



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.6>

UDC 631.41

LBC 40.322

A MULTI-WAVE METHOD FOR DETERMINING THE PHOSPHORUS CONTENT IN SANDY SOIL BASED ON THE RESULTS OF MEASURING MOISTURE AND SOIL ABSORPTION COEFFICIENT

Turkan N. gizi Amirova

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

Humar S. gizi Aliyeva

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

Abstract. The moisture content of the soil significantly affects the results of spectral methods for determining various organic substances present in the soil. Well-known studies of the effect of sandy soil moisture on the results of spectral measurements of the absorption coefficient in the spectral range of 225–2550 nm, conducted to determine the amount of phosphorus in the soil, allowed us to compile a calibration model for predicting phosphorus in sandy soil based on measurements of the spectral characteristics of the soil. Absorption spectra of sandy soil with different values of moisture and phosphorus content were determined, in which water absorption lines at wavelengths of 1450 nm and 1940 nm are clearly visible. At the same time, with an increase in moisture content, an increase in the value of the absorption coefficient is observed. At the same time, with an increase in soil moisture content, the curves obtained at different values of phosphorus content in it differ less and less. The values of the correlation coefficients between the absorption coefficient and the phosphorus concentration over the entire wavelength range $\lambda = 225\div 2550$ nm were determined. It was found that the highest values of the correlation coefficient are observed in soil with minimal moisture content, in the wavelength range of 1900–2500 nm. The above results were used to predict the amount of phosphorus in the soil. On this basis, a method was proposed to determine the concentration of phosphorus in the soil, which has an error due to the inaccuracy of determining the correlation coefficient and the absorption coefficient. To eliminate this drawback, the use of multi-wave techniques is proposed in this article. A two-wave method for determining phosphorus in sandy soil is proposed, a block diagram of the algorithm for implementing the two-wave method is compiled. It is shown that when using a two-wave method for determining the phosphorus content in the soil, the total random error decreases by a factor of $\sqrt{2}$. It is noted that when using the m -number of wavelengths in calculations and measurements, the corresponding random error will decrease by a factor of \sqrt{m} . A general algorithm for the implementation of the multiwave method has been compiled

Key words: absorption, moisture content, sandy soil, phosphorus concentration, soil.

Citation. Amirova T.N. gizi, Aliyeva H.S. gizi. A Multi-Wave Method for Determining the Phosphorus Content in Sandy Soil Based on the Results of Measuring Moisture and Soil Absorption Coefficient. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 48-53. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.6>

УДК 631.41
ББК 40.322

МНОГОВОЛНОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПЕСОЧНОЙ ПОЧВЕ НА БАЗЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЧВЫ

Туркан Назим гызы Амирова

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

Хумар Сабир гызы Алиева

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. Влагосодержание почвы существенно влияет на результаты спектральных методов определения различных органических веществ, имеющих в почве. Известные исследования влияния влажности песочной почвы на результаты спектральных измерений коэффициента поглощения в спектральном диапазоне 225–2550 нм, проводимых для определения количества фосфора в почве позволили составить калибрационную модель для предсказания фосфора в песочной почве на базе измерений спектральных характеристик почвы. Были определены спектры поглощения песочной почвы с различными значениями содержания влаги и фосфора, в которых отчетливо видны линии поглощения воды на длинах волн 1450 нм и 1940 нм. При этом с увеличением влагосодержания наблюдается увеличение значения коэффициента поглощения. Вместе с тем с ростом влагосодержания почвы кривые, полученные при разных значениях содержания фосфора в ней различаются все слабее. Были определены значения коэффициентов корреляции между коэффициентом поглощения и концентрацией фосфора во всем диапазоне длин волн $\lambda = 225\div 2550$ нм. Было обнаружено, что наиболее высокие значения коэффициента корреляции наблюдаются у почвы с минимальным влагосодержанием, в области длин волн 1900–2500 нм. Вышеизложенные результаты были использованы с целью предсказания количества фосфора в почве. На этой основе был предложен метод для определения концентрации фосфора в почве, которая обладает погрешностью из-за неточности определения коэффициента корреляции и коэффициента абсорбции. Для устранения этого недостатка в настоящей статье предложено применение многоволновых методик, двухволновый метод определения фосфора в песочной почве, составлена блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода. Показано, что при использовании двухволновой методики определения содержания фосфора в почве суммарная случайная погрешность уменьшается в $\sqrt{2}$ раз. Отмечено, что при использовании m -количества длин волн при расчетах и измерениях соответствующая случайная погрешность уменьшится в \sqrt{m} раз. Составлен общий алгоритм реализации многоволнового метода.

