

## Физико-географические исследования

УДК 631.43

*П.В. Васюков, С.В. Васюков, В.В. Сироткин*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВ ВОСТОКА И ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

Рассмотрены вопросы использования космических снимков высокого разрешения спутника SPOT4 (Франция) для целей определения гидрофизических параметров почв. В основе системы лежит качественная и количественная связь гидрофизических показателей почв и доступности почвенной влаги для сельскохозяйственных растений со спектральной яркостью космических снимков.

*Ключевые слова:* гидрофизические параметры почв, космические снимки Земли, спектральная яркость почв, пробоотбор.

В настоящее время для оценки качественного состояния почвогрунтов в основном используются химические и физико-механические свойства. Данные методы наряду со всеми их достоинствами (надежность, точность и т.д.) обладают целым рядом существенных недостатков. Во-первых, это их большая трудоемкость и невозможность экспрессного определения качественных характеристик. Для их выполнения требуются стационарные условия и лаборатория с дорогостоящим оборудованием. Во-вторых, химические и физико-механические методы исследования не дают полной картины явлений, происходящих в почвогрунтах. Между тем движение почвенной влаги, ее энергетическое состояние и доступность для растений имеет очень важное, если не основополагающее, значение. На этот факт в современной геоэкологической науке обращают недостаточное внимание. На его лимитирующее значение в жизнедеятельности экосистем указывают ведущие ученые [1].

На сегодняшний момент существуют хорошо разработанные методы определения гидрофизических и энергетических свойств почв, в том числе и в полевых условиях [2]. Также хорошо разработаны некоторые методы определения химических и физико-механических свойств почвогрунтов средствами дистанционного зондирования Земли [3]. Методических подходов к определению гидрофизических и энергетических свойств почв по данным дистанционного зондирования Земли в настоящее время не существует. Их разработка позволит использовать современные средства дистанционного зондирования Земли, прежде всего, космические снимки для определения качественного состояния почвогрунтов в окружающей среде, с подходов энергетического состояния влаги в них. Подобные данные необходимы многим отраслям народного хозяйства страны, прежде всего лесному и сельскому хозяйству.

### Материалы и методика исследований

Для определения гидрофизических параметров зональных почв Европейской России были выбраны полигоны в различных почвенно-ландшафтных зонах Европейской территории России. На выбранных полигонах был проведен пробоотбор образцов ненарушенного сложения и определены гидрофизические параметры (объемная масса, плотность твердой фазы, объемная влажность, пористость, коэффициент фильтрации, объемная удельная поверхность, объемная удельная энергия). Далее были выбраны материалы дистанционного зондирования Земли, пригодные для определения качественного состояния влаги в почве. Исходя из литературных источников [3] для этой цели были выбраны данные ИСЗ SPOT 4, совпадающие со временем пробоотбора (1, 2, 3, 4-й каналы за июль-август 2010 г.) [4]. Основные технические характеристики этого спутника приводятся в табл. 1. Для всех точек опробования с помощью программы обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v. 3.0 были получены значения коэффициентов спектральной яркости. Далее весь массив данных был объединен в одной атрибутивной таблице, на заключительном этапе были получены значения связи между коэффициентами спектральной яркости почв и гидрофизическими параметрами.

В нашей работе локальный мониторинг почв осуществлялся на базе экспериментальных полигонов: «Татарский», Республика Татарстан (55,30,23.5 с.ш.; 48,40,27.7 в.д.); «Алатырский», Чувашская Республика (с. Явлей); «Саратовский», Саратовская область (51,49,26.6 с.ш.; 46,20,36.0 в.д.); «Калмыцкий» (47,54,37.1 с.ш.; 44,35,50.5 в.д.) отметка 72,84 м; село Первомайское, Республика Калмыкия (45,52,29.2 с.ш.; 44,13,40.9 в.д.) отметка 57 м; «Тамбовский», Тамбовская область (52,5,40.3 с.ш.; 40,39,6.9 с.ш.) отметка 171,3 м. На данных мониторинговых участках (рис. 1) представлены все основные типы и подтипы почв лесной и лесостепной, степной, полупустынной зон Европейской территории России.

