

# ГЕОСТАТИСТИКАТА - МЕТОД ЗА ХАРАКТЕРИЗИРАНЕТО НА ПРОМЕНЛИВИТЕ В ОКОЛНАТА СРЕДА И ПРИЛОЖЕНИЕТО И В ПРЕЦИЗНОТО ЗЕМЕДЕЛИЕ

## GEOSTATISTICS - METHOD FOR THE CHARACTERIZATION OF THE VARIABLES IN THE ENVIRONMENT AND APPLICATION IN PRECISION FARMING

Марина Стоянова  
Marina Stoyanova

Институт по земеделие - Карнобат, България  
Institute of Agriculture, Karnobat, Bulgaria

**Abstract:** As in other sciences, in soil science, agroecology and other areas of agricultural science and practice, scientists are also trying to clarify how it was formed soil, how it interact with other environmental factors, what causes the variation of its parameters in time and space. This heterogeneity in modern agriculture further increases in recent years due to increased size of the fields and often complicates the targeted use of raw materials such as water, pesticides and fertilizers (Oerke E. et al., 2010). Soil parameters variation is spatially variable. A key question is how it can be quantified. Sampling of the study area is difficult and expensive and often require one sample to evaluate the state of the whole area of interest, which is obviously infinitely wide. Geostatistics solve this problem by giving us variation where have not been sampled by assessing and error with which we work (Kutev, 2013). Over the past two decades, the method was well advertised and began to be applied to analyzing and mapping data from various fields such as agriculture, fisheries, geology, hydrology, climatology, oil industry, remote sensing, soil science and precision farming. In Bulgaria there are few scientific publications about mathematical apparatus of geostatistics and its application to the characterization of the variables in the environment and precision agriculture. The heterogeneity is rarely used and often ignored due to lack of appropriate technology or lack of time and knowledge to work with it especially in the technological process in our agriculture.

The aim of this publication is to clarify the use of geostatistical analysis to summarize and analyze data from surveys at national and international scale.

**Key words:** GEOSTATISTICS, PRECISION FARMING, SPATIAL VARIATION

### 1. Увод

Очаква се населението на света да нарасне на 9 милиарда до 2050 година. Това неминуемо налага търсенето на нови подходи за устойчиво и екологосъобразно производство на допълнително количество храна, фуражи и горива.

Подобно на други природни науки, в почвознанието, агроекологията и други направления на земеделската наука и практика, учените също се опитват да си изяснят как се е образувала почвата, как си взаимодейства със другите фактори на околната среда, на какво се дължи варирането на нейните параметри във времето и пространството. В съвременното земеделие тази

хетерогенност допълнително нараства в последните години, поради увеличаване размерите на полетата, и често усложнява целевото използване на суровините като вода, пестициди и торове (Oerke E. et al., 2010).

В България има твърде малко научни публикации за математическия апарат на геостатистиката и нейното приложение за характеризирани на променливите в околната среда и прецизното земеделие. Хетерогенността рядко се използва и често се игнорира поради липса на подходяща техника или липса на време и познания за работа с нея особено в технологичните процеси в нашето земеделие.

Пространствената вариация е пространствена променлива. Основен въпрос е как тя да бъде изразена количествено. Пробовземането от изследваната територия е трудно и скъпо и често се налага по една проба да се съди за състоянието на цялото област на изследване, което очевидно е безкрайно неточно. Геостатистиката решава тази задача като ни дава варирането и в местата, от които не са взети проби като оценява и грешката, с която се работи (Кутев, 2013). През последните две десетилетия метода получи широк отзвук и

започна да се прилага за анализиране и картографиране на данни от различни области като селско стопанство, риболов, геология, хидрология, климатология, нефтената индустрия, дистанционно наблюдение, почвознание. Геостатистиката навлиза много бързо през 90те и в прецизното земеделие с развитието на технологии като мониторинг на добива (Yield monitors), глобални позиционни системи (Global positionin gsystem - GPS), дистанционно наблюдение (Remote Sensing - RS), технологии за отчитане на вариращата норма (Variable Rate Technology - VRT) и географски информационни системи (Geographic Information Systems - GIS) (Sahoo et al., 2014).

Ако започнем да говорим за почвено засоляване, киселяване, замърсяване с тежки метали, замърсяване на подземните води, атмосферно налягане, валежи, замърсяване на въздуха и други ние влизаме в областта на екологията и метеорологията. Общото за всички тези променливи на околната среда, е че те са непрекъснати. Ние обаче можем да си позволим да ги измерим само на определен брой места. На всички останали такива, най - доброто което можем да направим е да предскажем тези стойности безпристрастно и с минимална грешка (Webster & Oliver, 2007).

