нивяно-звезчато-марьяничная | 25 | овсянично-купырно-лисохвостая |
| 11 | пырейно-лисохвосто-звезчатая | 26 | геранно-купырно-снытьевая |
| 12 | овсянично-веронично-камышовая | 27 | клеверно-купырно-снытьевая |
| 13 | звезчато-клеверно-пырейная | 28 | кострецово-овсянично-купырная |
| 14 | лисохвосто-звезчато-хвощовая | 29 | лисохвосто-кипрейно-камышовая |
| 15 | купырно-лисохвосто-пырейная | 30 | кострецово-клеверно-хвощовая |

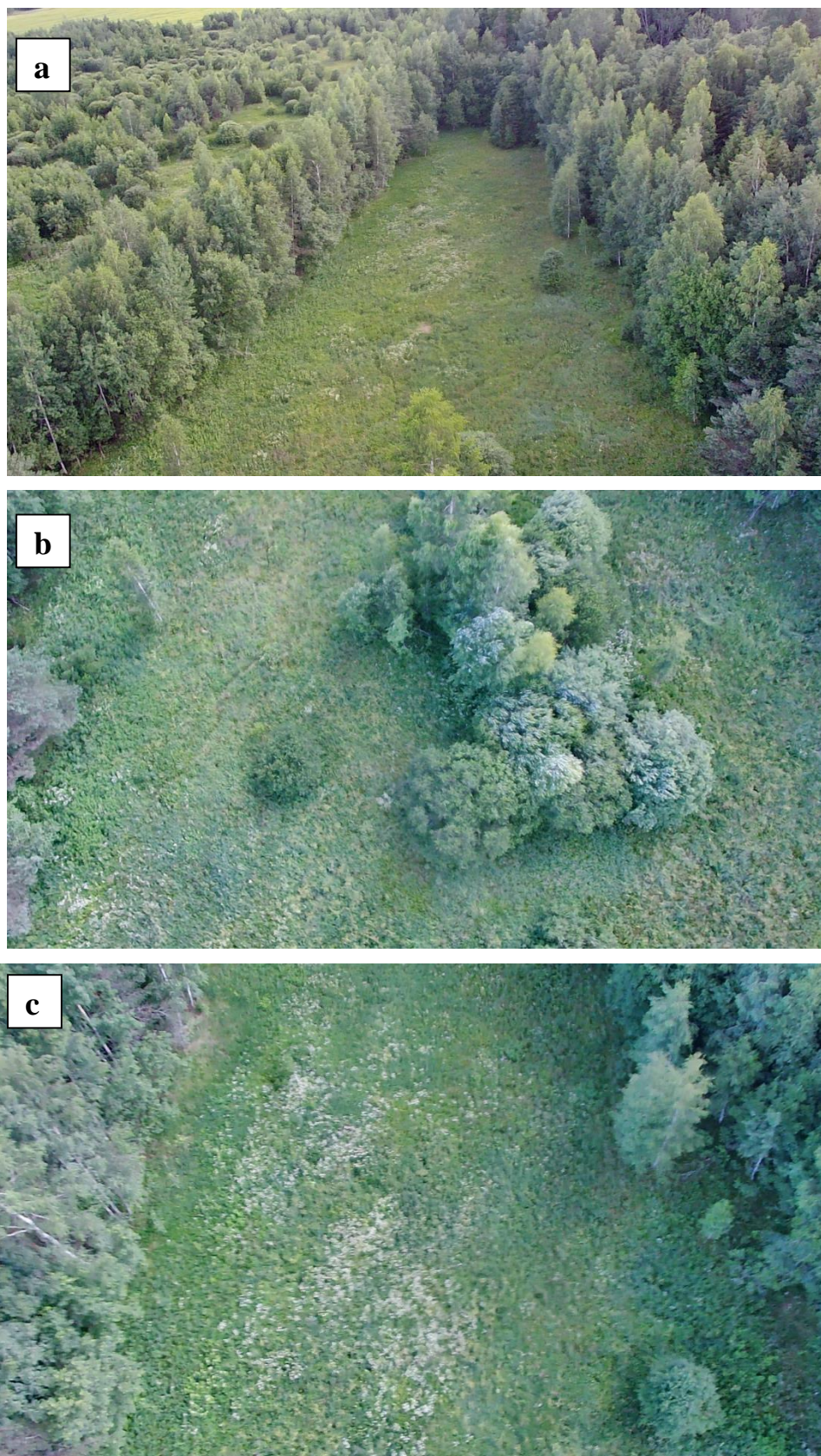


Рис. 4. Съёмка участка, подлежащего детальной почвенной съёмке с БПЛА (a, b, c)
Fig. 4. Survey of the area subject to detailed soil survey using a UAV (a, b, c)

