

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПОЧВ

УДК 528.88:631.4

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПОЧВАМИ И АГРОЦЕНОЗАМИ

М.Р. Шаяхметов, Л.В. Березин, М.С. Балуков, А.Ю. Сергеева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, Омск, Россия

В статье впервые публикуются новые подходы к почвенному дешифрированию материалов дистанционного зондирования Земли путем дифференцированного синтезирования снимков в разных диапазонах частот. Уделяется значительное внимание инфракрасному диапазону спектра и яркости прямого направленного светоотражения для анализа почвенного покрова равнинных регионов, где не применимо использование в этих целях цифровой модели рельефа.

ВВЕДЕНИЕ

Учение о почвенной поглотительной способности было разработано академиком К.К. Гедройцем почти 100 лет назад. Оно было развито трудами немецкого ученого Г. Капшена и шведского исследователя С.Э. Маттсона. До настоящего времени это учение является теоретической базой химической мелиорации различных типов почв, познания их генезиса и агротехнологических основ рационального использования земель. Были выделены 5 видов поглотительной способности почв, позволяющие всесторонне изучить взаимосвязь почв с почвообразующими породами, тепловым и водным режимами и внутренними коллоидными свойствами почвенной органоминеральной матрицы [1].

Однако до последнего времени весьма слабо изучены закономерности поглощения почвами солнечной радиации, характер поглощения и отражения диапазонов солнечного спектра, обеспечивающих энергию почвенных процессов и роль возделываемых на этих почвах сельскохозяйственных культур, существенно изменяющих поступающую на почвы энергию солнечного спектра.

Исследование этих процессов стало возможным лишь в конце XX века благо-

даря проводимой разными странами мультиспектральной съемке с многочисленных космических аппаратов (КА) и снятию грифа секретности даже со снимков высокого разрешения менее 5 метров в пикселе. В начале XXI века наиболее популярными в мировой практике дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были снимки с КА США серии Landsat, обеспечивающего получение два раза в месяц для любой территории всего земного шара цветных изображений с разрешением 15-30 м. В 2009-2010 гг. их информативность повысили космические снимки Японии КА ALOS, имеющие разрешение 10 м в пикселе. Но как показали наши исследования, инновация коснулась лишь масштаба снимков. Качество снимков ALOS по содержанию спектра поглощения – отражения солнечной радиации осталось прежним.

И только в 2009 г. после запуска с космодрома Байконур серии из 5 КА RapidEye (Германия), обеспечивающих получение материалов ДЗЗ ежедневно с разрешением 5 (2,5) м, появилась возможность детального анализа спектра поглощения солнечной радиации любого земного объекта.

Общая физическая основа ДЗЗ – функциональная зависимость между регистрируемыми космическим мультиспек-

тральным снимком параметрами отражения поступающего на Землю полного спектра солнечной радиации и пространственно-временным состоянием изучаемого объекта.

Решение этой проблемы в настоящее время достигается установкой на КА нескольких камер, каждая из которых посылает на землю и регистрирует отраженный сигнал в определенном канале солнечного спектра. Как правило, спутники фиксируют три основных канала спектра: 1-Red; 2-Grin; 3-Blue; которые суммарно показывают диапазон видимого спектра от 0,4 до 0,65 мкм. На спутнике RapidEye, кроме того имеются камеры, измеряющие интенсивность отраженного сигнала длинноволновой части спектра в двух диапазонах: 4-крайне красного (0,69-0,73 мкм) и 5-инфракрасного (0,76-0,88 мкм). Последние характеризуют степень поглощения изучаемыми объектами наиболее динамичную и энергоемкую часть солнечного спектра.

Как показали исследования Д.С. Орлова, Савича Ф.Н. и В.И. Кравцовой, изучавших характер отражательной способности почв различных стран, именно эти два канала наиболее полно свидетельствуют о составе гумуса и его роли в плодородии компонентов почвенного покрова.

По этой причине анализ материалов ДЗЗ, полученных КА RapidEye, позволяет более полно и адекватно характеризовать особенности экосистем в равнинных регионах Планеты

Актуальность разработки новых принципов дешифрирования снимков земельных угодий определяется тем, что с 2000 г. в стране упразднена единая государственная система изучения почвенного покрова и разработки на этой основе проектов рационального использования почв. В итоге отсутствие достоверной оперативной информации о качестве почвен-

ного покрова и фактического использования земельных угодий препятствует внедрению современных инновационных принципов агротехнологии, искажает объективность земельного налогообложения и ограничивает государственное стимулирование работы тех землепользователей, которые себе в убыток решают социальные проблемы рационального питания человека [2].

Решение данной проблемы можно достичь углубленным анализом материалов ДЗЗ космическими аппаратами нового поколения, ставших доступными лишь в начале текущего века. Например, запуск Китаем в 2012-2013 гг. двух новых спутников ТН-1, судя по рекламным материалам, обеспечит одновременное прорывное решение целой серии задач, которые раньше было возможным лишь при приобретении пользователем нескольких синхронных снимков, что повышало и длительность периода камеральной обработки космических снимков, и стоимость информационных заключений. Для проведения такого анализа необходимо разработать методику изучения потенциала поглощения почвами и агроценозами солнечной радиации (ППР), а вместе с этим существенно изменить методику почвенного дешифрирования космических снимков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись мультиспектральные снимки высокого разрешения ИСЗ Rapid Eye, характеризующие состояние почвенного покрова в районах распространения почв чернозёмно-солонцового комплекса в пределах Юга Западно-Сибирской равнины.

