

Научная статья

Original article

УДК 631.6 : 632.51 : 528.77 : 004.85

DOI 10.55186/25880209_2025_9_3_7

**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ QGIS**

**WEEDS MAPPING USING MACHINE LEARNING METHODS IN THE
GEOINFORMATION SYSTEM QGIS**



Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Смелова Светлана Станиславовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1717-0026>

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Svetlana Stanislavovna Smelova, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1717-0026>

Ahtyrskiy Sergey Aleksandrovich, associate professor, Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University (408 Oktyabrskaya revolyutsii str., Kolomna, Moscow Region, Russia, 140402)

Аннотация. Показан результат оценки степени засоренности агроценоза по данным, полученным с помощью беспилотного летательного аппарата. В результате обследования мелиорируемого участка выявлены очаги распространения и видовой состав сеgetальной флоры пропашных культур на примере картофельного поля, включающий 13 видов. Дана характеристика сорной растительности по биогруппам согласно агробиологической классификации. Путем прямого дешифрирования ортофотоплана составлена обучающая выборка засоренных участков для реклассификации исходного раstra (ортофотоплана). Методом машинного бучения с помощью инструментов геоинформационной системы QGIS разработана картосхема распространения сорной растительности на картофельном поле. Установлено, что сеgetальная флора по площади занимает 0,458 га (27,6%).

Abstract. The result of assessing the degree of fouling of the agrocenosis according to data obtained using an unmanned aerial vehicle is shown. As a result of the survey of the reclaimed area, distribution zones and species composition of the segetal flora (weedy vegetation) of row crops were identified using the example of a potato field, which includes 13 species. haracteristics of weeds by biogroups according to agrobiological classification are given. By directly aerial photograph interpretation, a training sample of segetal flora areas was compiled to reclassify the original raster (orthophotomap). The machine learning method using the tools of the geoinformation system QGIS has developed a cartographic diagram of the segetal vegetation of the

potato field. It was found that on an area of 0.458 hectares (27.6%) segetal flora is widespread.

Ключевые слова: *дешифровочные признаки, аэрофотоснимок, агроценоз, сеgetальные виды, агробиологическая реклассификация, машинное обучение, QGIS, SAGA GIS*

Keywords: decryption features of orthophotomap, aerial photograph, agrocenosis, segetal species, agrobiological reclassification, machine learning, QGIS, SAGA GIS

Введение

Основной функцией агрофитоценозов является продуцирование растительной биомассы за счет возделывания монокультур. Одной из проблем аграриев становится борьба с засильем на полях сорняков, успешно конкурирующих с культурными растениями за важнейшие экологические ресурсы среды: пространство, влагу и питательные вещества. Сорные виды отличаются неприхотливостью и высокой конкурентноспособностью по сравнению с культурными растениями. Это закономерно, так как они являются представителями природной флоры, сформировавшейся под влиянием естественного отбора. Известно множество причин появления сорняков в посевах сельскохозяйственных культур. В основном это щадящие технологии обработки земель, засоренность посевного материала, занос семян ветром, а также их неиссякаемый запас в почве. Семена некоторых сорных видов имеют высокую всхожесть и могут сохранять ее в естественных условиях десятилетиями. В этой связи важной составной частью системы защиты растений выступает фитосанитарный мониторинг сельхозугодий, который позволяет своевременно обнаруживать и устранять факторы риска, снижающие урожайность. Одним из них выступает засоренность полей сеgetальными видами растений. Искоренение последних требует достоверных сведений о их видовом разнообразии и количестве, которые можно получить в полевых условиях. Однако, традиционные методы фитосанитарного мониторинга очень трудоемки и требуют много времени [1] Альтернативой, позволяющей оценить состояние

посевов сельхозкультур, является привлечение для целей фитосанитарного обследования агрофитоценозов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что наблюдается в настоящее время за рубежом в странах с развитым аграрным сектором [2, 3].

В России, среди сельскохозяйственных растений, одно из первых мест по масштабам возделывания и универсальности использования занимает картофель. Он является важной продовольственной, кормовой и технической культурой. Бессменное возделывание картофеля на одних и тех же полях, внесение завышенных доз удобрений, неправильная подготовка почвы, отсутствие сидеральных паров способствуют засоренности посадок. При отсутствии контроля над сорной растительностью урожай картофеля может снизиться на 8...45% [4, 5], а по некоторым данным до 67...71% [5, 6, 7]. Обзор мировых данных показывает, что в среднем на засоренных посевах урожай картофеля снижаются на 35 % [8, 9]. По данным [10] даже при слабой засоренности посадок картофеля, урожайность снижалась на 30%, а при высокой – в 2,2...2,8 раза.