Таблица 1

Основные технические характеристики спутников Spot 4

Спутник	Прибор/ режим съемки	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Повторяемость съемки одной территории (для одного спутника)
SPOT 4	HRVIR MONO	0,61 – 0,68 (Красный)	10	60	1 раз в 1-4 суток
SPOT 4	HRVIR XS	0,50 – 0,59 (Зеленый)	20	60	1 раз в 1-4 суток
SPOT 4	HRVIR XS	0,61 – 0,68 (Красный)	20	60	1 раз в 1-4 суток
SPOT 4	HRVIR XS	0,78 – 0,89 (БИК)	20	60	1 раз в 1-4 суток
SPOT 4	HRVIR XS	1,58 – 1,75 (Средний ИК)	20	60	1 раз в 1-4 суток

Пробы отбирались в июле-августе 2010 г. в момент максимальной засухи на территории Европейской части России. Поэтому различия параметров в почвах не могут быть просто объяснены разностью в увлажнении почв – на это четко указывает распределение объемной влажности почв (для северных и южных почв оно приблизительно одинаково и составляет 6-7%).



Рис. 1. Местоположение полигонов исследования

Экспериментальная работа на ключевых участках проводилась с помощью ГИС-платформы ArcGIS и отображалась в табличном и картографическом видах. При подборе участков учитывались уровень с/х обработки, характер растительного покрова, гипсометрическое положение. Система точек располагалась с одинаковым интервалом и была привязана к топографическим координатам навигационным GPS-приемником «Garmin 12» с целью облегчения последующего их нахождения. Пробоотбор по возможности осуществлялся в первой половине дня в летний период с одинаковыми погодными условиями. Время транспортировки образцов в бюксах и кассетах с поля в лабораторию было минимальным (была развернута полевая лаборатория).

В качестве основы ГИС была использована базовая топографическая карта РФ масштаба 1:100000 с изолиниями. В тематический блок входили почвенная карта и карта угодий. В качестве мониторинговой информации использовался комплекс гидрофизических почвенных показателей.

Для получения достоверной информации о качественных характеристиках почвогрунтов необходимо выполнить ряд подготовительных работ и операций с космическими снимками с целью уменьшения погрешности, возникающей вследствие физических условий в атмосфере Земли и на земной поверхности. Без проведения данного вида работ невозможно выявить статистически важные связи между коэффициентами спектральных яркостей космических снимков разных каналов и гидрофизическими параметрами почв.

**Интерактивная компенсация атмосферной дымки.** Для компенсации атмосферной дымки в программе обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v. 3.0 используется алгоритм «Haze Optimized Transform», предложенный В. Guindon и Y. Zhang. Алгоритм основан на факте различия степени взаимной корреляции между спектральными каналами видимого диапазона при различных атмосферных условиях. Так, при отсутствии атмосферной дымки взаимная корреляция каналов видимого диапазона довольно высока практически по всей площади снимка во всем диапазоне яркостей, но в случае присутствия на сцене атмосферной дымки взаимная корреляция снижается в местах проявления этой дымки. Данный факт позволяет построить маску распределения дымки «HOT image», используемую для коррекции всей сцены. Коррекция проводится в два этапа:

- 1) выделение на снимке участка с отсутствием дымки и построение маски (HOT image);
- 2) определение диапазона, в котором находится дымка, и коррекция яркостей спектральных каналов в данном диапазоне.

