ИНФОРМАТИКА

УДК 519.688

MSC 68J10

Выделение однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов с помощью беспилотного летательного аппарата*В. М. Буре^{1,2}, Е. П. Митрофанов¹, О. А. Митрофанова^{1,2}, А. Ф. Петрушин¹*¹ Агрофизический научно-исследовательский институт, Российская Федерация, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14² Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Для цитирования: Буре В. М., Митрофанов Е. П., Митрофанова О. А., Петрушин А. Ф. Выделение однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов с помощью беспилотного летательного аппарата // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 145–150. <https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2018.206>

К важным этапам исследований, направленных на решение задач точного земледелия, относится закладка полевых опытов. Необходимым условием проведения таких опытов является обеспечение однородности выбранного земельного участка. Большинство существующих методик выделения однородных зон для проведения опытов основано на дорогостоящем и трудозатратном отборе и анализе проб почвы. Альтернативным и перспективным подходом представляется использование беспилотного летательного аппарата. В работе достаточно подробно представлены все этапы выбора однородного земельного участка с помощью аэрофотосъемки. Объектом было выбрано поле с многолетним посевом «козлятника» на базе Меньковского филиала Агрофизического института (Ленинградская область). Аэрофотосъемка осуществлялась в 2015–2017 гг. благодаря беспилотному летательному аппарату «Геоскан 401». Полученные данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения: сшивка и выравнивание производились в программе Agisoft PhotoScan, тематическая обработка и выделение однородных участков поля — в программах QGis и Saga Gis. Для оценки состояния растительности был применен вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Для кластеризации однородных участков поля по параметрам NDVI использовался алгоритм ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm). В работе представлены результаты кластеризации снимков одного и того же поля в разные временные периоды. Были построены пересечения этих аэрофотоснимков, выделены четыре кластера, которые являются пересечением соответствующих однородных зон за рассмотренные временные периоды. Установлено, что

закладку опытов целесообразно проводить на данных участках, так как присутствующая там однородность представляется более устойчивой в динамике.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, точное земледелие, кластеризация, алгоритм ISODATA.

Введение. Важным элементом агрономической науки, изучающей влияние параметров окружающей среды на развитие сельскохозяйственных культур, является закладка полевых опытов. Согласно классическому подходу Б. А. Доспехова, земельный участок, предназначенный для закладки опыта, прежде всего должен отвечать требованиям типичности или репрезентативности, а также однородности почвенного покрова [1]. Это позволит обеспечить достаточную точность результатов проведения опыта. Часто для выделения однородной зоны требуются исследование истории участка, его рельефа, почвенное обследование, изучение засоренности и других параметров.

Без анализа почвы нельзя говорить о типичности опыта, почва опытного участка должна быть однообразной. В современных условиях результаты почвенных обследований обрабатываются и хранятся с применением геоинформационных систем. В последнее время наряду с классическим обследованием почв, выполняемым с помощью почвенных разрезов, начали применяться методы классификации почв на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) [2–4].

Однако каким бы детальным не было почвенное обследование, оно не может выявить микропестроту почв. Поэтому очень важно наблюдать за состоянием культурной или дикой растительности будущего опытного участка в динамике. Такое наблюдение позволяет выявить, где расположены пятна с наиболее бедной и плодородной почвами. Для осуществления данных наблюдений эффективным средством является применение ДДЗ.

Объекты исследования. Опыты проводились в 2015–2017 гг. на базе Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (деревня Меньково, Гатчинский район, Ленинградская область). Было выбрано поле с многолетним посевом «козлятника». Для получения ДДЗ был использован квадрокоптер «Геоскан 401», оснащенный двумя фотокамерами для съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Высота полетов составляла в среднем 75 м, пространственное разрешение снимков — 2 см на пиксель.

Методы обработки ДДЗ Земли. Полученные данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения: сшивка и выравнивание осуществлялись в программе Agisoft PhotoScan, тематическая обработка и выделение однородных участков поля — в программах QGis и Saga Gis. Для оценки состояния растительности был применен вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), вычисляемый по следующей формуле [5]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра, а RED — отражение в красной области спектра.

По результатам расчетов было получено пространственное распределение индекса NDVI на поле.

Для кластеризации однородных участков поля по параметрам NDVI использовался алгоритм ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm) [6]. Входными данными алгоритма являются заранее заданные параметры: $x =$

$[\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N]^T$ — выборка параметров NDVI; K_0 — желаемое количество кластеров; $n_{\min}$ — минимальное количество выборок в каждом кластере (для отбрасывания кластеров); $\sigma_{\max}^2$ — максимальная дисперсия (для разбиения кластеров); $d_{\min}$ — минимальное попарное расстояние (для слияния кластеров). Пошагово алгоритм можно представить следующим образом.

Шаг 1. Выбор случайным образом исходных средних векторов $\{m_1, \dots, m_K\}$, $K = K_0$, из набора данных.