В 2023 г. в Российской Федерации начата реализация перспективного Федерального проекта «Развитие овощеводства и картофелеводства», результатом которого должен стать рост объемов производства картофеля до 8,2 млн т к 2030 г.¹ Одной из важнейших задач современного земледелия для повышения объемов производства продукции является поддержание надлежащего фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур. Рациональная организация защиты растений основана, прежде всего, на объективной оценке засоренности посевов и прогнозе состояния агрофитоценоза в ближайшей перспективе. Опыт авторов настоящей работы показывает, что наличие сорной растительности в культуре не позволяет корректно оценивать состояние посевов по расчетным вегетационным индексам видимого и инфракрасного спектра. Во многих случаях исследователи сталкиваются с

¹ Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена постановлением Правительства от 14 июля 2012 года № 717. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/815/events/> (дата обращения: 25.01.2024 г.).

проблемой завышения полученных расчетным путем целевых значений вегетационных индексов, которые используются для прогноза урожайности и мониторинга развития сельскохозяйственных культур. Возникает необходимость корректировки значений вегетационных индексов путем исключения влияния на них сеgetальной флоры. Это определяет **актуальность настоящей работы**. Необходимым условием для разработки эффективных мер борьбы за урожай, является определение видового состава и агроэкологических особенностей сорных растений. На актуальность разработки современных методов идентификации флористического состава сообществ сеgetальной растительности, а также прогнозирования и моделирования состояния агроценозов, в том числе с использованием дистанционного зондирования Земли, указывали в своих работах [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Изучению видового состава сеgetальных растений различных регионов России посвящен большой объем исследований [17, 18, 19, 20].

В качестве **объекта исследований** выбрано орошаемое поле картофеля в окрестностях села Городец Коломенского городского округа Московской области и сеgetальная флора данного агроценоза.

Цель исследования – оценка степени засоренности агроценоза по данным, полученным с помощью беспилотного летательного аппарата.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- изучить флористическое разнообразие сеgetальной растительности агроценозов картофеля;
- провести эколого-флористическую классификацию сеgetальных видов;
- выполнить дешифрирование и классификацию раstra (ортофотоплана) для расчета площади распространения сеgetальной флоры.

Научно-практическая значимость исследования заключается в том, что опыт картографирования сорной растительности на основе применения метода машинного обучения может быть использован для корректировки целевых значений вегетационных индексов при составлении прогнозов урожайности

сельскохозяйственных культур, планировании фитосанитарного контроля, а также при разработке мер по борьбе с сорной растительностью.

Методы и методология проведения исследования

Картофель возделывается на пойменных аллювиально-луговых насыщенных почвах среднесуглинистого гранулометрического состава в пойме р. Оки. Полевые исследования на обозначенной территории проводились традиционным глазомерно-маршрутным методом в 2021 году. Учет сеgetальных растений осуществлялся до междурядных обработок посадок сельскохозяйственной культуры. Собраны гербарные образцы сорных видов растений. Номенклатура растений приведена по Тихомирову В.Н. [21].

Актуальные снимки в естественных цветах (true color) получены с помощью БПЛА Hubsan Zino PRO, съемка выполнена *in situ*. БПЛА был запрограммирован на режим облета по точкам с заданной геопозицией (траектория движения по точкам с известными GPS-координатами, точность перемещения между которыми контролируется с помощью связи БПЛА со спутниками), полет выполнен на высоте 250 м в безветренную погоду. В результате получена серия аэрофотоснимков в ортогональной проекции, объединенных в ортофотоплан (рисунок 1а) с помощью геоинформационной системы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходная система координат – WGS 84 (Pseudo-Mercator, EPSG:3857). Полученный растр дешифровался по визуальным признакам сеgetальной и культурной растительности (рисунок 1в). Легенда картосхемы и дешифровочные признаки приведены в таблице 1. Исходный растр реклассифицировался (reclassify), так как представлял собой слой RGB-каналов с непрерывными данными. Реклассификация выполнялась для каждого канала в геоинформационной системе SAGA GIS 8.1.1 с помощью инструмента «Reclassify Grid Values» (метод «Single»). Полученные реклассифицированные R, G и B-растры в GeoTIFF-формате объединялись в итоговый слой с дискретными классами. Обучающая выборка подготовлена на основе составленных дешифровочных признаков по результатам полевых исследований. Для

повышения точности картографирования применялся метод машинного обучения в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»).