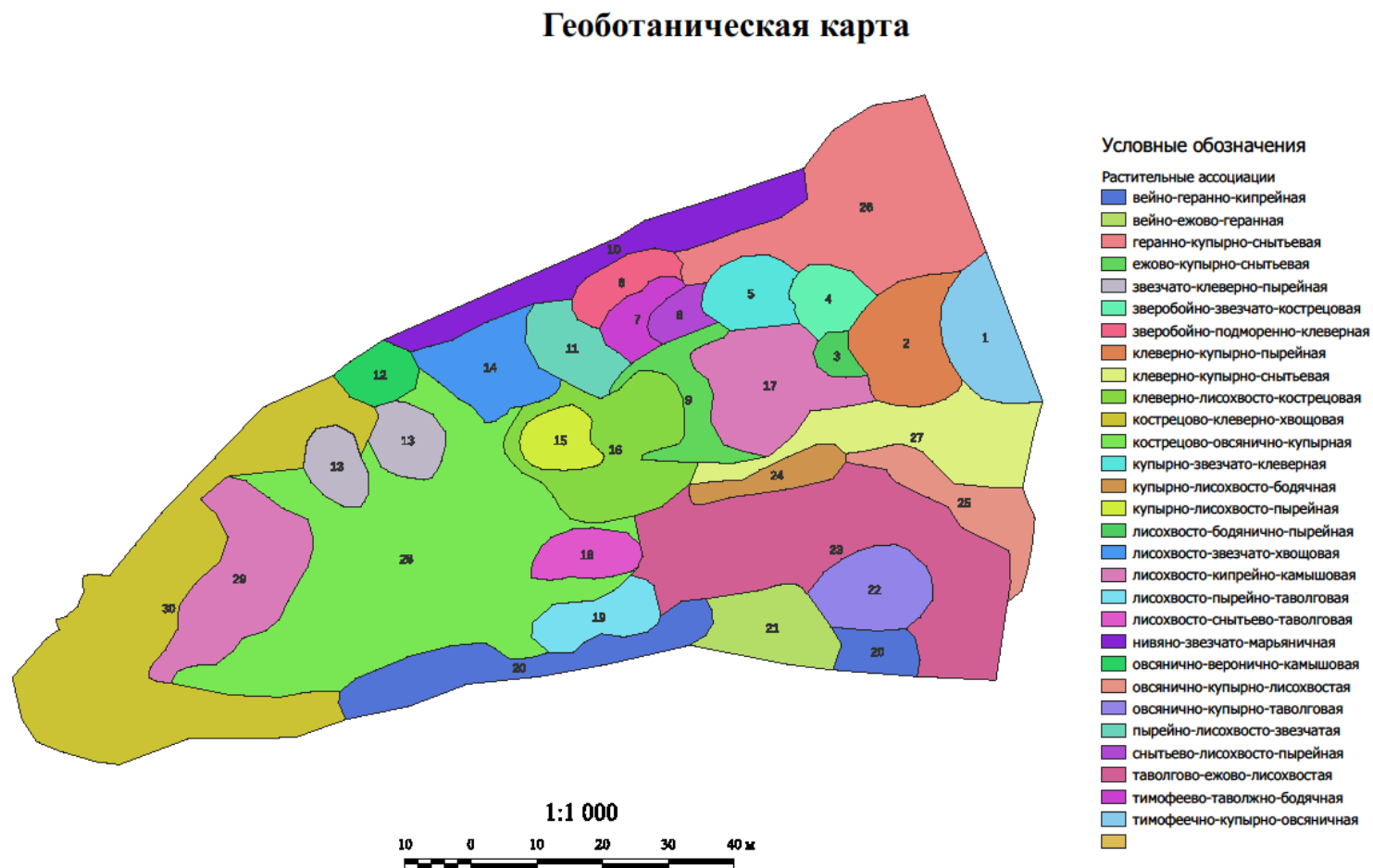


Рис. 5. Цифровая геоботаническая карта территории участка

Fig. 5. Digital geobotanical map of the study area

Создание цифровой геоботанической карты проводили с помощью кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS (рис. 5).

