УДК 631.4

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВ

© 2015 г. И. Ю. Савин<sup>1</sup>, Ю. И. Вернюк<sup>1</sup>, И. Фараслис<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2 e-mail: savigory@gmail.com

<sup>2</sup>Фессалоникийский университет Аристотеля, 54124, Волос, Греция

На основе обзора научной литературы показано, что современный уровень технического развития и доступность позволяют рассматривать беспилотные летательные аппараты в качестве надежного средства оперативного мониторинга почв и посевов отдельных полей и небольших хозяйств. Возможности использования изображений, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, в значительной степени предопределяются типом съемочной аппаратуры. Миниатюризация съемочной аппаратуры позволяет уже в настоящее время получать изображения, по своим свойствам (спектральное разрешение) сопоставимые со спутниковыми данными. В настоящее время изображения, получаемые с беспилотных летательных аппаратов, используются для того, чтобы визуально удаленно оценить какой-либо объект наблюдений. Но уже появились публикации, в которых обсуждается возможность компьютерного анализа получаемых изображений, в том числе в сельском хозяйстве. Имеется опыт построения на основе данных беспилотных летательных аппаратов и их компьютерного анализа цифровых моделей рельефа поля, проведения оценки и осуществления мониторинга эродированности почв, оперативной оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур. Преимуществом данных, получаемых с использованием беспилотных летательных аппаратов, по сравнению со спутниковыми изображениями является возможность подоблачной съемки. Основное ограничение использования данных, получаемых с помощью беспилотных летательных аппаратов, - недостаточная миниатюрБюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80.

ность съемочной аппаратуры и невозможность охвата мониторингом больших территорий.

*Ключевые слова:* БПЛА, дистанционные методы, дешифрирование почв, состояние посевов.

Одним из направлений Программы фундаментальных исследований Почвенного института им. В.В. Докучаева и Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии (утверждена в перечне программ Президиума Российской академии наук по приоритетным направлениям (Постановление президиума РАН, № 10115-54, от 3 февраля 2015 г.)), является разработка методов цифровой дистанционной инвентаризации и мониторинга пахотных почв и земель России.

Использование дистанционных методов инвентаризации и мониторинга почв и земель в России имеет давнюю историю. С первых работ по применению материалов аэрофотосъемки для решения сельскохозяйственных задач (Левенгаупт, 1931; Селяков, 1932; Сметанин, 1940 и др.) и использованию спутниковых данных (Андроников, 1979; Кравцова, Николаева, 1979; Афанасьева, Трифонова, 1983; Симакова, 1984; Аэрокосмические методы, 1990; Савин, 1990; Терешенков, 1993, Савин, Симакова, 2013) до настоящего периода попыток автоматизации процесса дешифрирования (Лупян и др., 2011; Конюшкова, 2012; Кирьянова, Савин, 2012; Пузаченко, 2012; Кренке; 2012) прошло уже около 90 лет. За этот период накоплен огромный опыт дешифрирования почв и посевов по дистанционным материалам. Преимущество дистанционных методов перед наземными в настоящее время не вызывает сомнений

Несмотря на это, задача создания полностью автоматизированных систем мониторинга почв и посевов по данным спутниковой съемки до сих пор не решена, несмотря на ее практическую значимость. Во многом это связано с уровнем технического развития спутниковых технологий, с их дороговизной, а также со значительным влиянием облачности на возможность получения спутниковых данных в нужный момент.

В последнее время в различных сферах (от обороны, добывающей, лесной промышленности до сельского хозяйства) все более широко используются беспилотные летательные аппара-

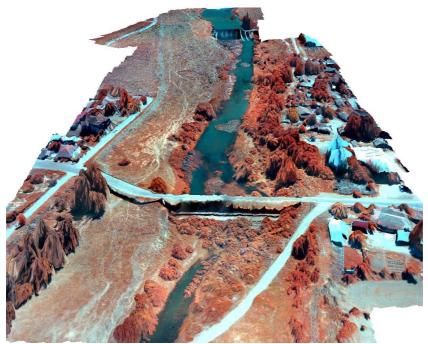
ты (БПЛА). Это связано с их существенным удешевлением и техническим усовершенствованием.

В большинстве случаев БПЛА используются для того, чтобы визуально удаленно оценить какой-либо объект наблюдений. Лишь в последние годы появились публикации, в которых обсуждается возможность компьютерного анализа получаемых изображений, в том числе в сельском хозяйстве (Pierrot-Deseilligny et al., 2011; Nex, Remondino, 2014; Capolupo et al., 2014; Вернюк и др., 2012, 2013; Якушев и др., 2015).