а



б



в

Рисунок 1 – Ортофотоплан (а), фрагмент аэрофотоснимка картофельного поля (б) и картосхема распределения сегетальной растительности (в)

Таблица 1 – Легенда картосхемы и типичные дешифровочные признаки

Легенда	№ контура	Цвет	Структура	Сегетальная растительность
	1	зеленый	мелкопятнистая	марь белая, паслен черный
	2	зеленовато-серый	точечная	щирца запрокинутая, осот полевой
	3	серовато-зеленый	пятнисто-точечная	полынь обыкновенная, ромашник ободраный, лебеда раскидистая, ежовник обыкновенный
	4	светло-зеленый	полосчатая	хвощ полевой, звездчатка средняя
	5	салатовый	полосчатая	щетинник сизый
	6	сери-коричневый	однородная	отсутствует (оголенная почва)

Итоговый растровый слой включает 6 классов (см. № контуров в таблице 1), сформированных на основе дешифровочных признаков. В анализируемый векторизованный слой включались фрагменты (классы) поля с сегетальной флорой. Оценка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area в среде программы QGIS.

Результаты и обсуждение

При полевом обследовании картофельных посадок авторами было выявлено 13 видов сорнотравья с разной агроактивностью. Их обилие в посадках определялось по шкале Друде [22]. Преобладающими сорняками в данном агроценозе явились виды, отнесенные к яровым и озимым малолетникам, что составляет 61,5 % от общего их количества. На долю многолетних видов пришлось 38,5 %. Биоразнообразие сорных видов растений и степень засоренности посадок картофеля приведены в таблице 2. Исследуемые виды принадлежат к разным семействам и имеют разные жизненные формы (биоморфы) – от вьющихся и ползучих до полукустарничков. Отмеченные виды были включены в общую базу данных «Конспект сегетально-рудеральной флоры

и гидрофильной растительности мелиоративных объектов юго-востока Московской области»².

Таблица 2 – Биоразнообразие и агроэкологические особенности сегетальных видов

Название (рус.)	Название (лат.)	Засоренность посевов	Агроактивность*
Марь белая	<i>Chenopodium album</i>	Copiosae (много)	высокоактивный
Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i>	Sparsae (мало)	среднеактивный
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Sparsae (мало)	среднеактивный
Осот полевой	<i>Sonchus arvensis</i>	Sparsae (мало)	среднеактивный
Щетинник сизый	<i>Setaria pumila</i>	Sparsae (мало)	среднеактивный
Паслен черный	<i>Solanum nigrum</i>	Solitariae (единично)	малоактивный
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i>	Solitariae (единично)	высокоактивный
Мята полевая	<i>Mentha arvensis</i>	Solitariae (единично)	малоактивный
Звездчатка средняя	<i>Stellaria media</i>	Solitariae (единично)	высокоактивный
Лебеда раскидистая	<i>Atriplex patula</i>	Solitariae (единично)	неактивный
Полынь обыкновенная	<i>Artemisia vulgaris</i>	Solitariae (единично)	высокоактивный
Ромашник ободраный	<i>Chamomilla recutita</i>	Solitariae (единично)	среднеактивный
Ежовник обыкновенный	<i>Echinochloa crusgalli</i>	Solitariae (единично)	среднеактивный

*Агроактивность дана по П.В. Кондраткову³

Согласно агробиологической классификации [23] обнаруженные на картофельном поле сегетальные виды представлены 6-ю биогруппами.

1. Яровые малолетники. Жизненный цикл таких видов ограничен одним вегетационным периодом. Эти растения могут существовать только на рыхлой обрабатываемой почве. Образуя огромное количество семян, они способны дать несколько поколений в течение одного сезона.

а) *Яровые ранние* – проявляют свойства ранних яровых культур: трогаются в рост рано весной при температуре почвы 5...7 °С и заканчивают развитие до или одновременно с уборкой культурных растений. Осенние всходы из осыпавшихся семян погибают от морозов задолго до плодоношения.

² Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620094 Российская Федерация. Конспект сегетально-рудеральной флоры и гидрофитной растительности мелиоративных объектов юго-востока Московской области : № 2021623348 : заявл. 24.12.2021 : опубл. 12.01.2022 / С. С. Смелова, М. С. Зверьков, С. С. Турапин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга".

³ Кондратков П.В. Сегетальные растения Свердловской области: биологическое разнообразие и агрофитоценоотическая приуроченность : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / Москва, Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина Российской академии наук. 2020. 19 с.

Представители: марь белая (*Chenopodium album*), лебеда раскидистая (*Atriplex patula*), звездчатка средняя (*Stellaria media*), ромашник ободраный (*Chamomilla recutita*).

б) *Яровые поздние* – проявляют свойства поздних яровых культур: прорастают летом при прогреве почвы до 18...20 °С, растут и развиваются медленно, созревание наступает после уборки ранних культурных растений, в посевах поздних культур – одновременно с уборкой. Среди них много специализированных, растущих только в посевах близких по биологическим признакам и агротехнике культур. В нашем случае это щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), щетинник сизый (*Setaria glauca*), паслен черный (*Solanum nigrum*).

2. Озимые малолетники. Цикл их развития начинается в одном вегетационном периоде, а заканчивается после зимовки в другом. В картофельных посадках к таким видам отнесен ежовник обыкновенный или куриное просо (*Echinochloa crusgalli*).

3. Многолетники. Эта группа представлена наибольшим количеством видов вследствие их биологического разнообразия.

а) *Корнеотпрысковые* сорные растения размножаются с помощью вертикальных и горизонтальных корневых отпрысков (подземные побеги), развивающихся впоследствии в полноценные надземные побеги. Позднее дочерние побеги формируют самостоятельную корневую систему и становятся очагами нового вегетативного размножения. Сорняки этой группы относятся к злостным. Часть корневых отпрысков этих сорняков располагается в подпахотном слое. Это помогает добывать воду из более глубоких слоев почвы, чем расположена корневая система картофеля. Кроме корневых отпрысков многие из них легко размножаются семенами-летучками. Из составленного авторами настоящего исследования списка (далее – Список) сюда относятся осот полевой (*Sonchus arvensis*) и вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*).

б) *Корневищные* сорные виды отличаются наличием подземных побегов с многочисленными зачаточными почками и большим запасом питательных

веществ. Размножение этой группы сорняков в основном происходит вегетативным путем. Эти физиологические особенности сильно осложняют борьбу с ними. В списке это хвощ полевой (*Equisetum arvense*) и мята полевая (*Mentha arvensis*).

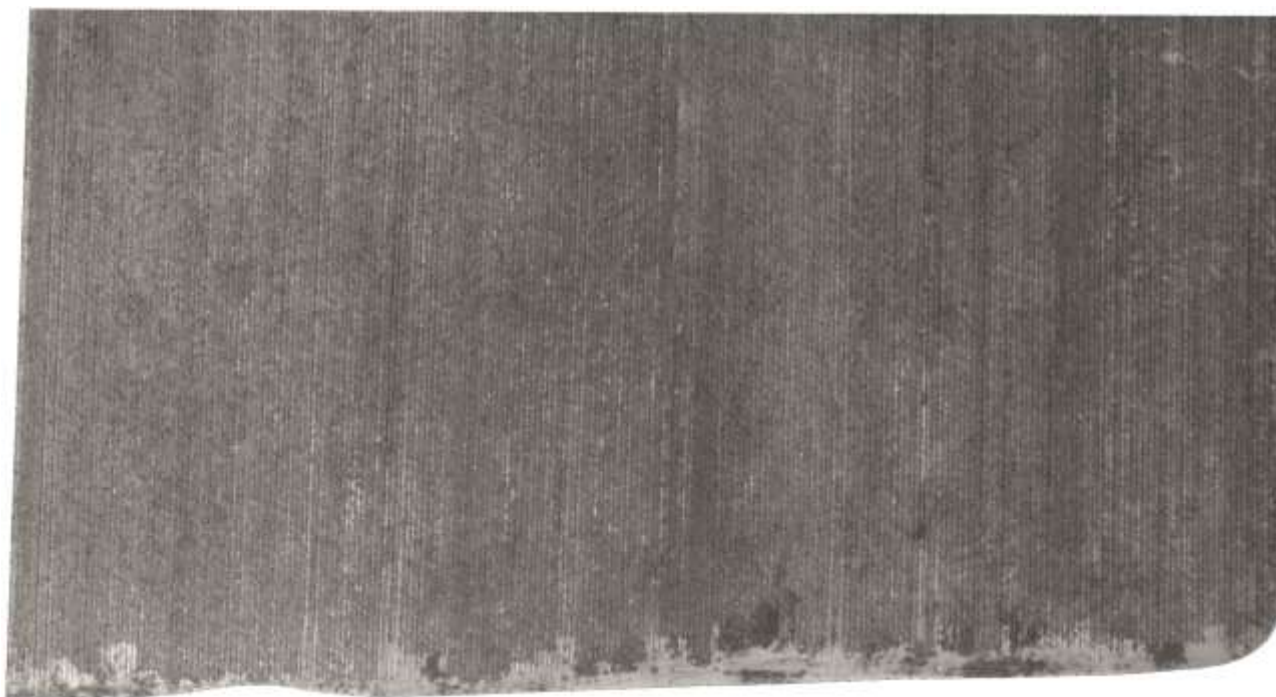
в) *Стержнекорневые* сорняки имеют хорошо развитый главный корень с множеством боковых корешков. Размножаются преимущественно семенами. Вегетативное размножение идет за счет придаточных почек, которые ежегодно закладываются в верхней части главного корня на корневой шейке. В посадках картофеля нами был найден один вид из этой группы – полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*).

