

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОСНОВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПИТАНИЯ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРИИ ВИДИМОГО И БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ

*Р.В. Окунев, к.б.н., Е.В. Смирнова, к.б.н., К.Г. Гиниятуллин, к.б.н., И.А. Сахабиев, к.б.н.,
К.А. Гордеева, Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
e-mail: tutinkaz@yandex.ru*

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-29-05061 мк

Рассмотрена возможность использования спектрометрии видимого (400-640 нм) и ближнего (641-925 нм) инфракрасного диапазонов для прогноза содержания азота, фосфора и калия в надземной части сахарной свеклы. Отбор средних проб растений проводился по диагоналям квадратов площадью 5 га с одного поля севооборота ($n=59$). Корреляционный анализ, проведенный между значениями отражения при каждой длине волны и содержания NPK, показал, что диапазон видимого спектра менее информативен для прогноза элементов питания. Модели, построенные на основе линейной регрессии, показали, что наилучшей для прогноза содержания калия является длина волны 834 нм, а для азота – 883 нм. Содержание фосфора достоверно спрогнозировать не удалось. Сделано заключение, что метод Вид-БИК-спектрометрии перспективен для использования в качестве альтернативы определения калия и азота в сахарной свекле сложными методами химического анализа.

Ключевые слова: инфракрасная спектрометрия, Вид-БИК-спектрометрия, сахарная свекла, NPK, прогнозирование.

Для цитирования: Окунев Р.В., Смирнова Е.В., Гиниятуллин К.Г., Сахабиев И.А., Гордеева К.А. Оценка возможности прогноза обеспеченности сахарной свеклы основными элементами питания по данным спектрометрии видимого и ближнего инфракрасного диапазонов// Плодородие. – 2022. – №6. – С. 26-28. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.07.

Сахарная свекла является одной из самых высокодоходных культур, урожайность которой сильно зависит, как от технологии возделывания, так и от наличия в почве в достаточном количестве основных элементов питания [1, 2]. Даже на высокоплодородных черноземах она остается очень отзывчивой к внесению удобрений и потребляет их гораздо больше, чем многие другие культуры [3]. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности сахарной свеклы в степной зоне может достигать 20% [4]. Контроль содержания NPK в почвах для такой культуры – важный фактор получения высоких урожаев. Однако это трудозатратно и не всегда отражает действительную ситуацию по обеспечению элементами питания по отношению к сахарной свекле, что может быть связано как с высокой интенсивностью использования культурой элементов питания (особенно азота), так и с особенностями развития растения. На более поздних этапах роста корень сахарной свеклы может достигать длины до 3 м [3]. Это приводит к использованию культурой элементов питания из нижних слоев почвы, превышающих глубину отбора проб при агрохимическом обследовании. Хорошей альтернативой почвенному обследованию может быть изучение элементов питания в самих растениях, но это так же экономически затратная и трудоемкая работа.

В настоящее время набирают популярность инструментальные методы оценки свойств растений. Спектрометрия в видимой и ближней инфракрасной области (Вид-БИК-спектрометрия) является одной из многообещающих методов исследования состояния растительности [5, 6]. Известно, что с помощью данного метода возможен прогноз содержания макроэлементов, а также

некоторых других характеристик растительных материалов (воды, белка, жира, клетчатки, крахмала и т.д.) различных культур с высокой точностью [5, 7, 8]. Легкость в использовании и экономичность метода позволяют вести контроль обеспеченности растений элементами питания на протяжении всего вегетационного периода, что является важным аспектом при выращивании такой требовательной культуры как сахарная свекла.

Цель работы – оценить возможности применения Вид-БИК-спектрометрии для прогноза содержания валовых форм азота, фосфора и калия в надземной части растений сахарной свеклы.

Методика. Репрезентативный отбор растительного материала проводили на поле площадью 287 га на черноземах Закамья Республики Татарстан. Возделываемая культура – сахарная свекла (сорт Эйфория КВС). Отбор растительных образцов проводили в фазе 3-4-х листьев культуры параллельно с отбором почвенных проб (по диагонали элементарного участка размером 5 га, 20-30 точек отбора с элементарного участка). В почвах определяли гидролизующий азот по Корнфилду, содержание подвижного фосфора и калия по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91). Содержание NPK в почвенных образцах приведено в таблице 1.