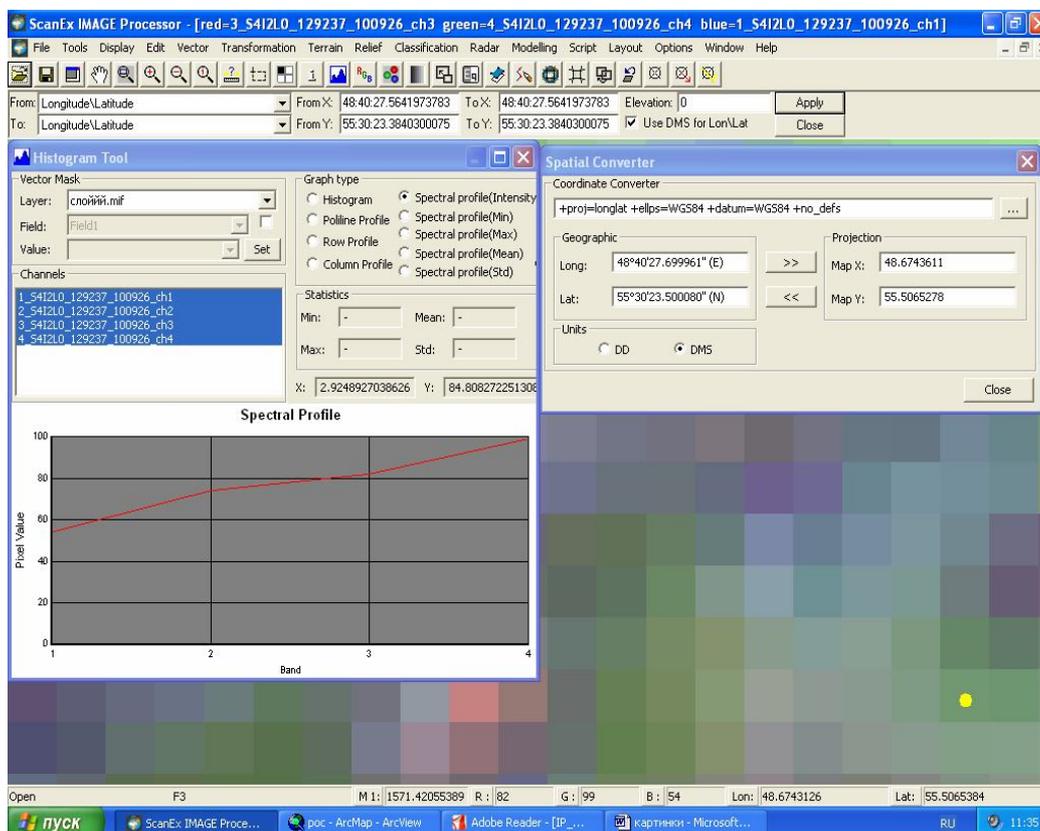


Рис. 2. Интерфейс программы ScanEx Image Processor v. 3.0

После успешного проведения атмосферной коррекции дистанционных данных мы могли извлекать спектральные образы почвогрунтов по космическим снимкам, формируя таким образом пространство спектральных признаков дешифрируемых объектов.

Для всех точек опробования с помощью программы обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v. 3.0 (рис.2) был проведён спектральный анализ данных (инструмент Histogram Tool) и получены значения коэффициентов спектральной яркости.

Далее был проведен статистический анализ данных, включающий корреляционный и регрессионный анализ. Анализ был выполнен в специализированной программной системе STATISTICA v. 6.1. Для анализа были отобраны только данные космической съемки, совпадающие со временем полевых проботборов. Ими оказались сцены июля-августа 2010 г.

Корреляционный анализ показал наличие значимых корреляционных связей между почвенными гидрофизическими данными основных типов почв Европейской территории и данными дистанционного зондирования Земли (табл. 2-7). В нижеприведенных корреляционных таблицах основных типов почв Европейской территории России выделены значимые коэффициенты корреляции.

Таблица 2

**Полигон Татарский. Тип почвогрунтов «чернозём обыкновенный»**

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «чернозём обыкновенный» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	канал 1	канал 2	канал 3	канал 4
Объемная масса 0-20, Pv	-0,27	-0,23	-0,33	-0,26
Весовая влажность 0-20, Ww (%)	-0,19	-0,08	-0,27	-0,47
Объем влаги Vw, 0-20	-0,18	-0,06	-0,27	-0,45
Объемная влажность Wv, 0-20	<b>-0,67</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,86</b>
Плотность твердой фазы 0-20, Ps	-0,12	-0,17	-0,22	-0,30
Пористость 0-20, P	0,33	0,15	0,29	0,17
Объем твердой фазы Vsf, 0-20	-0,14	-0,06	-0,10	0,02
Коэффициент фильтрации 0-20, K2	-0,57	-0,52	-0,62	<b>-0,81</b>
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	-0,17	-0,16	-0,27	-0,49
Потенциал почвенной влаги, f, 0-20	0,39	0,28	0,37	0,18