Создание почвенной карты

На основании карты рельефа и геоботанической карты были намечены места закладки почвенных разрезов для создания детальной почвенной карты. Морфологическое описание почвенных профилей дерново-подзолистых почв представлено ниже.

Разрез (т. 232). Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке.

Ад	0-4	– дернина
А ₁	4-42	– гумусово-элювиальный, сухой, светло-палевый с буроватым оттенком, легкосуглинистый, комковатый, плотный, корни растений, камни, угольки, переход ясный, неровный.
В	42-67	– иллювиальный, влажный, серо-коричневый, легкосуглинистый, глыбистый, очень плотный, угольки, корни, гранит, бобовина, переход ясный, ровный
С	67-(72)	– почвообразующая порода, свежий, светло-палевый, среднесуглинистый, призматический, плотный

Разрез (т. 233) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А ₁	2-21	– гумусово-элювиальный, сухой, светло-палевый, с 10 см бурый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни, бурые примазки, угольки, валунчики, валуны, переход ясный с затеками
В	21-(48)	– иллювиальный, свежий, серый с буроватым оттенком, легкосуглинистый, призматический, плотный, корни растений

Разрез (т. 270) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А ₁	3-11	– гумусово-элювиальный, влажный, палево-коричневый, легкосуглинистый, комковатый, плотный, корни, камни, переход постепенный, ровный
А ₂ В	11-33	– переходный, влажный, палево-серый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, пятна оглеения, переход резкий
В	33-41	– свежий, темно-коричневый, среднесуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, следы ожелезнения

Разрез (т. 236) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А ₁	3-43	– гумусово-элювиальный, свежий, серо-палевый, с 29 см палевый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни, угольки, переход ясный, ровный
В	43-(68)	– иллювиальный, влажный, рыже-охристый, легкосуглинистый, плитчатый, плотный, угольки, камни

Разрез (т. 237) Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А ₁	2-29	– гумусово-элювиальный, влажный, палево-коричневый, среднесуглинистый, комковатый, плотный, корни, угольки, переход резкий, ровный
В	29-39	– иллювиальный, влажный, палево-серый, среднесуглинистый, плитчатая, плотный, корни, угольки, переход четкий, ровный
С	39-(49)	– почвообразующая порода, влажный, палево-охристый, среднесуглинистый, плитчатый, очень плотный,

Разрез (т. 269) Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая турбированная на моренном суглинке

Ад	0-6	– дернина
А ₁	6-22	– гумусово-элювиальный, сухой, палевый, легкосуглинистый, комковатый, очень плотный, корни растений, угольки, камни, переход резкий, ровный
А ₂ В	22-32	– переходный, свежий, темно-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, корни, переход ясный, волнистый
В	32-(49)	– иллювиальный, свежий, светло-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, камни

Разрез (т. 301) Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
А ₁	2-34	– гумусово-элювиальный, свежий, кофейный на 16 см переход цвета в кофейно-рыжий, легкоглинистый, комковатый, очень плотный, в: корни растений, гумусовые пятна, переход по цвету четкий, ровный
В	34-52	– иллювиальный, свежий, темно-бурый, тяжелосуглинистый, призматический, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, переход ясный, языками
С	(63-)	– почвообразующая порода, влажный, палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, камни

Разрез (т. 302) Дерново-среднеподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
A ₁	2-39	– гумусово-элювиальный, влажный, темно-серый с буроватым оттенком, легкоглинистый, плитчатый, плотный, корни, угольки, переход резкий, волнистый
A ₂	39-56	– подзолистый, влажный, светло-палевый, легкоглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, пятна ожелезнения, корни, переход постепенный
B	56-68	– иллювиальный, влажный, ржаво-бурый, тяжелоглинистый, призматический, валуны
C	68- ...	– почвообразующая порода, тяжелоглинистый, валуны

Разрез (т. 303) Дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине

Ад	0-7	– дернина
A ₁	7-31	– гумусово-элювиальный, свежий, кофейный, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, в: корни, угольки, пятна ожелезнения, переход ясный, волнистый
A ₂	31-49	– подзолистый, свежий, серовато-палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, угольки, пятна ожелезнения, корни, переход ясный, затеками
B	49-58	– иллювиальный, влажный, рыже-охристый, легкоглинистый, очень плотный, пятна ожелезнения, камни

