

**Аналитическая статья**

УДК 631.58:551.5

**ПРЕЦИЗИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В  
УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВ**

**В. П. Якушев, А. В. Конев, В. В. Якушев**

*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»*

*195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14,*

*E-mail: VYakushev@agrophys.ru*

*Поступила в редакцию 08 августа 2016 г., принята к публикации 05 сентября 2016 г.*

Эффективное использование технологий точного земледелия невозможно без точных и адаптированных к конкретным условиям нормативов применения удобрений. Создание таких нормативов возможно при наличии точных и хорошо организованных данных. Современные технологии открывают большие возможности для совершенствования методики проведения полевых опытов и постановки полнофакторных прецизионных экспериментов в условиях неоднородности почв. На всех этапах прецизионных экспериментов задействуются программно-аппаратные средства точного земледелия, включающие в себя новейшие достижения сельскохозяйственной техники, геоинформационных систем, систем мониторинга агроландшафтов, что ведет к интенсификации экспериментальной работы и росту удельной эффективности опыта. В статье представлены результаты использования технических и программных средств точного земледелия, обеспечивающих процесс планирования и проведения прецизионных экспериментов. Приведены этапы активного прецизионного эксперимента и основные технические средства, используемые для его проведения. Рассмотрены аспекты выбора и подготовки опытного поля, выделения однородных зон, планирования схемы полнофакторного прецизионного эксперимента и его практической реализации на сельскохозяйственном поле с применением технических средств точного земледелия. Приведены примеры средств мониторинга, используемых при проведении опытов и отвечающих требованиям автоматического или автоматизированного функционирования, оперативности получения мониторинговой информации и точности применяемых измерительных устройств. В результате проведения прецизионного эксперимента формируются набор тематических слоев, численно описывающий пространственную и временную неоднородность факторов плодородия. В статье рассмотрены аспекты обработки результатов прецизионного эксперимента, включая пространственную интерполяцию слоев геоинформационной базы. В результате проведения прецизионного эксперимента и обработки его результатов средствами геоинформационных систем генерируется единая информационная база о наиболее целесообразных дозах удобрений в условиях пространственной неоднородности опытного поля.

**Ключевые слова:** точное земледелие, прецизионный эксперимент, агрохимические показатели почвы, пространственная неоднородность поля, геоинформационные системы.

**PRECISION EXPERIMENTS AS A TOOL TO IMPROVE THE REGULATORY  
FRAMEWORK OF FERTILIZER APPLICATION IN THE CONDITIONS OF SPATIAL  
FIELD VARIABILITY**

**V. P. Yakushev, A. V. Konev, V. V. Yakushev**

*Agrophysical Research Institute,*

*14, Grazhdansky prospect, Saint Petersburg, 195220*

*E-mail: VYakushev@agrophys.ru*

Effective use of precision farming technologies is impossible without accurate and adapted to the specific field conditions rates of fertilizer application. Such fertiliser applications are only possible with accurate and well-organized information data sets. Modern technologies offer a great potential for field trials methodology improvements and for conducting multi-factor field experiments under conditions of soil

heterogeneity. At all stages of precision experiments the latest achievements of agricultural technology can be utilized. They include geographic information systems, monitoring systems of agricultural landscapes and can lead to an intensification of the experimental work and to an increase in the effectiveness of specific experiments. The paper presents some information on the hardware and software to be used for precision farming and to ensure the process of the precision experiment planning and establishment. Stages of an active precision experiment and the main technical means used to carry it out are described. The aspects of the experimental field selection and preparation, separation of homogeneous areas, the planning scheme for musty-factor precision experiment and its implementation in the agricultural field with the use of technical means of precision agriculture are also described. Examples of monitoring tools used in the experiments corresponding to the automatic or automated operation requirements, description of the fast delivery of the monitored parameters and the accuracy of the measuring devices used are given. As a result of the precision experiment a set of thematic data layers is being formed. This set numerically describes the spatial and temporal heterogeneity of some fertility factors. The paper discusses the aspects of the experiment data processing, including spatial interpolation layers of the geographic information database. As a result of the precision experiment and the processing of the data by means of geographic information systems a single information data base is being generated with the most appropriate fertilizer rates in terms of spatial heterogeneity of the experimental field.