Таблица 3

**Полигон Алатырский. Тип почвогрунтов «чернозём выщелоченный (оподзоленный)»**

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «чернозём выщелоченный (оподзоленный)» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	канал 1	канал 2	канал 3	канал 4
Объемная масса 0-20, Pv	0,43	0,17	-0,06	-0,33
Весовая влажность 0-20, Ww (%)	-0,18	0,42	0,66	0,55
Объем влаги Vw, 0-20	0,22	-0,15	-0,27	-0,06
Объемная влажность Wv, 0-20	-0,14	-0,33	-0,65	-0,40
Плотность твердой фазы 0-20, Ps	-0,66	-0,26	0,09	<b>0,68</b>
Пористость 0-20, P	<b>0,78</b>	<b>0,68</b>	0,29	-0,46
Объем твердой фазы Vsf, 0-20	0,55	0,64	0,55	-0,22
Коэффициент фильтрации 0-20, K2	0,01	-0,34	-0,59	-0,37
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	<b>-0,87</b>	-0,64	-0,36	<b>0,82</b>
Потенциал почвенной влаги, f, 0-20	0,36	0,53	-0,02	-0,27

Таблица 4

**Полигон Саратовский. Тип почвогрунтов «чернозём южный»**

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «чернозём южный» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	канал 1	канал 2	канал 3	канал 4
Объемная масса 0-20, $P_v$	-0,50	-0,18	-0,17	0,01
Весовая влажность 0-20, $W_w$ (%)	0,39	0,44	0,35	0,42
Объем влаги $V_w$ , 0-20	0,38	0,56	0,59	0,51
Объемная влажность $W_v$ , 0-20	-0,24	-0,04	0,20	0,22
Плотность твердой фазы 0-20, $P_s$	0,18	0,26	0,43	0,29
Пористость 0-20, $P$	-0,58	-0,34	-0,14	-0,05
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 0-20	0,26	0,33	0,57	0,35
Коэффициент фильтрации 0-20, $K_2$	0,37	0,51	<b>0,71</b>	0,58
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	-0,28	-0,36	-0,22	-0,24
Потенциал почвенной влаги, $f$ , 0-20	0,06	0,17	0,40	0,24

Таблица 5

**Полигон Калмыцкий. Тип почвогрунтов «светло-каштановая»**

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «светло-каштановая» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Объемная масса 0-20, $P_v$	0,02	-0,49	-0,55	-0,51
Весовая влажность 0-20, $W_w$ (%)	-0,50	0,45	0,63	0,56
Объем влаги $V_w$ , 0-20	0,56	-0,44	<b>-0,72</b>	-0,66
Объемная влажность $W_v$ , 0-20	0,24	-0,62	<b>-0,76</b>	-0,65
Плотность твердой фазы 0-20, $P_s$	0,60	-0,55	-0,63	<b>-0,75</b>
Пористость 0-20, $P$	<b>-0,86</b>	0,60	0,58	<b>0,72</b>
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 0-20	-0,19	0,19	0,13	0,14
Коэффициент фильтрации 0-20, $K_2$	-0,31	0,11	0,02	0,08
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	-0,42	0,45	<b>0,71</b>	<b>0,69</b>
Потенциал почвенной влаги $f$ , 0-20	-0,29	0,27	0,17	0,32
Объемная масса 20-40, $P_v$	0,41	-0,37	-0,50	-0,47
Весовая влажность 20-40, $W_w$ (%)	-0,14	-0,02	0,23	0,26
Объем влаги $V_w$ , 20-40	-0,36	0,63	0,57	0,63
Объемная влажность $W_v$ , 20-40	-0,65	0,58	0,44	0,57
Плотность твердой фазы 20-40, $P_s$	<b>-0,68</b>	0,67	<b>0,71</b>	<b>0,80</b>
Пористость 20-40, $P$	<b>0,72</b>	-0,06	-0,21	-0,26
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 20-40	-0,59	0,50	0,51	<b>0,67</b>
Коэффициент фильтрации 20-40, $K_2$	-0,46	0,32	0,29	0,46
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 20-40	-0,41	0,30	0,35	0,51
Потенциал почвенной влаги, $f$ 20-40	0,19	-0,30	-0,27	-0,18

