

Инструментальные методы выявления хлороза виноградной лозы в Крыму

Андрюс Эдмундо Юцис¹, аспирант, РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, Москва; директор Ассоциации виноградарей и виноделов «Севастополь», yutsis.a.e@gmail.com;

Софья Владиславовна Железова¹, канд.биол.наук, доцент РГАУ-МСХА им.К.А.Тимирязева, soferrum@mail.ru; Карл-Хайнц Даммер², PhD, приват-доцент, Институт сельского хозяйства и биоэкономики имени Лейбница

¹127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

²The Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Potsdam, Germany

Проблема хлороза винограда является актуальной для почвенно-агроэкологических условий Крыма. Проведена оценка развития хлороза двумя новыми инструментальными методами в сравнении с традиционным визуальным осмотром. Показано, что хлороз винограда в фазу начала образования ягоды хорошо идентифицируется с помощью определения вегетационного индекса NDVI прибором GreenSeeker Handheld, а также методом автоматического распознавания фотоизображений листьев в видимом диапазоне спектра. Данные методы можно применять в автоматическом режиме для выборочной обработки растений хелатными формами железа по листу.

Ключевые слова: виноградник; хлороз; вегетационный индекс NDVI; GreenSeeker; фотосъемка в видимом диапазоне.

Введение. Согласно официальным источникам и данным Министерства сельского хозяйства Крыма и Департамента сельского хозяйства г. Севастополь, площадь виноградников в Республике Крым и городе федерального значения Севастополь за 2017 г. составила 22,7 тыс. га, в том числе площадь плодоносящих виноградников – 16 тыс. га [1, 2]. По другим оценкам (данные информационного агентства Интерфакс от 14.03.2017 [3]), виноградники в Крыму занимают 32 тыс. га, и эта цифра от года к году увеличивается. До 2020 г. в Крыму планируется заложить еще 1,85 тыс. га виноградников [2]. В настоящее время, в связи с бурным развитием информационных технологий и инструментария сельскохозяйственного производства, в отрасли есть возможность для широкого внедрения

ORIGINAL ARTICLE

Instrumental methods to detect grapevine chlorosis in the vineyards of Crimea

Andryus Edmundo Yutsis¹, Sofia Vladislavovna Zhelezova¹, Karl-Heinz Dammer²,

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow;

²Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Potsdam, Germany

Grapevine chlorosis is a matter of pressing concern in the soil-agroecological conditions of Crimea. Two new instrumental methods for chlorosis detection were tested and compared to traditional visual inspection. It was demonstrated that grapevine chlorosis at the berry set formation stage is easily identified by NDVI vegetation index identification using GreenSeeker Handheld device, as well as by leaf photographic images automatic recognition in the visible range of the spectrum. These methods can be used in automatic regime for the identification of chlorosis, and selective foliar treatment with ferric chelates.

Key words: vineyard; chlorosis; NDVI vegetation index; GreenSeeker; visible range photograph.

технических инноваций и модернизации, что требует, во-первых, подготовки высококвалифицированных кадров [4], а, во-вторых, разработки общего методического подхода и частных локальных сценариев для оценки свойств почвы и состояния виноградников [5]. Почвенный покров предгорных районов Крыма характеризуется сильной пестротой [6] и зачастую не самыми оптимальными условиями в корнеобитаемом слое, что может приводить к локальным проявлениям железодефицитного хлороза винограда. Эта проблема актуальна даже для процветающих хозяйств, где тщательно выполняются технологические карты ухода за виноградными посадками. Успех культуры винограда зависит от совокупности агроэкологических условий на плантации, и, в частности, от свойств почвы [7–10]. Неблагоприятные агрофизические и химические свойства почвы [11, 12], наряду с явлением восприимчивости сортов подвоя к свойствам почвы [13–15], могут вызывать хлороз винограда, что в конечном итоге приводит к потерям урожая и снижению качества продукции. Хлороз можно выявить визуально при осмотре (традиционный метод) и инструментально, по оптическим характеристикам отражающей способности листьев. Для инструментального распознавания пятен хлороза можно использовать вегетационный индекс NDVI¹ [16–18], а также другие методы, основанные на измерении оптических характеристик растений. Инструментальные методы могут быть использованы как при наземном осмотре, так и дистанционно, такие обследования можно автоматизировать. Выявление и локализация