Конвенционалната статистика се основава на случайни, независими променливи, което предполага липса на непрекъснатост. Геостатистиката също използва статистическия апарат, но в същото време интегрира пространственото разпределение на данните и математически теории като корелационни функции и др. Използва се за анализ на данни, зависещи от пространственото си положение и за изграждане в следствие на едномерни, двумерни и тримерни модели (Hengl, 2007). Служи за анализ и прогнозиране на стойности свързани с пространствено или времеви феномен а Grunwald (2006) я определя като пресечна точка между редица науки – Фиг. 1.



**Фиг.1** Геостатистиката - пресечната точка между ГИС, конвенционалната статистика и почвоведението (Grunwald, 2006)

Целта на настоящата публикация е да се внесе яснота при използването на геостатистическия анализ, да се обобщят и анализират данни от направени проучвания в страната и чужбина.

**2. Материал и метод**

За да бъде извършен геостатистически анализ е необходимо да се мине през следните няколко етапа:

- Пробонабиране и въвеждане на входящите данни - включва въвеждане на координатите по *xу* за всяка пробонабрана точка и изследваната пространствено променлива *z*.
- Изследване на данните:

Статистическо - изследване нормалността и дисперсията в данните, изследване на тренда

Геостатистическо - построяване на вариограма за изследване на пространствената зависимост (автокорелация); напасване на модела по познат математичен модел – моделиране; избиране метода за интерполация; интерполиране и изчертаване на карта посредством мрежа от клетки - изчертаване на изолинии; проверка на модела – валидиране; прехвърляне на картата в GIS слоеве.

*За примерите са използвани данни за хумус от мониторингова мрежа на местност „Бабалията”, гр. Карнобат и софтуерен пакет ArcGIS 10.3.1*

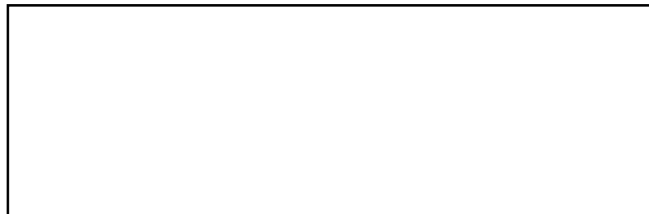
Стойностите измерени на непрекъснати скали биха могли да се подложат на много видове статистически анализи. Първия етап обаче винаги е изследване вариацията в данните и центъра. Най - често разсейването и нормалното разпределение се описва с хистограма, диаграма - кутийки с мустачки (Tukey, 1977), Normal QQ plot и др - Фиг. 2, Фиг. 3, Фиг. 4. В случай, че данните нямат нормално разпределение е необходимо да се извършат математични трансформации.

<b>Count</b>	<b>: 36</b>	<b>Skewness</b>	<b>: 0,05894</b>
<b>Min</b>	<b>: 1,08</b>	<b>Kurtosis</b>	<b>: 2,0478</b>
<b>Max</b>	<b>: 2,25</b>	<b>1-st Quartile</b>	<b>: 1,365</b>
<b>Mean</b>	<b>: 1,6042</b>	<b>Median</b>	<b>: 1,61</b>
<b>Std. Dev.</b>	<b>: 0,31071</b>	<b>3-rd Quartile</b>	<b>: 1,83</b>

**Фиг. 2** Обща статистика на хумус, мониторингова мрежа местност „Бабалията”, гр. Карнобат



**Фиг. 3** Хистограма на хумус, мониторингова мрежа местност - „Бабалията”, гр. Карнобат



**Фиг. 4** Normal QQ Plot на хумус, мониторингова мрежа местност - „Бабалията”, гр. Карнобат

Изследването на тренда и неговото премахване е изискване при използването на кригинг методите за интерполация - Фиг. 5.

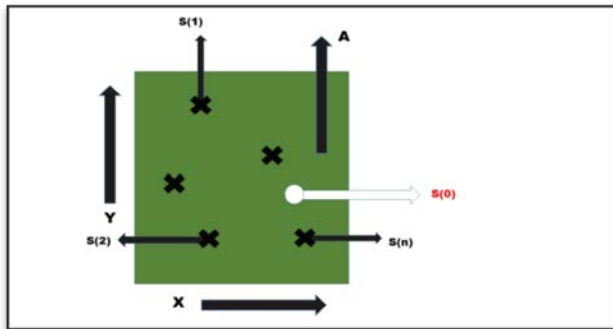


**Фиг. 5.** Тренд анализ на хумус, мониторингова мрежа местност - „Бабалията”, гр. Карнобат

При проучване на почвените показатели, липсата на висока корелация между тях се свързва най - често с експериментални грешки и значимо вариране на близки разстояния. При геостатистически изследвания, се оценява пространствената корелация в изменението на почвените показатели . В резултат се получава изглаждане на данните и снижаване значимостта на възможни експериментални грешки и грешки от варирането на близки разстояния (Кузюкова I. F., V. A. Romanenkov, Ya. V. Kuzyakov – 2001).