Таблица 6

**Полигон Первомайское. Тип почвогрунтов «серо-бурые полупустынные»**

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «серо-бурые полупустынные» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Объемная масса 0-20, $P_v$	<b>0,70</b>	-0,39	-0,20	0,07
Весовая влажность 0-20, $W_w$ (%)	0,39	0,62	0,55	-0,14
Объем влаги $V_w$ , 0-20	0,39	<b>0,71</b>	<b>0,72</b>	-0,32
Объемная влажность $W_v$ , 0-20	0,57	0,20	0,24	-0,10
Плотность твердой фазы 0-20, $P_s$	0,31	0,58	0,58	-0,29
Пористость 0-20, $P$	0,43	0,56	0,65	-0,31
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 0-20	0,38	0,50	0,54	-0,37
Коэффициент фильтрации 0-20, $K_2$	0,17	0,62	<b>0,70</b>	-0,16
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	0,42	<b>0,75</b>	<b>0,77</b>	-0,19
Потенциал почвенной влаги $f$ , 0-20	0,58	0,57	0,61	-0,26
Объемная масса 20-40, $P_v$	-0,45	0,24	-0,04	-0,38
Весовая влажность 20-40, $W_w$ (%)	-0,09	-0,28	-0,18	0,30
Объем влаги $V_w$ , 20-40	0,39	0,44	0,54	0,15
Объемная влажность $W_v$ , 20-40	0,03	-0,60	-0,45	0,48
Плотность твердой фазы 20-40, $P_s$	-0,27	0,27	0,19	-0,22
Пористость 20-40, $P$	0,11	0,62	<b>0,80</b>	-0,32
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 20-40	0,12	0,55	0,52	-0,14
Коэффициент фильтрации 20-40, $K_2$	0,30	-0,28	-0,25	0,64
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 20-40	-0,37	-0,65	-0,55	-0,08
Потенциал почвенной влаги $f$ , 0-40	0,17	0,26	0,18	0,17

Далее для пар коррелирующих параметров были получены уравнения регрессии, значимые на уровне 95%-й вероятности. Пример регрессионной зависимости приведен на рис. 3.

В итоге для различных типов почв были получены следующие уравнения регрессии.

**Полигон Татарский. Тип почвогрунтов «чернозём обыкновенный»:**

объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = 0,5106-0,0037\*канал 4;  
 объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = 0,7161-0,0068\*канал 3;  
 объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = 0,7471-0,008\*канал 2;  
 объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = 0,3199-0,003\*канал 1;  
 коэффициент фильтрации 0-20,  $K_2$  = 3,2667-0,0239\*канал 4.

**Полигон Алатырский. Тип почвогрунтов «чернозём выщелоченный (оподзоленный)»:**

объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = -155,689+1,8749\*канал 4;  
 объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = 313,0088-2,6281\*канал 1;  
 пористость 0-20,  $P$  = 0,3195+0,0002\*канал 2;  
 пористость 0-20,  $P$  = 0,3252+0,0001\*канал 1;  
 плотность твердой фазы 0-20,  $P_s$  = 1,7404+0,002\* канал 4.

**Полигон Саратовский. Тип почвогрунтов «чернозём южный»:**

коэффициент фильтрации 0-20,  $K_2$  = -0,0339+0,0008\*канал 3.