Как цитировать эту статью:

Юцис А.Э., Железова С.В., Даммер К.-Х. Инструментальные методы выявления хлороза виноградной лозы в Крыму // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2019; 21(1). С.41-45

How to cite this article:

Yutsis A.E., Zhelezova S.V., Dammer K.-H. Instrumental methods to detect grapevine chlorosis in the vineyards of Crimea. Magarach. Viticulture and Winemaking, 2019; 21(1); pp. 41-45.

УДК 634.8.047:632.3:57.087

Поступила 24.06.2018

Принята к публикации 11.02.2019

© Авторы, 2019

¹ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, обычно называемый вегетационным индексом – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы. Вычисляется по формуле:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}),$$

где ρ_{NIR} – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра, ρ_{RED} – коэффициент отражения в красной области спектра. Диапазон абсолютных значений индекса NDVI лежит в интервале от –1 до +1. Для растительности индекс принимает положительные значения (приблизительно от 0,20 до 0,9), и чем больше зелёная фитомасса растений в момент измерения, тем значение NDVI ближе к единице.

пятен распространения хлороза с помощью наземной оценки с применением новых инструментальных методов является важным шагом к внедрению методов точного земледелия на виноградниках.

Цель исследования: сравнить возможности традиционного визуального осмотра и двух инструментальных методов для наземного мониторинга хлороза виноградной лозы.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются производственные площади виноградника УРРА, с. Родное, Балаклавский район, Севастополь. Виноградник расположен на высоте 375–400 м над уровнем моря. Данная территория принадлежит к зоне распространения коричневых почв сухих лесов и кустарников, для которых «характерны значительная мощность гумусовой толщи, высокая оглиненность всего профиля, особенно его средней части, наличие карбонатно-иллювиального горизонта, полная или почти полная насыщенность поглощающего комплекса основаниями, довольно четкая цветовая дифференциация почвенного профиля, нейтральная или слабощелочная реакция верхних горизонтов и щелочная нижних» [6]. На склонах часто наблюдаются процессы почвенной водной эрозии, сползания почвенной массы, поэтому мощность горизонта А сильно варьирует, а подстилающие щебнистые отложения могут залегать на разной глубине. Все это приводит к ярко выраженной неоднородности почвенных условий, что внешне отражается в неравномерности развития растений винограда в разных частях плантации, и в частности, в локальном проявлении хлороза. Диаметр выявленных в посадках пятен распространения хлороза составляет 4–6 м, включая в себя несколько соседних растений винограда. На участке были заложены четыре точки обследования: две точки с проявлениями хлороза на виноградной лозе и на расстоянии в 10–15 м от них две контрольные точки без проявления хлороза (рис. 1). На данных участках размещены посадки 2014 г., сорт Рислинг.

Наземный мониторинг хлороза включал визуальный осмотр и бальную оценку проявления хлороза (%), а также инструментальное определение NDVI листы с помощью прибора GreenSeeker Handheld [19] и фотосъемку листы фотоаппаратом Nikon One J3 с объективом 1 Nikkor VR 10-30mm f/3.5-5.6. Съемку проводили в видимом диапазоне с УФ-защитным светофильтром. Снимки обработаны методом математического анализа гистограмм, соответствующих трём спектральным каналам изображения (RGB). Для обработки фотоснимков использовали про-