По месту произрастания и специализации все сорняки делятся на: рудеральные – растущие на свалках, пустырях, вблизи дорог и сеgetальные – встречающиеся в посевах и на парах. Однако, следует отметить, что четкой разницы в принадлежности к той или иной категории нет.

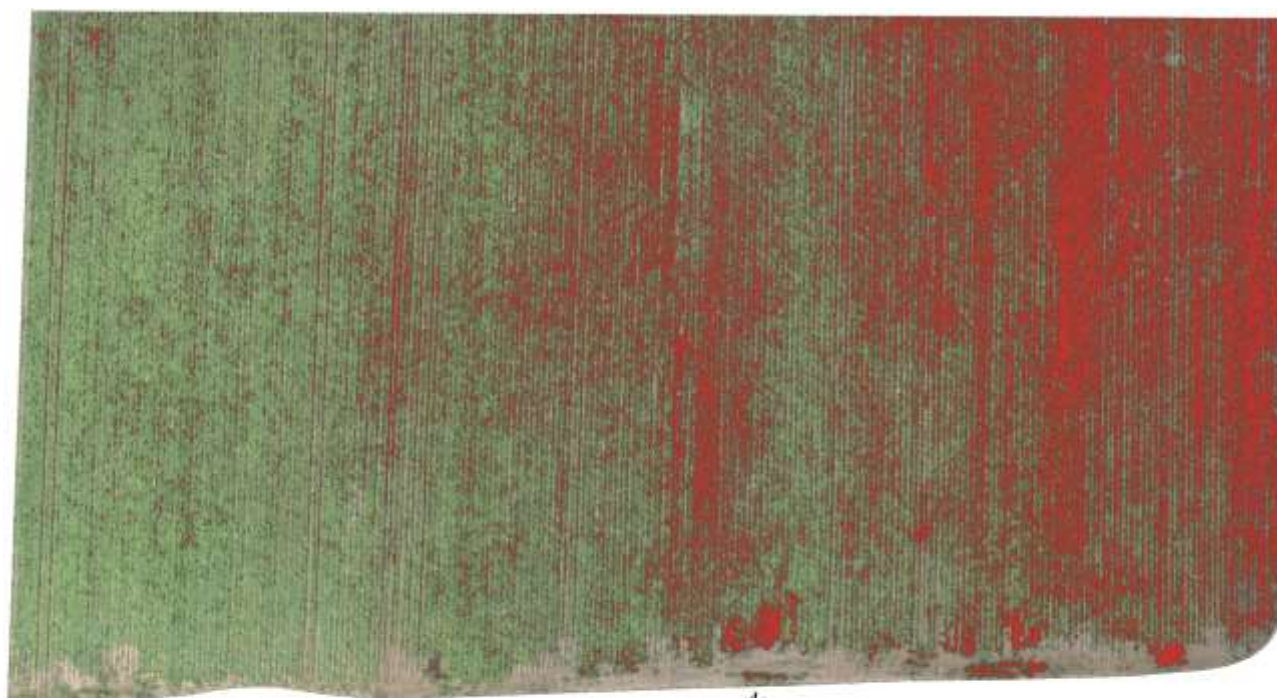
После изучения флористического состава и проведения эколого-флористической классификации сеgetальных видов следующий этап исследования включал оценку засоренных площадей агроценоза картофеля. Прямое («ручное») дешифрирование ортофотоплана имеет сложность ввиду особенности растровых снимков. Мозаичность изображения (размеры и цветовые каналы пикселей, локальные артефакты изображения, например, объекты, находящиеся в тени, блики растительности и др.) при детальном крупномасштабном анализе аэрофотоснимка мешают выделять искомые контуры сеgetальной флоры. В результате чего возрастает влияние субъективного фактора на точность оценки. Кроме того, данная операция является очень трудоемкой. Поэтому на практике наиболее перспективный метод - автоматическая классификация пикселей в растровых данных. Это значительно ускоряет исследование и снижает степень влияния субъективного фактора.