Таблица 7

## Полигон Тамбовский. Тип почвогрунтов «чернозем типичный»

Корреляционная матрица типа почвогрунтов «чернозем типичный» <i>Отмеченные корреляции значимы на уровне <math>p &lt; 0,05000</math></i>				
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Объемная масса 0-20, $P_v$	-0,16	-0,10	-0,25	0,16
Весовая влажность 0-20, $W_w$ (%)	0,37	0,42	0,47	-0,25
Объем влаги $V_w$ , 0-20	0,19	0,53	0,54	-0,01
Объемная влажность $W_v$ , 0-20	0,44	<b>0,67</b>	0,58	-0,15
Плотность твердой фазы 0-20, $P_s$	-0,28	-0,20	-0,45	0,19
Пористость 0-20, $P$	-0,30	-0,55	-0,37	0,13
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 0-20	-0,40	-0,24	<b>-0,70</b>	0,31
Коэффициент фильтрации 0-20, $K_2$	-0,31	-0,43	-0,66	0,17
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20	-0,35	0,06	-0,46	0,33
Потенциал почвенной влаги $f$ , 0-20	-0,28	-0,05	-0,49	0,21
Объемная масса 20-40, $P_v$	0,09	0,26	-0,08	-0,06
Весовая влажность 20-40, $W_w$ (%)	-0,21	-0,28	-0,57	0,11
Объем влаги $V_w$ , 20-40	0,43	0,40	0,38	-0,23
Объемная влажность $W_v$ , 20-40	-0,34	-0,35	<b>-0,69</b>	0,17
Плотность твердой фазы 20-40, $P_s$	-0,25	-0,19	-0,47	0,15
Пористость 20-40, $P$	-0,16	-0,21	-0,61	0,07
Объем твердой фазы $V_{sf}$ , 20-40	-0,21	-0,17	-0,51	0,12
Коэффициент фильтрации 20-40, $K_2$	-0,28	-0,36	-0,65	0,09
Объемная удельная поверхность твердой фазы, 20-40	-0,27	-0,27	<b>-0,68</b>	0,13
Потенциал почвенной влаги $f$ , 0-40	0,06	0,14	-0,27	-0,06

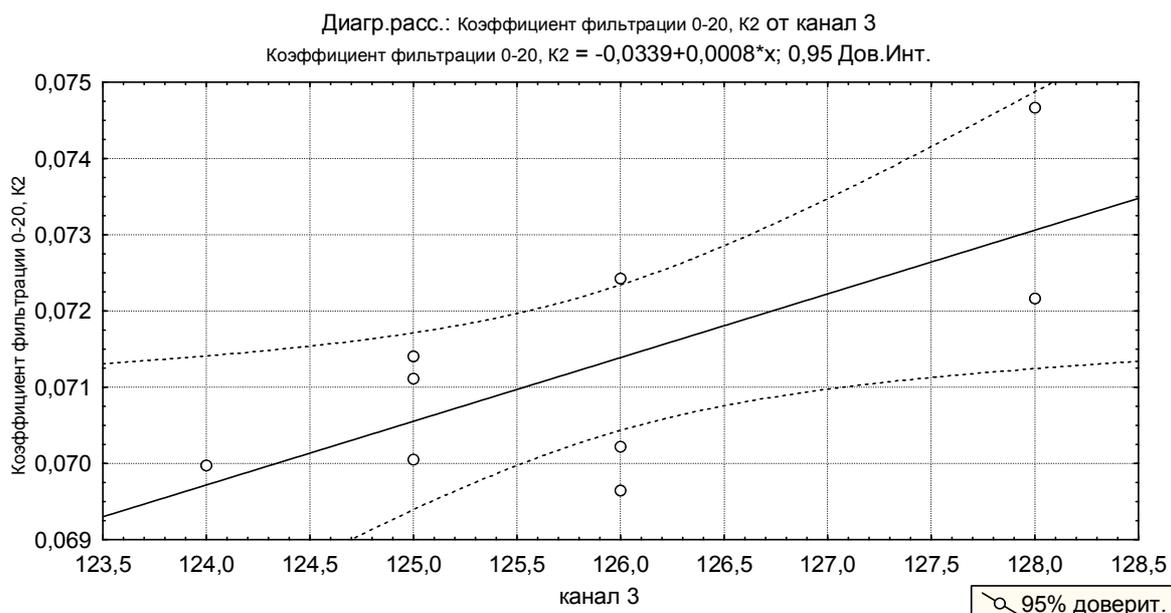


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа для пары взаимокоррелирующих параметров

**Полигон Калмыцкий. Тип почвогрунтов «светло-каштановая»:**

объем влаги  $V_w$ , 0-20 = 62,464-0,2682\*канал 3;  
объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = 0,1367-0,0006\*канал 3;  
плотность твердой фазы 0-20,  $P_s$  = 10,3339-0,0422\*канал 4;  
пористость 0-20,  $P$  = 1,9847-0,0109\*канал 1;  
пористость 0-20,  $P$  = -0,8904+0,0074\*канал 4;  
объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = -307,512+3,9126\*канал 4;  
объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = -275,9567+4,034\*канал 3;  
плотность твердой фазы 20-40,  $P_s$  = -2,716+0,0261\*канал 4;  
плотность твердой фазы 20-40,  $P_s$  = -1,8009+0,0228\*канал 3;  
плотность твердой фазы 20-40,  $P_s$  = 5,8591-0,0272\*канал 1;  
пористость 20-40,  $P$  = -0,2565+0,0051\*канал 1;  
объем твердой фазы  $V_{sf}$ , 20-40 = -343,8838+3,2189\*канал 4.

