

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046610**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.03.29

(51) Int. Cl. **G01N 23/222 (2006.01)**
G01N 33/24 (2006.01)

(21) Номер заявки
202191595

(22) Дата подачи заявки
2019.12.06

(54) **ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖИМА СКАНИРОВАНИЯ С НЕЙТРОННЫМ ГАММА-АНАЛИЗОМ
ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ**

(31) **62/776,822**

(32) **2018.12.07**

(33) **US**

(43) **2021.09.01**

(86) **PCT/US2019/064950**

(87) **WO 2020/118189 2020.06.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЕРН ЮНИВЕРСИТИ; ДЗЕ
ЮНАЙТЕД СТЕЙТС ОФ АМЕРИКА,
ЭЗ РЕПРЕЗЕНТЕД БАЙ ДЗЕ
СЕКРЕТЭРИ ОФ ЭГРИКАЛЧЕР (US)**

(56) **GALINA YAKUBOVA ET AL.:**
"Measurements of Soil Carbon by Neutron-Gamma
Analysis in Static and Scanning Modes", JOURNAL
OF VISUALIZED EXPERIMENTS, vol. 379156270,
no. 126, 24 August 2017 (2017-08-24), page 56270,
XP055683870, DOI: 10.3791/56270 page 1, line 1 -
page 4, line 34; figure 9, page 7, line 1 - page 11, line 15
US-B2-7152002
US-A1-2017307550
US-B2-8286857
US-A1-2002150194

(72) Изобретатель:
**Чин Брайан А., Торберт Ш Генри
Аллен, Якубова Галина Н., Каветский
Александр, Саргсян Николай (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Система для анализа содержания почвы поля включает в себя блок получения данных, выполненный с возможностью детектировать гамма-спектры каждого из множества образцов почвы, при этом площадь поверхности поля разделяется на множество частей, и упомянутое множество образцов почвы включает по меньшей мере один образец почвы из каждой из упомянутого множества частей, навигационный блок, выполненный с возможностью детектировать географические координаты каждого из упомянутого множества образцов почвы, блок анализа данных, выполненный с возможностью соотносить детектированные гамма-спектры каждого из упомянутого множества образцов почвы с географическими координатами образца почвы и определять массовый процент по меньшей мере одного элемента в каждом из образцов почвы на основе детектированных гамма-спектров, и блок картографирования содержания элементов, выполненный с возможностью создавать карту, указывающую концентрацию упомянутого по меньшей мере одного элемента в почве поля.

B1

046610

046610

B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Данная заявка испрашивает приоритет согласно §119(e) раздела 35 Свода законов США (USC) предварительной заявки на патент США с порядковым № 62/776822, поданной 07 декабря 2018 года, раскрытие которой полностью включено в данный документ по ссылке.

Область техники

Настоящее раскрытие относится к системам и способам для картографирования распределения по меньшей мере одного соединения в почве.

Предпосылки изобретения

Анализ элементного содержания почвы данной географической области может выявить, является ли почва адаптируемой к конкретным назначениям, таким как сельскохозяйственные, рекреационные и т.д. Другие варианты использования анализа содержания почвы включают определение квот на выбросы углерода и уровня доступности питательных веществ или потребности во введении питательных веществ, чтобы оценивать текущие и прогнозируемые урожаи и потенциальную прибыльность внесения удобрений.

Анализ почвы может начинаться со сбора образцов почвы, так что лишь незначительная часть поля фактически анализируется в лаборатории. Например, один общепринятый способ анализа элементного содержания почвы представляет собой отбор составных образцов, при котором несколько подобразцов почвы собирают из случайно выбранных местоположений в поле. Подобразцы затем смешивают и анализируют смесь на предмет элементного содержания. В некоторых случаях выявленное количество некоего данного элемента, содержащегося в смеси, может трактоваться как среднее количество этого элемента в пределах общей площади анализируемого поля.

Хотя фактическое число подобразцов может немного варьироваться исходя из размера и однородности поля, число подобразцов обычно не превышает 20 и иногда составляет менее 0,01% от анализируемой площади в акрах. Кроме того, большинство систем тестирования и анализа почвы трудно адаптируемы к тестированию более чем нескольких образцов, и в лучшем случае предоставляют высокоуровневую аппроксимацию истинного элементного содержания почвы поля. Поскольку значимость точности элементного содержания почвы нельзя переоценить, требуется методология, дающая более подробную и точную информацию о содержании элементов на данном участке поля.

В статье Якубовой и др. (Yakubova et al.): Measurements of Soil Carbon by Neutron-Gamma Analysis in Static and Scanning Modes, Journal of Visualized Experiments, (126), e56270, doi: 10.3791/56270 (2017) описывается применение метода неупругого рассеяния нейтронов для анализа углерода в почве на основе регистрации и анализа гамма-излучения, создаваемого при взаимодействии нейтронов с элементами почвы. При этом система для анализа содержания углерода в почве включает в себя импульсный нейтронный генератор, гамма-детекторы, разделительную электронику для разделения гамма-спектров из-за процессов неупругого рассеяния нейтронов и захвата тепловых нейтронов, устройство сбора данных и устройство управления, выполненное с возможностью управления нейтронным генератором, детекторами и устройством сбора данных. Система может использоваться на месте в стационарном режиме или в режиме сканирования.

Подобная система для анализа содержания углерода в почве раскрыта в статье Якубовой и др.: Field Testing a Mobile Inelastic Neutron Scattering System to Measure Soil Carbon, Soil Sci 2014; 179: 529-535.

В US 2017307550 A1 сообщается об измерениях содержания в почве хлора и азота с помощью неинвазивной портативной системы, генерирующей нейтроны и обнаруживающей гамма-излучение.

В US 2002150194 A1 представлены способ и устройство для проведения на месте неинвазивных измерений содержания и распределения углерода в почве. Устройство представляет собой разворачиваемый в полевых условиях блок, включающий в себя нейтронный генератор, располагаемый на поверхности почвы, и гамма-детекторы, расположенные рядом с нейтронным генератором.

Сущность изобретения

Большинство существующих систем тестирования и анализа почвы в лучшем случае предоставляют высокоуровневую аппроксимацию истинного элементного содержания почвы поля. Типичные системы тестирования и анализа почвы полагаются на анализ довольно ограниченного числа подобразцов, например, 20, которые в общей сложности составляют незначительную часть, менее 0,01%, от анализируемой площади в акрах. Более того, многие системы тестирования и анализа почвы практически не адаптируемы к тестированию более чем нескольких образцов. Данное изобретение восполняет перечисленные недостатки и реализует методологию, дающую подробную и точную информацию о содержании элементов на данном участке поля.

Система для анализа содержания почвы поля, включающая в себя блок получения данных, выполненный с возможностью детектировать гамма-спектры каждого из множества образцов почвы, при этом площадь поверхности поля разделяется на множество частей, и упомянутое множество образцов почвы включает по меньшей мере один образец почвы из каждой из упомянутого множества частей, навигационный блок, выполненный с возможностью детектировать географические координаты каждого из упомянутого множества образцов почвы, блок анализа данных, выполненный с возможностью соотносить детектированные гамма-спектры каждого из упомянутого множества образцов почвы с географическими

координатами образца почвы и определять массовый процент по меньшей мере одного элемента в каждом из образцов почвы на основе детектированных гамма-спектров, и блок картографирования содержания элементов, выполненный с возможностью создавать карту, указывающую концентрацию упомянутого по меньшей мере одного элемента в почве поля.

Способ анализа содержания почвы сельскохозяйственного поля, включающий в себя разделение площади поверхности поля на множество частей, сканирование по меньшей мере одного образца почвы в каждой из частей, чтобы детектировать гамма-спектры образца почвы, соотнесение детектированных спектров с географическим местоположением образца почвы, вычисление на основе детектированных спектров количества по меньшей мере одного элемента в образце почвы и создание карты, указывающей количество упомянутого по меньшей мере одного элемента в каждой части поля.

Система для анализа элементного содержания почвы поля, включающая в себя блок получения данных, выполненный с возможностью собирать гамма-спектры по меньшей мере одного образца почвы, навигационный блок, выполненный с возможностью предоставлять географические координаты образца почвы, блок анализа данных, выполненный с возможностью соотносить собранные гамма-спектры с географическими координатами образца почвы и вычислять массовый процент элемента в образце почвы, и блок картографирования содержания элементов, выполненный с возможностью создавать карту, указывающую концентрацию упомянутого по меньшей мере одного элемента в образце почвы, на основе вычисленного массового процента.

Краткое описание чертежей

Понятия, описанные в настоящем раскрытии, проиллюстрированы в качестве примера, а не в качестве ограничения, на прилагаемых фигурах. Для простоты и ясности иллюстрации, элементы, проиллюстрированные на фигурах, не обязательно нарисованы в масштабе. Например, размеры некоторых элементов могут быть преувеличены относительно других элементов для ясности. Кроме того, там, где это признано целесообразным, ссылочные номера повторены среди фигур для того, чтобы указывать на соответствующие или аналогичные элементы. В частности, в подробном описании приводятся ссылки на прилагаемые фигуры, на которых:

- фиг. 1 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий примерную реализацию аппарата гамма-анализа;
- фиг. 2А, 2В - упрощенные рисунки, иллюстрирующие примерные мобильные реализации аппарата гамма-анализа;
- фиг. 3 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий множество частей поля, подлежащего сканированию аппаратом гамма-анализа;
- фиг. 4А - график, иллюстрирующий примерную зависимость между площадью пика и массовым процентом кремния;
- фиг. 4В - график, иллюстрирующий часть графика, проиллюстрированного на фиг. 4А;
- фиг. 5 - график, иллюстрирующий примерную зависимость между выходом гамма-анализа и энергией калия;
- фиг. 6 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий примерную методологию определения содержания калия в почве;
- фиг. 7 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий множество частей первого сканированного поля;
- фиг. 8 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий карту распределения углерода первого сканированного поля;
- фиг. 9 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий карту распределения кремния первого сканированного поля;
- фиг. 10 и 11 - упрощенные рисунки, иллюстрирующие карты, созданные в результате операций сканирования второго сканированного поля, выполненных в два разных дня;
- фиг. 12 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий карту распределения углерода на основе комбинации данных сканирования с фиг. 10 и 11;
- фиг. 13 - упрощенный рисунок, иллюстрирующий карту распределения кремния второго сканированного поля;
- фиг. 14 и 15 - упрощенные рисунки, иллюстрирующие соответственно первую карту, созданную с использованием способов по настоящему раскрытию, и вторую карту, созданную на основе измерений влажности, выполненных одновременно с первой картой; и
- фиг. 16А и 16В - блок-схемы примерного алгоритма процесса определения элементного содержания почвы поля.