Ключевые слова: поглощение, влагосодержание, песочная почва, концентрация фосфора, почва.

Цитирование. Амирова Т. Н. гызы, Алиева Х. С. гызы. Многоволновая методика определения содержания фосфора в песочной почве на базе результатов измерения влажности и коэффициента поглощения почвы // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 48–53. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsg.jvolsu.2024.1.6>

Введение

Как отмечается в работах [5; 6], влагосодержание почвы существенно влияет на результаты спектральных методов определения различных органических веществ, имеющих в почве. Влияние влажности на результаты спектральных методов определения фосфора в почве было исследовано в работах [1; 3; 4; 7]. В частности, в работе [2] было исследовано

влияние влажности песочной почвы на результаты спектральных измерений коэффициента поглощения в спектральном диапазоне 225–2550 нм, проводимых для определения количества фосфора в почве. Целью исследований, проводимых в этой работе, было составление калибрационной модели, служащей для предсказания фосфора в песочной почве на базе измерений спектральных характеристик почвы.

Изложим вкратце основные результаты, полученные в работе [2].

1. Были определены спектры поглощения песочной почвы с различными значениями содержания влаги и фосфора. В качестве примера на рисунке 1 приведены кривые зависимости коэффициента поглощения от длины волны при разных значениях фосфора при влагосодержании 4 % (а); 8 % (b) и 12 % (с). Как видно из приведенных графиков, в них отчетливо видны линии поглощения воды на длинах волн 1450 нм и 1940 нм. При этом с увеличением влагосодержания наблюдается

увеличение значения коэффициента поглощения. Вместе с тем с ростом влагосодержания почвы, кривые полученные при разных значениях содержания фосфора в ней различаются все слабее.

2. Были определены значения коэффициентов корреляции между коэффициентом поглощения и концентрацией фосфора во всем диапазоне длин волн нм. Соответствующие графики приведены на рисунке 2.

Как видно из графиков приведенных на рисунке 2. Наиболее высокие значения коэффициента корреляции наблюдается у почвы с