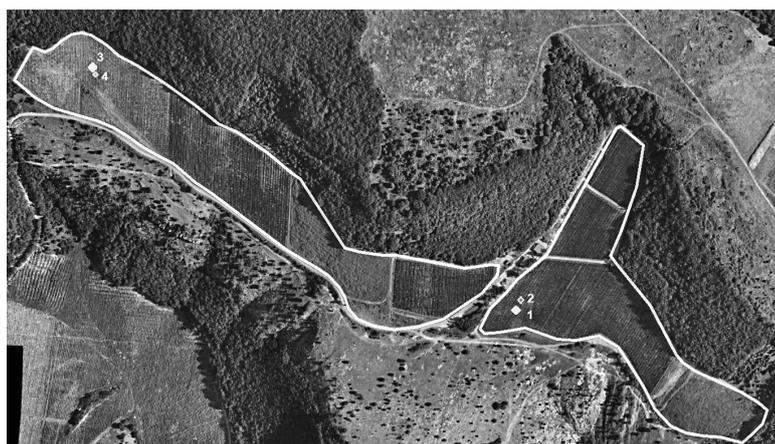


Рис. 1. Расположение экспериментальных площадок для оценки хлороза на винограднике УРРА: 1 и 3 – точки с развитием хлороза, 2 и 4 – контрольные точки без хлороза

Figure 1. Experimental plot location for the assessment of grapevine chlorosis in the vineyard: 1 and 3 – points manifesting development of chlorosis; 2 and 4 – control points with no chlorosis

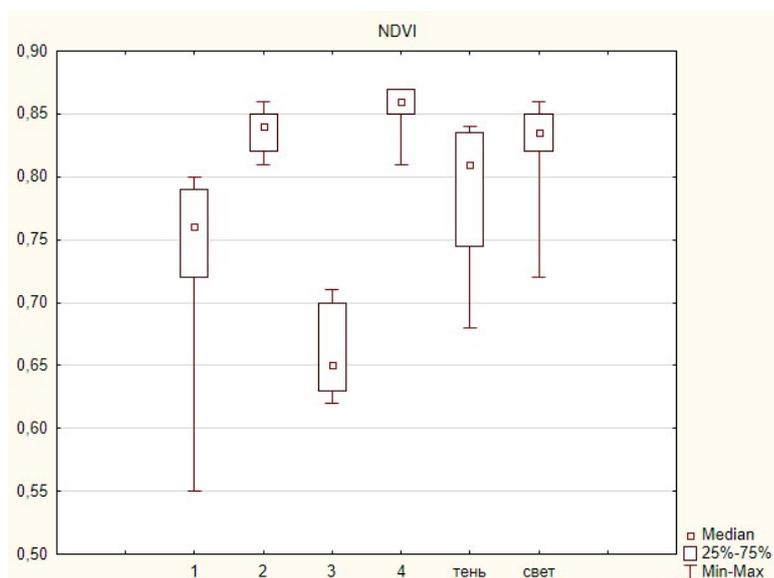


Рис. 2. Размах значений NDVI винограда сорта Рислинг в фазу начала образования ягоды при наличии и отсутствии признаков хлороза листьев на плантации: 1 и 3 – места с хлорозом; 2 и 4 – места без хлороза; «тень» и «свет» – сопряженные исследования вдоль ряда посадки без признаков хлороза на освещенной солнцем и теневой стороне.

Figure 2. NDVI value range for Riesling grape variety at the onset of berry formation stage with and without signs of chlorosis on the leaves in the vineyard: 1 and 3 spots with chlorosis; 2 and 4 – spots without chlorosis; “shadow” and “light” – associated analysis along the row without signs of chlorosis on the sunlit and on the shady sides

грамму MATLAB, а расчёт статистических характеристик показателя NDVI при отсутствии и наличии хлороза проводили в пакетах программ Excel MS Office и Statistica.

Результаты и обсуждение

Индекс NDVI, измеренный 6 июля 2017 г. при наземном обследовании прибором GreenSeeker Handheld по листьям винограда на высоте 1–1,2 м от земли, по посадкам сорта Рислинг в фазу начала формирования ягоды в среднем составил $0,79 \pm 0,02$ при абсолютном размахе от 0,65 до 0,90 и коэффициенте вариации 9% (повторность измерений в данном эксперименте составила 80).