Подробное описание чертежей

Хотя понятия настоящего раскрытия допускают различные модификации и альтернативные формы, его конкретные варианты осуществления показаны в качестве примера на фигурах и будут подробно описаны здесь. Тем не менее, следует понимать, что нет намерения ограничить понятия настоящего раскрытия конкретными раскрытыми формами, а, наоборот, намерение состоит в том, чтобы охватить все модификации, эквиваленты и альтернативы в соответствии с настоящим раскрытием и прилагаемой формулой изобретения.

Ссылки в описании на "один вариант осуществления", "вариант осуществления", "иллюстративный

вариант осуществления" и т.д. указывают то, что описанный вариант осуществления может включать в себя конкретные признак, конструкцию или характеристику, но каждый вариант осуществления может включать или не включать в себя в обязательном порядке эти конкретные признак, конструкцию или характеристику. Кроме этого, такие фразы не обязательно относятся к одному и тому же варианту осуществления. Дополнительно, когда конкретные признак, конструкция или характеристика описывается в связи с вариантом осуществления, предполагается, что осуществление таких признака, конструкции или характеристики в связи с другими вариантами осуществления, описанными или нет в явной форме, находится в пределах знаний специалиста в данной области техники.

Раскрытые варианты осуществления могут быть реализованы, в некоторых случаях, в аппаратных средствах, программно-аппаратных средствах, программных средствах (программном обеспечении) или в любой их комбинации. Раскрытые варианты осуществления могут быть также реализованы как сохраненные на временном или невременном машиночитаемом носителе информации или переносимые им инструкции, которые могут считываться и выполняться посредством одного или более процессоров. Машиночитаемый носитель информации может быть воплощен в виде любого запоминающего устройства, механизма или другой физической конструкции для хранения или передачи информации в форме, считываемой вычислительным устройством (например, энергозависимого или энергонезависимого запоминающего устройства, мультимедийного диска либо другого мультимедийного устройства).

На чертежах некоторые конструктивные признаки или признаки способа могут быть показаны в конкретных компоновках и/или упорядоченных расположениях. Тем не менее, следует принимать во внимание, что такие конкретные компоновки и/или упорядоченные расположения могут не требоваться. Наоборот, в некоторых вариантах осуществления такие признаки могут быть организованы иным образом и/или в ином порядке, отличающихся от показанных на иллюстративных фигурах. Дополнительно, включение конструктивного признака или признака способа на конкретной фигуре не имеет намерение подразумевать то, что такой признак требуется во всех вариантах осуществления, и в некоторых вариантах осуществления он может не включаться либо может комбинироваться с другими признаками.

Примерная система для разработки подробного и точного элементного содержания почвы данного поля может включать в себя прибор-нейтронный генератор и множество гамма-детекторов (например, натрий-йодных гамма-детекторов) для сканирования по меньшей мере части поля и вычислительную систему для хранения и анализа результатов сканирования и создания карты, указывающей элементное содержание части поля. Эта примерная система может представлять собой мобильную систему и может быть выполнена с возможностью двигаться по существенной части поля для того, чтобы выполнять сканирование почвы. Согласно некоторым вариантам осуществления настоящего раскрытия содержание элементов (C, Si, O, H, K, Cl и т.п.) в почве может быть вычислено с использованием измеренных спектров, захваченных гамма-детекторами.

Примерная система может быть дополнительно выполнена с возможностью обмениваться данными с устройством системы глобального позиционирования (GPS), чтобы захватывать географическое местоположение почвы во время процесса сканирования. В одном примере данные элементного содержания, идентифицированные во время сканирования, могут быть скомбинированы (или соотнесены) с географическими координатами, предоставленными устройством GPS. Дополнительно или альтернативно, на основе элементного содержания, определенного из скана и соотнесенных географических координат, примерная система может быть выполнена с возможностью создавать карту распределения элементов, подходящую для сельскохозяйственных и других целей.

Фиг. 1 иллюстрирует примерную систему 100 для анализа образцов 124 почвы поля 120. Система 100 может содержать один или более компонентов для элементного анализа почвы. В одном примере система 100 включает в себя прибор-нейтронный генератор 102, множество гамма-детекторов 104, разделительную электронику 106 и блок обработки (или процессор) 110. Хотя это и не проиллюстрировано отдельно, примерная система 100 может включать в себя один или более дополнительных либо альтернативных компонентов, таких как, но не ограничиваясь ими, блоки и устройства обработки и запоминания/хранения данных, сканирующие аудио- и видеоустройства и т.д., выполненных с возможностью получать, обрабатывать, хранить и/или анализировать данные элементного анализа. Дополнительно или альтернативно, может использоваться любой импульсный источник 102 нейтронов, и это раскрытие не ограничено нейтронным генератором (НГ) 102. Кроме того, предпочтительными являются источники нейтронов на основе ускорителей, такие как нейтронные генераторы на основе слияния дейтерия-дейтерия (D-D) и дейтерия-третия (D-T) и другие, которые обеспечивают возможность электронного управления нейтронным излучением 118. Нейтронные генераторы на основе слияния D-T, в частности, могут быть предпочтительными при осуществлении на практике настоящего изобретения. Такие генераторы могут быть импульсными (т.е. выключаться и включаться на разные продолжительности), обеспечивая электронное управление нейтронным излучением 118.

Блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью контролировать и управлять прибором-нейтронным генератором 102, гамма-детекторами 104 и разделительной электроникой 106, чтобы проводить сканирование почвы 120 и анализ данных спектров, собранных во время сканирования. Система 100 может осуществлять связь с устройством 112 системы глобального позиционирования (GPS), чтобы при-

нимать одну или более географических координат. В одном примере, блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью запрашивать географические координаты, указывающие на географическое местоположение образца 124 почвы. В другом примере, блок 110 обработки может соотносить принимаемое географическое местоположение образца 124 почвы с данными, указывающими на детектированные гамма-спектры 116 этого образца 124 почвы.

Один или более компонентов системы 100 может быть расположен на и/или прикреплен к фиксатору, тележке либо другой жесткой или полужесткой конструкции 114. Конструкция 114 может быть самоходной либо может приводиться в движение непосредственно или удаленно, чтобы двигаться по по меньшей мере части поля 120, сканируя почву 122. Фиг. 2А иллюстрирует примерную мобильную реализацию 200-А системы 100 анализа почвы, при этом по меньшей мере часть системы 100 расположена в прицепе 202. Прицеп 202 можно тянуть с помощью сцепки 204 по полю 120 посредством моторизованного транспортного средства 206, независимо от того, работает оно на газе или от аккумулятора. Дополнительно или альтернативно, фиг. 2В иллюстрирует примерную мобильную реализацию 200-В системы 100, при этом один или более компонентов системы 100 расположены на и/или закреплены в беспилотном летательном аппарате с дистанционным управлением, таком как, например, дрон 220.

Фиг. 3-15 иллюстрируют примерные процессы, выполняемые системой 100, чтобы сканировать почву поля 120, анализировать и сохранять сканированные данные, соответствующие почве 122 поля 120, и создавать карту элементного содержания поля 120 на основе спектральных данных, полученных во время сканирования. Один или более процессов, таких как, но не ограничиваясь ими, анализы, вычисления и задачи создания карт, могут выполняться блоком 110 обработки. Дополнительно или альтернативно, данные сканирования, собранные одним или более компонентами системы 110 во время сканирования, могут загружаться или иным способом извлекаться из системы 100 и экспортироваться для последующей обработки в удаленной (например, облачной) вычислительной системе. Также предусмотрены другие способы сбора, обработки и анализа данных сканирования.

Фиг. 3 иллюстрирует примерный рисунок 300 той области 302, которая подлежит сканированию системой 100 анализа почвы. В одном примере блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью разделять поле 120 на множество частей (блоков или участков) 306 до инициирования операции сканирования. В некоторых случаях число частей (в дальнейшем - участков) 306 может быть основано на размере поля и присутствии одного или более признаков ландшафта. Например, при определении размеров участков 306 может учитываться соответствующая скорость сканирования (например, ~5 км/ч) и профиль местности. Каждый участок 306 может содержать относительно однородный профиль местности. Во время разделения поля блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью обозначать отдельный участок 306 в ответ на детектирование изменения типа местности, к примеру, пересекающая поле 120 асфальтированная дорога 308 и т.д., и/или детектирование изменения профиля и состава местности, например, в ответ на детектирование впадины на местности. С учетом вышеуказанных связанных с местностью и других факторов, влияющих на условия сканирования, каждый участок 306 из множества участков 306 может варьироваться по размеру от менее ~100 м² до ~1000 м² и более. В примере, проиллюстрированном на фиг. 3, общая площадь поля 120 составляла приблизительно 800 м², а число участков было равно 12.

Блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью сканировать почву 122 в течение заданного периода времени для того, чтобы достичь заданного требуемого значения точности при идентификации присутствия или отсутствия данного элемента в почве 122 участка 306 и/или при измерении количества элемента в почве 122 участка 306. В некоторых случаях период времени, в течение которого блок 110 обработки системы 100 сканирует каждый участок 306, может быть основан на выходе гамма-пика элемента, на который, в свою очередь, может влиять количество этого элемента в почве участка 306, химическая, молекулярная и/или анатомическая структура идентифицируемого элемента и одна или более других характеристик.

Дополнительно или альтернативно, тот период времени, в течение которого следует сканировать каждый участок 306, основан на заданном требуемом значении точности измерения. Например, чтобы достичь точности в $\pm 0,5$ мас.% при измерениях содержания углерода, время получения для одного участка может составлять 15 мин. В качестве другого примера, время измерения системой 100 кремния с приемлемой точностью $\pm 0,5$ -1 мас.% может составлять ~5 мин вследствие того, что выход гамма-пика кремния в несколько раз превышает выход пика углерода (вследствие его более высокого содержания в почве 122).

Система 100 может быть выполнена с возможностью идентифицировать географическое местоположение, например, географические координаты, каждого из множества участков 306 и отмечать и нумеровать каждый участок 306 при цифровом рендеринге карты. В одном примере блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью запрашивать и принимать географические координаты каждого участка 306 из GPS-модуля 112 (внутреннего или внешнего по отношению к системе 100), с которым система 100 обменивается данными с использованием, например, проводного сетевого соединения, другого типа сетевой коммуникационной среды либо беспроводной сети дальнего или ближнего действия, такой как, но не ограничиваясь ими, беспроводная локальная сеть (LAN), Bluetooth, глобальная

сеть (WAN) и т.д. Соответственно, блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью получать и отслеживать текущее географическое местоположение системы 100 относительно текущей траектории, которые отображаются на карте исследуемого поля во время выполнения.

Во время операции сканирования система может определять для каждого отдельного участка 306 тот период времени, в течение которого гамма-спектры почвы 122 сканированы на этом участке 306. Блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью изменять цвет данного участка 306 на отображаемой карте в зависимости от того периода времени, в течение которого сканирована почва 122 этого участка 306. В некоторых случаях система может изменять или редактировать цвет участка 306 на отображаемой карте на основе полного времени получения данных, собранных в пределах каждого участка 306 во время выполнения сканирования. В одном примере блок 110 обработки системы 100 может использовать цветовое кодирование, чтобы указывать на то, что получен заданный достаточный объем данных для точного определения элементов почвы на этом участке 306, к примеру, когда все участки 306 переключаются на заданный цвет, блок 110 обработки может выдавать соответствующую команду и/или уведомление, указывающие на то, что операция сканирования завершена.

INS- и TNC-спектры от каждого детектора 104, полученные во время сканирования, отображаются на экране переносного компьютера во время выполнения. Процессор 110 может быть выполнен с возможностью сохранять с заданными периодами, например, каждые 30 с, гамма-спектры (INS- и TNC-спектры от каждого из гамма-детекторов 104) почвы 122 данного участка 306 и соответствующие географические координаты этого участка 306. Система 100 может быть выполнена с возможностью регулярно проверять, поддерживается ли соединение между устройством 112 GPS и блоком 110 обработки и/или запоминающим устройством в записывающем оборудовании. Дополнительно, в ответ на обнаружение того, что соединение между устройством GPS и записывающим оборудованием потеряно, система 100 может быть выполнена с возможностью выдавать соответствующее предупреждение и может приостанавливать запись данных сканирования, чтобы предотвратить запись неточных данных. В некоторых случаях общее число сохраненных спектров может достигать нескольких тысяч или более в зависимости от времени сканирования. После сканирования сохраненные спектры могут передаваться в один или более компонентов обработки данных (не показаны) системы 100.

В начале вычисляются результирующие INS-спектры для каждых 30 измерений.

Результирующие INS-спектры ($netINS_{r,i}$) в отсчетах в секунду (отсчетах/с) в расчете на один канал для каждой r -ой записи и каждого i -го детектора 104 могут вычисляться с использованием уравнения (1), так что:

$$netINS_{r,i} = \frac{INS_{r,i} - INS_{r-1,i}}{LT_{INS,r,i} - LT_{INS,r-1,i}} - \frac{TNC_{r,i} - TNC_{r-1,i}}{LT_{TNC,r,i} - LT_{TNC,r-1,i}} \quad (1),$$

где $LT_{INS,r,i}$ и $LT_{TNC,r,i}$ указывают время жизни r -ой записи и i -го детектора 104 соответственно, и где $INS_{r,i}$ и $TNC_{r,i}$ указывают измеренные спектры r -ой записи и i -го детектора 104 соответственно. После этого все последующие действия со спектрами могут выполняться канал за каналом (поканально).

Время жизни (LT) может вычисляться с использованием уравнения (2), так что:

$$LT = RT \cdot \frac{OCR}{ICR} \quad (2),$$

где RT указывает реальное время измерения в секундах (с), OCR указывает выходную скорость счета, и ICR указывает входную скорость счета. В некоторых случаях параметры RT, OCR и ICR могут задаваться по техническим спецификациям аппаратных средств для получения спектров, используемых для того, чтобы выполнять операцию сканирования. Кроме того, значения параметров RT, OCR и ICR могут включаться в каждый соответствующий файл спектра.

Например, каждый детектор 104 может содержать уникальную энергетическую калибровку, указывающую на зависимость между энергией и номером канала. Изменение окружающих условий, существующих в данный день или в данное время сканирования, может вызывать изменение зависимости. Чтобы приводить все спектры к одной энергетической калибровке, спектры могут сдвигаться таким образом, что центроиды доминантных пиков (например, пиков кремния и кислорода) находятся в тех же каналах во всех спектрах.

После сдвига восемь спектров $netINS_{r,i}$ могут суммироваться поканально, и результирующий INS-спектр ($netINS_r$) для каждой r -ой записи может быть вычислен с использованием уравнения (3), так что:

$$netINS_r = \sum_3 netINS_{r,i} \quad (3).$$

Время жизни для этого спектра ($\Delta LT_{avg,r}$) может задаваться как среднее соответствующих времен жизни каждого из множества детекторов 104, так что:

$$\Delta LT_{avg,r} = \frac{\sum_3 (LT_{INS,r,i} - LT_{INS,r-1,i})}{3} \quad (4).$$

Спектры $netINS_r$ с $\Delta LT_{avg,r}$ приписываются положению географической средней точки 312 между двумя смежными записями. Таким образом, формируют набор данных спектров $netINS_r$, $\Delta LT_{avg,r}$ и географических координат средних точек, как проиллюстрировано на фиг. 3.

Далее со ссылкой на фиг. 3, данные с координатами средней точки 312 могут сортироваться по участкам 306, так что, например, средние точки 312, идентифицированные с использованием номеров 4, 5, 6,

7, 8 и 9, приписываются участку №2 и т.д. Взвешенные центры 310 для данного участка 306-н могут определяться на основе средних точек 312, приписываемых этому участку 306-н. Средние спектры $netINS_S$ участка S, в отсчетах/с на один канал, могут определяться с использованием уравнения (5), так что:

$$netINS_S = \frac{\sum_{\text{все } r \text{ на этом участке}} netINS_r \cdot \Delta LT_{avg,r}}{\sum_{\text{все } r \text{ на этом участке}} \Delta LT_{avg,r}} \quad (5).$$

Соответственно, средние спектры $netINS_S$ каждого участка 306 могут использоваться для того, чтобы определить элементное содержание каждого из множества участков 306. Содержание элементов может быть вычислено по площади гамма-пика соответствующего элемента (его ядра). Площадь пика может вычисляться по спектрам $netINS_S$ посредством специально предназначенного программного обеспечения с использованием программы IGOR. В некоторых случаях распределение содержания элементов может вычисляться на основе ранее заданных калибровочных данных или других параметров или значений.

Как обсуждается далее со ссылкой на по меньшей мере фиг. 8-15, на основе данных, собранных во время операции сканирования, могут быть построены карты элементного распределения для углерода, кремния, водорода и калия. Распределение содержания углерода и кремния может быть охарактеризовано по спектрам $netINS_S$. Дополнительно, данные TNC-спектров могут использоваться для определения содержания водорода. Содержание и картографирование калия может определяться на основе измерений спектров естественного гамма-фона.

Уравнение (6) может использоваться для того, чтобы определять содержание углерода (в массовых процентах, $S_{мас. \%}$), так что:

$$S_{мас. \%} = \frac{(PA_{4.44} - PA_{4.44, bkg}) - 0.0496 \cdot (PA_{1.78} - PA_{1.78, bkg})}{13.733} \quad (6),$$

где $PA_{4.44}$, $PA_{1.78}$, $PA_{4.44, bkg} = 140$ отсчетов/с, $PA_{1.78, bkg} = 453$ отсчета/с указывают площадь пика с центроидом в 4,44 МэВ (пик углерода) и площадь пика с центроидом в 1,78 МэВ (пик кремния) в $netINS_S$, и системный фон в гамма-спектрах в 0,0496 и 13,733 указывают соответствующие калибровочные коэффициенты.

Фиг. 4 иллюстрирует примерный график 400 для определения элементного содержания кремния на основе калибровочной зависимости. Например, обоснованная аппроксимация калибровочной зависимости кремния может определяться на основе нескольких точек, например, четырех (4) точек данных и нулевой точки (начала координат). В некоторых случаях, дополнительные данные сканирования могут использоваться для того, чтобы продолжать улучшение калибровки кремния.