**Key words:** precision agriculture, precise experiment, agrochemical soil properties, spatial field variability, GIS.

## ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование земледелия связано с поиском и обоснованием путей повышения устойчивости сельскохозяйственного производства растениеводческой продукции и разработкой ресурсо- и энергоэкономных агроприемов с учетом сезонных потоков энергии в почвенно-растительной системе, обеспечивающих реализацию средообразующего потенциала посева и улучшение качества получаемого урожая. Одним из путей решения данных задач в условиях пространственной изменчивости и возможных неопределенностей является широкое освоение технологий точного земледелия, так как управление в условиях пространственной изменчивости составляет его основу. Применение технологий точного земледелия позволит существенно улучшить процесс проектирования современных систем земледелия, принятия и реализации адаптивных прецизионных технологических решений и тем самым добиться кардинального повышения эффективности управления агромероприятиями, уменьшить загрязнение окружающей среды, повысить доходы сельхозпроизводителей и производительность труда.

Эффективное использование прецизионных технологий невозможно без точных и адаптированных к конкретным условиям нормативов применения средств химизации. Создание таких нормативов возможно при наличии не только точных, но

и хорошо организованных данных, собранных в ходе проведения полевых опытов.

Классическая методика проведения полевого опыта предусматривает элиминирование вариабельности почвенного плодородия в пределах опытного участка (выбор местоположения, рекогносцировочные и уравнильные посева), что не вполне отвечает задачам исследований по изучению эффективности дифференцированного применения удобрений. Для разработки систем удобрения с учетом внутривидовой изменчивости плодородия целесообразно использовать участки с различным уровнем агрохимических показателей. Это может быть достигнуто посредством закладки опытов в производственных посевах с достаточно выраженной вариабельностью плодородия, сформированного под воздействием природных и антропогенных факторов. Современные технологии точного земледелия открывают большие возможности для совершенствования методики проведения полевых прецизионных опытов в условиях неоднородности почв.

В предыдущих работах авторов по данной тематике (Якушев В. В. и др., 2011; Конев, 2014) было дано определение прецизионного эксперимента, установлены его преимущества в сравнении с обычными полевыми опытами по изучению влияния управляемых факторов в условиях внутривидовой неоднородности, а также

продемонстрирован программный функционал, обеспечивающий геоинформационную поддержку проведения прецизионных экспериментов (Якушев В. П. и др., 2015; Буре и др., 2013). В данной статье будут подробно рассмотрены роль технических средств точного земледелия в проведении прецизионных экспериментов и некоторые аспекты планирования схемы опыта и обработки его результатов при помощи средств геоинформационных систем.

### **Этапы и техническое оснащение прецизионного эксперимента**

В условиях точного земледелия прецизионные полевые опыты могут представлять собой подробное описание наблюдений, осуществляемых в рамках производственного процесса в хозяйстве без существенного варьирования управляющих воздействий. Такие эксперименты пассивного характера представляют существенный интерес и позволяют получить важную информацию о наличии произвольно варьирующихся факторов. Кроме того, прецизионные полевые

эксперименты могут носить активный характер, то есть допускать возможность существенного варьирования различных управляющих воздействий. В обоих случаях при осуществлении наблюдений необходимо фиксировать пространственно-временную динамику максимально возможного количества атрибутивных и результирующих характеристик. Этапы активного прецизионного эксперимента и основные технические средства точного земледелия, используемые для его проведения, представлены в таблице.

На всех этапах прецизионных экспериментов задействуются программно-аппаратные средства точного земледелия, включающие в себя новейшие достижения сельскохозяйственной техники, геоинформационных систем и систем мониторинга агроландшафтов. Это приводит к практически полному исключению ручного труда, интенсификации экспериментальной работы и росту удельной эффективности опыта (объема и качества информации на единицу затрат).