Оценка наличия хлороза по индексу NDVI при наземном обследовании демонстрирует существенное, на 0,1–0,2 единицы, снижение этого показателя (рис. 2). На винограде без признаков хлороза NDVI листы составил в среднем 0,84–0,86, а



Рис. 3. Оценка хлороза листьев винограда сорта Рислинг с применением математической обработки цветных фотографий: а - исходный снимок листьев с развитым хлорозом, б - этот же снимок в виде бинарного изображения; с - исходный снимок листьев без признаков хлороза, d - этот же снимок в виде бинарного изображения.

Figure 3. Assessment of Riesling grape variety leaves for chlorosis using mathematical processing of coloured images: a - the initial picture of the leaves with developed chlorosis; b - the same picture as a binary image; c - the initial picture of the leaves with no signs of chlorosis; d - the same picture as a binary image

при наличии хлороза – 0,66–0,75 (коэффициент вариации – 1–2 и 5–8% соответственно). Дополнительно было проведено исследование показателя NDVI на теневой и освещенной сторонах единичного ряда посадки длиной 80 м. При 12-кратной повторности сопряженных измерений выявлена лишь слабая тенденция снижения индекса NDVI листьев на теневой стороне, при этом разница между NDVI на прямом свету и в тени является несущественной (рис. 2).

Снижение NDVI на 0,1–0,2 единицы в пиковую фазу развития листовой поверхности свидетельствует о подавлении фотосинтетической деятельности листьев, что ожидается приводит к снижению урожайности продукции. Так, ранее проведенными исследованиями на зерновых было показано, что при снижении NDVI в пиковую фазу развития от 0,8 до 0,7, урожайность посева в конце сезона снижалась на 18–20% [20]. Для подтверждения данной закономерности на плодовых и ягодных культурах требуются дополнительные исследования.

Метод фотосъемки с последующей математической обработкой сигналов отражения в видимом диапазоне также позволил достоверно диагностировать хлороз листьев винограда. Цветное изображение после математического алгоритма пересчета переводится в бинарное изображение, где используются только белые и черные пиксели (рис. 3). При этом обесцвеченные листья и выраженные пятна хлороза показаны на изображении белым цветом, а зеленые части листа – черным. Таким образом, чем сильнее выражен хлороз на исходных фотографиях листьев, тем больше белого цвета на обработанном изображении (рис. 3, а, б). Листья без проявления хлороза после математической обработки изображения будут выглядеть на снимке черным фоном (рис. 3, в, г). Дополнительные эксперименты оценки развития хлороза в условиях различной затененности и яркой контрастной освещенности листьев подтверждают, что данный метод оценки не зависит от наличия тени на изображениях (рис. 4).

Перевод цветного изображения в бинарное проводили с помощью программы MATLAB с вычисле-

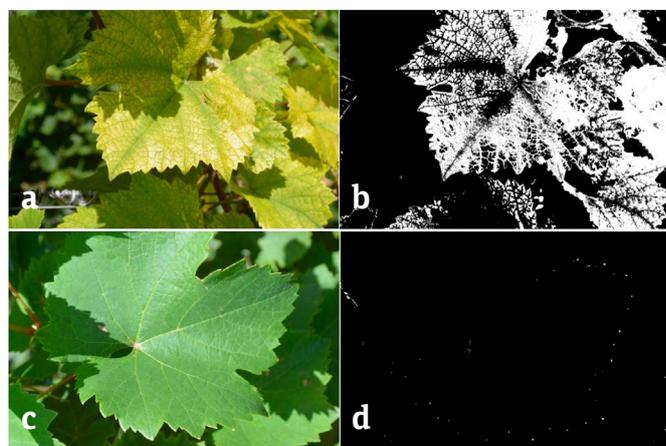


Рис. 4. Оценка хлороза листьев винограда сорта Рислинг в условиях разной освещенности: а - исходный снимок листьев с развитым хлорозом, частичное затенение листьев, б - этот же снимок в виде бинарного изображения; с - исходный снимок листьев без признаков хлороза, частичное затенение листьев, d - этот же снимок в виде бинарного изображения.