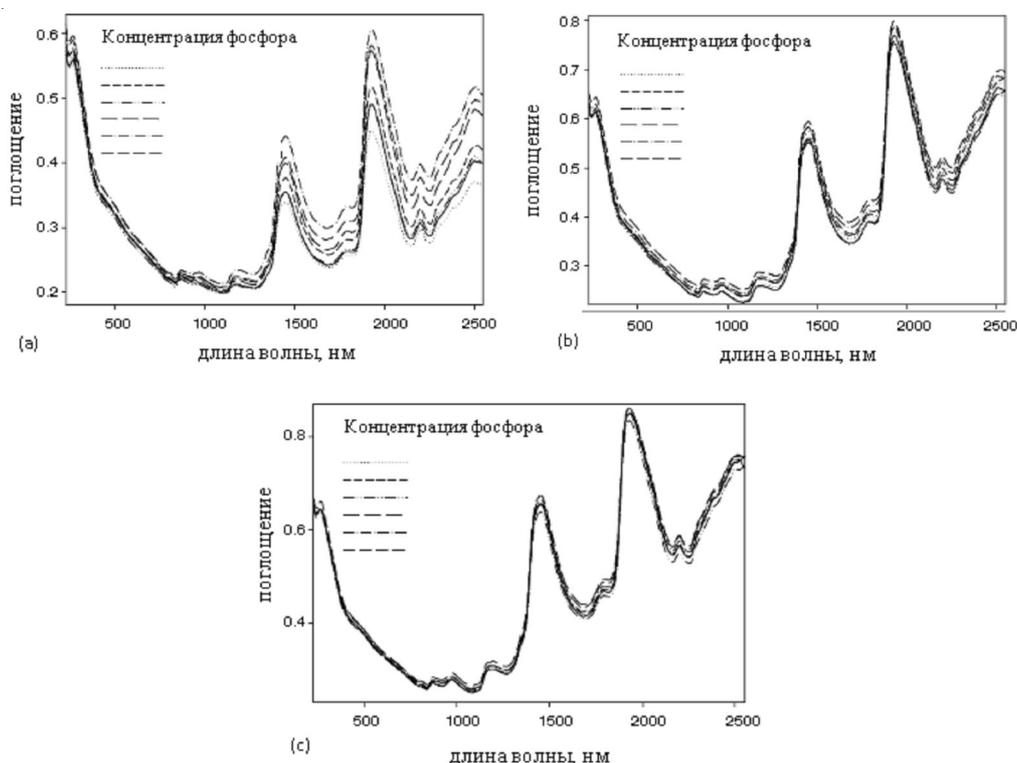


Рис. 1. Спектры поглощения почвы при разных содержаниях фосфора при влажности (а) 4 %; (b) 8 %; (с) 12 %

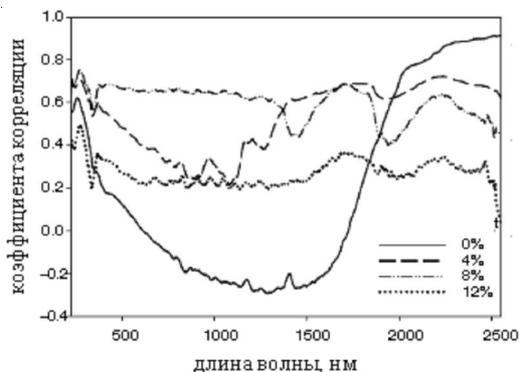


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента корреляции от длины волны при разных значениях влагосодержания

минимальным влагосодержанием, в области длин волн 1900–2500 нм. Вышеизложенные результаты были использованы с целью предсказания количества фосфора в почве.

Вычисления предсказанных величин фосфора в почве осуществлялось в следующей последовательности:

1. Определение влагосодержания почвы. Доведение увлажненности до уровня 4 %, либо 8 %, либо 12 %;

2. Определение по графикам, представленных на рисунке 1 значения коэффициента поглощения при заданной величине длины волны λ ;

3. Определение по графикам, представленным на рис. 2 коэффициента корреляции для заданной величины длины волны и величины влагосодержания где $C = \varphi(\lambda, W)$.

Вычисление содержания фосфора в почве $P_{\text{выч}}$ по формуле:

$$P_{\text{выч}} = C(\lambda, W) \cdot A(\lambda, W). \quad (1)$$

Вместе с тем, вышеизложенная методика определения $P_{\text{выч}}$ обладает относительно невысокой точностью из-за влияния случайных погрешностей в определении таких показателей как W и A . Для устранения этого недостатка далее рассматривается возможность применения многоволновых методик.

Материалы и методы

Рассмотрим предлагаемую двухволновую методику определения $P_{\text{выч}}$. Алгоритм реализации указанной методики может быть изложен в виде последовательности следующих операций:

1. Измерение влагосодержания почвы. Доведение влагосодержания до одного из уровней (4 %; 8 %; 12 %).

2. Выбор длин волн $\lambda_{1,i}$ и $\lambda_{2,j}$ $i, j = (1, n)$.