За да опишем проблема математически нека имаме N на брой измервания - случайни променливи  $z(s1), z(s2) \dots z(sn)$ .  $si = (xi; yi)$ , където  $xi; yi$  са координатите в географското пространство областта на изучаване се обозначи като A. Съвкупността от реализации Z(s) е случаен процес и действителната стойност на Z е просто една от реализациите на този процес - Фиг. 6.

$$Z = \{Z(si), i = 1, \dots, N\}; si \in A$$



Фиг.6 2D схема на изследваната област A.

Допускайки, че пробите са представителни (representative), безпристрастни (unbiased) и съвместими (consistent) целевата стойност на вариацията за дадена локация може да бъде изчислена чрез пространствено предсказващ модел.

$$z(s_0) = E \{Z/z(s_i), qk(s_0), \gamma(h), s \in A\} \quad (\text{Hengl, 2007})$$

A – географската област на изследване

Z – стойностите на всички пробонабрани точки si

$z(s_i)$  – стойността в пробонабрана точка (si)

$z(s_0)$  – стойността на търсената променлива в локация (s0)

$\gamma(h)$  - ковариационни модел определящ пространствената автокорелационна структура

$qk(s_0)$  - детерминистичен интерполатор

E – математическото очакване

Следователно определяне на  $z(s_0)$  е процес на прогнозирането на нейната стойност посредством направените измервания вътре в областта на интереси.

Методите за интерполация са доста. Основно се делят на два вида. Механични (глобален и локален полином, метод на обратната дистанция, радиална базова функция) и геостатистически (кригинг). Кригинг метода е най - добрият линеен, независим предсказващ инструмент за измерване и предсказване в географското пространство. Метода в първоначалния си образ е разработена от минния инженер D.G. Krige и статистика H.S. Sichel за целите на минната златодобивна промишленост (Krige, 1951). Първоначалната версия на кригинг е наречена нормален кригинг (Ordinary kriging - ОК). След приемане на вътрешно свойствената хипотеза (intrinsic hypothesis) Матерон през 1962 (Matheron, 1962) и Ганден (Gandin, 1963) дават формулировка за влиянието между съседните стойности чрез семивариацията (полувариограма – наречана за кратко само вариограма). По - късно са създадени различни разновидности на кригинг метода като: прост (simple), универсален (universal), индикаторен (indicator), разделителен (disjunctive) и др.

Методите за интерполация притежават различни нива на сложност в зависимост от броя на условията (допусканията), които трябва да бъдат изпълнени за да бъде модела валиден. Най - общо казано механичните методи са доста по - опростени. Основен техен недостатък, е че не оценяват грешката с която се работи. Най - точни са кригинг методите освен това определят и дават значимостта на грешката. Те лежат обаче на редица допускания - стационарност от втори ред. Или:

1) Математическото очакване (или средното) на функцията  $Z(s)$  е константа за всички точки:

$$E[Z(s)] = \mu = const$$

Ако това изискване не е спазено следователно има изявен тренд то тогава той може да бъде премахнат чрез някои прости математически трансформации.

2) Функцията ковариация между всеки две точки s и s+h е константа и не зависи от разположението в пространството на s, а само от вектора h (разстоянието между точките):

$$E[Z(s), Z(s+h)] - \mu^2 = C(h)$$

Когато h=0, ковариацията се превръща във вариацията на  $Z(s)$ , или това е познатата дисперсия  $\sigma^2$ , която също трябва да бъде константа.

Това е много трудно осъществимо изискване особено когато има изявен тренд (вариране около средната). Ако все пак средната е константа то ковариацията съществува.

$$\gamma(h) = 1/2 E(z(s_i) - z(s_i + h))^2$$

E – математическото очакване

$z(s_i)$  - стойността в пробонабрана точка (si)