Figure 4. Assessment of Riesling grape variety leaves for chlorosis under varied illumination intensity: a - the initial picture of the leaves with developed chlorosis, leaves partially in the shadow; b - the same picture as a binary image; c - the initial picture of the leaves with no signs of chlorosis, leaves partially shaded; d - the same picture as a binary image

нием для каждого исходного изображения необходимых параметров и пороговых значений в двух вариантах цветового пространства: L^*A^*B и H^*S^*V . Объем выборки: по 37 фотоизображений для каждого варианта. Результаты автоматического распознавания хлороза в двух указанных вариантах светового пространства коррелируют с визуальной балльной оценкой наличия хлороза (рис. 5). Коэффициенты детерминации уравнений линейной регрессии на примере двух эталонных снимков подтверждают достоверность автоматического распознавания хлороза винограда по фотоснимкам в видимом диапазоне (таб.).

Заключение

Определение хлороза листьев винограда с применением инструментальных методов оценки NDVI или автоматического распознавания цветовых характеристик фотоизображений в видимом диапазоне не уступает традиционной визуальной оценке наличия

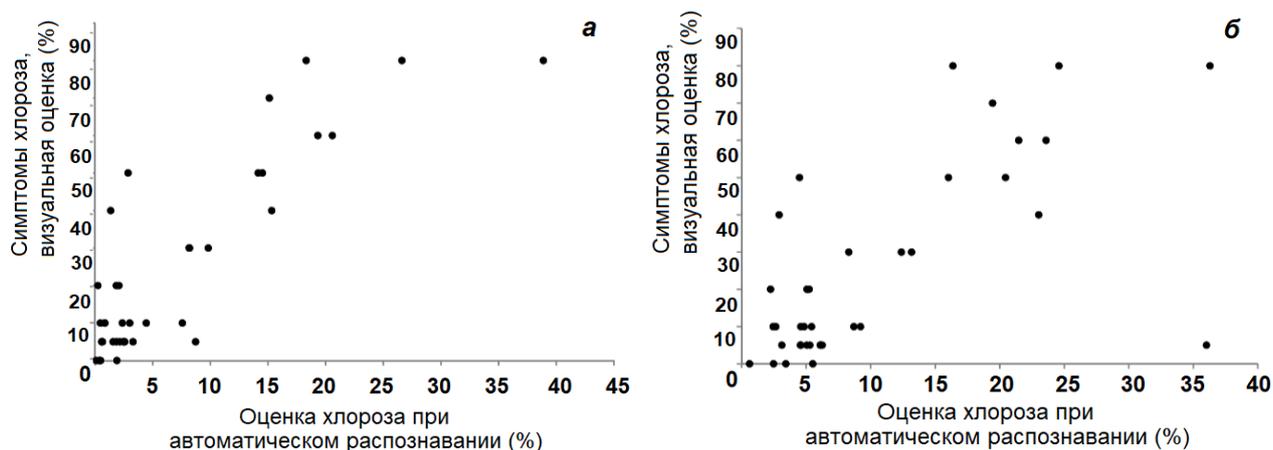


Рис. 5. Соотношение результатов визуальной и автоматической оценки хлороза при использовании двух алгоритмов распознавания фотоизображений (объём выборки 37): а – расчёт по алгоритму цветового пространства L*A*B; б – расчёт по алгоритму цветового пространства H*S*V.

Figure 5. The correlation between visual and automatic chlorosis assessment results when using two image recognition algorithms: a) Calculation by the colour space algorithm L*A*B; b) Calculation by the colour space algorithm H*S*V

Таблица. Коэффициенты детерминации уравнений линейной регрессии между визуальной оценкой развития хлороза (%) и инструментальной оценкой с применением фотокамеры и последующей автоматической обработкой снимков

Table. Determination coefficient for linear regression equations between the visual assessment of chlorosis development (%) and instrumental assessment using a picture making camera with subsequent automatic image processing

