

DOI:

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДДЗ В ПРАКТИКЕ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Ю. Г. Захарян, А. А. Комаров

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

dzhem.m@yandex.ru, zelenydar@mail.ru

Использование данных дистанционного зондирования в пространственно-временном континууме для дифференцированного планирования стратегий агротехнологических решений является необходимым условием обеспечения устойчивого функционирования сельскохозяйственной отрасли и служат основой для идентификации оптимальных значений варьирующихся почвенно-климатических факторов.

На основании критериев неоднородности по почвенным, агроклиматическим, NDVI-индексу развития растений и урожайности на исследуемых полигонах произведена оценка состояния территорий с использованием алгоритма геостатистики.

Ключевые слова: дифференциация технологии, пространственно-временной континуум, точное земледелие, геостатистика, данные дистанционного зондирования, растениеводство.

ON THE USE OF THE GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF RSD IN PRACTICE OF CROP PRODUCTION

Y. G. Zakharyan, A. A. Komarov

Agrophysical research institute

The use of remote sensing data in the space-time continuum for differential planning of strategies for agro-technological solutions is a necessary condition for ensuring the sustainable functioning of the agricultural sector and serves as a basis for identifying the optimal values of varying soil-climatic factors.

Based on the criteria of heterogeneity in soil, agroclimatic, NDVI-index of plant development and yield, the assessment of the state of territories using the geostatistics algorithm was carried out at the survey sites.

Keywords: technology differentiation, space-time continuum, exact agriculture, geostatistics, remote sensing data, crop production.

Введение

Геостатистический анализ позволяет существенно повысить уровень надежности и качество решений, принимаемых в агропромышленном комплексе на основе пространственно распределенной информации [1, 6]. Современные тенденции геостатистики связаны с развитием методов стохастического моделирования (пространственных аналогов методов Монте-Карло), основанных на многоточечной статистике, гибридных моделей с

применением алгоритмов искусственного интеллекта, использованием дополнительной информации различного вида и приложений в области обработки и передачи изображений, пространственно-временным анализом и многими другими направлениями [2].

Следует отметить, что данные дистанционного зондирования (ДДЗ) могут применяться при реализации технологии точного земледелия. При этом используются различные математические модели для расчета эффективности технологических воздействий, в виде [3, 6]:

$$\gamma(\vec{h}) = 1/2 E \left\| [f(\vec{r} + \vec{h}) - f(\vec{r})] \right\|^2 \quad (1)$$

где $\gamma(\vec{h})$ – носит название вариограммы; E – операция осреднения.

Функция $\gamma(\vec{h})$ определяется как половина среднего в статистическом смысле квадрата разности значений фактора f в точках на расстоянии $\vec{h}$ друг от друга с r – радиус вектором.

Еще задолго до формирования геостатистики как самостоятельной прикладной науки А. Н. Колмогоровым была предложена близкая по смыслу к (1) структурная функция $b(\vec{h})$, связанная с $\gamma(\vec{h})$ простым соотношением

$$b(\vec{h}) = 2\gamma(\vec{h}) \quad (2)$$

Структурная функция широко используется в исследованиях по атмосферной турбулентности и при анализе полей метеорологических элементов.

Для обеспечения высокоэффективного точного управления необходимо располагать сведениями о вариограммной функции и пространственной структуре управляемых показателей, а также об основных тенденциях и трендах наблюдаемых пространственных изменений статистической связности (коррелированности) значений варьирующих показателей [5].

Цель данного исследования заключается в том, чтобы продемонстрировать, каким образом данные дистанционного зондирования используются в геостатистических моделях в практике растениеводства при планировании стратегии агротехнологических решений на неоднородных территориях с учетом изменчивости климата. Последние существенно влияют

как на урожайность сельскохозяйственных земель в целом, так и на эффективность агроприемов.