1. Содержание гидролизующего азота, подвижных форм фосфора и калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой ($n=59$)

Элемент питания	$N_{\text{гидр.}}$	P_2O_5	K_2O
	мг/кг		
Среднее	171,1	140,7	181,9
Мин. значение	109,8	72,7	140,8
Макс. значение	261,8	209,0	252,7
Размах варьирования	152,00	136,3	111,9
Коэффициент вариации, %	13,0	21,4	14,3

Образы надземной части свеклы фиксировали при повышенной температуре и размалывали до состояния пудры. Определение общего азота проводили на автоматическом аппарате Кьельдаля ВИЛИТЕК АКВ-20 (Россия). Фосфор определяли фотометрически, согласно ГОСТу 26657-97, калий – пламенно-фотометрически, согласно ГОСТу 30504-97.

Спектры в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах получали путем прямого измерения отражательной способности размолотых образцов. Для снятия спектров использовали спектрометр V2GO (Р-АЭРО, Россия) в двух каналах: в диапазонах длин волн 400-640 нм и 641-925 нм (с шагом 0,2 нм). Спектры обрабатывали в программе Spekwin32. На основании корреляционного анализа по Спирмену были выбраны наиболее подходящие для прогноза длины волн, на основе показателей отражения которых строились модели линейной регрессии для предсказания содержания элементов.

Результаты и их обсуждение. В таблице 2 представлены статистические характеристики определения общего содержания элементов.

2. Статистические данные содержания азота, фосфора и калия в надземной части растений сахарной свеклы и коэффициенты корреляции

Элемент питания		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		% сухой массы		
Объем выборки		59	59	59
Среднее		4,18	0,20	4,32
Мин. значение		3,53	0,13	2,87
Мак. значение		5,40	0,29	6,13
Размах варьирования		1,87	0,16	3,26
Коэффициент вариации, %		6,08	14,87	15,97
Коэффициенты корреляции между содержанием элементов в почве и растениях	Доступный фосфор, P ₂ O ₅ млн ⁻¹ (мг/кг)	0,33*	0,34*	0,18
	Доступный калий, K ₂ O млн ⁻¹ (мг/кг)	0,15	0,28*	0,38*
	Гидролизующий азот, N млн ⁻¹ (мг/кг)	0,52*	0,19	0,02

*Значимые коэффициенты корреляции при $p > 0,05$.

Оценка результатов анализа основных элементов питания в растениях показала, что наименьшую вариацию имеет содержание общего азота, содержание фосфора и калия, рассчитанное в форме P₂O₅ и K₂O имеет среднюю вариацию. Корреляционный анализ показал, что между общим содержанием азота и гидролизующего азота прослеживается средняя положительная связь. Так же на среднем уровне проявляются связи между содержанием P₂O₅ в растениях и почве и валового калия в растениях и доступного калия в почвах в форме K₂O.

Для полученных спектров в ИК и Вид-диапазонах осуществляли уменьшение шума и увеличение отношения сигнал-шум методом сглаживания Савицкого-Голея с размером окна 30 точек, а также нормализацию спектров. Считается, что подобная предварительная обработка не улучшает визуальные характеристики спектров, но удаляет случайную фоновую информацию [6].

Корреляционный анализ, проведенный между значениями отражения при каждой длине волны и значениями содержания NPK, показал, что БИК – канал спектрометра более информативный (рис. 1). Для содержания азота максимальная корреляционная связь была обнаружена при длине волны 883 нм ($r=0,38$). В диапазоне 510-580 нм так же прослеживается слабая корреляция с данным показателем. Для фосфора была обнаружена слабая связь с областями возле спектральных полос 880 и 895 нм. В целом считается, что среди основных элементов питания фосфор является наиболее труднопрогнозируемым элементом [8]. В видимом диапазоне значительных связей между длинами волн и содержанием элемента не обнаружено. Для калия в ВИД-области установлены положительные корреляционные связи в диапазоне 420-460 нм ($r=0,21-0,29$) и отрицательные – в диапазонах 470-500 нм (r от -0,21 до -0,34) и 590-640 нм (r от -0,21 до -0,30). Наибольшие коэффициенты корреляции между длинами волн и показателем обнаружены в БИК-диапазоне (640-870 нм), которые составили $r=0,21-0,46$.