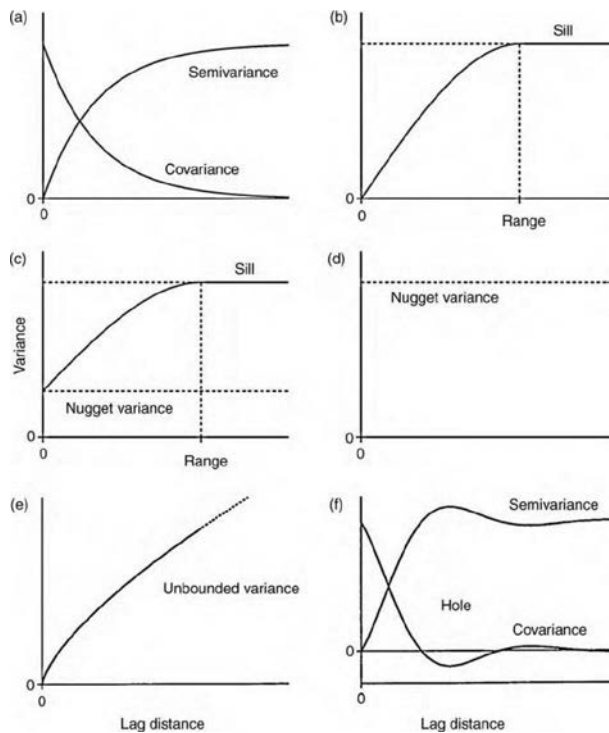
$z(s_i + h)$  - стойността в пробонабрана точка (si) на разстояние h

или:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum_{i=1}^{N(h)} (z(s_i) - z(s_i + h))^2$$

Израз за пространствената автокорелационна структура е вариограмата. При нея се изчислява корелацията на даден показател (променлива) за всяка двойка от точки, отстоящи на определено разстояние една от друга (h). За яснота получените стойности се осредняват за определени разстояния наречени lag.

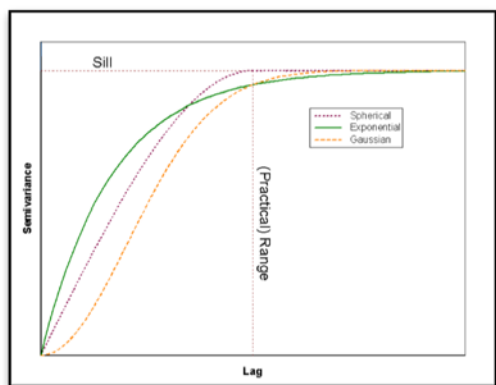
Теоретично на малки разстояния стойностите за семивариацията трябва да са по - сходни от тези на по - далечни. Следователно вариограмата расте до някакво ниво, след което с увеличаването на h, тя приема постоянна стойност. Начинът, по който вариограмата нараства с разстоянието показва колко бързо влиянието на дадена измерена стойност намалява с разстоянието. Когато вариограмата достигне своята гранична стойност, така наречения таван - праг (sill), вече няма никаква корелация между измерените стойности в точките, отстоящи на такова разстояние една от друга. Това критично разстояние се нарича радиус на корелация (или на влияние) - ранг (range). Теоретично се доказва, че когато вече няма корелация между  $z(s_i+h)$  и  $z(s_i)$ , тогава вариограмата достига нивото на вариацията (дисперсията) в данните в която се изследва - Фиг. 7.



Фиг. 7 Теоретични функции за пространствена корелация: а) разликите между семивариацията и ковариацията, б) свързана, ограничена вариограма с sill и range с) свързана вариограма с nugget вариация д) несвързана вариограма ф) вариограма и ковариация илюстрираща пълния ефект (Webster и Oliver, 2007)

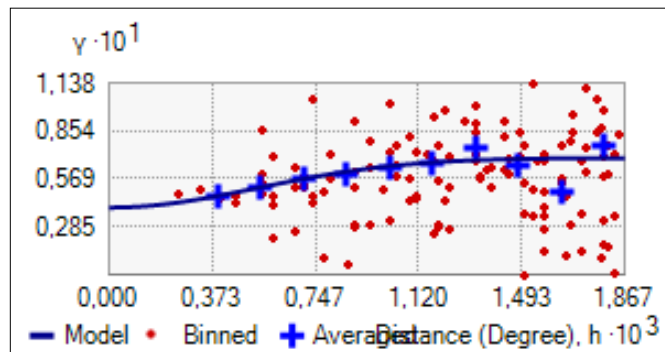
Ако данните се характеризират с анизотропия, различно поведение на семивариограмата в полето за изследване в определени направления (азимут), е необходимо да се работи с нея.

За напасването на експерименталната вариограма най-често използваните модели са: линеен, експоненциален, сферичен, Гаусов, nugget и др. Понякога се налага комбинирането на поне два модела за получаване на по-добри резултати - Фиг. 8.