Шаг 2. Определение каждой точки данных x в кластер с самым близким значением:

$$x \in \omega_i, \text{ если } d(x, m_i) = \min\{d(x, m_1), \dots, d(x, m_K)\}.$$

Шаг 3. Отбрасывание кластеров, содержащих слишком мало элементов, т. е., если $n_j < n_{\min}$, тогда отбрасывается ω_j , а его элементы перераспределяются в другие кластеры, $K \leftarrow K - 1$.

Шаг 4. Обновление для каждого кластера ω_j ($j = 1, \dots, K$) среднего вектора

$$m_j = \frac{1}{n_j} \sum_{x \in \omega_j} x,$$

а также ковариационной матрицы

$$\Sigma_j = \frac{1}{n_j} \sum_{x \in \omega_j} (x - m_j)(x - m_j)^T.$$

Диагональными элементами матрицы являются дисперсии $\sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2$.

Шаг 5. Если $K \leq \frac{K_0}{2}$ (слишком мало кластеров), тогда переход к шагу 6 для разбиения; иначе если $K > 2K_0$ (слишком много кластеров), тогда переход к шагу 7 для слияния; иначе переход к шагу 8.

Шаг 6. Разбиение. Для каждого кластера ω_j ($j = 1, \dots, K$) осуществляется поиск наибольшей ковариации $\sigma_m^2 = \max\{\sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2\}$. Если $\sigma_m^2 > \sigma_{\max}^2$ и $n_j > 2n_{\min}$, тогда m_j разбивается на два новых центра кластеров: $m_j^+ = m_j + \sigma_m$, $m_j^- = m_j - \sigma_m$. Устанавливается $K \leftarrow K + 1$.

Переход к шагу 8.

Шаг 7. Слияние. Вычисляются $\frac{K(K-1)}{2}$ попарных расстояний между каждым двумя средними векторами кластеров:

$$d(\omega_i, \omega_j) = \frac{1}{4}(m_i - m_j)^T \left[\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right]^{-1} (m_i + m_j) + \log \left[\frac{|\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2}|}{(|\Sigma_i||\Sigma_j|)^{1/2}} \right]$$

$$(1 \leq i, j \leq K, i > j).$$

Для каждого расстояния, удовлетворяющего условию $d(\omega_i, \omega_j) < d_{\min}$, осуществляется слияние соответствующих кластеров с образованием нового:

$$m_i = \frac{1}{n_i + n_j} [n_i m_i + n_j m_j].$$

Удаляется m_j , устанавливается $K \leftarrow K - 1$.

Шаг 8. Алгоритм завершается, если достигнуто максимальное количество итераций, в противном случае осуществляется переход к шагу 2.

Результатом работы этого алгоритма являются схемы пространственного распределения однородных зон на поле. Описанный алгоритм обработки был применен для данных ДЗЗ за 2015–2017 гг.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены результаты кластеризации снимков с помощью алгоритма ISODATA одного и того же поля в разные временные периоды. Видно, что существуют различия в выделенных зонах, однако можно выделить зоны их пересечения; такой подход представляется наиболее целесообразным для выбора участка, предназначенного для закладки прецизионного опыта с удобрениями.

Рис. 1. Кластеризация снимков с помощью алгоритма ISODATA одного и того же поля в разные временные периоды

На рис. 2 приведен результат пересечения полученных аэрофотоснимков, также выделены четыре кластера, которые являются пересечением соответствующих однородных зон за рассмотренные временные периоды. Соответственно закладку опытов

Рис. 2. Пересечение соответствующих однородных зон за рассмотренные временные периоды

целесообразно проводить на данных участках, так как присутствующая там однородность представляется более устойчивой в динамике.

Большинство методик выделения однородных зон связано с обследованием почвы с помощью взятия и анализа проб, что является довольно трудозатратным подходом. Таким образом, для определения однородного земельного участка для размещения опыта более перспективно использовать беспилотный летательный аппарат.

Заключение. В большинстве случаев для выделения однородных зон сельскохозяйственного поля проводятся обследование почвенного покрова, включающее ручной или машинный (например, благодаря мобильному комплексу, разработанному в Агрофизическом институте) пробоотбор, а также лабораторный анализ полученных образцов. В сравнении с такими подходами применение беспилотного летательного аппарата позволяет снизить материальные расходы и трудозатраты, а также обеспечить оперативность получения результатов. Следует также отметить, что аэрофотосъемка и обработка данных с помощью геоинформационных систем дают возможность автоматизировать решение задач точного земледелия, связанных с выделением однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов.

Литература

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
2. Буре В. М., Митрофанова О. А. Прогноз пространственного распределения экологических данных с применением кригинга и бинарной регрессии // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2016. Вып. 3. С. 97–105.
3. Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П., Митрофанова О. А. Цифровая модель рельефа местности для мониторинга мелиоративных сооружений // Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления. СПб.: Агрофиз. ин-т, 2016. С. 47–451.
4. Bure V. M., Mitrofanova O. A. Analysis of aerial photographs to predict the spatial distribution of ecological data // Contemporary Engineering Sciences. 2017. Vol. 10, N 4. P. 157–163.
5. Якушев В. П., Канаиш Е. В., Конев А. А., Ковтюх С. Н., Лекомцев П. В., Матвеев Д. А., Петрушин А. Ф., Якушев В. В., Буре В. М., Русаков Д. В., Осипов Ю. А. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева: практ. пособие. СПб.: Агрофиз. ин-т, 2010. 60 с.
6. Tou J. T, Gonzalez R. C. Pattern recognition principles. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Publ. Company, 1974. 395 p.