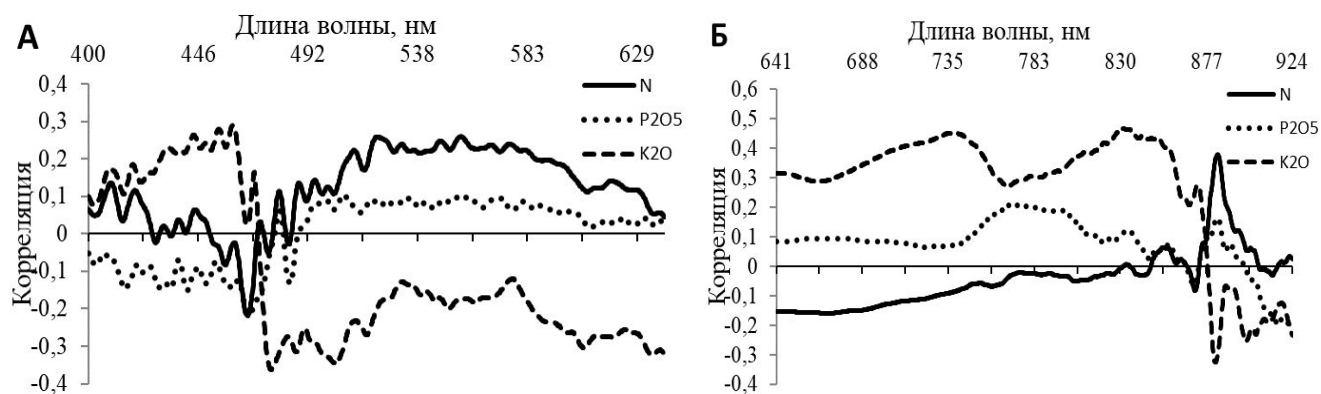


Рис. 1. График коэффициентов корреляции между значениями отражения при каждой длине волны и содержания NPK в диапазоне длин волн видимого (А) и БИК (Б) диапазонов

Исходя из полученных данных, для составления регрессионных моделей были выбраны показатели отражения с длинами волн, имеющими наибольшие коэффициенты корреляции с содержанием элементов: для азота – 883, 519 и 555 нм, для фосфора – 772 нм, для азота – 740, 834, 881, 461, 475 и 503 нм. Совокупность образцов случайным образом делилась на две выборки. Для составления регрессионных моделей использовали 40 образцов, для проверки модели – 19 образцов. Далее

строили графики между определенными химическими значениями показателей и предсказанными моделью значениями. Установлено, что для предсказания содержания азота в надземной части сахарной свеклы наиболее эффективной была полоса поглощения при 883 нм с $R^2=0,42$ (рис. 2), а для калия – при 834 нм ($R^2=0,36$). Содержание фосфора с использованием длины волны 772 нм достоверно предсказать не удалось.

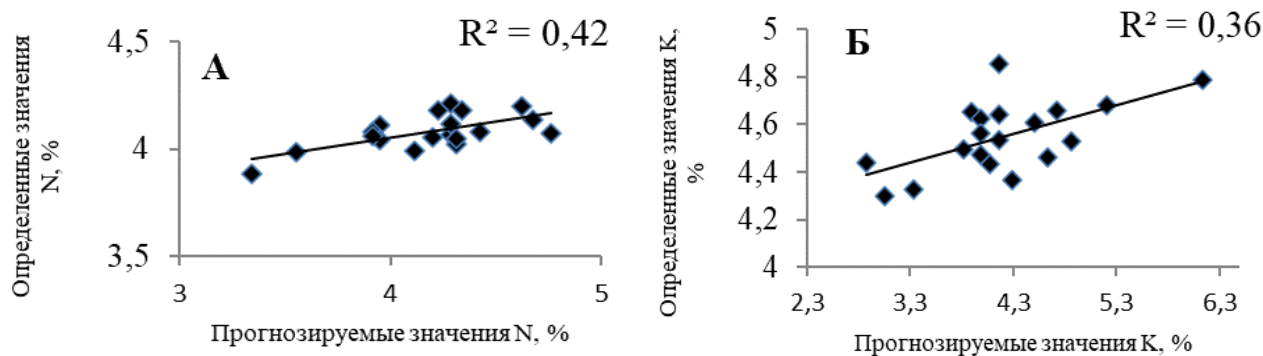


Рис. 2. Результаты прогнозируемого содержания азота (А) и калия (Б) в растениях сахарной свеклы по регрессионным моделям при длинах волн 883 и 834 нм соответственно

Закключение. Применение значений отражения в видимом диапазоне оказалось менее эффективным для прогноза элементов питания, чем БИК-диапазон 641-925 нм. Наилучшей для прогноза содержания калия показала себя длина волны 834 нм, а для азота – 883 нм. Эффективность моделей прогноза по сравнению с данными, полученными рядом других авторов по прогнозу содержания элементов питания в листьях других культур (картофель, томат, крестоцветные, подсолнечник, древесные породы и др.), достаточно низкая. Но в данных работах применяли различные методы оптимизации моделей прогноза или процессов выбора информативных длин волн, за счет чего получали более близкие к истинным значениям результаты по содержанию азота и калия в различных частях растений [6, 8-10]. Однако, согласно полученным данным, даже с использованием простых статистических процедур с помощью ВИД-ИК-спектроскопии можно предсказать содержание основных элементов питания (в частности азота и калия) в такой сложной для изучения культуре, как сахарная свекла. Это указывает на перспективность метода для использования его в качестве альтернативы сложным процедурам химического анализа.