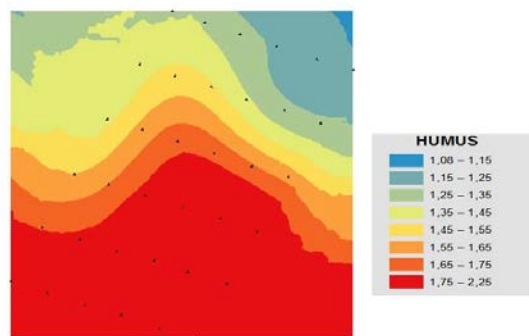
Фиг. 8. Сферичен, експоненциален и гаусов семивариограмен модел (Bohling, 2005)

Семивариограмата получена от данните на хумуса на мониторингова мрежа - местност „Бабалията”, гр. Карнобат е дадена на Фиг. 9

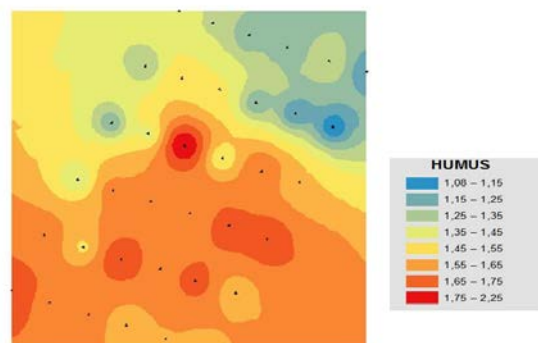


Фиг. 9. Семивариограма на хумус на мониторингова мрежа - местност „Бабалията”, гр. Карнобат

След напасване на вариограмата се изчертават кригинг картата - Фиг. 10. Интерполационните карта е изчертана с помоща на IDW метода - Фиг. 11.

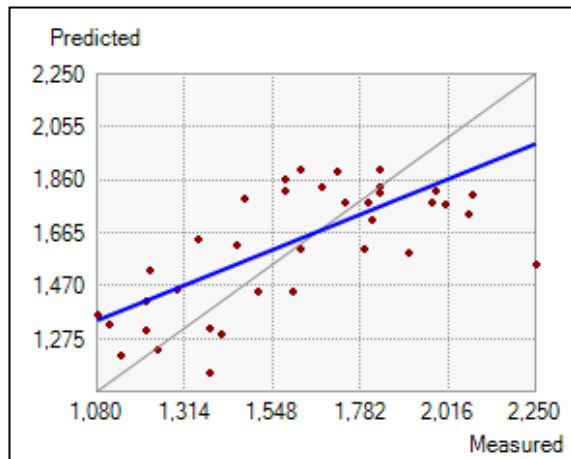


Фиг. 10 Пространствено вариране на хумуса – кригинг интерполация (OK)



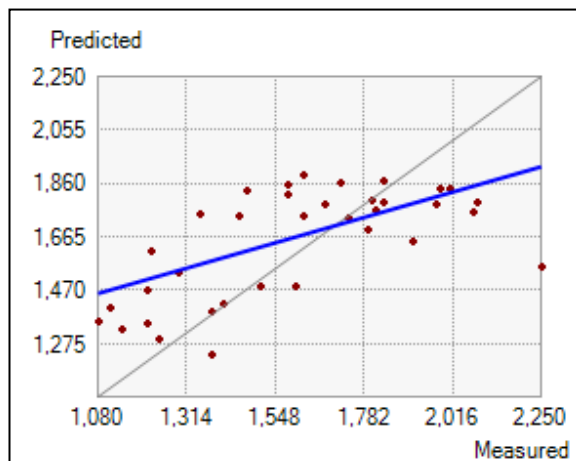
Фиг. 11 Пространствено вариране на хумуса – интерполация тегла обратни на разстоянието (IDW)

Валидирането на модела е крайният и най – важен етап, които цели да оцени грешката с която се работи.



Samples	36
Mean	0,0073
Root – Mean – Square	0,225
Root – Mean – Square – Standardized	0,971
Average Standard Error	0,234

**Фиг. 12** Cross – Validation на ОК и оценка на грешката при измерването за кригинг интерполацията



Samples	36
Mean	0,0474
Root – Mean – Square	0,235

**Фиг. 13** Cross – Validation на IDW метода

Няма единен метод за интерполация, който най – точно да описва всички данни. До – голяма степен метода се избира от самите данни, техните свойства, характеристики и резултатите от валидацията.

Безспорни са и резултатите получени през последните години доказващи високата ефективност на геостатистиката при изследването на вариационността на почвените показатели (Webster, 1994; Zhang et al., 1998; Zhang et al., 2000; Webster and Oliver, 2001; Corwin et al., 2003; Sun et al., 2009). Piccini et al., 2014 изследват възможностите на геостатистиката и различните методи за интерполация за характеризирание състоянието на почвеното органично вещество и съотношението C/N като екологични индикатори за почвената деградация. Стигат до заключението, че с помощта на геостатистическите подходи е възможно да се намалят разходите за изследвания и мониторинг, да се оцени грешката и

да се подобри наблюдението върху на почвите във времето за тяхното устойчиво опазване и съхранение.