3. Проведение коэффициента поглощения $A(\lambda_{1,i}, W_0)$; $A(\lambda_{2,j}, W_0)$.

4. Определение коэффициентов корреляции $C(\lambda_{1,i}, W_0)$; $C(\lambda_{2,j}, W_0)$.

5. Вычисление содержания фосфора в почве:

$$P_{\text{выч } ij} = \frac{A(\lambda_{1,i}, W_0)C(\lambda_{1,i}) + A(\lambda_{2,j}, W_0)C(\lambda_{2,j})}{2}.$$

6. Определение систематической и случайной погрешностей в виде:

$$\delta_{\Sigma i,j} = \frac{\delta(\lambda_{1,i}) + \delta(\lambda_{2,j})}{2}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\Sigma i,j} = \frac{\sigma(\lambda_{1,i}) + \sigma(\lambda_{2,j})}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

где $\delta(\lambda_{1,i})$, $\delta(\lambda_{2,j})$ – средние значения систематической погрешности по проведенным сериям измерений на длинах $\lambda_{1,i}$ и $\lambda_{2,j}$; $\sigma(\lambda_{1,i})$, $\sigma(\lambda_{2,j})$ – соответствующие случайные погрешности по проведенным сериям измерений на длинах волн $\lambda_{1,i}$ и $\lambda_{2,j}$.

7. Определение пары длин волн $\lambda'_{1,i}$; $\lambda'_{2,j}$ при которых достигается максимальная величина $P_{\text{выч } ij}$, то есть

$$P_{\text{выч } ij} = \max - \{P_{\text{выч } ij}\}; i, j = \overline{1, n}.$$

8. Определение содержание фосфора в почве P_0 в качестве

$$P_0 = P_{\text{выч } i'j''}$$

Блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода, описанного выше показана на рисунке 4.

Как следует из вышеизложенного, при использовании двухволновой методики определения содержания фосфора в почве суммарная случайная погрешность уменьшается в $\sqrt{2}$ раз. Логично предположить, что при использовании m -количества длин волн при расчетах и измерениях соответствующая случайная погрешность уменьшится в \sqrt{m} раз. В этом случае алгоритм реализации многоволнового метода может быть представлен в виде следующей последовательности проводимых операций:

1. Измерение влагосодержания почвы W_0 . Доведение влагосодержания до одного из уровней (4 %; 8 %; 12 %).

2. Проведение измерений коэффициента поглощения:

$$A(\lambda_{1,i}, W_0); A(\lambda_{2,j}, W_0); A(\lambda_{3,k}, W_0) \dots A(\lambda_{m,z}, W_0).$$

3. Определение коэффициентов корреляции:

$$C(\lambda_{1,i}, W_0); C(\lambda_{2,j}, W_0); C(\lambda_{3,k}, W_0) \dots C(\lambda_{m,z}, W_0).$$

4. Вычисление содержания фосфора в почве:

$$P_{\text{выч}} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m A(\lambda_l, W_0) \cdot C(\lambda_l, W_0).$$

При этом для упрощения записи вторые индексы не указаны.

5. Определение систематической и случайной погрешностей:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{l=1}^m \delta(\lambda_l);$$

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \frac{\sum_{l=1}^m \sigma_l^2}{\sqrt{m}}.$$

При этом $\delta(\lambda_l)$ и $\delta(\lambda_l)$ -систематические и случайные составляющие погрешности определения коэффициента поглощения на длине волны λ_l .

6. Определение множества длин волн $\{\lambda_l\}; l = \overline{1, m}$, при которых достигается максимальная величина $P_{\text{выч.max}}$.

7. Определение содержания фосфора в почве в виде:

$$P_0 = P_{\text{выч.max}}.$$

Таким образом, на основе данных, приведенных в работе [2], предложены двухволновые и многоволновые методики определения фосфора в почве, учитывающие влагосодержание почвы.