Соответственно, содержание кремния может определяться на основе уравнения (7), так что:

$$Siw\% = \frac{(PA_{1.78} - PA_{1.78, bkg})}{28.834} \quad (7).$$

Распределение водорода в почве может определяться на основе площади пика водорода в TNC-спектрах с центроидным пиком в 2,223 МэВ. В одном примере, чтобы определить площадь пика водорода, TNC-спектры для r-ой записи и i-го детектора 104 могут вычисляться на поканальной основе с использованием уравнения (8), так что:

$$\Delta TNC_{r,i} = \frac{TNC_{r,i} - TNC_{r-1,i}}{LT_{TNC,r,i} - LT_{TNC,r-1,i}} \quad (8).$$

Сдвиг, суммирование спектров по множеству гамма-детекторов 104, определение среднего времени жизни и географического положения средней точки 312, сортировку спектров по участкам 306, определение взвешенных центров 310 участков 306 и средних TNC-спектров для участка 306 можно определять способом, аналогичным определению спектров $netINS$. Конкретно:

$$\Delta TNC_r = \sum_3 \Delta TNC_{r,i} \quad (9)$$

$$\Delta LT_{avgTNC, r} = \frac{\sum_3 (LT_{TNC,r,i} - LT_{TNC,r-1,i})}{3} \quad (10)$$

$$\Delta TNC_S = \frac{\sum_{\text{все } r \text{ на этом участке}} \Delta TNC_r \times \Delta LT_{avgTNC,r}}{\sum_{\text{все } r \text{ на этом участке}} \Delta LT_{avgTNC,r}} \quad (11).$$

Дополнительно, спектры, площади пика водорода могут вычисляться из TNC_S, и значения площади пика водорода и взвешенных центров на участках могут использоваться для того, чтобы построить карту распределения водорода.

Карта распределения калия в почве может быть создана способом, аналогичным процессу, изложенному в отношении других элементов, проанализированных посредством гамма-нейтронной технологии, например, посредством импульсного источника 102 нейтронов и/или гамма-детекторов 104 и соответствующих компонентов системы 100, таких как водород и кремний. Дополнительно или альтернативно, содержание калия может определяться строго на основе естественных гамма-спектров, собранных из почвы, и без базирования на нейтронном облучении почвы.

Например, изотоп ^{40}K может естественным образом присутствовать в смесях изотопов калия содержащих калий соединений. Этот изотоп имеет известный кларк в соединениях калия $\eta=0,0117\%$, и он является радиоактивным ($T_{1/2}=1,248 \cdot 10^9$ лет). Радиоактивный распад ^{40}K сопровождается испусканием гамма-лучей с энергией 1,46 МэВ, т.е. гамма-излучения, которое является одним из основных компонентов природной радиоактивности. Следовательно, присутствие калия в почве может определяться на ос-

нове измеренной интенсивности гамма-линии.

Фиг. 5 иллюстрирует примерный график 500 гамма-спектра природной радиоактивности и может указывать спектр, измеренный в течение 0,5 часа системой 100, установленной непосредственно на поверхности почвы 122. В одном примере пунктирная линия 506 может указывать гамма-спектр, измеренный в том случае, когда содержащее калий вещество (~11 кг) (общая масса 22,7 кг) было помещено под измерительную систему, где значительный пик (к примеру, между значениями 508-1 и 508-2 энергии) с центроидом на или примерно на 1,46 МэВ указывает на присутствие калия.

Фиг. 6 иллюстрирует примерный рисунок 600 методологии оценки калибровочного коэффициента по калию. Для первого приближения предполагается, что калий в почве равномерно распределен в полусферическом объеме с радиусами R. Гамма-детектор 104 расположен в центре 608 этой полусферы 602. Если K мас.% 606 присутствует в единичном объеме dV 606, а плотность материала составляет d, то dγ, с⁻¹, гамма-лучей с энергией 1,46 МэВ должны выглядеть следующим образом:

$$d\gamma = \frac{Kw\%}{100} \cdot d \cdot \eta \cdot \frac{N_A}{AW} \cdot \lambda \cdot dV \quad (12)$$

где N_A - число Авогадро, и AW - атомный вес калия, λ=0,693/T_{1/2}. Затем интенсивность сигнала гамма-детектора 104 (площадь пика, S) может вычисляться следующим образом:

$$S = t \cdot \eta \cdot \frac{N_A}{AW} \cdot \lambda \cdot G \quad (13)$$

$$G = \frac{Kw\%}{100} \cdot d \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\infty} \frac{\exp(-\mu \cdot d \cdot l)}{4\pi l^2} \cdot dV = \frac{Kw\%}{100} \cdot d \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\infty} \frac{\exp(-\mu \cdot d \cdot l)}{4\pi} \cdot \sin\theta dl d\theta d\varphi \quad (14),$$

где t - эффективность регистрации гамма-лучей, μ - массовый коэффициент поглощения гамма-линии 1,46 МэВ в веществе, расстояние l - расстояние между dV и гамма-детектором 104, и R - радиусы полусферы. K мас.% в содержащем калий веществе составляет 11/22,7·100%=48,4%. Объемная плотность этого вещества составляла 1,1 г·см⁻³, и радиус полусферы с этим веществом составляет $\sqrt[3]{\frac{22700 \cdot 3}{d \cdot 2\pi}} = 21,4$ см. Массовый коэффициент ослабления для содержащего калий вещества (KCl) для 1,6 МэВ составляет 0,048 см²·г⁻¹, и значение G_{st}=3,416. Площадь пика в спектре была вычислена как 237 отсчетов/с для содержащего калий вещества, как проиллюстрировано пунктирной линией на фиг. 5. Отсюда значение t может быть оценено как 69,4.

Плотность почвы для оценки может принять равной 1,2 г·см⁻³ и μ=0,052 см²·г⁻¹ (основными элементами почвы являются Si и O). Затем, для почвы бесконечного радиуса G_{soil}=K мас.%/100·9,615, и площадь пика калия составила 14 отсчетов/с для почвы, как проиллюстрировано сплошной линией на фиг. 5. Площадь пика пропорциональна G и эффективности t регистрации гамма-лучей. Исходя из этих значений, калибровочный коэффициент для калия в почве можно оценить как 0,15 K мас.%/отсчетов/с, а K мас.% в почве можно оценить как 2%. Это значение согласуется со средним содержанием калия в почве. Хотя эта калибровка должна повторяться с несколькими контрольными образцами для лучшей точности, оценка по уравнению (15) может использоваться для данной последовательности измерений, так что:

$$Kw\% = 0,15 \cdot PA_{1,46} \quad (15).$$

Измеренные наборы данных географических координат и содержаний элементов (в массовых %) использовали для того, чтобы создать карты распределения элементов. Карта может быть создана с использованием локальной полиномиальной интерполяции или другого вычислительного подхода. Карту помещали на географическую базовую карту. Созданная карта элементного распределения может включать в себя стрелку или другой тип значка, указывающего одно или более направлений по сторонам света, к примеру, север, юг, восток и запад, чтобы указывать направленную ориентацию карты. В других примерах созданная карта элементного распределения может автоматически ориентироваться таким образом, что вертикальное направление вверх обозначает направление на север, и т.д. В некоторых случаях созданная карта может включать в себя соответствующую надпись и/или шкалу, указывающую один или более диапазонов элементного содержания данного элемента или множества элементов. Созданная карта элементного распределения может содержать контурную карту, включающую в себя одну или более меток значений контура, указывающих области с одинаковым содержанием. Некоторые примеры карт элементного распределения, созданных на основе анализа данных гамма-спектров, проиллюстрированы на по меньшей мере фиг. 8-15.

Первое сканированное поле имеет первую общую площадь, например, ~6 гектаров (га), а второе сканированное поле имеет вторую общую площадь, например, ~23 га, с типом почв в виде суглинистого песка Marlup и суглинистого песка Marlboro (уклон 1-6%) соответственно.

Фиг. 7 иллюстрирует примерный рисунок 700 первого сканированного поля 702, разделенного на множество участков 306, при этом первое множество участков 306 располагается на первом сканированном поле 702, а множество участков 704 находятся на дороге, прилегающей к первому сканированному полю 702. В качестве одного примера, число средних точек на каждом участке 306 и полное время

измерения на каждом участке 306 показаны в таблице.

Идентификатор ячейки	Средние точки	Время измерения (мин)	Идентификатор ячейки	Средние точки	Время измерения (мин)
1	34	17	17	10	5
2	17	8,5	18	25	12,5
3	31	15,5	19	19	9,5
4	16	8	20	19	9,5
5	30	15	21	24	12
6	23	11,5	22	19	9,5
7	16	8	23	19	9,5
8	24	12	24	16	8
9	24	12	25	21	10,5
10	27	13,5	26	16	8
11	22	11	27	19	9,5
12	20	10	28	16	8
13	18	9	Дорога		
14	15	7,5	29	38	19
15	22	11	30	38	19
16	7	3,5	31	34	17

Фиг. 8 иллюстрирует примерный рисунок 800 цифрового рендеринга карты 808 распределения углерода для первого сканированного поля 702, описанного со ссылкой на по меньшей мере фиг. 7. В одном примере распределение 802 содержания углерода увеличено с юга на север (как проиллюстрировано, например, контрольными элементами с 802-1 по 802-4) от 0,5 до 2,0 мас.%, тогда как содержание углерода на дороге было чрезвычайно высоким по сравнению с полем 122, достигая 18 мас.%. Фиг. 9 иллюстрирует примерный рисунок 900 цифрового рендеринга карты 908 распределения кремния для первого сканированного поля 702, описанного со ссылкой на по меньшей мере фиг. 7. В одном примере распределение 902 содержания кремния на первом сканированном поле 702 варьируется, так что содержание кремния в общем остается в диапазоне 44±2 мас.%. В другом примере содержание 902 кремния было очень низким (около 10 мас.%) на прилегающей к полю 702 дороге, что означает то, что дорога, возможно, состояла из минерала, такого как карбонатный гравий, и имела очень мало кремния.