**Таблица. Программно-аппаратные средства точного земледелия, задействованные при проведении прецизионных экспериментов**

<b>Этапы прецизионного эксперимента</b>	<b>Программно-аппаратные средства точного земледелия</b>
Создание электронного контура опытного поля	– мобильные комплексы, оборудованные GPS/ГЛОНАСС-приемником; – системы дистанционного зондирования Земли; – специализированное геоинформационное программное обеспечение.
Выделение однородных зон на опытном поле	– мобильные комплексы по отбору почвенных проб, оборудованные GPS/ГЛОНАСС-приемником; – системы дистанционного зондирования Земли; – сканеры почвы; – средства картирования урожайности; – специализированное геоинформационное программное обеспечение.
Планирование схемы прецизионного эксперимента	– специализированное геоинформационное программное обеспечение.
Реализация схемы прецизионного эксперимента	– дифференцирующие разбрасыватели и опрыскиватели; – бортовые компьютеры тракторов, оснащенные GPS/ГЛОНАСС-приемником; – устройства параллельного вождения, подруливающие устройства; – сеялки точного высева.
Почвенно-растительный мониторинг опытного поля	– системы дистанционного зондирования Земли; – цифровые карты рельефа поля; – сканеры почвы; – N-сенсоры и N-тестеры; – специализированное геоинформационное программное обеспечение.
Картирование урожайности	– комбайны, оснащенные средствами картирования урожайности; – специализированное геоинформационное программное обеспечение
Обработка данных эксперимента	– специализированное геоинформационное программное обеспечение.

### **Планирование и реализация схемы полнофакторного активного прецизионного эксперимента**

На первом этапе проведения прецизионных экспериментов создается электронный контур опытного поля с помощью мобильного комплекса и установленного на нем GPS/ГЛОНАСС-оборудования.

Полученный контур сельскохозяйственного поля разбивается на элементарные участки, далее производится их агрохимическое обследование при помощи мобильного агрохимического комплекса, оборудованного средствами геопривязки и автоматическим пробоотборником. По итогам агрохимического анализа и в соответствии с выбранными исследователем диапазонами градации факторов поле разделяется на относительно однородные классы, каждый из которых в дальнейшей работе рассматривается как отдельный объект управления. Выделение однородных зон может проводиться не только по результатам агрохимического обследования почвы. В зависимости от целей эксперимента, основой для выделения однородных классов на поле могут выступать цифровые карты рельефа поля, электронные картограммы, построенные на базе дешифровки данных дистанционного зондирования Земли, почвенные карты, карты урожайности за прошлые сезоны, полученные с помощью технологий точного земледелия.

Эксперимент целесообразно проводить на поле большой площади. В подобном случае можно ожидать, что площади однородных участков каждого типа окажутся достаточными для проведения полнофакторного активного эксперимента в нескольких повторностях. При существующем уровне автоматизации работ, достигаемом с помощью технических средств точного земледелия, топология размещения однородных участков не играет существенной роли при проведении прецизионных экспериментов. Сегменты поля, относящиеся к однородному классу, могут располагаться как единым блоком, так и раздробленно в различных местах опытного поля. Вместе с тем при планировании

прецизионного эксперимента необходимо учитывать важнейшее требование – одновременность и высокое качество всех агротехнических работ, выполняемых на опытном поле. Все работы, как правило, должны быть проведены в один день. При весьма значительной площади опытного поля выполнение данного требования не всегда возможно, и в таком случае это является нарушением принципа единственного различия.

Приступая к планированию схемы эксперимента, необходимо заранее задать градации изменения изучаемых показателей. Пусть  $m_1$  – количество градаций показателя  $N$ ;  $m_2$  – количество градаций показателя  $P$ ;  $m_3$  – количество градаций показателя  $K$ . Тогда, по правилу комбинаторики, общее количество возможных вариантов  $m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3$ . Далее для примера положим, что  $m_1 = m_2 = m_3 = 3$ , и рассмотрим аспекты планирования и создания схемы активного полнофакторного прецизионного эксперимента. Однородный сегмент, выделенный на поле по результатам агрохимического обследования, разделим на кратное величине  $m$  количество фиксированных участков, для каждого из которых будет назначена доза удобрений из набора запланированных 27-ми вариантов опыта.