Заключение

Проанализированы итоги работ по изучению влияния влагосодержания почвы на результаты измерения коэффициента поглощения в зависимости от длины волны, а также на результаты определения коэффициента корреляции между содержанием фосфора в почве и коэффициентом поглощения на разных длин волн. На основе указанных результатов предложены двухволновые и многоволновые методики определения содержания фосфора в песочной почве в зависимости от влагосодержания почвы.

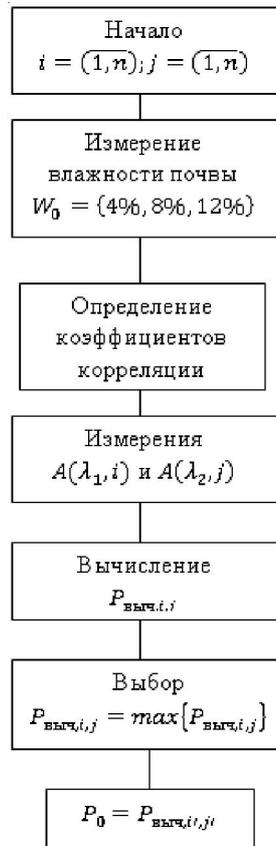


Рис. 4. Блок-схема алгоритма реализации двухволнового метода $\lambda_{1i}; \lambda_{2j}; \lambda_{3k} \dots \lambda_{mz}$, где $i, j, k, \dots z = \overline{1, n}$

REFERENCES

1. Bogrecki I., Lee W.S., Herrera J. Assessment of P Concentrations in the Lake Okeechobee Drainage Basins with Spectroscopic Reflectance of VIS and NIR. *ASAE Paper*, 2003, 031139. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.13745>
2. Bogrecki I., Lee W.S. Effects of Soil Moisture Content on Absorbance Spectra of Sandy Soils in Sensing Phosphorus Concentrations Using UV-VIS-NIR Spectroscopy. *Trans. ASABE*, 2006, vol. 49, no. 4, pp. 1175-1180. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.21717>
3. Bogrecki I., Lee W.S. Spectral Measurement of Common Soil Phosphates. *Trans. ASAE*, 2005, vol. 48, no. 6, pp. 2371-2378. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.20076>
4. Lee W.S., Sanchez J.F., Mylavarapu R.S., Choe J.S. Estimating Chemical Properties of Florida Soils Using Spectral Reflectance. *Trans. ASAE*, 2003, vol. 46, no. 5, pp. 1443-1453. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.15438>
5. Galvao L.S., Vitorello I. Variability of Laboratory-Measured Soil Lines of Soils from Southeastern Brazil. *Remote Sens. Environ.*, 1998, vol. 63, no. 2, pp. 166-181. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00135-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00135-1)
5. Kooistra L., Wanders L., Epema G.F., et al. The Potential of Field Spectroscopy for the Assessment of Sediment Properties in River Floodplains. *Analytica Chimica Acta*, 2003, vol. 484, no. 2, pp. 189-200. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(03\)00331-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(03)00331-3)
7. Varvel G.E., Schlemmer M.R., Schepers J.S. Relationship Between Spectral Data from an Aerial Image and Soil Organic Matter and Phosphorus Levels. *Precision Agric.*, 1999, vol. 1, no. 3, pp. 291-300. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009973008521>

Information About the Authors

Turkan N. gizi Amirova, Senior Researcher, Institute of Ecology, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, stmz@list.ru

Humar S. gizi Aliyeva, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Scientific-Research Institute of Aerospace Information, National Aerospace Agency, S.S. Akhundova St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan Republic, a.khumar.1962@gmail.com

Информация об авторах

Туркан Назим гызы Амирова, старший научный сотрудник, институт экологии, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, stmz@list.ru

Хумар Сабир гызы Алиева, кандидат технических наук, доцент, научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджанская Республика, a.khumar.1962@gmail.com