Подобно формуле (1) вариограммная функция, которая характеризует статистическую структуру сельскохозяйственного поля и удовлетворяет условию стационарности второго порядка, оказывается связана с обычной функцией ковариации однозначным соотношением

$$\gamma(\vec{h}) = R(0) - R(\vec{h}), \quad (3)$$

где $R(0)$ имеет смысл суммарной дисперсии варьирующего агрометеорологического фактора, т. е. Соответственно, характеризуют мощности мезомасштабной и макромасштабной компоненты, и формулу (2) можно представить в виде:

$$\gamma(\vec{h}) = D[1 - \rho(\vec{h})], \quad (4)$$

где $\rho(\vec{h}) = R(\vec{h}) / D$ – нормированная корреляционная функция при D пространственно-распределенного фактора f . Как известно, во всех геостатистических (в том числе и статистических) исследованиях учитываются параметры распределения изучаемых случайных величин – процессов, происходящих на сельскохозяйственных территориях. Они рассчитываются по конечным выборкам (т. е. экспериментальным материалам) данных дистанционного зондирования, полученных с помощью спектральной камеры, которая устанавливается на беспилотниках (летающих аппаратах) или космических платформах, и предназначены для исследования наземного объекта (например, сорняки), влияющего на урожайность.

Для анализа частично дифференцированной стратегии (ЧДС) планирования агротехнологии было предусмотрено проведение численных экспериментов над конкретной картированной неоднородностью [3, 7].

В качестве примера рассмотрим три срока наблюдения за дифференциацией вегетационного индекса NDVI по элементарным участкам полигона ЗАО «Мельниково» Приозерского района Ленинградской области.

В целом по полигону для трех сроков наблюдения отмечена дифференциация вегетационного индекса от 0,55 до 0,85. (рис. 1).

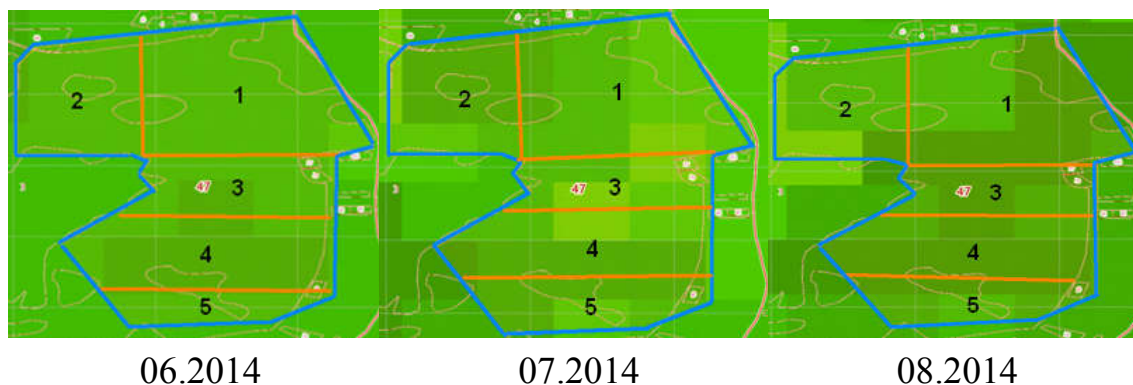


Рис. 1. Изменение состояния растений за вегетационный период на полигоне ЗАО «Мельниково»

Первый срок наблюдений характеризует интенсивность развития растений перед первым укосом и позволяет выделить участки первоочередной уборки (элементарный участок № 4, затем – № 3 диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук, 2018). Во второй срок наблюдений (20.07.2014) было установлено, что на участке № 3 показатель вегетационного индекса снизился по сравнению с более ранним периодом (июнь). Последнее указывает на снижение накопления хлорофилла в травах, а также кормовой ценности травостоя. На участке № 4 кормовая ценность травостоя снизилась на 10–20%. На участке № 2 отмечено увеличение вегетационного индекса и накопление хлорофилла, данный участок находился в оптимальном для уборки состоянии. Критерий неоднородности развития растений по вегетационному индексу согласовывался с данными по урожайности культуры. Что же определяло представленную степень неоднородности анализируемого поля? Прежде всего – это почвенно-агрохимическая неоднородность, где наблюдалось варьирование основных почвенно-агрохимических показателей, данные варьирования показателей детально изложены в работе [8], во-вторых – это варьирование агроклиматических показателей, например по мезорельефу территории полигона, что подробно представлено в диссертации [3], в третьих – это показатели ДДЗ, представленные на основании NDVI-индекса развития растений (рис. 1). Необходимо учесть, что первые два критерия неоднородности такие как почвенно-агрохимическая неоднородность, отображающая неоднородность пространства поля и агроклиматическая неоднородность – отображающая изменчивость показателей не

только в пространстве, но и во времени (например, утренние заморозки, точка росы и др.) требуют значительных затрат ресурсов и времени, тогда как ДДЗ показатели могут быть получены в оперативном режиме (например с использованием беспилотников).