Для повышения уровня объективности и достоверности проводимого исследования следует рандомизировать процедуру назначения для конкретного участка фиксированного типа конкретной дозы удобрений из заранее определенного набора доз (рис. 1). Данный способ основывается на том, что все методы вариационной статистики в полной мере приложимы только к случайным явлениям, и поэтому статистическая обработка результатов опыта наиболее обоснована при случайном расположении вариантов в пространстве. Рандомизированное размещение вариантов комбинируется с повторениями опыта по системе латинского квадрата или прямоугольника. Указанный метод позволяет устранить влияние систематического изменения плодородия почвы опытного участка на результаты эксперимента по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Градация фактора N		
N1	N2	N3

Градация фактора P		
P1	P2	P3

Градация фактора K		
K1	K2	K3

№	Вариант	№	Вариант	№	Вариант
1	N1 P1 K1	10	N2 P1 K1	19	N3 P1 K1
2	N1 P1 K2	11	N2 P1 K2	20	N3 P1 K2
3	N1 P1 K3	12	N2 P1 K3	21	N3 P1 K3
4	N1 P2 K1	13	N2 P2 K1	22	N3 P2 K1
5	N1 P2 K2	14	N2 P2 K2	23	N3 P2 K2
6	N1 P2 K3	15	N2 P2 K3	24	N3 P2 K3
7	N1 P3 K1	16	N2 P3 K1	25	N3 P3 K1
8	N1 P3 K2	17	N2 P3 K2	26	N3 P3 K2
9	N1 P3 K3	18	N2 P3 K3	27	N3 P3 K3

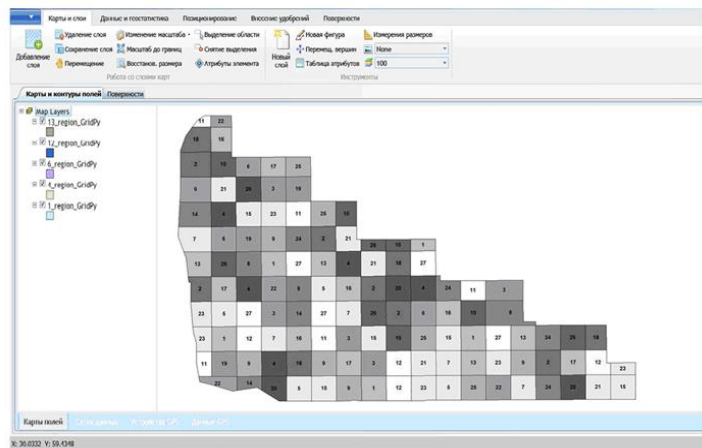


Рис. 1. Компьютерное планирование схемы прецизионного эксперимента

Для обработки материалов исследований при помощи методов геостатистики и для корректного использования методов пространственной интерполяции квадратная форма делянок опыта является более предпочтительной, чем прямоугольная или вытянутая. Кроме того, квадратная форма опытной делянки рекомендуется при проведении экспериментов, где смежные варианты могут оказывать существенное влияние друг на друга, например при изучении защиты растений от вредителей, болезней, сорных растений с опрыскиванием посевов растворами пестицидов. В целях снижения влияния смежных вариантов друг на друга необходимо предусмотреть закладку защитных боковых полос делянок опыта. В рамках прецизионных экспериментов это автоматически достигается с помощью систем параллельного вождения и подруливающих устройств прецизионной сельскохозяйственной техники посредством установки в бортовом компьютере необходимого пропуска между рядами.

В зависимости от площади опытного поля закладка эксперимента производится в нескольких повторностях. С увеличением повторности ошибка опыта заметно снижается. При этом повышение числа делянок, на которых повторяется опыт,

оказывает более существенное влияние на уменьшение ошибки, чем увеличение площади делянок при неизменной повторности (Доспехов, 1985). Вместе с тем при планировании схемы эксперимента следует учитывать ширину захвата прецизионной техники для того, чтобы она вписывались в размеры делянок при проведении технологических работ. Для увеличения числа повторностей опыта рекомендуется устанавливать размер стороны делянки равным ширине захвата дифференцирующего разбрасывателя или опрыскивателя.

В результате планирования схемы прецизионного эксперимента опытное поле при его проведении разбивается на делянки, количество которых может быть от нескольких десятков до нескольких сотен. Это позволяет с помощью достаточно представительного статистического материала установить зависимость эффективности удобрений от варьирующих факторов плодородия. Сгенерированная компьютерная схема прецизионного эксперимента одновременно является картой-заданием на проведение операции по дифференцированному внесению удобрений. При движении трактора по полю на основании карты-задания и данных GPS/ГЛОНАСС-приемника удобрения или

иные средства химизации вносятся в нужном месте в необходимых количествах. При этом важно отметить, что количество, площадь и местоположение делянок опыта практически не оказывают влияния на временные и трудовые затраты, необходимые для проведения эксперимента, поскольку его схема реализуется на поле в автоматическом режиме за счет применения дифференцирующих дозу разбрасывателей и опрыскивателей.