Разрез (т. 304) Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине

Ад	(0-5)	– дернина
A ₁	5-26	– гумусово-элювиальный, свежий, палевый, тяжелосуглинистый, комковато-плитчатый, очень плотный, корни, пятна ожелезнения, угольки, переход постепенный, волнистый
B	26-(49)	– иллювиальный, свежий, серо-кофейный, тяжелосуглинистый, плитчатая, очень плотный, корни, угольки, следы ожелезнения, конкреции, камни

Разрез (т. 305) Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренном суглинке

Ад	0-2	– дернина
A ₁	2-17	– гумусово-элювиальный, свежий, темно-серый с буроватым оттенком, тяжелосуглинистый, комковато-плитчатый, плотный, корни, переход ясный, затеками
A ₂	17-23	– подзолистый, свежий, светло-палевый, легкосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, гумусовые пятна, угольки, переход резкий, волнистый
A ₂ B	23-26	– переходный, свежий, рыжий, тяжелосуглинистый, плитчатый, очень плотный, корни, переход резкий, волнистый
B	26-56	– иллювиальный, влажный, бурый, тяжелосуглинистый, плитчатый, плотный, корни, переход ясный, волнистый
C	56-(67)	– почвообразующая порода, влажный, тесно-бурый, тяжелосуглинистый, призматический, очень плотный, камни

Разрез (т. 306) Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке

Ад	0-3	– дернина
А ₁	3-27	– гумусово-свежий, кофейно-охристый, легкая глина, плитчатый, угольки, корни, очень плотный, следы ожелезнения, оподзаливания, переход постепенный, волнистый
В ₁	27-44	– иллювиальный, влажный, темно-бурый, легко глинистый, комковато-плитчатый, корни, гумусовы пятна, переход ясный, языками
В ₂	44-56	– иллювиальный, влажный, светлее предыдущего,, легкоглинистый, комковато-плитчатый, корни, гумусовые пятна, переход ясный, волнистый
С	56-...	влажный, светло-палевый, тяжелосуглинистый, плитчатый

На основании проведённого изучения морфологических признаков почвенных профилей почв был составлен систематический список почв территории:

1. $\frac{P_{1Г}^A}{M}$ Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке (232,233, 236, 269)
2. $\frac{P_{1Г}^A}{M}$ Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая глееватая на моренном суглинке (270)
3. $\frac{P_{1В}^A}{M}$ Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке (237)
4. $\frac{P_{1а}^A}{M}$ Дерново-слабоподзолистая легкоглинистая на моренном суглинке (301, 306)
5. $\frac{P_{16}^A}{M}$ Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на моренном суглинке (305)
6. $\frac{P_{2а}^A}{M}$ Дерново-среднеподзолистая легкоглинистая на моренной глине (302)
7. $\frac{P_{26}^A}{M}$ Дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая на моренной глине (303, 304)

Изучение почвенного покрова показало, что он представлен дерново-подзолистыми почвами тяжёлого гранулометрического состава, сформированными на моренных отложениях. По данным детальной почвенной съёмки с помощью программы QGIS была создана почвенная карта (рис. 6).

Физико-химическая характеристика почвы

Физико-химическую характеристику почвы определяли на примере разреза № 305. Определение гранулометрического состава показало, что исследуемая почва является тяжелосуглинистой пылевато-песчаной (табл. 3).

Таблица 3. Гранулометрический состав почвы (разрез № 305)

Table 3. Granulometric composition of soil (profile No. 305)

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %						
		1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	<0,001 мм	<0,01 мм
A ₁	2-17	13,21	23,27	14,96	12,53	17,1	18,93	48,56
A ₂	17-23	19,87	25,76	28,13	9,00	9,69	7,55	26,24
A ₂ B	23-26	17,35	23,11	15,58	13,56	13,72	16,68	43,96
B	26-56	18,91	24,25	12,84	13,39	15,24	15,37	44,00
C	56-(67)	18,87	21,39	15,47	11,28	16,54	16,45	44,27

Гранулометрический состав почвы неоднороден по профилю. Наблюдается обеднение илистой фракцией горизонта A₂ и обогащение ей средней части профиля вследствие лессиважа.