На рисунке 2 приведен результат применения метода машинного обучения для картографирования сорной растительности. Общая площадь исследования

составила 1,658 га. Установлено, что на площади 0,458 га (27,6%) распространена сегетальная флора.



а



б

Рисунок 2 – Реклассифицированный растр (а), растр с отображением сегетальной растительности (красный цвет) (б)

Выводы

Проделанная работа по исследованию засоренности пропашных культур, в частности картофеля, показала, что без полевых исследований определить наличие и биоразнообразие сорных видов в посадках весьма затруднительно. Крупные очаги могут быть дешифрованы относительно легко, в то время как зоны с их небольшим количеством практически не различимы на ортофотопланах. Поэтому в исследованиях возрастает влияние субъективного фактора. Снизить трудоемкость и субъективность такого анализа позволяют методы машинного обучения.

Литература

1. Мониторинг фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур и обеспечение фитосанитарной безопасности / Н.И. Шилова, А.В. Куриный, К.М. Шилова // 3i: Intellect, Idea, Innovation - интеллект, идея, инновация. 2015. № 1. С. 229-236.
2. Дубачинский С.Н. Принятие технологических решений в зависимости от фитосанитарного состояния агроценозов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2007. Т. 2. N 14-1. С. 121-124.
3. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей фитосанитарного мониторинга в отношении сорных растений / Ю.В. Шумилов, Н.Н. Лунева, С.А. Ермоленко [и др.] // Вестник защиты растений. 2018. № 4(98). С. 22-27. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-22-27.
4. Oerke E.-C. Crop losses to pests // The Journal of Agricultural Science. 2006ю Vol.144(1). P. 31-43. DOI:10.1017/S0021859605005708.
5. Potential potato yield loss from weed interference in the United States and Canada / Ganie Z.A., Soltani N., McKenzie-Gopsill A.G., et al. // Weed Technology. 2023. Vol. 37(1). P. 21-24. DOI:10.1017/wet.2023.5.
6. Экологические аспекты вредоносности сорных растений в агроценозе картофеля / З.П. Оказова, Н.Л. Адаев, И.М. Ханиева // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 5(395). С. 545-548. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_545.

7. Tolman J.H., McLeod D.G.R., Harris C.R. Yield losses in potatoes, onions and rutabagas in Southwestern Ontario, Canada – the case for pest control // Crop Prot, 1986. Vol. 5. P. 227–237. DOI: 10.1016/0261-2194(86)90055-4.

8. Вредоносность сорных растений на посевах сельскохозяйственных культур / М.Г. Абдулнатилов, Т.С. Байбулатов // Современные проблемы и перспективы развития аграрной науки: сб. Междун. науч.-практ. конф. Махачкала: Дагестанская ГСХА, 2010. С. 195-197.

9. Державин Л.М., Исаев В.В., Березкин Ю.Н. Засоренность полей и задачи комплексной борьбы с сорняками // Земледелие. 1984. №2. С. 45-47.

10. Эффективность механических и интегрированных систем контроля сорняков в посадках картофеля / О.Н. Курдюкова, Е.П. Тыщук // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т.32. № 3. С. 88-91.

11. Сегетальные сообщества Башкирии / Б.М. Миркин, Л.М. Абрамова, А.Р. Ишбирдин [и др.]. Уфа: БФАН СССР, 1985. 155 с.