### **Требования к средствам мониторинга агроландшафтов**

Мониторинг состояния почв и посевов является важнейшим этапом проведения прецизионных экспериментов. Поскольку прецизионные эксперименты проводятся на значительных площадях, используемые средства мониторинга должны отвечать требованиям автоматического или автоматизированного функционирования, оперативности получения мониторинговой информации и точности применяемых измерительных устройств. Кроме того, получаемая со средств мониторинга информация должна иметь географическую привязку. В распоряжении исследователей и практиков, работающих в системе точного земледелия, в настоящее время имеется ряд технических средств, предназначенных для проведения мониторинговых работ и отвечающих вышеуказанным требованиям.

Проведение агрохимического обследования почвы является важнейшим этапом реализации прецизионных экспериментов. Важно отметить, что даже несмотря на использование автоматических пробоотборников, агрохимическое обследование является на сегодняшний день одним из самых ресурсозатратных этапов мониторинга. Поэтому перспективным направлением исследовательских работ является разработка методов экспресс-диагностики агрохимического состояния почвы. Примером таких разработок может служить применение датчиков и сенсоров, устанавливаемых на плугах и позволяющих осуществлять сбор и картирование информации о физическом и агрохимическом состоянии почвы непосредственно в ходе предпосевной обработки.

При помощи сканирования электропроводности почвы возможно выделение внутривольных контуров плодородия, поскольку электропроводность главным образом зависит от ионов, являющихся преимущественно элементами питания растений. Можно привести два примера устройств, осуществляющих измерение электропроводности почвы. Почвенные сканеры фирмы Veris позволяют за один проход по полю осуществить оценку и картирование следующих показателей: электропроводность, органическое вещество, кислотность и емкость катионного обмена. Для определения комплекса агрофизических характеристик пахотного слоя почвы (объемной влажности, электропроводности, температуры и сопротивления горизонтальной пенетрации) можно использовать мобильное информационно-измерительное устройство, созданное учеными Агрофизического института (Ананьев и др., 2015).

В ходе мониторинга обеспеченности растений элементами питания в период вегетации хорошо зарекомендовали себя космическая и аэрофотосъемка. На сегодняшний день детально разработана методика оценки уровня минерального питания растений, основанная на расчете вегетационных индексов. Применение мультиспектральной и гиперспектральной съемочной аппаратуры, радиолокационной и фотометрической съемки позволяет в реальном времени выстраивать электронные агрохимические картограммы обеспеченности почв и посевов элементами минерального питания (Якушев В. П. и др., 2010). Кроме того, развитие программного и аппаратного обеспечения аэромобильных платформ позволяет в настоящее время в ходе проведения съемки в автоматическом режиме получать цифровой образ рельефа опытного поля. Так, например, при помощи квадрокоптера «Геоскан-401» ученые Агрофизического института параллельно со съемкой в видимом и инфракрасном участках спектра получают цифровые карты рельефа поля с сантиметровой точностью.

При проведении прецизионных экспериментов важнейшим источником информации, характеризующим уровень

продуктивности поля, является электронная карта урожайности. При использовании в процессе уборки специальных датчиков, установленных на уборочной технике, а также бортовых компьютеров и GP/ГЛОНАСС-приемников стало возможным получать карты с пространственно-распределенной урожайностью. Получение подобной информации является несомненным прорывом в области опытного дела, так как наличие электронной карты урожайности позволяет характеризовать поле не одним числом – средней урожайностью поля, а большим числовым массивом – урожайностью отдельных участков. В данных условиях можно говорить о геостатистически распределенной урожайности на каждом конкретном поле и сравнивать между собой различные по продуктивности участки и поля, опираясь не на гипотетическую среднюю урожайность, а на вполне конкретное ее варьирование по изучаемой территории агроландшафта.