Фиг. 10 и 11 иллюстрируют примерные карты 1000 и 1100 соответственно распределения 1002, 1102 углерода на втором сканированном поле 1004, захваченные в два разных дня, к примеру, 11.04.2019 и 17.04.2019, при этом погода между этими двумя датами была стабильной (солнечной), причем площадь второго сканированного поля 1004 составляет приблизительно 13,6 га. Сравнение демонстрирует, что обе карты являются достаточно похожими, при этом некоторые незначительные несоответствия в контурах 1002, 1102 ограничены соответствующими северными частями карт 1000 и 1100. Таким образом, несколько сканирований второго сканированного поля 1004 подтвердили то, что результаты сканирований и карты, созданные из собранных данных сканирования, остаются относительно согласующимися при приблизительно одинаковых погодных условиях. Соответственно, методология и подход к использованию системы 100 с аппаратом гамма-анализа для того, чтобы собрать данные сканирования почвы 122 и на основе этих собранных данных сканирования создать карты распределения элементного содержания почвы 122, являются достаточно точными, а результаты методологии являются воспроизводимыми при сходных базисных условиях. Фиг. 12 иллюстрирует карту 1200, указывающую элементное распределение 1202 углерода (C), получающееся в результате комбинации наборов 1000, 1100 данных, использованных для создания карт по фиг. 10 и 11, и может представлять собой более надежную карту элементного содержания. Фиг. 13 иллюстрирует карту 1300 распределения кремния, указывающую элементное распределение 1302 кремния на основе комбинированных данных операций по сканированию второго сканированного поля 1004, выполненных в два разных дня (отдельно не проиллюстрировано здесь).

Фиг. 14 иллюстрирует примерную карту 1400 элементного распределения 1402 водорода в почве 122 второго сканированного поля 1004. В одном примере карта 1400 распределения водорода относится к распределению площадей пика водорода, при этом номер 1404 элемента указывает значения соответствующих пиков каждого из участков 306. Фиг. 15 иллюстрирует примерную карту 1500, созданную в результате сканирования водорода, выполненного с использованием измерений влажности с помощью измерителя влажности почвы (почволагомера) TDR 300. Длина электродов составляла 7 дюймов, и "песок" была выбран в качестве режима "Тип почвы" во время измерения. Карта 1500 влажности почвы измерена этим измерительным прибором. Относительная ошибка измерения 1502 влажности прибором TDR 300 (включая значения 1504 соответствующих пиков) составляла в диапазоне между приблизительно 12% и 20%. Несмотря на это значение относительной ошибки определения влажности прибором TDR

300, сравнение карт 1400 и 1500 по фиг. 14 и 15 соответственно продемонстрировало подобие между двумя измерительными приборами, и можно прийти к выводу, что использование нейтронного гамма-анализа для картографирования 1402 распределения влаги может давать точные результаты.

Фиг. 16А и 16В иллюстрируют примерный процесс 1600 определения элементного содержания почвы 122 поля 120. Процесс 1600 может начинаться на этапе 1602, на котором блок 110 обработки принимает запрос на выполнение элементного анализа почвы данного поля 120. В некоторых примерах такой запрос может генерироваться пользователем или системой. Кроме того, также предусмотрены другие способы инициирования процесса 1600 элементного анализа почвы.

В ответ на этот запрос блок 110 обработки, на этапе 1604, может обнаруживать одну или более внешних границ подлежащего сканированию поля 120. В одном примере блок 110 обработки может обнаруживать внешние границы поля 120 на основе цифрового рендеринга географической карты, включающей в себя по меньшей мере часть подлежащего сканированию поля 120, на основе фактического сканирования поля 120 (например, видео-, сонарного и т.д.) либо на основе некоторой их комбинации. Географическая карта, проанализированная во время процесса идентификации внешней границы, может включать в себя приблизительные или точные географические координаты поля 120, широту и долготу поля 120, площадь поля 120, ориентацию поля 120 относительно четырех направлений по сторонам света и другие параметры данных, достаточные для того, чтобы устанавливать геопространственное, относительное и конкретное местоположение поля 120.

На этапе 1606 блок 110 обработки может разделять подлежащее сканированию поле 120 на множество частей, или участков, 306. Например, блок 110 обработки может разделять поле 120 на части на основе профиля местности, однородности или неоднородности местности и/или присутствия или отсутствия ориентиров на местности, будь то естественные или искусственные, такие как возвышенности, гребни, седловины, долины, дороги, конструкции, водные сооружения, растительность и т.д. В некоторых случаях каждый участок 306 может содержать относительно однородный профиль местности. Во время разделения поля блок 110 обработки системы 100 может быть выполнен с возможностью обозначать отдельный участок 306 в ответ на обнаружение изменения местности, к примеру, пересекающая поле 120 асфальтированная дорога 308 и т.д., и/или обнаружение изменения профиля и состава местности, например, в ответ на обнаружение впадины на местности. С учетом вышеуказанных связанных с местностью и других факторов, влияющих на условия сканирования, каждый участок 306 из упомянутого множества участков 306 может варьироваться по размеру от менее $\sim 100 \text{ м}^2$ до $\sim 1000 \text{ м}^2$ и более, так что данное поле 120, имеющее общую площадь приблизительно в 800 м^2 , может включать в себя двенадцать (12) участков и т.д.

Блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью, на этапе 1608, инициировать сканирование первого образца почвы первой части поля 120. В одном примере блок 110 обработки может использовать импульсный источник 102 нейтронов для того, чтобы сканировать первый образец почвы первой части/участка 306. Дополнительно или альтернативно, на этапе 1608, блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью детектировать, например, с использованием гамма-детектора 104, гамма-спектр первого образца почвы. На этапе 1610 блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью запрашивать географическое местоположение первого образца почвы. В некоторых случаях блок 110 обработки может осуществлять связь с устройством 112 GPS, будь то внешним либо внутренним по отношению к системе 100, и может быть выполнен с возможностью запрашивать и принимать географические координаты или другие геопространственные параметры позиционирования, указывающие на местоположение первого образца почвы первой части 306 поля 120.

Блок 110 обработки, на этапе 1612, может соотносить детектированные данные 116 гамма-спектра первого образца почвы и принятые географические координаты первого образца почвы. В одном примере блок 110 обработки может, на этапе 1612, сохранять данные сканирования и соотнесенные географические координаты в непосредственно соединенном с ним устройстве хранения данных. В других примерах блок 110 обработки может обмениваться данными с внешними, удаленными или находящимися за пределами участка серверами хранения данных и/или облачными сетевыми устройствами или системами хранения данных.

На этапе 1614 блок 110 обработки может определять, детектирован ли следующий образец почвы в пределах одного и того же из множества участков 306. В одном примере блок 110 обработки может детектировать текущее географическое местоположение системы 100, например, конструкции 114, импульсного источника 102 нейтронов и/или гамма-детектора 104, относительно площади поля 120 и/или площади сканируемого участка 306. Дополнительно или альтернативно, блок 110 обработки может управлять системой 100, чтобы изменять ее географическое местоположение, так что может определяться присутствие или отсутствие следующего образца 124 почвы и/или следующего участка 306. Также предусмотрены другие сценарии и способы определения того, нужно ли осуществлять дальнейший сбор данных системой 100. Например, система 100 может быть выполнена с возможностью отображать уведомление пользователя, запрашивающее подтверждение того, что нужно сканировать дополнительные образцы 124 почвы и/или участка 306 для элементного анализа содержания почвы. В ответ на доступность для сканирования следующего образца почвы на текущем участке 306 блок 110 обработки может возвращаться к этапу

1608 для того, чтобы сканировать следующий доступный образец почвы на участке 306.

В ответ на определение того, что все образцы почвы текущего участка 306 просканированы, блок 110 обработки может определять, на этапе 1616, обнаружен ли следующий из множества участков 306. В одном примере блок 110 обработки может детектировать текущее географическое местоположение системы 100, например, конструкции 114, импульсного источника 102 нейтронов и/или гамма-детектора 104, относительно площади поля 120 и/или площади сканируемого участка 306. В ответ на определение, на этапе 1616, того, что следующий участок 306 из множества участков 306 доступен на сканируемом поле 120, блок 110 обработки может возвращаться к этапу 1608, чтобы сканировать первый образец 124 почвы на следующем участке 306, и т.д. Дополнительно или альтернативно, в ответ на то, что все участки 306 поля 120 отсканированы, блок 110 обработки может переходить к анализу собранных данных сканирования.

На этапе 1618 блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью анализировать собранные гамма-спектры на значения одного или более пиков по меньшей мере одного из множества элементов, таких как, но не ограничиваясь ими, C, Si, O, H, K, Cl и т.д. Как описано со ссылкой на по меньшей мере фиг. 3-6 и 10-15, методология определения значений пиков данного элемента может варьироваться. В некоторых случаях блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью идентифицировать средние точки, взвешенные центры и другие значения параметров, связанных с анализом элементного содержания почвы 120. Дополнительно или альтернативно, блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью сортировать значения идентифицированных пиков каждого элемента по части/участку 306. Также предусмотрены другие операции и способы анализа собранных спектров.