Данные по урожайности на полигоне ЗАО «Мельниково» приведены в таблице.

Таблица. Урожайность сельскохозяйственных культур на тестовом полигоне ЗАО «Мельниково» в 2014 году

Тестовый полигон № 1	Сельскохозяйственная культура	Урожайность по элементарным участкам, ц/га			
		1	2	3	4
ЗАО «Мельниково»	Многолетние травы	164	158	172	182

Если учесть дифференциацию показателя NDVI и урожайности на оцениваемых контурах и провести оценку пространственного варьирования по указанным выше формулам, то можно показать, что предпринятая пространственная дифференциация уборки урожая и последующих подкормок в соответствии с пространственным варьированием критерия NDVI на фоне пространственной неоднородности агрометеорологических факторов продуктивности удовлетворительно подтвердила работоспособность рассмотренных выше моделей.

Таким образом, на основании критериев неоднородности по почвенным, агроклиматическим, NDVI-индексу развития растений и урожайности на исследуемых полигонах была произведена оценка состояния территорий с использованием алгоритма геостатистики[4].

Список литературы

1. Архипов М. В., Тюкалов Ю. А., Данилов Т. А., Прияткин Н. С., Захарян Ю. Г. Совершенствования контроля качества партий зерна в «умном» сельском хозяйстве обеспечения конкурентоспособности на мировом зерновом рынке. Устойчивое развитие, рациональное природопользование. Технологии здоровья. XI Международный Яснополянский форум. Тула: Инновационные технологии, 2017. С. 42–45.
2. Жуковский Е. Е., Захарян Ю. Г. Об учете пространственной изменчивости характеристик с/х поля // Научно-технический бюллетень по агрономической физике / АФИ 1983, № 54, С. 39–42.
3. Захарян Ю. Г. Оценка эффективности адаптации агротехнологических решений к пространственно-временной неоднородности сельскохозяйственных земель. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук, 2018 г. 51 с.

4. Комаров А. А., Захарян Ю. Г., Кирсанов А. Д. Анализ пространственных распределений урожайности для обоснования дифференциации агротехнологии // Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, 2017. № 2 (47). С. 48–57.
5. Насонова О. Н., Захарян Ю. Г. Об эффективности некоторых вариантов разбиения на градации при районировании территории // Научно-технический бюл. по агроном. физике / АФИ, 1987, № 70 (в соавт.).
6. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
7. Uskov A. O., Zakharian J. G. Expedient spatial differentiation of technologies of precise agriculture according to productivity factors/ ИАС 2009 Book of abstracts / Wageningen Academic Publishers / The Netherlands, 2009.
8. Суханов П. А., Комаров А. А., Кирсанов А. Д. Динамика изменения агрохимических свойств почв на тестовых полигонах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. №33. 2013. С. 12–19.

DOI:

**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНОК ИЗМЕНЕНИЯ
АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАССЕЙНА РЕКИ НА
ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

В. Л. Баденко

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Представлен метод построения оценок изменения агроклиматических параметров в бассейне реки на основе данных дистанционного зондирования и моделей изменения климата на примере реки Селемджи – притока реки Зеи на Дальнем Востоке России. Метод работает в геоинформационной среде. В качестве исходных данных по изменению климата используются растровые геоинформационные слои долгосрочных климатических моделей СМIP-5. Данные дистанционного зондирования используются для построения цифровой модели рельефа, водосборных бассейнов и синтетических рек, проводимых по тальвегам. В результате применения метода получается серия тематических слоев в ГИС, представляющих изменения агроклиматических характеристик 2050 и 2070 гг. по частным водосборам бассейна реки.

**METHOD FOR ESTIMATION OF AGROCLIMATIC PARAMETERS
CHANGES IN RIVER BASIN BASED ON REMOTE SENSING DATA**

V. L. Badenko

Agrophysical Research Institute