Указанные технические средства характеризуются высокой степенью автоматизации, т.е. могут считаться роботизированными инструментами мониторинга агроландшафтов. При их использовании существенно повышается возможность масштабного детального исследования характера и степени влияния на урожайность почвенно-климатических, агрохимических и других аспектов.

#### **Обработка результатов прецизионных экспериментов**

При информационном обеспечении прецизионных экспериментов необходимо учитывать значительный объем информации, генерируемой в результате их проведения. К примеру, полю площадью 50 га будет соответствовать информационная база, составляющая 20 000 записей, т.е. каждый гектар площади поля будет охарактеризован 400 наборами данных (наблюдениями). Данный аспект прецизионных экспериментов снижает влияние на результат опыта случайных ошибок, которые являются неизбежными даже при самой тщательной подготовке эксперимента. Методы определения величины случайных

ошибок предоставляет математическая статистика. Их характерной особенностью является способность к взаимопоглощению. Чем большее число наблюдений было проведено в ходе эксперимента, тем меньше погрешность от случайных ошибок.

Слои геоинформационной базы, созданной по итогам эксперимента, представляют собой пространственное распределение параметров, выявленных и зафиксированных на этапе почвенно-растительного мониторинга и уборки урожая. В ходе эксперимента могут формироваться десятки и сотни слоев, численно описывающих пространственную и временную неоднородность поля. В зависимости от источников информации, характеристики почвы и посевов могут быть представлены как в виде непрерывного грида, так и в дискретном виде. Для получения значений показателей по всей территории опытного поля необходима интерполяция между точками независимо измеренных характеристик. Существуют различные методы интерполяции – кригинг, скользящее среднее, метод обратных расстояний, сплайны и т.д. С точки зрения теории приближений, ни один из них не является предпочтительным, поскольку все они (при соответствующем выборе параметров) имеют одинаковый порядок сходимости. Таким образом, можно предположить, что влияние указанных методов на точность интерполяции отдельных почвенных свойств является несущественным. Однако в случае редко расположенных опорных точек метод сплайн-интерполяции или кригинга дает лучшие результаты. Метод кригинга имеет несомненное преимущество, поскольку позволяет оценить точность предсказания в каждой точке.

Автоматическое построение базы данных, полученных в ходе прецизионного эксперимента, осуществляется путем «вертикального среза» информации по каждой ячейке интерполяционной сетки. Это позволяет отобразить всю изучаемую информацию на единый результирующий слой, содержащий все данные по проведенному опыту (рис. 2).