12. Защита ярового ячменя от сорной растительности в ростовской области / А.В. Гринько // Научное обеспечение агропромышленного комплекса на современном этапе: мат. Междун. науч.-практ. конф. п. Рассвет: ЮФУ, 2015. С. 289-293.

13. Снижение сорной растительности биологическим методом / С.А. Бекузарова, В.И. Буйякин, Т.А. Дулаев // Тобольск научный – 2017: Мат. ... науч.-практ. конф. Тобольск: ООО "Аксиома", 2017. С. 19-21.

14. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Управление состоянием агроценоза на основе данных дистанционного зондирования земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 71-84. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-71-84.

15. Комплекс мелиоративных изысканий при подготовке длительно неиспользуемого участка для введения в сельскохозяйственный оборот / В.Е. Кижаяева, В.О. Пешкова // Экология и строительство. 2022. № 1. С. 4-11. DOI: 10.35688/2413-8452-2022-01-001.

16. Отечественный и зарубежный опыт применения гербицидов в системе точного земледелия / А.М. Шпанев // Агрофизика. 2016. № 2. С. 24-34.
17. Сегетальная флора некоторых регионов России: характеристика таксономической структуры / А.С. Третьякова, О.Г. Баранова, Н.Н. Лунева [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 123-133. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133.
18. Сорно-полевые сообщества агрофитоценозов в системе органического земледелия No-till / Г.Р. Хасанова, Х.М. Сафин, С.М. Ямалов, М.В. Лебедева // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. Т. 24, № 3(87). С. 20-28.
19. Флористический состав сегетальной растительности в посевах ярового ячменя / Е.П. Кондратенко, Е.В. Старовойтова, А.В. Старовойтов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (185). С. 35-47.
20. Тарик Е.П., Купрюшкин Д.П., Дмитриев П.А., Вардуни Т.В. флористическое разнообразие сегетальной растительности агроценозов зерновых культур северного Приазовья // Живые и биокосные системы. 2023. № 44. DOI: 10.18522/2308-9709-2023-44-2.
21. Определитель растений Мещеры / под ред. проф. В. Н. Тихомирова. Москва: Изд-во Московского университета. Ч. 1. 1986. 240 с. : Ч. 2. 1987. 224 с.
22. Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Методическое руководство. Том 3, Издательство: Академии Наук СССР. 1964. 530 с.
23. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство: Учебник / В.С. Никляев, В.С. Косинский, В.В. Ткачев, А.А. Сучилина; под ред. В.С. Никляева. М. : Былина, 2000. 555 с.

References

1. Monitoring fitosanitarnogo sostoyaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i obespechenie fitosanitarnoi bezopasnosti / N.I. Shilova, A.V. Kurinyi, K.M. Shilova // 3i: Intellect, Idea, Innovation - intellekt, ideya, innovatsiya. 2015. № 1. С. 229-236.

2. Dubachinskii S.N. Prinyatie tekhnologicheskikh reshenii v zavisimosti ot fitosanitarnogo sostoyaniya agrotsenozov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. T. 2. N 14-1. S. 121-124.
3. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya tselei fitosanitarnogo monitoringa v otnoshenii sornykh rastenii / Yu.V. Shumilov, N.N. Luneva, S.A. Ermolenko [i dr.] // Vestnik zashchity rastenii. 2018. № 4(98). S. 22-27. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-22-27.
4. Oerke E-C. Crop losses to pests // The Journal of Agricultural Science. 2006yu Vol.144(1). P. 31-43. DOI:10.1017/S0021859605005708.
5. Potential potato yield loss from weed interference in the United States and Canada / Ganie Z.A., Soltani N., McKenzie-Gopsill A.G., et al. // Weed Technology. 2023. Vol. 37(1). P. 21-24. DOI:10.1017/wet.2023.5.
6. Ekologicheskie aspekty vredonosnosti sornykh rastenii v agrotsenoze kartofelya / Z.P. Okazova, N.L. Adaev, I.M. Khanieva // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2023. № 5(395). S. 545-548. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_545.
7. Tolman J.H., McLeod D.G.R., Harris C.R. Yield losses in potatoes, onions and rutabagas in Southwestern Ontario, Canada – the case for pest control // Crop Prot, 1986. Vol. 5. P. 227–237. DOI: 10.1016/0261-2194(86)90055-4.
8. Vredonosnost' sornykh rastenii na posevakh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur / M.G. Abdulnatipov, T.S. Baibulatov // Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya agrarnoi nauki: sb. Mezhdun. nauch.-prakt. konf. Makhachkala: Dagestanskaya GSKhA, 2010. S. 195-197.
9. Derzhavin L.M., Isaev V.V., Berezkin Yu.N. Zasorennost' polei i zadachi kompleksnoi bor'by s sornyakami // Zemledelie. 1984. №2. S. 45-47.
10. Effektivnost' mekhanicheskikh i integrirovannykh sistem kontrolya sornyakov v posadkakh kartofelya / O.N. Kurdyukova, E.P. Tyshchuk // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T.32. № 3. S. 88-91.
11. Segetal'nye soobshchestva Bashkirii / B.M. Mirkin, L.M. Abramova, A.R. Ishbirdin [i dr.]. Ufa: BFAN SSSR, 1985. 155 s.