Литература

1. Невзоров А.И. Влияние различного уровня минерального питания на урожайность сахарной свеклы в Тамбовской области / А.И. Невзоров, Ж.А. Арькова, Н.М. Круглов // Технологии пищевой и перераба-

тывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 3. – С. 114-119.

2. Дроздова В.В. Агрохимическая оценка применения макро- и микроудобрений при возделывании сахарной свеклы в Западном Предкавказье / В.В. Дроздова, И.А. Буддыкова, А.Х. Шеуджен // Плодородие. – 2019. – № 1. – С. 8-11.

3. Гатаулина Г.Г. Растениеводство: учебник / Г.Г. Гатаулина, П.Д. Бугаев, В.Е. Долгодворов / Под ред. Г.Г. Гатаулиной. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 608 с.

4. Шафран С.А. Влияние обеспеченности почв доступными формами азота и подвижным фосфором на урожайность сахарной свеклы / С.А. Шафран, И.В. Илюшенко, Е.С. Козеичева // Агрохимия. – 2017. – № 7. – С. 3-10.

5. Елисеева О.В. Применение БИК-анализа для исследования химического состава листовой редьки / О.В. Елисеева, А.Ф. Елисеев, С.Л. Белоухов // Вестник технологического университета. – 2017. – №12. – С. 143-146.

6. Zahir S.A.D.M. A review of visible and near-infrared (Vis-NIR) spectroscopy application in plant stress detection / S.A.D.M. Zahir, A.F. Omar, M.F. Jamlos, M.A. M. Azmi, J. Muncan // Sensors and Actuators A: Physical. – 2022. – Vol. 338. – Art. 113468.

7. Панкратова К.Г. О возможности использования экспресс-метода ИК-спектроскопии при оценке качества зерна пшеницы / К.Г. Панкратова, А.Ю. Сазонов, Л.М. Шалова // Плодородие. – 2009. – № 1. – С. 27-28.

8. Prananto J.A. Near infrared (NIR) spectroscopy as a rapid and cost-effective method for nutrient analysis of plant leaf tissues / J.A. Prananto, B. Minasny, T. Weaver // Academic Press. – 2020. – Vol. 164. – P. 1-49.

9. Mishra P. Improved prediction of potassium and nitrogen in dried bell pepper leaves with visible and near-infrared spectroscopy utilising wavelength selection techniques / P. Mishra, I. Herrmann, M. Angileri // Talanta. – 2021. – Vol. 225. – Art. 121971.

10. Li Y. Spectrometric Prediction of Nitrogen Content in Different Tissues of Slash Pine Trees / Y. Li, H. Sun, F. Tomasetto, J. Jiang, Q. Luan // Plant Phenomics. – 2022. – Art. 9892728.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF BASIC NUTRITION ELEMENTS CONCENTRATION PREDICTION IN SUGAR BEET BY VISIBLE AND NEAR INFRARED SPECTROMETRY

R.V. Okunev, K.G. Giniyatullin, E.V. Smirnova, I.A. Sahabiev, K.A. Gordeeva

Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremlyovskaya str, Kazan, 420008, Russian Federation, e-mail: tutinkaz@yandex.ru.

The possibility of using spectrometry of the visible (400-640 nm) and near-infrared (641-925 nm) ranges for prediction the content of nitrogen, phosphorus and potassium in the aboveground biomass of sugar beet is considered. The selection of plant samples was carried out along the diagonals of squares with an area of 5 ha from one field of crop rotation (n=59). The correlation analysis between the reflection values at each wavelength and the values of the NPK content showed that the range of the visible spectrum is less informative for the prediction of nutrient concentrations. Models built on the basis of linear regression showed that the best wavelength for predicting the content of potassium is 834 nm, and for nitrogen – 883 nm. Phosphorus content could not be reliably predicted. It is concluded that Vis-NIR spectrometry is promising for use as an alternative to the determination of potassium and nitrogen in sugar beet by complex methods of chemical analysis.

Key words: infrared spectrometry, Vis-NIR spectrometry, sugar beet, NPK, prediction.