Статья рекомендована к печати проф. Л. А. Петросяном.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2018 г.; принята к печати 15 марта 2018 г.

Контактная информация:

Буре Владимир Мансурович — докт. техн. наук, профессор; vlb310154@gmail.com

Митрофанов Евгений Павлович — аспирант; mjeka@bk.ru

Митрофанова Ольга Александровна — аспирант; omitrofa@gmail.com

Петрушин Алексей Федорович — канд. техн. наук; apetrushin@agrophys.com

Selection of homogeneous zones of agricultural field for laying of experiments using unmanned aerial vehicle

V. M. Bure^{1,2}, E. P. Mitrofanov¹, O. A. Mitrofanova^{1,2}, A. F. Petrushin¹

¹ Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220, Russian Federation

² St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Bure V. M., Mitrofanov E. P., Mitrofanova O. A., Petrushin A. F. Selection of homogeneous zones of agricultural field for laying of experiments using unmanned aerial vehicle.

An important stage in research aimed at solving the problems of accurate farming is the laying of field experiments. A necessary condition for carrying out such experiments is to ensure homogeneity of the selected land plot. Most of the existing techniques for isolating homogeneous zones for conducting experiments are based on costly and labor-intensive sampling and analysis of soil samples. An alternative and promising approach is the use of an unmanned aerial vehicle. In work, all stages of choosing a homogeneous land plot with the help of aerial photography are presented in sufficient detail. The object of the study was a field with a long-term sowing of “goat” on the basis of the Menkovsky branch of the Agrophysical Institute (Leningrad region). Aerial photography was carried out in 2015–2017 with the help of an unmanned aerial vehicle “Geoscan 401”. The received data were processed with the help of specialized software: crosslinking and alignment were carried out in the Agisoft PhotoScan program; the thematic processing and allocation of homogeneous areas of the field were carried out in the programs QGIS and Saga GIS. To assess the state of vegetation, the vegetative index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was applied. To cluster the homogeneous parts of the field in terms of NDVI parameters the ISODATA algorithm (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm) was applied. The paper presents the results of clustering images of the same field in different time periods. In the course of the work, intersections of these aerial photographs were constructed, four clusters were identified, which are the intersection of the corresponding homogeneous zones for the considered time periods. Accordingly, the laying of experiments is expedient to be carried out on these sites, since the homogeneity present there seems more stable in dynamics.

Keywords: aerial photography, precision agriculture, clustering, ISODATA algorithm.

References

1. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta* [Method of field experiment]. Moscow, Kolos Publ., 1979, 416 p. (In Russian)
2. Bure V. M., Mitrofanova O. A. Prognoz prostranstvennogo raspredeleniia ekologicheskikh dannykh s primeneniem kriginia i binarnoi regressii [Prediction of the spatial distribution of ecological data using kriging and binary regression]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2016, iss. 3, pp. 97–105. (In Russian)
3. Petrushin A. F., Mitrofanov E. P., Mitrofanova O. A. Tsifrovaia model' rel'efa mestnosti dlia monitoringa meliorativnykh sooruzhenii [Digital terrain model for monitoring reclamation facilities]. *Agroecosystems in natural and regulated conditions: from the theoretical model to the practice of precision control*. Saint Petersburg, Agrophysical Institute Publ., 2016, pp. 47–451. (In Russian)
4. Bure V. M., Mitrofanova O. A. Analysis of aerial photographs to predict the spatial distribution of ecological data. *Contemporary Engineering Sciences*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 157–163.
5. Iakushev V. P., Kanash E. V., Konev A. A., Kovtiukh S. N., Lekomtsev P. V., Matveenko D. A., Petrushin A. F., Iakushev V. V., Bure V. M., Rusakov D. V., Osipov Iu. A. *Teoreticheskie i metodicheskie osnovy vydeleniia odnorodnykh tekhnologicheskikh zon dlia differentsirovannogo primeneniia sredstv khimizatsii po opticheskim kharakteristikam poseva: prakt. posobie* [Theoretical and methodological foundations for the separation of homogeneous technological zones for the differentiated application of chemicalization means based on the optical characteristics of seeding: practical. allowance]. Saint Petersburg, Agrophysical Institute Publ., 2010, 60 p. (In Russian)
6. Tou J. T., Gonzalez R. C. *Pattern recognition principles*. Boston, MA, USA, Addison-Wesley Publ. Company, 1974, 395 p.

Author's Information:

Bure Vladimir M. — Dr. Sci. in technics, professor; vlb310154@gmail.com

Mitrofanov Evgenii P. — postgraduate student; mjeka@bk.ru

Mitrofanova Olga A. — postgraduate student; omitrofa@gmail.com

Petrushin Aleksei F. — Dr. Sci. in technics; apetrushin@agrophys.com