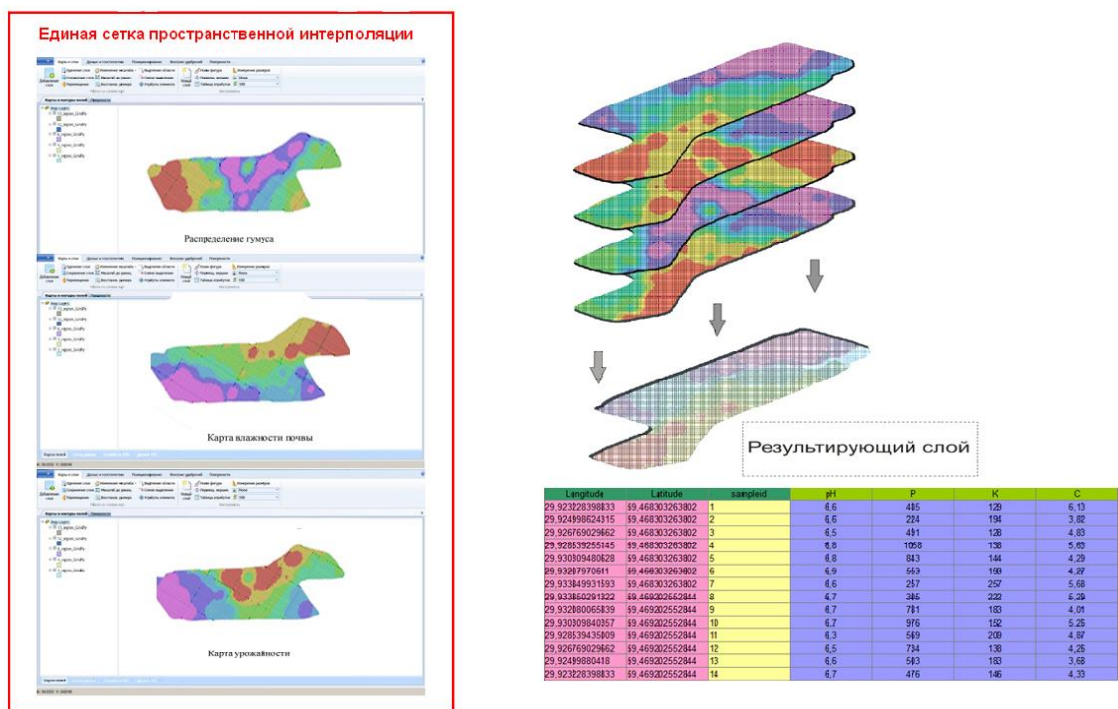


Рис. 2. Генерация информационной базы прецизионного эксперимента

Для статистического анализа полученной обширной информационной базы может быть использован весь спектр возможных статистических методов – параметрические и непараметрические методики проверки статистических гипотез, регрессионный анализ, методы бинарной регрессии, анализ таблиц сопряженности, а также дискриминантный и кластерный анализ. Наличие информационной базы, полученной в результате проведения активного прецизионного эксперимента за один год, позволяет применять самые разные методы анализа данных и сравнивать выводы, сделанные в результате использования различных статистических процедур, что обеспечивает достоверность и надежность окончательных выводов.

## ВЫВОДЫ

Прецизионные эксперименты, осуществляемые с помощью методологии точного земледелия, открывают новые возможности для совершенствования информационного обеспечения сельскохозяйственного производства как на опытных полях научных учреждений, так и на полях растениеводческих хозяйств. Особо следует подчеркнуть, что схема полного факториального прецизионного

эксперимента предназначена для наиболее эффективного решения задачи по выбору оптимальных доз удобрений для повышения продуктивности данной культуры в условиях пространственной неоднородности почв. В результате проведения активного эксперимента будет получена информационная база, в которой будет содержаться значительный объем данных о наиболее целесообразных дозах удобрений для участков с зафиксированными значениями основных факторов плодородия. Наличие подобных сведений позволяет оценить влияние на урожайность почвенной неоднородности и других характеристик, а также в зависимости от распределения фактической продуктивности в конкретном году планировать внесение удобрений на следующий сезон. При этом каждое поле в определенном смысле становится опытным, так как с течением времени происходит накопление ценной информации по нему. Такой подход, несомненно, повысит уровень обоснованности агрохимических решений, поскольку выявленные зависимости будут максимально объективно отражать процессы, протекающие как на отдельных участках, так и в целом на поле в условиях пространственной неоднородности факторов плодородия.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьев И. П., Зубец В. С., Белов А. В., Блохин Ю. И., Конев А. В. 2015. Мобильный комплекс для внутрипочвенного измерения и картирования агротехнологических характеристик пахотного слоя почвы // Информация и Космос. № 2. С. 69–84.
- Буре В. М., Конев А. В., Часовских С. В., Якушев В. В. 2013. Автоматизация процесса планирования и проведения прецизионных агрохимических экспериментов // Материалы научной сессии Агрофизического института по итогам 2013 г. СПб.: АФИ. С. 23–30.
- Доспехов Б. А. 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат. 351 с.
- Конев А. В. 2014. Построение баз данных по результатам прецизионных экспериментов // Материалы Международного семинара, посвященного памяти профессора Ратмира Александровича Полуэктова (Полуэктовские чтения) (Санкт-Петербург, 14–16 октября 2014 г.). СПб. С. 121–123.
- Якушев В. В., Конев А. В., Матвеев Д. А., Якушева О. И. 2011. Прецизионные эксперименты в информационном обеспечении систем земледелия // Вестник РАСХН. № 3. С. 11–13.
- Якушев В. П., Конев А. В., Якушев В. В. 2015. Геоинформационное обеспечение прецизионных экспериментов в земледелии // Информация и Космос. № 3. С. 96–101.
- Якушев В. П., Канаш Е. В., Конев А. А., Ковтюх С. Н., Лекомцев П. В., Матвеев Д. А., Петрушин А. Ф., Якушев В. В., Буре В. М., Осипов Ю. А., Русаков Д. В. 2010. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева: практическое пособие. СПб. 59 с.