На этапе 1620 блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью создавать карту элементного распределения на основе данных гамма-спектров, собранных во время операции сканирования с использованием системы 100. Как пояснялось ранее, карта элементного распределения может быть создана с использованием локальной полиномиальной интерполяции или другого вычислительного подхода и может накладываться на географическую базовую карту. Созданная карта элементного распределения может включать в себя стрелку или другой тип значка, указывающего одно или более направлений по сторонам света, к примеру, север, юг, восток и запад, чтобы указывать направленную ориентацию карты. В других примерах созданная карта элементного распределения может автоматически ориентироваться таким образом, что вертикальное направление вверх обозначает направление на север и т.д. В некоторых случаях созданная карта может включать в себя соответствующую надпись и/или шкалу, указывающую один или более диапазонов элементного содержания данного элемента или множества элементов. Созданная карта элементного распределения может содержать контурную карту, включающую в себя одну или более меток значений контура, указывающих области с одинаковым содержанием.

Процесс 1600 затем может завершаться. В некоторых случаях блок 110 обработки может быть выполнен с возможностью повторять один или более процессов для создания карты элементного распределения на основе собранных данных гамма-спектров.

Хотя некоторые иллюстративные варианты осуществления были описаны подробно на фигурах и в приведенном выше описании, такие иллюстрации и описание должны считаться примерными, а не ограничивающими по характеру, причем следует понимать, что показаны и описаны только иллюстративные варианты осуществления и что желательны к охране все изменения и модификации, которые находятся в пределах сущности раскрытого изобретения. Существует множество преимуществ настоящего изобретения, возникающих в результате различных признаков описанных здесь аппаратуры, систем и способов. Следует отметить, что альтернативные варианты осуществления аппаратуры, систем и способов по настоящему изобретению могут не включать в себя все описанные признаки, но при этом извлекать выгоду из по меньшей мере некоторых преимуществ таких признаков. Специалисты в данной области техники смогут легко разработать свои собственные варианты реализации аппаратуры, систем и способов, которые включают один или более признаков настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для неинвазивного анализа содержания почвы поля, включающая блок получения данных, располагаемый над поверхностью почвы поля и выполненный с возможностью детектировать гамма-спектры каждого из множества образцов почвы без извлечения или перемещения упомянутого множества образцов почвы с поля;

блок обработки, выполненный с возможностью детектировать одну или более внешних границ поля и разделять площадь поверхности поля в пределах упомянутых одной или более внешних границ на множество частей до инициирования детектирования гамма-спектров, причем упомянутое множество образцов почвы содержит по меньшей мере один образец почвы с каждой из упомянутого множества частей,

навигационный блок, выполненный с возможностью детектировать географические координаты каждого из упомянутого множества образцов почвы, расположенных в пределах каждой части из упомянутого множества частей;

блок анализа данных, выполненный с возможностью соотносить детектированные гамма-спектры каждого из упомянутого множества образцов почвы с географическими координатами образца почвы и определять массовый процент по меньшей мере одного элемента в каждом из образцов почвы на основе детектированных гамма-спектров; и

блок картографирования содержания элементов, выполненный с возможностью создавать карту, указывающую концентрацию упомянутого по меньшей мере одного элемента в почве поля.

2. Система по п.1, причем образцы почвы совокупно составляют по меньшей мере 5% площади поверхности поля.

3. Система по п.1, причем образцы почвы совокупно составляют по меньшей мере 10% площади поверхности поля.

4. Способ неинвазивного анализа содержания почвы сельскохозяйственного поля, включающий детектирование одной или более внешних границ и разделение площади поверхности поля в пределах упомянутых одной или более внешних границ на множество частей;

сканирование по меньшей мере одного образца почвы в каждой из частей, чтобы детектировать гамма-спектры образца почвы с поверхности почвы поля без извлечения или перемещения образца почвы с поля, причем сканирование происходит после разделения площади поверхности;

соотнесение детектированных спектров с географическим местоположением образца почвы, расположенного в пределах каждой части из упомянутого множества частей;

вычисление на основе детектированных спектров количества по меньшей мере одного элемента в образце почвы; и

создание карты, указывающей количество упомянутого по меньшей мере одного элемента в каждой части поля.

5. Способ по п.4, причем количество упомянутого по меньшей мере одного элемента включает в себя значение концентрации по меньшей мере одного из углерода (C), кремния (Si), калия (K), кислорода (O), водорода (H) и хлора (Cl).

6. Способ по п.4, причем каждая часть имеет однородный ландшафт.

7. Способ по п.4, причем сканирование включает использование импульсной системы на быстрых тепловых нейтронах, имеющей нейтронный генератор.

8. Способ по п.4, причем образцы почвы совокупно составляют по меньшей мере 10% площади поверхности поля.

9. Способ по п.4, дополнительно содержащий корректировку энергии спектров на основе заданного значения.

10. Система для неинвазивного анализа элементного содержания почвы поля, включающая

блок получения данных, располагаемый над поверхностью почвы поля и выполненный с возможностью собирать и детектировать гамма-спектры по меньшей мере одного образца почвы без извлечения или перемещения упомянутого множества образцов почвы с поля;

блок обработки, выполненный с возможностью детектировать одну или более внешних границ поля и разделять площадь поверхности поля в пределах упомянутых одной или более внешних границ на множество частей до инициирования детектирования гамма-спектров, причем упомянутое множество образцов почвы содержит по меньшей мере один образец почвы с каждой из упомянутого множества частей,

навигационный блок, выполненный с возможностью предоставлять географические координаты каждого из упомянутого множества образцов почвы, расположенных в пределах каждой части из упомянутого множества частей;

блок анализа данных, выполненный с возможностью соотносить собранные гамма-спектры с географическими координатами образца почвы и вычислять массовый процент элемента в образце почвы; и

блок картографирования содержания элементов, выполненный с возможностью создавать карту, указывающую концентрацию упомянутого по меньшей мере одного элемента в образце почвы, на основе вычисленного массового процента.

11. Система по п.10, причем блок получения данных содержит импульсную систему на быстрых тепловых нейтронах.

12. Система по п.11, причем импульсная система на быстрых тепловых нейтронах включает в себя нейтронный генератор.

13. Система по п.12, причем импульсная система на быстрых тепловых нейтронах дополнительно включает в себя гамма-детектор.

14. Система по п.10, причем блок получения данных дополнительно выполнен с возможностью собирать гамма-спектры множества образцов почвы, и при этом упомянутое множество образцов почвы совокупно составляет по меньшей мере 10% площади поверхности поля.

15. Система по п.10, причем блок анализа дополнительно выполнен с возможностью корректировать энергию спектров на основе заданного значения, определенного с использованием вычислителя сдвига спектров и массовых процентов.

16. Система по п.15, причем корректировка энергии спектров включает в себя сдвиг спектров так, что для каждого из множества спектров центроиды доминантных пиков элемента соотнесены с одним и

тем же из множества энергетических каналов спектров.

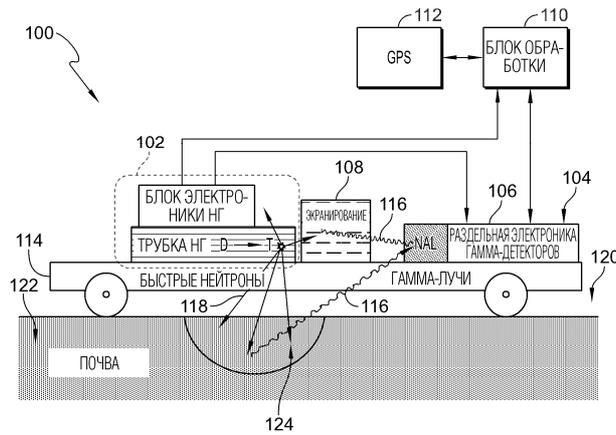
17. Система по п.10, причем блок анализа дополнительно выполнен с возможностью вычислять массовый процент на основе времени жизни спектра, при этом время жизни спектра является средним временем жизни каждого из множества детекторов.

18. Система по п.17, причем время жизни детектора основано на реальном времени измерения, входной скорости счета и выходной скорости счета.

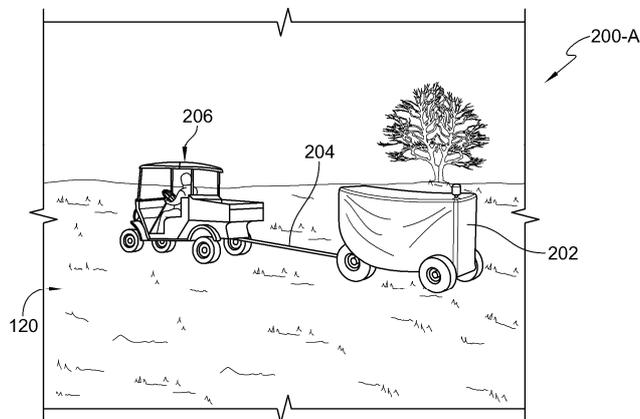
19. Система по п.17, причем блок анализа дополнительно выполнен с возможностью соотносить вычисленный массовый процент с географической средней точкой между двумя соседними записями.

20. Система по п.10, причем концентрация указывает на содержание по меньшей мере одного из углерода (С), кремния (Si), калия (К), кислорода (О) и водорода (Н).

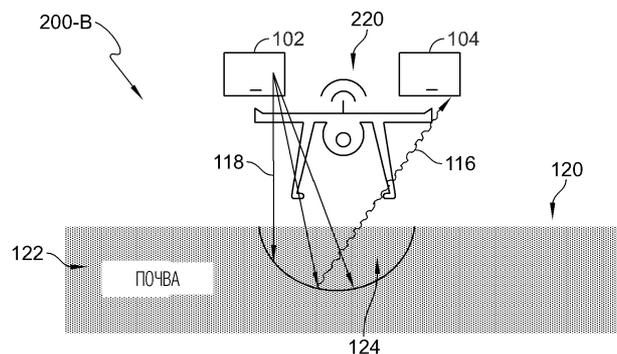
21. Система по п.20, причем концентрация углерода (С) в образце почвы определяется на основе среднего значения результирующих спектров, детектированных в части поля, и при этом концентрация калия определяется на основе естественных гамма-спектров образца почвы без использования нейтронного облучения почвы.