Одним из перспективных направлений использования данных БПЛА является построение цифровых моделей рельефа, которые необходимы для оценки пригодности земель, планирования их использования и моделирования процессов изменения почв и их функций.

На рис. 1 показан пример трехмерного изображения территории, полученный по цифровой модели местности, построенной на основе данных съемки с БПЛА в районе г. Волос (Греция).

Основной проблемой использования подобных данных для компьютерного анализа рельефа является то, что съемка с БПЛА позволяет получать цифровую модель местности, а не рельефа. Поэтому отражение на этой модели всех объектов наземного покрова (деревьев, зданий, насыпей и т.п.) затрудняет расчеты углов наклона и экспозиции склонов. В настоящий момент недостаточно проработаны методы "очистки" данных от влияния подобных объектов для перехода к цифровой модели рельефа. Необходимо отметить, что подобная проблема не может возникнуть при получении данных о рельефе отдельных полей с посевами однолетних сельскохозяйственных культур или луговой растительности. Лишь по краям пахотного поля информация о рельефе может быть искажена из-за влияния близкой к полю естественной растительности или стоящих близко строений. Поэтому возможно построение цифровых моделей рельефа для отдельных полей. Теоретически, по сравнению с обычной геодезической съемкой, использование данных БПЛА должно сильно сократить затратность и трудоемкость работ. Но найти подобные оценки в научных публикациях нам не удалось.



**Рис. 1.** Трехмерное изображение территории по данным съемки с БПЛА (в районе г. Волос, Греция).

Другим важным и наиболее очевидным направлением использования данных БПЛА является мониторинг состояния посевов. Высокое пространственное разрешение данных и возможность съемки в заданное время позволяют оценивать состояние посевов (засоренность, разреженность, повреждение вредителями и болезнями, состояние после перезимовки, стадии фенологического развития и т.п.) (рис. 2).

По данным изображений с БПЛА после их географической привязки возможно проведение точной количественной оценки пострадавших посевов. Также можно оценить и географию повреждений посевов. Эта информация важна как для землепользователя, чьи посевы пострадали, так и для страховых компаний (в случае застрахованности посевов) для количественной оценки ущерба при наступлении страхового случая.

Наиболее ответственным этапом при этом является точная географическая привязка получаемых изображений, а также их геометрическая и тоновая коррекция. Эти операции, как правило, приводят к большим искажениям исходных изображений и от качества их осуществления во многом зависит точность дальнейшего прикладного анализа. В качестве примера на рис. З показаны результаты автоматизированной классификации изображения БПЛА с целью оценки проективного покрытия посевов и доли открытой поверхности почв (в приведенном примере, она составила около 63%) для участка в Плавском районе Тульской области.

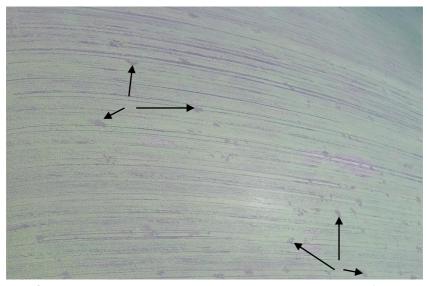
Результаты, приведенные на рис. 3, получены путем анализа изображения, сделанного обычной цветной фотокамерой. Цветное изображение было импортировано в ГИС ILWIS, привязано географически и трансформировано в локальную географическую проекцию. После этого изображение было "разложено" на три канала (красный, зеленый и синий), и по этим трем каналам проведена классификация с обучением для выделения класса открытой поверхности почвы и почвы под растительностью.

Информативность изображений можно значительно увеличить, используя более специализированные камеры, устанавливаемые на БПЛА. Например, существуют портативные камеры, которые позволяют получать изображения в каналах съемки, идентичных отдельным каналам спутника Landsat, или получать изображения в 12-ти различных каналах съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах (изображение на рис. 1 создано на основе съемки в инфракрасном диапазоне), а также радарные и тепловые изображения (мультиспектральные камеры Tetracam для БПЛА http://www.tetracam.com).

Перспективным направлением использования данных БПЛА является мониторинг отдельных свойств почв, в частности их деградированности, или оценка параметров плодородия почв отдельных полей. При этом в качестве индикатора состояния и свойств почв может быть использована индикационная роль растительности на полях по аналогии со спутниковыми методами (Кирьянова, Савин, 2013). Но наиболее перспективным является разработка подходов детектирования свойств почв по состоянию их открытой поверхности. В настоящее время эти возможности сильно ограничены технической невозможностью создания мини-

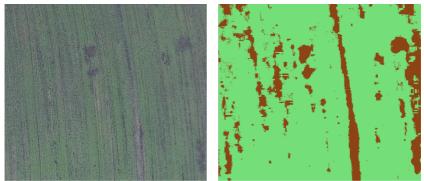
атюрных камер, позволяющих получать изображения в узких спектральных диапазонах. После решения этой проблемы откроется возможность применения всего опыта работ в данном направлении, накопленного при использовании данных аэро- и космической съемки.