Контрольный снимок, №	Цветовое пространство при обработке снимка по MATLAB	R ²
1	L*A*B	0.468
1	H*S*V	0.440
2	L*A*B	0.736
2	H*S*V	0.450

хлороза по чувствительности метода. По скорости осмотра посадок инструментальные обследования могут давать существенное преимущество, т.к. их можно проводить в автоматическом режиме при движении техники вдоль рядов винограда. Таким образом, можно быстро и с высокой точностью в автоматическом режиме определять хлороз инструментальными методами по NDVI и цветовым характеристикам листьев. С помощью таких обследований становится возможным проводить выборочную обработку растений по листу хелатными формами железа по технологии онлайн или офлайн.

Источники финансирования

Не указан.

Financing source

Not specified.

Конфликт интересов

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

- Дрягин В.Б., Николенко А. А. Состояние виноградарства Российской Федерации // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2017, № 1 – С. 28–30.
- Dryagin V.B, Nikolenko A. A. *Sostoyanie vinogradarstva Rossijskoj Federatsii. Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie.* [Magarach. Viticulture and Winemaking]. 2017, № 1, pp. 28–30. (in Russian)]
- Итоги работы отрасли виноградарства и виноделия Республики Крым за 2016 год. <https://msh.rk.gov.ru/file/itogi-raboty-otrasli-vinogradarstva-i-vinodeliya-respubliki-krym-za-2016-god.pdf> Дата обращения: 04.04.2018г.
- Track record of the work conducted in the field of viticulture and winemaking of the Republic of Crimea in 2016. <https://msh.rk.gov.ru/file/itogi-raboty-otrasli-vinogradarstva-i-vinodeliya-respubliki-krym-za-2016-god.pdf> Data obrashcheniya: 04.04.2018 g. (in Russian)
- Артемова Е. Новые лозы <http://www.interfax-russia.ru/Crimea/view.asp?id=814794> Дата публикации 14.03.2017. Дата обращения: 04.04.2018г.
- Artemova E. *Novye lozy* [New grapevines] <http://www.interfax-russia.ru/Crimea/view.asp?id=814794> Publication date: 14.03.2017. Reference date: 04.04.2018. (in Russian)
- Борисенко М. Н., Скориков Н. А., Мишунова Л. А., Годжаев З. А. О создании Российской технологической платформы «Инновационные машинные технологии сельского хозяйства» / Магарач. Виноградарство и виноделие. 2016, № 3 – с. 16–18.
- Borisenko M. N., Skorikov N. A., Mishunova L. A., Godzhaev Z. A. *O sozdanii Rossijskoj tekhnologicheskoy platformy «Innovacionnye mashinnye tekhnologii sel'skogo hoz'yajstva».* *Magarach. Vinogradarstvo y vinodelie.* [On development of Russian technological platform "Novel machine technologies in agriculture". Magarach. Viticulture and Winemaking]. 2016, № 3, pp. 16–18. (in Russian)
- Борисенко М. Н., Рыбалко Е. А., Баранова Н. В., Ткаченко О. В., Твардовская Л. Б., Иванченко В. И., Воскресенская Е. Н., Вышкваркова Е. В., Коваленко О. Ю., Маслова В. Н., Новиков А. А. Научно обоснованная концепция для разработки модели перспективного планирования размещения виноградных насаждений в западном Предгорно-приморском районе Крыма в условиях изменяющегося климата / Виноградарство и виноделие. Ялта, 2015. Сборник научных трудов, 2015., том XLV – с. 25–28.
- Borisenko M. N., Rybalko E. A., Baranova N. V., Tkachenko O. V., Tvardovskaya L. B., Ivanchenko V. I., Voskresenskaya E. N., Vyshkvarikova E. V., Kovalenko O. Yu., Maslova V. N., Novikov A. A. *Nauchno obosnovannaya koncepciya dlya razrabotki modeli perspektivnogo planirovaniya razmeshcheniya vinogradnyh nasazhdenij v zapadnom Predgornno-primorskom rajone Kryma v usloviyah izmenyayushchegosya klimata / Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking]. Yalta, 2015. Collection of scientific papers, 2015., Vol. XLV, pp. 25–28. (in Russian)