**Полигон Первомайское. Тип почвогрунтов «серо-бурые полупустынные»:**

объемная масса 0-20,  $P_v$  = -7,8148+0,0731\*канал 1;  
объем влаги  $V_w$ , 0-20 = -150,4609+1,264\*канал 3;  
объем влаги  $V_w$ , 0-20 = -87,2551+0,6746\*канал 2;  
коэффициент фильтрации 0-20,  $K_2$  = -0,6237+0,0047\*канал 3;  
объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = -1263,3361+10,7372\*канал 3;  
объемная удельная поверхность твердой фазы, 0-20 = -697,1703+5,5646\*канал 2;  
пористость 20-40,  $P$  = -1,7599+0,0149\*канал 3

**Полигон Тамбовский. Тип почвогрунтов «чернозем типичный»:**

объемная влажность  $W_v$ , 0-20 = -0,3023+0,0048\*канал 2;  
объем твердой фазы  $V_{sf}$ , 0-20 = 573,7843-2,6899\*канал 3;  
объемная влажность  $W_v$ , 20-40 = 0,4996-0,0027\*канал 3;  
объемная удельная поверхность твердой фазы, 20-40 = 940,6323-4,1762\*канал 3.

На основании этих уравнений был выполнен пересчет значений данных дистанционного зондирования в гидрофизические параметры почвогрунтов (такие как пористость, плотность твердой фазы, объемная поверхность твердой фазы) в пределах сельскохозяйственных полей.

Карта сельскохозяйственных угодий с определенным типом почвогрунтов была получена из векторных данных предыдущих исследователей с использованием набора инструментов наложения ScanEx Image Processor v.3.0. Для уточнения ситуативного плана была проведена классификация космического снимка самоорганизующимся способом кластеризации ISODATA (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных-Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) в среде ScanEx Image Processor v.3.0. Данный алгоритм является одним из наиболее популярных, используемых для неуправляемой классификации. Он базируется на кластеризации изображения, основанной на разнице между средними значениями кластеров (минимальном спектральном расстоянии между центрами классов).

Существует несколько вариантов исполнения алгоритма. В нашем случае использована следующая логическая последовательность:

1. Начальная инициализация кластеров. Входные данные предварительно обрабатываются по методу главных компонент (PCA), а затем по обработанным растрам с помощью метода стандартных отклонений. Таким образом, устанавливается начальное положение центров спектральных классов. Количество классов определяется пользователем.

2. Первая итерация. На данном этапе все пиксели изображения присваиваются классам по признаку наименьшего расстояния между средним значением класса и значением яркости пикселя, образуя кластеры. В качестве меры сравнения расстояний используется Евклидова метрика.

3. Затем производится пересчет средних значений в классах. Соотнесение получившихся на предыдущем шаге кластеров к спектральным классам проходит по тому же принципу. Кластеры мо-

гут объединяться или делиться в зависимости от установленных пороговых значений. Затем вновь производится пересчет средних значений и образование новых кластеров.

4. Данная процедура повторяется до тех пор, пока кластеры могут объединяться или делиться, либо по достижению максимального числа итераций, задаваемых пользователем. Результатом обработки является новый растровый слой, содержащий получившиеся кластеры, объединенные по принадлежности к спектральным классам. Получившиеся спектральные классы кодируются от минимальных средних к максимальным и нумеруются с единицы.

Последующая обработка сводится к тематической интерпретации получившихся спектральных классов.

Результаты классификации были конвертированы в класс пространственных объектов векторной полигональной геометрии. Впоследствии они были использованы для корректировки сельскохозяйственных полей по типу почв и в качестве маски анализа при пересчете значений спектральной отражательной способности в гидрофизические параметры.