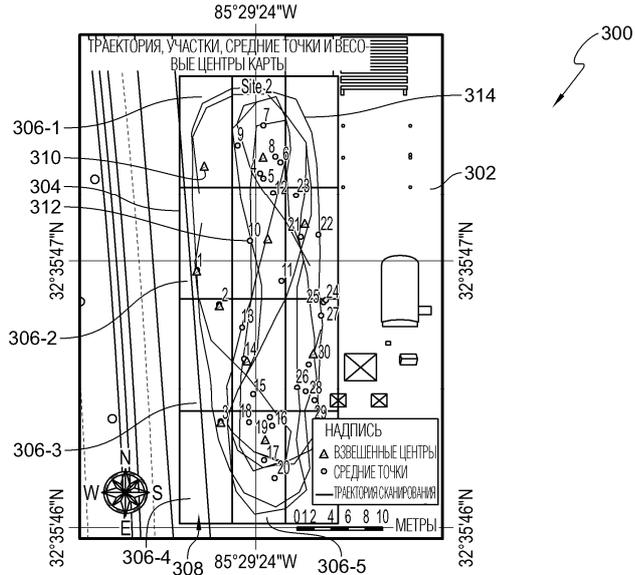
Фиг. 1



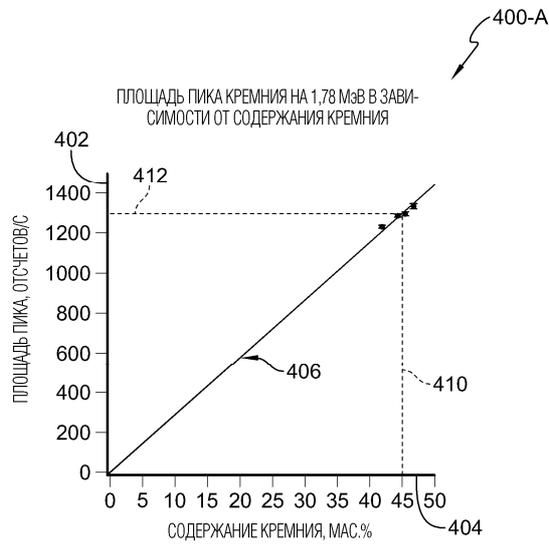
Фиг. 2А



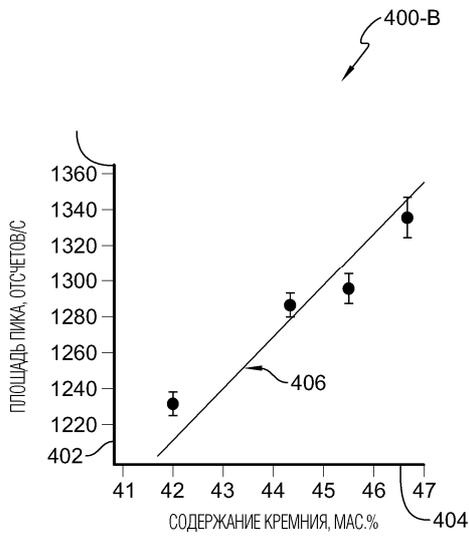
Фиг. 2В



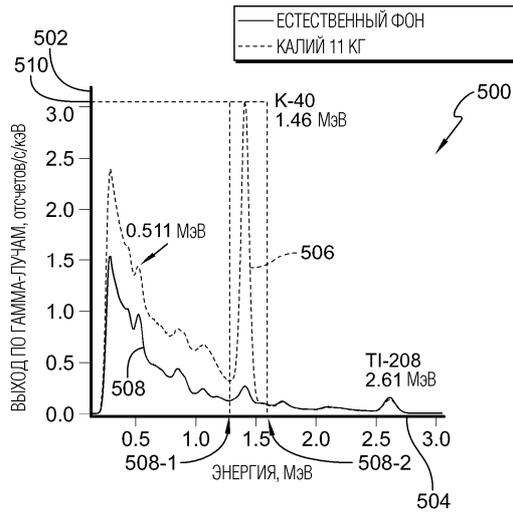
Фиг. 3



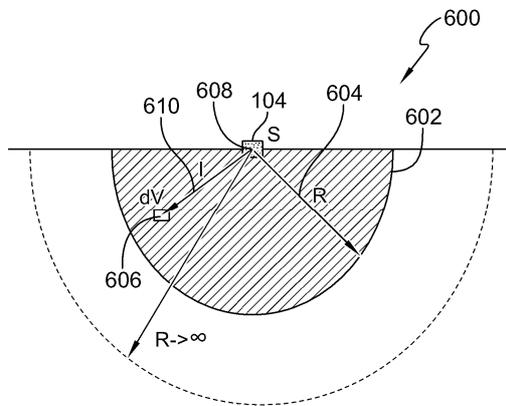
Фиг. 4А



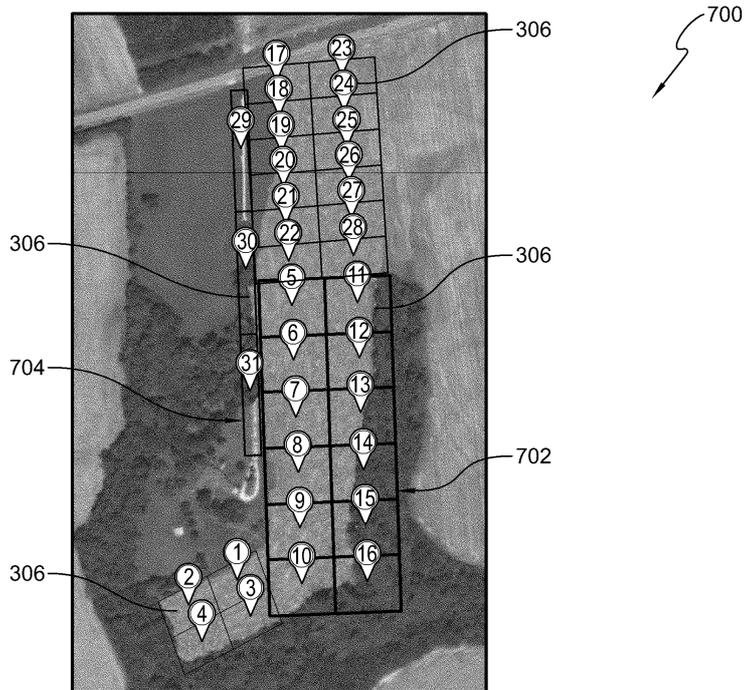
Фиг. 4В



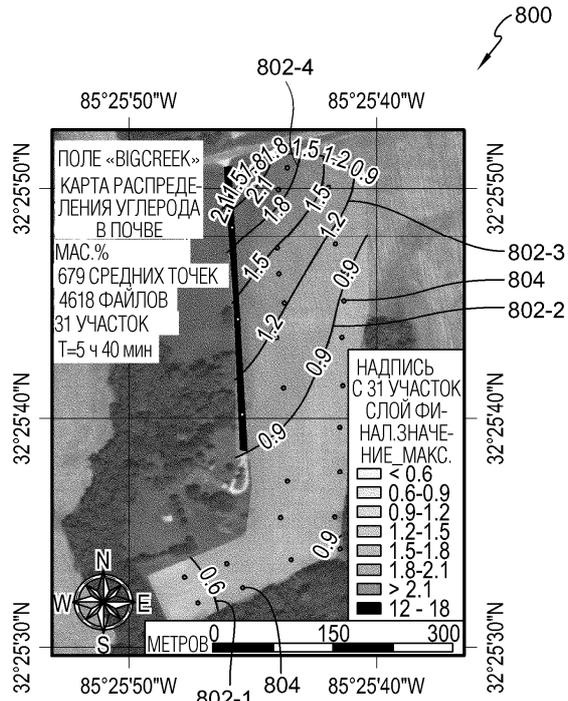
Фиг. 5



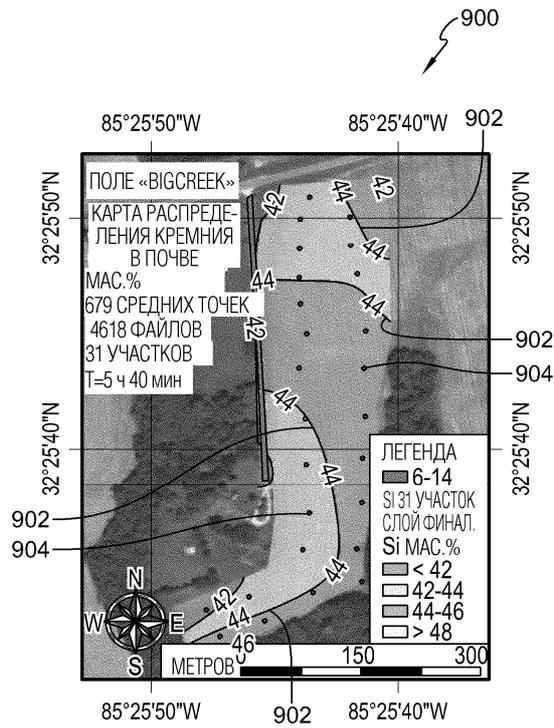
Фиг. 6



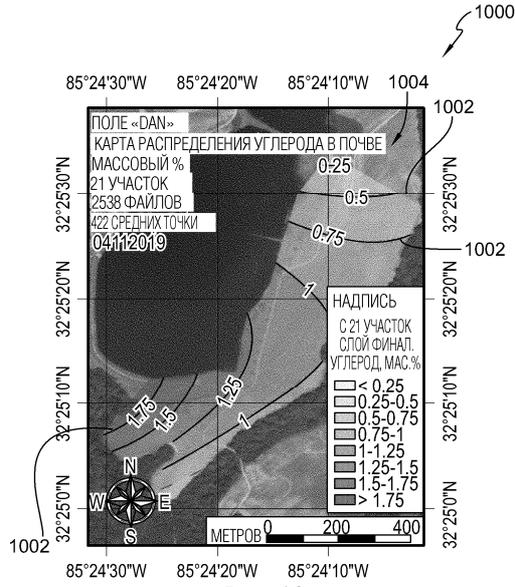