Уже в настоящий момент на основе данных стандартных БПЛА можно решать отдельные задачи картографирования, мониторинга почв и оценки изменения их функций. При этом преимуществом подходов, основанных на БПЛА, по сравнению со спутниковыми технологиями для работы на уровне отдельных полей является возможность получения изображений в любой день, когда поверхность почв открыта для непосредственного наблюдения. На рис. 4 представлен пример использования данных БПЛА для картографирования эродированных почв на опытном поле Почвенного института им. В.В. Докучаева в Тульской области.

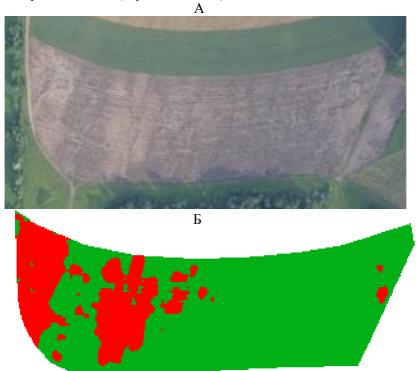


**Рис. 2.** Участки посевов озимой ржи, уничтоженные мышами (показаны стрелками), на снимке, полученном с БПЛА (Плавский район, Тульская область).

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80.



**Рис. 3.** Результат классификации изображения БПЛА поля с озимой рожью на два класса: посевы (зеленый цвет на части справа) и открытая поверхность почвы (коричневый цвет).



**Рис. 4.** Пример автоматизированного выделения сильноэродированных почв (красный цвет на части Б) по изображению, полученному на стандартную цветную фотокамеру с БПЛА.

При этом для автоматизированного анализа изображения используются те же приемы и подходы, как и при обработке спутниковых данных. Как и в случае с мониторингом посевов, качество получаемых результатов сильно зависит от точности географической привязки и устранения геометрических искажений изображения.

Результаты, приведенные на рис. 4, получены также путем анализа изображения, сделанного обычной цветной фотокамерой. Цветное изображение было импортировано в ГИС ILWIS, привязано географически и трансформировано в локальную географическую проекцию. После этого изображение было "разложено" на три канала (красный, зеленый и синий). По этим каналам проведена классификация с обучением для выделения класса открытой поверхности почвы и почвы под растительностью. После этого, для участков с открытой поверхностью почвы была проведена еще раз классификация с обучением с целью выделения класса сильноэродированных почв. В качестве обучающей выборки использовались пиксели, информация по степени эродированности почв которых имелась по данным полевых обследований.

Приведенные примеры показывают, что данные съемки наземного покрова с БПЛА уже в настоящий момент могут рассматриваться как более дешевая и оперативная альтернатива использованию спутниковых данных при осуществлении картографирования и мониторинга почв и посевов на уровне отдельных полей. Основными проблемами дальнейшего развития этих методов являются технические: разработка многоканальных портативных камер, а также усовершенствование подходов к геометрической коррекции изображений. В дальнейшем развитии нуждаются также методы детектирования отдельных свойств почв (особенно параметров их плодородия). Решению последней задачи и посвящен один из проектов Программы фундаментальных исследований Президиума РАН 2015 г., при финансовой поддержке которой и были проведены данные исследования.

**Благодарность.** Исследования по мониторингу эрозии почв проведены при финансовой поддержке РНФ (грант 15-16-30007).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Андроников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв. М.: Колос, 1979. 280 с.
- 2. *Афанасьева Т.В., Трифонова Т.А.* Типология пойменных земель р. Оби на основе комплексного дешифрирования материалов аэрокосмической съемки // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 1983. № 4. С. 3–9.
- 3. Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1990. 247 с.
- 4. Вернюк Ю.И., Анисимов К.Б., Бакулин Д.А., Гайдаров К.А., Докукин П.А., Дрожжин О.В., Клещенко М.М., Кузин А.В., Нагорный В.Д., Поддубский А.А. Опыт комплексного применения беспилотных и сверхлегких пилотируемых летательных аппаратов, систем глобального позиционирования и геоинформационных систем для исследования, картографирования и мониторинга почвенного и растительного покрова хозяйств // Инновационные процессы в АПК. М., 2013. С. 423–428.
- 5. Вернюк Ю.И., Савин И.Ю., Гайдаров К.А. Опыт применения локальной аэрофотосъемки, геодезических методов и ГИС технологий при исследовании почв и объектов окружающей среды для экологической экспертизы // Науки о Земле. 2012. № 2. С. 7–12.
- 6. Кирьянова Е.Ю., Савин И.Ю. О возможностях оценки контрастности почвенного покрова Саратовского Поволжья по спутниковым данным Landsat // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 189–209.
- 7. *Кирьянова Е.Ю., Савин И.Ю.* Неоднородности посевов, определяемые по спутниковым данным MODIS, как индикатор контрастности почвенного покрова // Докл. РАСХН, 2013. № 3. С. 6–39.
- 8. *Конюшкова М.В.* Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцового комплекса на основе цифрового анализа космической съемки: Дис. ... к. с.-х. н. М., 2010. 300 с.
- 9. Кравцова В.И., Николаева С.А. Возможности использования многозональных снимков в исследовании почвенного покрова // Космическая съемка и тематическое картографирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. С. 148–154.
- 10. Кренке А.Н. Коррекция почвенных карт на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 284–302.
- 11. Левенгаупт А. И. Опыт применения аэрофотосъемки при изучении Днепровских плавень // Материалы по проблеме Нижнего Днепра. Т. 2. 1931. С. 143–152.
- 12. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния раститель-