Операции по расчету гидрофизических параметров выполнялись в растровом калькуляторе модуля Spatial Analyst ArcGIS. Качественное представление результатов возможно в картографическом виде.

## Результаты

Используя данные космической съемки с ИСЗ SPOT4, мы провели обработку и коррекцию космических снимков. Это сделано с целью минимизации искажений, вызванных атмосферой Земли, радиацией Солнца и характером подстилающей поверхности. В результате мы получили скорректированные спектральные образы почвогрунтов с различными гидрофизическими характеристиками.

Были проведены исследования спектральной отражательной способности почв в различных спектральных каналах космических снимков для различных исследуемых участков. Массив данных спектральных характеристик и гидрофизических параметров почв, был обработан статистическими методами с целью определения корреляционных связей между ними. Для пар данных коррелирующих на уровне 95% вероятности были получены уравнения регрессии. На основании этих уравнений был выполнен пересчет значений данных дистанционного зондирования в гидрофизические параметры почвогрунтов (такие как пористость, плотность твердой фазы, объемная поверхность твердой фазы) в пределах сельскохозяйственных полей. Используя механизмы ГИС, были получены отображения гидрофизических параметров почв на карте.

## Выводы

1. Доказана принципиальная возможность использования ДДЗ для косвенного определения гидрофизических показателей почв.

2. На основе данных по спектральной яркости почв для эталонных участков, имеющих тесную корреляционную связь с рядом гидрофизических параметров, возможно создание эталонов спектральной яркости для соответствующих гидрофизических параметров зональных почв Европейской России.

3. Используя вышеназванные эталонные данные по спектральной яркости, возможно дистанционное определение участков почвенного покрова, имеющих соответствующие гидрофизические характеристики. Подобная информация является востребованной для целей лесного и сельского хозяйства. Таким образом, полученные результаты являются приближенным решением поставленной задачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. Ростов-н/Д: Феникс, 2006. 400 с.
2. Сироткин В.В., Сироткин В. М. Прикладная гидрофизика почв. Чебоксары: Изд-во Чебоксар. ун-та, 2001. 252 с.
3. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. М.: Аспект-Пресс, 2005. 190 с.
4. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 336 с.

*P.V. Vasyukov, S.V. Vasyukov, V.V. Sirotkin*

**Use of the data of remote sounding for definition of hydrophysical parameters of soils of the east and the south of the European Russia**

The article deals with the issues of using of the satellite SPOT4 high-resolution images for the estimation of soil hydrophysical parameters. The system is based on the qualitative and quantitative correlation between soil hydrophysical properties and the availability of soil moisture for crops with spectral brightness of satellite images.

*Keywords:* Hydrophysical parameters of soils; space pictures of the Earth, spectral brightness of soils, soil sampling.

Васюков Павел Владимирович, магистрант  
ФГОУ ВПО «Чувашский государственный университет  
им. И.Н. Ульянова»  
428000, Россия, г. Чебоксары, Московский просп., 15  
E-mail: svasyukov@rambler.ru

Васюков Сергей Владимирович, кандидат географических  
наук, начальник отдела геодезии и картографии  
Управление федеральной службы регистрации кадастра  
и картографии по Чувашской Республике,  
428023, Россия, г. Чебоксары, ул. Эльменя, 4а  
E-mail: svasyukov@rambler.ru

Сироткин Вячеслав Владимирович,  
доктор географических наук, профессор  
Приволжский федеральный университет «Казанский  
государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина»  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18  
E-mail: sirotkin67@rambler.ru,

Vasyukov P.V., post-graduate student  
Chuvash State University  
428000, Russia, Cheboksary, Moskovskiy prosp., 15  
E-mail: svasyukov@rambler.ru.

Vasyukov S.V., doctor of geography,  
head of department of geodesy and cartography  
Office of the Federal Registration Service  
of the inventory and mapping of the Chuvash Republic  
428023, Russia, Cheboksary, Yelmenya st., 4a  
E-mail: svasyukov@rambler.ru.

Sirotkin V.V., doctor of geography, professor  
Privolzhsky (Kazan) federal university  
420008, Russia, Kazan, Kremlyevskaya st., 18  
E-mail: sirotkin67@rambler.ru.