Първи в България геостатистически подходи са използвани за някои предимно минно – геоложки проучвания (Бойкова, 1996; Попов и кол., 2003; Бакърджиев, 2004; Бакърджиев, 2006). През 2002 Антоанета Бойкова от Геологическия Институт към БАН публикува статия за възможностите на геостатистиката за подобряване работата свързана с оценяването на запасите с полезни изкопаеми, дава някои термини, определения и препоръки (Бойкова, 2002). През 2011 Бакърджиев, Вълчев и Русков от Минно – Геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, София издават учебник „Основи на геостатистиката“, където са поместени някои основни статистически и геостатистически понятия. Отново примерите са насочени към минно – геолозите.

Геостатистически подходи за изследване на почви са направени на някои замърсени (Динев и кол., 2012; Никова и кол., 2013), засолени (Кутев и Андреева, 2013; Кутев, Андреева и Златарева, 2013) и вкислени (Кутев и Кацарова, 2011; Кутев и Кацарова, 2013;) почви.

Положителният резултати от изследване на хетерогенността в земеделските площи за редуциране на торове и препарати и едновременно с това и опазването на природните ресурси особено повърхностните и подпочвени води докладват редица чуждестранни учени (Lopes – Granados et al, 2004, S. Upadnyaya et al., 2010, Jing Li et al., 2014). Концепцията за Site – specific management в селското стопанство започнала да се развива през 1990 в USA. По – късно на националният съвет за изследвания на САЩ през 1997 се дава определение за прецизно земеделие: „Прецизното земеделие е стратегия на управление, която използва информационни технологии за въвеждане на данни от множество източници за изработване на решения свързани с производството на земеделска продукция“. ПЗ е технология, която позволява комбинация между познанията за почва – растение – екосистема – инженерство, за оптимизира прилагането на химикали в селското стопанство. През 2009 е създаден проектомодел за Европейския съюз според, който широкообхватното прилагане на прецизното земеделие ще намали значително разходите за производство, ще увеличи добивите, ще редуцира торовете и особено пестицидите прилагани на полето. (Takacs – Gyorgy, 2009). Първи Mulla и Hammond през 1988 прилагат геостатистиката в прецизното земеделие, като създават почвени карти за варирането на съдържанието на P и K. Проучват полета с фертигация и дават препоръки за броя на оптималния брой проби. По – същото време Miller et al., (1988) изследва зависимостта между развитието на културите и добива от някои физични и химични свойства. Изчисляват вариограми на различни почвени свойства и използват кригинг за създаване на карти. През 2010 M.A Oliver публикува “Geostatistical Application of Precision Agriculture”, където подробно описва възможностите на геостатистиката за подобряване работата в селското стопанство и възможностите на прецизното земеделие.

Твърде ограничен е броя на публикациите за приложението на прецизното земеделие в нашата страна. Кутев 2013 разработва дисертационен труд на тема „Геостатистически подход за изследване на пространственото вариране на почвени показатели за нуждите на агрохимичните проучвания и земеделието“. Създава няколко мониторингови мрежи за проучването на хранителния статус на няколко полета с цел site – specific fertilization. Оценяват се възможностите за прилагането на прецизното земеделие за оптимизирането на торовите норми. Две години по – късно Кутев и Стоянова извършват мониторинг в България на смолница. Изследват пространствената вариационност на почвените показатели и връзката им с добива и качеството на

растениевъдната продукция (Кутев и Стоянова, 2015; Стоянова и Кутев, 2015).

### 3. Изводи

При проучване на почвените показатели, липсата на висока корелация между тях се свързва най - често с експериментални грешки и значимо вариране на близки разстояния. При геостатистически изследвания, се оценява пространствената корелация в изменението на почвените показатели. В резултат се получава изглаждане на данните и снижаване значимостта на възможни експериментални грешки и грешки от варирането на близки разстояния.

Проучването на пространствената вариационност на почвените показатели ще доведе до по – доброто разбиране на състоянието на почвените ресурси и да спомогне за нейното управление и устойчиво съхранение на продуктивността и. Геостатистическите проучване на почвените ресурси и запазването им в GIS ще способства за подобряване на мониторинга и адекватно оценяване в случай на изменение на качеството на почвените показатели във времето. Ще спомогне също така за внедряване на практиките свързани с прецизното земеделие в България, доказали отдавана ефективността си в редица страни със силно развито и модернизирано земеделие като САЩ, Холандия, Белгия, Испания, Китай и др.