6. Опанасенко Н.Е. Почвенный покров и почвы Степного и Предгорного Крыма / В кн.: Система садоводства Республики Крым. – Копылов В.И., Балькина Е.Б., Беренштейн И.Б., Бурлак В.А., Валеева Н.Г., Корниенко Н.Я., Опанасенко Н.Е., Потанин Д.В., Пичугин А.М., Рябов В.А., Скляр С.И., Сторчов В.Н., Стрюкова Н.М., Сычевский М.Е. – ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь, 2016. – С. 29–45. eLibrary_27600395_29522378.pdf Дата обращения: 04.04.2018г.
- Опанасенко Н.Е. *Pochvennyy pokrov i pochvy Stepnogo i Predgornogo Kryma* [Topsoilandsoilofthesteppelandpredmont Crimea] / In the book: *Sistema sadovodstva respubliky Krym*. – Kopylov V.I., Balykina E.B., Berenshtejn I.B., Burlak V.A., Valeeva N.G., Kornienko N.YA., Opanasenko N.E., Potanin D.V., Pichugin A.M., Ryabov V.A., Sklyar S.I., Storchov V.N., Stryukova N.M., Sychevskij M.E. [Crimean Federal University named after V.I.Vernadsky, Academy of Bioresources and Environmental Management. Simferopol, 2016. pp. 29–45. eLibrary_27600395_29522378.pdf Reference date: 04.04.2018. (in Russian)]
7. Рабаданов Г., Рабаданов Р. Модульный подход при оценке земель для возделывания виноградников / LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 52 с.
- Rabadanov G., Rabadanov R. *Modul'nyy podhod pri ocenke zemel' dlya vozdelevaniya vinogradnikov* [Modular approach to soil assessment for viticulture establishment] / LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015, 52 p.
8. Мерджаниан А.С. Виноградарство / А.С. Мерджаниан. – М.: Колос 1967. – 489 с.
- [Merzhanian A.C. *Vinogradarstvo* [Viticulture] / A.C. Merzhanian. М.: Kolos 1967, 489 p. (in Russian)]
9. Оценка хлорозоопасности почв для винограда (методические указания) / Сост. Н.А. Драган – Москва, 1987. – 39 с.
- Otsenka hlorozoopasnosti pochv dlya vinograda (metodicheskie ukazaniya)* [Assessment of yellow disease hazard for grapevine (methodological guidelines)] / compiled by N.A. Dragan – Moskva, 1987, 39 p. (in Russian)
10. Акчурин А.Р., Костенко И.В. К оценке пригодности аллювиально-луговых почв Крыма под виноградники / Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2008. № 130. – С. 16–24. eLibrary_24332222_98685433.pdf Дата обращения: 04.04.2018г.
- Akchurin A.R., Kostenko I.V. *K otsenke prigodnosti allyuvial'no-lugovykh pochv Kryma pod vinogradniki* / *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. [Revisiting appraisal of alluvial meadow soils of Crimea for their suitability for the establishment of vineyards: Collection of scientific papers of the State Nikitsky Botanical Garden]. 2008. № 130, pp. 16–24. eLibrary_24332222_98685433.pdf, reference date: 04.04.2018. (in Russian)
11. Оценка пригодности почв под виноградники (методические рекомендации) / Сост. А.Ф. Яхонтов, А.Ф. Скворцов, Н.А. Драган, В.Т. Зубоченко, И.Я. Заяц, И.Г. Шашков. – Симферополь, 1990. – 42 с.
- Otsenka prigodnosti pochv pod vinogradniki* [Appraisal of soils for their suitability for the establishment of vineyards: methodological guidelines] / compiled by A.F. Yakhontov, A.F. Skvortsov, N.A. Dragan, V.T. Zubochenko, I.Ya. Zayac, I.G. Shashkov. Simferopol, 1990, 42 p. (in Russian)
12. Накаидзе И.А. Почвенные условия и хлороз виноградной лозы в Грузии / Автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук / Грузинский ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственный институт. Тбилиси, 1966 – 56 с. eLibrary_30261660_57500436.pdf Дата обращения: 04.04.2018г.