12. Zashchita yarovogo yachmenya ot sornoj rastitel'nosti v rostovskoi oblasti / A.V. Grin'ko // Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa na sovremennom etape: mat. Mezhdun. nauch.-prakt. konf. p. Rassvet: YuFU, 2015. S. 289-293.

13. Snizhenie sornoj rastitel'nosti biologicheskim metodom / S.A. Bekuzarova, V.I. Buyankin, T.A. Dulaev // Tobol'sk nauchnyi – 2017: Mat. ... nauch.-prakt. konf. Tobol'sk: OOO "Aksioma", 2017. S. 19-21.

14. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. Upravlenie sostoyaniem agrotsenoza na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2023. T. 20. № 3. S. 71-84. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-71-84.

15. Kompleks meliorativnykh izyskanii pri podgotovke dlitel'no neispol'zuemogo uchastka dlya vvedeniya v sel'skokhozyaistvennyi oborot / V.E. Kizhaeva, V.O. Peshkova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2022. № 1. S. 4-11. DOI: 10.35688/2413-8452-2022-01-001.

16. Otechestvennyi i zarubezhnyi opyt primeneniya gerbitsidov v sisteme tochnogo zemledeliya / A.M. Shpanev // Agrofizika. 2016. № 2. S. 24-34.

17. Segetal'naya flora nekotorykh regionov Rossii: kharakteristika taksonomicheskoi struktury / A.S. Tret'yakova, O.G. Baranova, N.N. Luneva [i dr.] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181. № 2. S. 123-133. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133.

18. Sorno-polevye soobshchestva agrofitotsenozov v sisteme organicheskogo zemledeliya No-till / G.R. Khasanova, Kh.M. Safin, S.M. Yamalov, M.V. Lebedeva // Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. 2017. T. 24, № 3(87). S. 20-28.

19. Floristicheskii sostav segetal'noi rastitel'nosti v posevakh yarovogo yachmenya / E.P. Kondratenko, E.V. Starovoitova, A.V. Starovoitov [i dr.] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 3 (185). S. 35-47.

20. Tarik E.P., Kupryushkin D.P., Dmitriev P.A., Varduni T.V. floristicheskoe raznoobrazie segetal'noi rastitel'nosti agrotsenozov zernovykh kul'tur severnogo

Priazov'ya // Zhivye i biokosnye sistemy. 2023. № 44. DOI: 10.18522/2308-9709-2023-44-2.

21. Opredeletel' rastenii Meshchery / pod red. prof. V. N. Tikhomirova. Moskva: Izd-vo Moskovskogo universiteta. Ch. 1. 1986. 240 s. : Ch. 2. 1987. 224 s.

22. Korchagin A.A. Polevaya geobotanika. Metodicheskoe rukovodstvo. Tom 3, Izdatel'stvo: Akademii Nauk SSSR. 1964. 530 s.

23. Osnovy tekhnologii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva. Zemledelie i rastenievodstvo: Uchebnik / V.S. Niklyayev, V.S. Kosinskii, V.V. Tkachev, A.A. Suchilina; pod red. V.S. Niklyayeva. M. : Bylina, 2000. 555 s.

© Зверьков М.С., Смелова С.С. 2025. *International agricultural journal*, 2025, № 3, 783-800.

Для цитирования: Зверьков М.С., Смелова С.С. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ QGIS // *International agricultural journal*. 2025. № 3, 783-800.