*Геостатистическите проучване на почвените ресурси и запазването на получените данни GIS ще е добра база за управление на почвеното плодородие у нас от държавната и общинската администрация.*

### 4. ЛИТЕРАТУРА

**Бакърджиев Св. 2004.** Устойчив, негаусов геостатистически модел на масивно медно - рудно находище. Годишник на Минно - геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, София, Том 47, N 1, ст. 15- 19, 2004.

**Бакърджиев Св. 2006.** Калибриране на геостатистически модели на рудни находища чрез “CROSS - VALIDATION” - техники. Годишник на Минно - геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, София, Том 49, св. I. Геология и геофизика, 2006.

**Бакърджиев Св., Д. Въндев, К. Русков. 2011.** Основи на геостатистиката. ст. 80.

**Бойкова А. 1996.** Геостатистически подход за определяне на зависимостта между скоростните характеристики, плътността и влажността на пластични деформирани скали. Българско геофизическо дружество, XXII, N 2, ст. 73-83, 1996.

**Бойкова А. 2002.** Геостатистика - проблеми и перспективи за нейното прилагане в България. Минно дело и геология, LVII, N 2, ст 40-45, 2002.

**Динев Н., М. Банов, В. Кутев, Е. Филчева, Б. Георгиев, И. Митова. 2012.** Мониторинг и устойчиво управление на земите в землищата на с. Яна, с. Горни Богров и с. Бухово, район „Кремиковци“. Изд. „Амброзия“, ISBN 978-954-92592-4-7.

**Кутев В., А. Кацарова. 2011.** Пространствено вариране на почвеното органично вещество при мониторингова мрежа на кисела почва. ПАЕ, XLVII, N 14, ст. 147-149.

**Кутев В., А. Кацарова. 2013.** Мониторингова мрежа за изследване на кисели почви „Кънчево“. ПАЕ, XLVII, N 1, ст. 13-18.

**Кутев В., М. Стоянова. 2015.** Почвено - климатични условия в района на мониторингова мрежа за изследване на Смолница „Карнобат“. ПАЕ, год. XLX N 1, София, 2015.

**Кутев В., Н. Андреева. 2013.** Пространствено вариране на параметрите на почвеното плодородие на мониторингова мрежа за изследване на Засолени почви „Кермен“. ПАЕ, XLVII, N 1, ст. 25-30.

**Кутев В., Н. Андреева, Е. Златарева. 2013.** Пространствено вариране на параметрите на засоляване на мониторингова мрежа за изследване на Засолени почви „Кермен“. ПАЕ, XLVII, N 1, ст. 57-64.

**Никова Й., Б. Христов, Ал. Здравков, К. Русков, Д. Петров, Д. Бакърджиев. 2013.** Мониторинг на химичните характеристики на почвите в района на ТЕЦ „Бобов дол“. ПАЕ, год. XLVII, N 3, София, 2013.

**Кутев В. 2013.** Геостатистически подходи за изследване на пространственото вариране на почвени показатели за нуждите на агрохимичните проучвания и земеделието. Дисертационен труд за присъждане на научна степен „Доктор на науките“ - професионално направление - 6.1 Растениевъдство, научна специалност: „Агрохимия“.

**Попов К. и др. 2003.** Тримерен геостатистически модел на рудно тяло в медно - порфирно находище „Елаците“, Панагюрски Рилски район. Годишник на Минно - геоложкия университет „Св. Иван Рилски“ София, 46, N 1, ст. 147-153. 2003.

**Стоянова М., В. Кутев. 2015.** Оптимизиране нормите на торене на ечемик и слънчоглед в зависимост от пространственото вариране на азот, фосфор и калий при прецизно земеделие. Под печат.

**Стоянова М., В. Кутев. 2015.** Пространствено вариране на достъпните форми на азот, фосфор и калий в мониторингова мрежа за изследване на Смолница „Карнобат“. ПАЕ, год. XLX N 1, София, 2015.

**Bohling G. 2005.** Introduction to geostatistics and variogram analysis G&PE 940. <http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940>

**Corwin D., Sm. Lesch. 2003.** Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. Theory, principles and guidelines. Agronomy Journal 95, 445 – 471.

**Grunwald S. 2006.** Environmental Soil – Landscape Modeling. Geographic Information Technologies and Pedometrics. ISBN – 10: 0 – 8247 – 2389 – 9.

**Gandin L. S. 1963.** Objective Analysis of Meteorological Fields Translated from Russian in 1963 by Israel program for scientific translation, Jerusalem. Gidrometeorologicheskoe Izdatelstvo Leningrad, p. 242.

**Hengl T. 2007.** A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. JRC Scientific and Technical Reports. ISBN 978 – 92 – 79 – 06904 – 8.