Фиг. 7



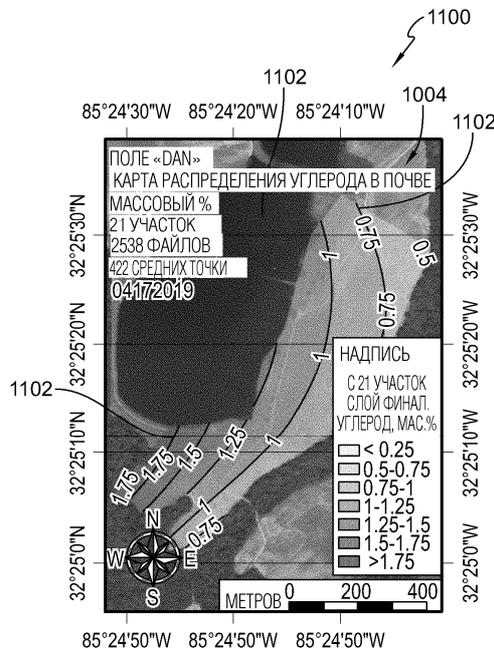
Фиг. 8



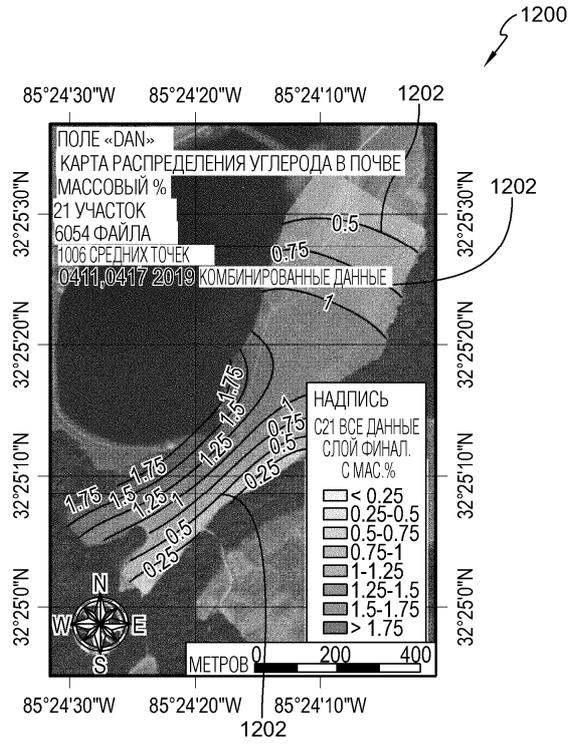
Фиг. 9



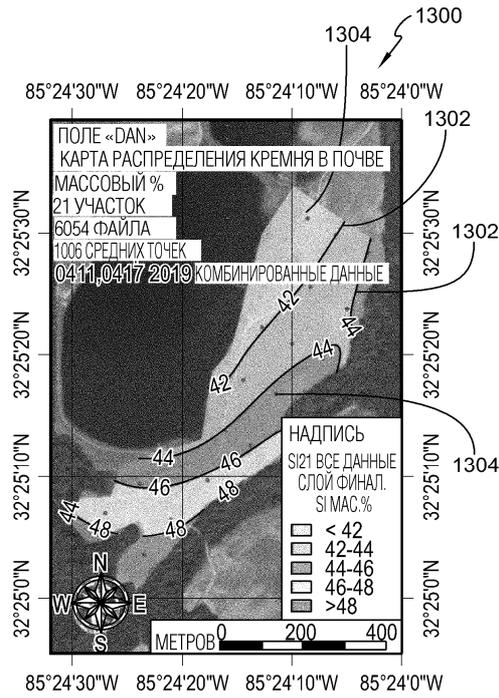
Фиг. 10



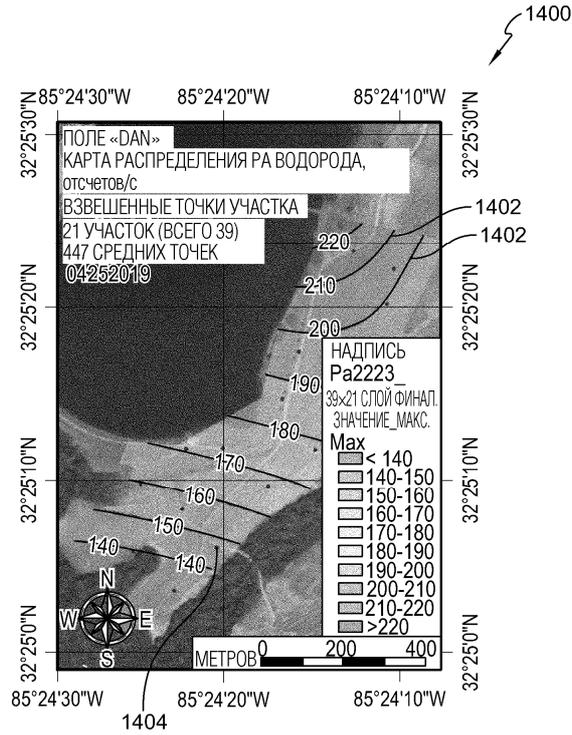
Фиг. 11



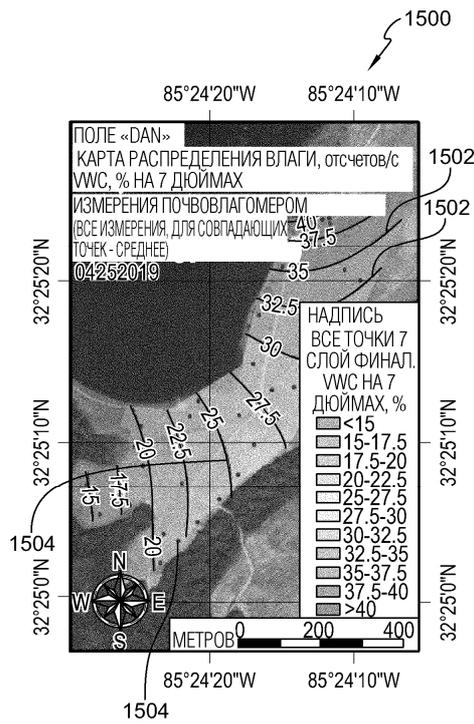
Фиг. 12



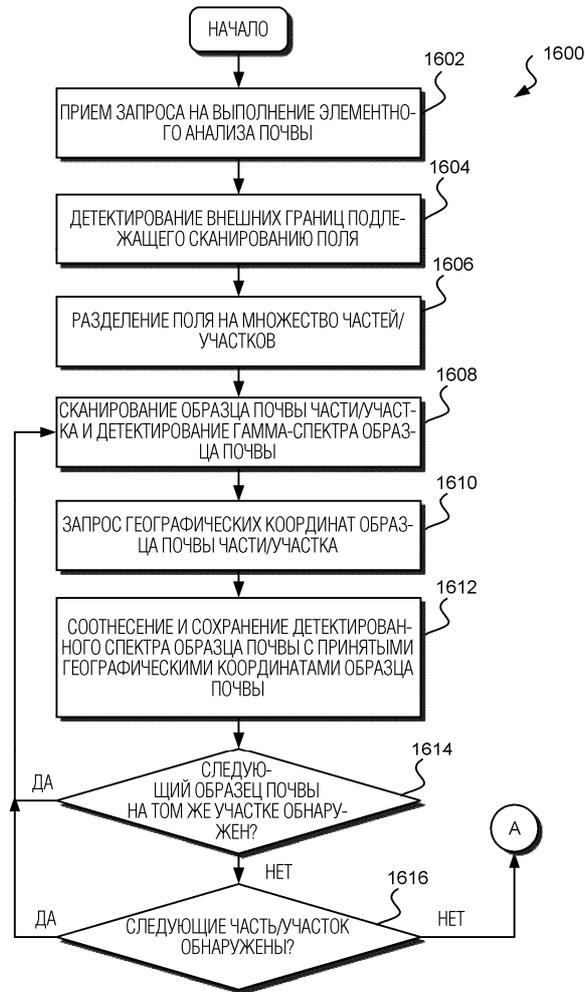
Фиг. 13



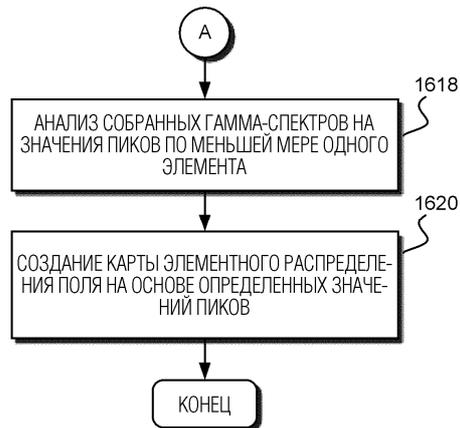
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16А



Фиг. 16В