Содержание гумуса в горизонте A₁ составляет 2,76 %, резко снижается с глубиной (табл. 4). По содержанию гумуса, почва относится к среднегумусным. Тип гумусового профиля – аккумулятивный неполноразвитый.

По уровню кислотности почва относится к сильнокислым, рН солевой вытяжки в гумусовом горизонте составляет 4,36 ед. Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100 г, достигая максимальных значений в подзолистом (A₂) горизонте.

Почвенная карта

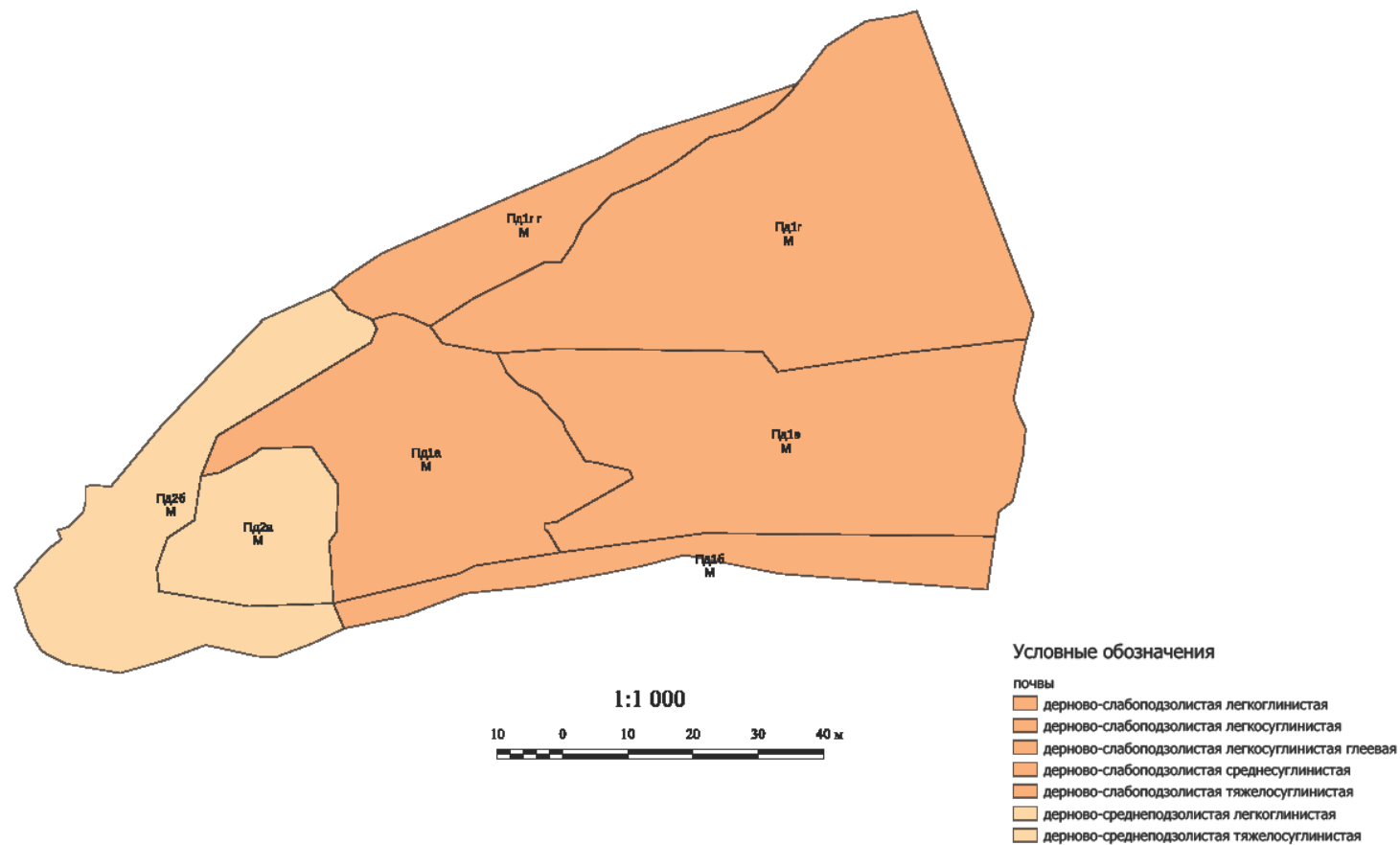


Рис. 6. Цифровая почвенная карта территории участка
Fig. 6. Digital soil map of the study area