**Jing Li., M. Qingwen, L. L. Wenhua, B. Yanying, Dh. Bijaya, Y. Zheng. 2014.** Spatial Variability Analysis of Soil Nutrients Based on GIS and Geostatistics: A Case Study of Yisa Township, Yunnan, China . Journal of Resources and Ecology, Vol. 5, N4, 348-355.

**Krige D. G. 1951.** A statistical approach to some basic mine valuation problem on the Witwatersrang. Journal of of the chemical Metallurgical and Mining Society 52, 119-139.

**Kuzyakova I. F., V. A. Romanenkov and Ya. V. Kuzyakov. 2001.** Application of Geostatistic in Processing the Results of Soil and Agrochemical Studies. Eurasian Soil Science, Vol. 34, No.11, 2001, pp. 1219 – 1228. Translated from Pochvovedenie No.11, 2001, pp. 1365 – 1376. MAIKO Nauka.

**Lopez – Granados F., M. Jurado – Exposito, S. Alamo, L. Garcia – Torres. 2004.** Leaf nutrient spatial variability and site – specific fertilization maps with olive (olea europaea L.) orchards . European Journal of Agronomy. 21 (2004) 209-22.

**Matheron G. 1962.** Traite de geostatistique appliuee. Vol. 14 of Memoires du Bureau de Recherches Geologiques et Minieres. Edition Technip, Paris, p. NA.

**Miller M. P, Singer M. J & D. R. Nielsen. 1998.** Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science of America Journal, 52, 133-141.

**Mulla D. J & Hammond M. W. 1998.** Mapping soil test results from large irrigation circles. In J. S. Jacobsen (Ed), Proceeding of the 39<sup>th</sup> Annual Far West Regional Fertilizer Conference (pp. 167-171). Pasco, WA: Agricultural Experimental Station Technical Paper N 8597. National Research 1997. Precision Agriculture in the 21<sup>st</sup> century. Washing DC, USA: National Academy Press.

- Oerke E – Ch., R. Gerhards Gunter Menz, R. Sikora. 2010.** Precision Crop Protection – the challenge and Use of Heterogeneity. ISBN 978 – 90 – 481 – 9276 – 2.
- Oliver M. A. 2010.** Geostatistical Applications for Precision Agriculture. ISBN 978 – 90 – 481 – 913 – 1.
- Piccini Ch., Al. Marchetti, R. Francaviglia. 2014.** Estimation on soil organic matter by geostatistical methods: Use of environmental assessment. Ecological Indicators 36 (2014) 301-314.
- Sahoo R. 2014.** Geostatistics in Geoinformatics for Managing Spatial Variability: Sahoo R. 2014. Geostatistics in Geoinformatics for Managing Spatial Variability: <https://www.researchgate.net/>
- Shrini Upadnyaya., K. Giles, S. Haneklaus, E. Schnug. 2010.** Advanced Engineering System for Specialty Crops: A Review of Precision Agriculture for water, chemical, and nutrient. Application and Yield Monitoring. ISBN 978 – 3 – 85675 – 066 – 1.
- Sun Y., C. Wu, K. Zhu, X. Chen, F. Zhang. 2009.** Influence of interpolation method and samples number of spatial prediction accuracy of soil Olsen – P. Chines J. Applied Ecol. 20:673 - 678
- Takacs – Gyorgy K. 2009.** Importance of precision farming in improving the environment ZEMES VKIO MOKSKAT, 2009, T.16, Nr.3-4, 217-223.
- Tukey W. 1977.** Exploratory Data Analysis Addison – Wesley, Reading MA.
- Upadhyaya S., K. Giles, S. Haneklaus, E. Schnug. 2010.** Advanced Engineering System for Specialty Crops. A Review of Precision Agriculture for Water, Chemical and Nutrient Application and Yield Monitoring. Sonderheft 340. Special issue.
- Webster R. & M. Oliver. 2007.** Geostatistic for Environment Scientists. Second Edition. ISBN – 13: 978 – 0 – 470 – 02 – 858 – 2 (HB).
- Webster R., M. A. Oliver. 2001.** Geostatistics for Environmental Scientists. Statistics in Practice. Second Education. John Willy & Sons Ltd.
- Zhang Cs., O. Selinus, L. Schedin. 1998.** Statistical analyses of heavy metal contents in till and roots samples in an area of Southeastern Sweden. Sci. Total Environment 212:217 – 232.
- Zhang Cs., O. Selinus, P. Wong. 2000.** Spatial structures of cobalt lead and zinc contents in till Southeastern Sweden. GFF. (Transaction of the Geological Society in Stockholm). 122.2:213 – 217.