- ности ("Вега") // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
- 13. Пузаченко М.Ю. Многомерный анализ почвенного покрова на основе полевой и дистанционной информации // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 252–269.
- 14. Савин И.Ю. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-черноземного района по среднемасштабным космическим снимкам. Автореф. дис. .... к. геогр. н. М., 1990. 27 с.
- 15. *Савин И.Ю., Симакова М.С.* Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России // Проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М., 2012. Т. 9. № 5. С. 104–115.
- 16. Селяков Л. Я. Из опыта Казахстанской съемки. М.: Геодезиздат, 1932.
- 17. Симакова М.С. Картографирование почвенного покрова с использованием материалов аэро- и космической фотосъемки: Автореф. дис. . . . д. с.-х. н. М., 1984. 43 с.
- 18. Сметанин И.С. Из опыта использования материалов аэрофотосъемки при почвенных исследованиях // Почвоведение. 1940. № 12. С. 66–72.
- 19. Терешенков О.М. Почвенно-экологическое картографирование на основе аэрокосмической информации для целей охраны и оптимизации почвенных ресурсов: Автореф. дис. . . . д. геогр. н. СПб., 1993. 54 с.
- 20. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Матвеенко Д.А., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. Применение дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Вест. РАСХН. 2015. № 1. С. 23–25.
- 21. Capolupo A., Pindozzi S., Okello K., Fiorentino N., Boccia L. Photogrammetry for environmental monitoring: The use of drones and hydrological models for detection of soil contaminated by copper // Sci. Total Environm. 2015. Vol. 514. P. 298–306.
- 22. Nex F., Remondino F. UAV for 3Dmapping applications: a review // Appl. Geomat. 2014. Vol. 6(1). P. 1–15. http://dx.doi.org/10.1007/S12518-013-0120-x.
- 23. *Pierrot-Deseilligny M., De Luca L., Remondino F.* Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation // Geoinform.sFCE CTU J. 2011. Vol. 6. P. 291–299.

## THE POSSIBLE USE OF PILOTLESS AIRCRAFTS FOR OPERATIVE MONITORING OF SOIL PRODUCTIVITY

## I. Yu. Savin<sup>1</sup>, Yu. I. Vernyuk<sup>1</sup>, G. Faraslis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017 Russia, Moscow, Pyzhevskii 7, bld. 2 e-mail: savigory@gmail.com

<sup>2</sup>Aristotle University of Thessaloniki, University Campus 54124 Thessaloniki Greece

As seen from a comprehensive review of literature sources, at the current stage of technological development and simplicity the pilotless aircrafts should be considered as a reliable tool for operative monitoring of soils and crops on fields and areas of small farms. The possibilities to use the imagery obtained by pilotless aircrafts are predetermined by a type of survey apparatus to a considerable extent. At present, the miniature survey apparatus permits to obtain images, the spectral resolution of which can be compatible with those obtained by satellites. Today, the images of pilotless aircrafts are used to give a visual assessment of any object to be surveyed. There are publications devoted to the computer analysis of images including those used for agricultural purposes. The experience is becoming common to use the imagery obtained by pilotless aircrafts and their computer analysis for constructing digital models of the field relief, monitoring over the soil erodibility and operative valuation of the agricultural crops state. Being compared with satellite imagery, the data of pilotless aircrafts have a number of advantages in aerial surveying. The major limits to use data obtained by pilotless aircrafts consist in insufficient miniaturization of the surveying apparatus and the fact that the monitoring cannot be organized to control over large areas.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, remote sensing techniques, soil interpretation, crops status.