- Nakaidze I.A. *Pochvennyye usloviya y bloroz vinogradnoj lozy v Gruzii* [Soil conditions and yellow disease of a grapevine in Georgia] Author's abstract Dr. Agric. Sci. Diss. / *Gruzinskij ordena Trudovogo Krasnogo Znameni sel'skobozyajstvennyj institut*. Tbilisi, 1966, 56 p. eLibrary_30261660_57500436.pdf, reference date: 04.04.2018. (in Russian)
13. Полищук Р.А. Известковый хлороз виноградной лозы и применение комплексонов для его устранения / Автореферат дис. ... кандидата биологических наук / Институт физиологии. Киев, 1967 – 24 с. eLibrary_30263276_25955941.pdf Дата обращения: 04.04.2018 г.
- Polishchuk R.A. *Izvestkovyy hloroz vinogradnoj lozy i primeneniye kompleksonov dlya ego ustraneniya* [Lime-induced chlorosis in grapevine and chelate application to address the problem], Author's abstract Biol. Cand. Diss. / Institute of Physiology. Kiev, 1967, 24 p. eLibrary_30263276_25955941.pdf, referencedate: 04.04.2018. (in Russian)
14. Борисенко М.Н., Котоловец З.В. Устойчивость подвойных сортов винограда к содержанию активной извести в почве / Виноградарство и виноделие. 2012. Т. 42. – С. 29–31.
- Borisenko M.N., Kotolovec' Z.V. *Ustojchivost' podvoynykh sortov vinograda k sodержaniyu aktivnoj izvesti v pochve* / *Vinogradarstvo i vinodelie*. [Viticulture and Winemaking]. 2012, vol. 42, pp. 29–31. (in Russian)
15. Аскеров Э.С. Аффинитет и хлорозуостойчивость сортоподвойных комбинаций винограда в южном Дагестане / Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2012. № 1–1. – С. 35–39.
- Askerov E.S. *Affinitet i hlorozoustojchivost' sortopodvoynykh kombinatsii vinograda v yuzhnom Dagestane* / *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. № 1–1, pp. 35–39. (in Russian)]
16. Kyaw T., Ferguson R. B., Adamchuk V. I., Marx D. B., Tarkalson D. D., McCallister D. L. Delineating site-specific management zones for pH-induced iron chlorosis / Precision Agriculture Precision Agriculture 9(1-2) • April 2008 DOI 10.1007/s11119-008-9059-z
17. Dammer K.-H., Wartenberg G., Böttger H. & Schmidt H. (2003): Der Sensor ersetzt das Auge. In: DLG-Mitteilungen. H. 1. – pp. 40-43.
18. Dworak V., Selbeck J., Dammer K.-H., Hoffmann M., Zarezadeh A. A., Bobda C. Strategy for the Development of a Smart NDVI Camera / Sensors 2013, 13, 1523-1538; doi:10.3390/s130201523
19. <http://www.trimble.com/agriculture/greenseeker> / Оборудование GreenSeeker® RT 200, GreenSeeker handheld Crop Sensor
20. Ананьев А. Мониторинг индекса NDVI для прогноза урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья / Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» Секция «Почвоведение» / [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2016. https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2016/data/section_22_8475.htm
- Anan'ev A. *Monitoring indeksa NDVI dlya prognoza urozhajnosti ozimoy psbenicy v usloviyah Nечернозем'ya: Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo nauchnogo foruma «LOMONOSOV-2016» Sekciya «Pochvovedenie»* [NDVI index monitoring to forecast harvest of winter wheat in the conditions of non-black soil zone: proceedings of international youth scientific forum “LOMONOSOV-2016”, subpanel “Pedology” [e-resource] M.: MAKSPress Publ., 2016. https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2016/data/section_22_8475.htm (in Russian)