Таблица 4. Физико-химическая характеристика почвы**Table 4.** Physicochemical characteristics of the soil

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Нг	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	ЕКО	V, %
						ммоль(экв)/100 г		
A ₁	2-17	2,76	5,35	4,36	5,62	13,44	19,06	70,51
A ₂	17-23	0,25	5,23	4,32	5,84	10,87	16,71	65,05
A ₂ B	23-26	0,22	5,64	4,98	5,76	13,95	19,71	70,78
B	26-56	0,23	5,66	4,86	5,58	15,53	21,11	73,57
C	56-(67)	0,13	5,58	4,87	5,49	14,98	20,47	73,18

Ёмкость катионного обмена изменяется по профилю от 16,71 до 21,11 ммоль(экв)/100 г. Некоторое снижение ёмкости поглощения в элювиальном (подзолистом) горизонте связано с обеднением этой части профиля илстой и коллоидной фракцией, вследствие лессиважа. Степень насыщенности почв основаниями варьирует по профилю от 65,05 до 73,57 ммоль(экв)/100 г, достигая минимальных значений в подзолистом горизонте.

Выводы

Conclusions

1. Проведено геоморфологическое исследование территории. С помощью нивелирной съёмки и данных SRTM-съёмки в геоинформационной среде QGIS создана цифровая карта рельефа территории с высотой сечения 1 метр. Диапазон высот варьирует от 53,72 до 61,46 метров над уровнем моря.

2. Проведено геоботаническое обследование территории с корректировкой точности выделения границ растительных ассоциаций с помощью аэрофотосъёмки с БПЛА. Цифровая геоботаническая карта создана в геоинформационной среде QGIS. Растительный покров представлен лугово-разнотравной растительностью, выделено 35 растительных ассоциаций.

3. В геоинформационной среде QGIS создана цифровая почвенная карта. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами тяжёлого гранулометрического состава с чёткой дифференциацией почвенного профиля по содержанию илстой фракции. Почвы относятся к среднегумусным, обладают сильнокислой реакцией среды, pH солевой вытяжки гумусового горизонта составляет 4,36 ед. Степень кислотности снижается с глубиной. Значение гидролитической кислотности, в зависимости от горизонта, варьирует в пределах 5,49-5,84 ммоль(экв)/100

г, достигая максимальных значений в подзолистом (A_2) горизонте. Выявлена дифференциация значений ЕКО и степени насыщенности оснований по профилю, минимальные значения характерны для элювиального горизонта.

Литература

References

- Grunwald S. 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma* 3–4 (152), 195–207.
- Minasny B., McBratney A.B. 2016. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma* 264, 301–311.
- Nikolakopoulos K. G.; Kamaratakis E. K.; Chrysoulakis N. 2006. SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21).
- Башилов, А.М. 2005. Визуализация и наблюдение системной сложности точного земледелия. Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства. - М.: Изд. ВИМ, с.207-213.
- Киселева, А. С. 2020. Применение ГИС-технологий для морфометрического анализа рельефа при расчете смыва почвы в севооборотах. Сборник научных работ победителей и призеров Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва, С. 111-114.
- Клебанович, Н. В., Прокопович С. Н., Путятин Ю. В. 2014. Картографирование мезоструктур почвенного покрова с использованием геоинформационных технологий (на примере Клецкого района) № 3(81), С. 23-29.
- Клятышева А.И. 2021. Особенности морфологического строения почв учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. В сборнике: «Мы - будущее Казахстана». Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Казахстан. Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир-хана (ЗКАТУ). 2021, С. 76-80.
- Клятышева А.И., Лаврищев А.В. 2022. Использование геоинформационных систем при изучении почвенного покрова учебно-опытного сада СПбГАУ. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета* № 4 (69), 101-113.

- Козлов Д.Н., Сорокина Н.П. 2012. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии под ред. А.Л. Иванов, Москва: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 35–57 с.
- Королюк Т. В., Овечкин С. В. 2010. Подходы к модернизации государственной почвенной карты России на основе методов цифровой картографии. Почвоведение № 5. С.527-537.
- Котлов, И.П. Горбунов Р. В., Фам, М. Ф. Дин В. А. Т. 2018. Беспилотная аэрофотосъемка для задач крупномасштабного картографирования горных тропических лесных ландшафтов. Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН, № 2 (6), С. 63–84.
- Кузнецов, Н. А., Парахин С. В., Садыгов Э. А. 2006. Повышение эффективности использования данных почвенных обследований с использованием геоинформационных технологий. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, № 5. С.95-96.
- Лаврищев А.В., Клятышева А.И. 2021. Почвы учебно-опытного сада Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, № 1 (62), 101-112.
- Любич В. А., Курамшин М. Р. 2014. Оценка плодородия чернозёмов южных с использованием ГИС-технологий и современных технических средств. Известия Оренбургского государственного аграрного университета № 5, 66-69.
- Мажитова, Г. З., Пашков, С. В., Крыцкий, С. В. 2020. Опыт применения БПЛА для геоинформационного обеспечения агроландшафтного картографирования. Цифровая география: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т., Пермь, 16–18 сентября 2020 года. Том I. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. С. 115-118.
- Мешалкина Ю.Л. 2012. Что такое «цифровая почвенная картография» (обзор) под ред. А.Л. Иванов, Москва: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 9–19 с.
- Мещанинова Е. Г., Николукина В. О. 2018. Перспективы использования БПЛА при осуществлении земельного надзора. Экономика и экология территориальных образований. Новочеркасск, 2(3), 122-128.
- Молев, А. А. 2021. Дистанционный мониторинг почв. Наука в мегаполисе Science in a Megapolis, № 1(27), 12.

Новицкий М.В., Лаврищев А.В., Назарова А.В., Шабанов М.В., Родичева Т.В., Мельников С.П., Баёва Н.Н., Колодка В.П. 2021. Лабораторно-практические занятия по почвоведению (2-е издание, исправленное и дополненное). Санкт-Петербург, 332 с.

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М-во сел. хоз-ва СССР. Гл. упр. землепользования и землеустройства. - Москва : Колос, 1973, 95 с.

Павлова, А. И. 2021. Применение беспилотных и геоинформационных технологий для цифрового почвенного картографирования. Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года под ред. В.В. Альта. Новосибирск - Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, С. 97-99. DOI 10.26898/agroinfo-2021-97-99.

Павлова, А. И. 2022. Цифровое почвенное картографирование на основе данных аэрофотоъёмки местности с применением беспилотных летательных аппаратов. Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов XVII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», Курск, 27–29 апреля 2022 года. Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", С. 214-217.

Панфилов А.О., Королев В.А., Воротников С.А., Польский В.А. 2014. Устройства технического зрения агроботов. Инновации в сельском хозяйстве.

Тубалов, А.А. 2015. Геоинформационное картографирование почв аридных пастбищных ландшафтов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, № 4, 81-86. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/301411> (дата обращения: 16.04.2023).

Using unmanned aerial vehicles and geographic information systems for mapping the soil cover of the territory

Anton Lavrishchev^{1*}, Anna Kramer¹, Anastasia Klyatisheva¹

¹St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye 2, 196601 St. Petersburg, Russia

* *Corresponding author*: av.lavrishchev@yandex.ru

Abstract

The article presents the results of soil mapping of the territory using unmanned aerial vehicles and geographic information systems. Data from a geomorphological study of the site are provided. Using leveling survey and SRTM survey data in the QGIS geographic information environment, a digital relief map of the territory with a cross-section height of 1 meter was created. It was found that the height range varies from 53.72 to 61.46 meters above sea level. Data from a geobotanical survey of the territory, carried out with an adjustment for the accuracy of identifying the boundaries of plant associations using aerial photography from a UAV, are presented. 30 plant associations were identified. A study of the morphological and physicochemical properties of soils in the mapped area was carried out. A digital geobotanical and soil map was created in the QGIS geographic information environment. It was revealed that the soil cover is represented by sod-podzolic medium-humus soils of heavy texture with a clear differentiation of the soil profile by the content of the silt fraction. The soils have a strongly acidic reaction of the environment ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.36$). The degree of acidity decreases with depth. The value of hydrolytic acidity, depending on the horizon, varies within 5.49-5.84 mmol (eq)/100 g, reaching maximum values in the podzolic horizon. Differentiation of the values of the cation exchange capacity and the degree of saturation of the bases along the profile was revealed, the minimum values are characteristic of the eluvial horizon.

Keywords: GIS, UAV, QGIS, soil mapping, geobotanical survey, digital maps

Received 08.07.2024

Revised 05.08.2024

Accepted 08.08.2024