Анализ мультиспектральных космических снимков в программном комплексе ENVI проходит ряд этапов:

1. Геопривязка изображения с исходным материалом (устаревшая почвенная карта 1986 г.).

2. Классификация мультиспектральных снимков для выявления сложности почвенного покрова.

Этот этап включает в себя алгоритмы объединения одинаковых значений пикселей на изображении. В программном комплексе представлены два основных алгоритма классификации без обучения:

*K-Means;

*ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

Оба способа требуют от аналитика выбора числа групп (кластеров clusters), которые будут выделены на данных и задания ряда ограничивающих параметров – минимальное количество пикселей в классе, число итераций, порог сходимости классов.

3. Вскрытие почвенных разрезов (закладка) в проблемных участках хозяйства и привязка к точке (определение координат) по GPS навигатору.

Включает в себя почвенное обследование намеченных участков на конкретных изучаемых полях по GPS навигатору. Закладка разрезов и прикопок, отбор почвенных образцов.

4. Статистическая обработка полученных данных.

На данном этапе проводится синтезирование мультиспектрального снимка с целью определения наиболее информативного варианта диапазона съёмки. Построение графиков зависимости каналов съёмки от почвенного покрова. Расшировка полевых данных и сопоставление их со старой почвенной картой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

До последнего времени как в России, так и в большинстве стран, методика почвенно-агрохимического мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения базировалась на составлении по космическим снимкам цифровой модели рельефа и последующей интерполяции этих результатов на

оценку структуры почвенного покрова на основе известной со времен В.В. Докучаева зависимости генезиса почвы от особенностей климата и рельефа с поправками на характер зональной растительности и прогнозируемый уровень грунтовых вод. Естественно получаемая картина состояния почвенного покрова полей севооборотов, занятых различными полевыми культурами, подвергаемого разнообразным способам обработки почв и внесения удобрений или мелиорантов, весьма далека от фактического его состояния, особенно если учитывать неизбежную динамику увлажнения почв под влиянием атмосферных осадков и фазы развития возделываемых культур [3]. В целях упрощения задачи некоторые исследователи предлагают изучать почвенный покров в строго определенный срок и только по обнаженной поверхности без учета влияния агроценоза, который маскирует особенности поглощения солнечной радиации различными видами почв.

Как показали наши попытки проведения почвенного дешифрирования снимков КА Landsat и ALOS, получаемых два раза в месяц, нередко были безрезультатными, т.к. оба раза изучаемые объекты оказывались скрытыми повышенной облачностью. А главное, парованию подвергаются поля один раз в три-пять лет и по этой причине невозможна повторная воспроизводимость съёмки изучаемых объектов в годы, различные по характеру увлажнения и на полях, где применяются дифференцированные системы обработки почв в севообороте.

Искусственное упрощение методологии оценки состояния почвенного покрова неизбежно ведет к замалчиванию методологии приоритета единой ноосферы В.И. Вернадского и возрождению антропогенной позиции руководства АПК СССР по принципу «Мы не можем ждать милос-

тей от Природы...», которые привели во второй половине истекшего века к нарушению многих экологических связей в Природе.

Практическая значимость результатов решения поставленных задач определяется востребованностью сельскохозяйственными производителями агротехнологии так называемого точного земледелия, т.е. precision agriculture. Поскольку оно базируется на максимально детальной оценке качества почвенного покрова, иной способ получения достоверной информации, чем использование мультиспектральных космических снимков, найти трудно.

В ряде районов, отличающихся однородным почвенным покровом, в этих целях применяется дифференцированный учет урожая с последующим расчетом потребности в минеральных удобрениях для участков с низким урожаем. Но, во-первых, остаются неясными причины снижения продуктивности почвы, а во-вторых, еще в начале XX века основатель Омской школы почвоведов С.С. Неуструев указывал, что в «чистом виде» в природе почв не бывает. Практически любое поле характеризуется разнообразными почвенными комбинациями, среди которых наиболее контрастными по качеству являются типичные для Сибири почвенные комплексы. Среди них наиболее значимы для сельского хозяйства региона черноземно-солонцовые комплексы широко распространенные в лесостепной зоне. Для них характерны небольшие по размеру, но крайне разнообразные по своим свойствам и плодородию пятна солонцов, расположенные по микропонижениям среди плодородных почв черноземного ряда.

Создание компьютерно-управляемых тракторных агрегатов обеспечило в ряде стран возможность широкого

применения «precision agriculture», смысл которого определяется требованием предоставления точного, четкого обеспечения дифференциации агротехнологии в строгом соответствии с различиями почвенного плодородия, степени деградации почв, в т.ч. мощности корнеобитаемого слоя, засоренности посевов или поражения их вредителями и болезнями [4].

При практическом осуществлении корректировки устаревших почвенных планов исследователь руководствуется характером варьирования цветного отражения ПП на космоснимке. Если ареалы почв гомогенные, то при определении местонахождения почвенных выборок проблем не имеется. При гетерогенном характере ПП исследуемого массива исследователь, используя программный комплекс ENVI, проводит классификационную группировку схожих по цветопередаче ареалов на 4-6 групп. Тем самым подтверждены выводы канадских учёных об оптимизации числа выделяемых на снимках групп. При этом обеспечивается четкость различия выделяемых контуров почв для их идентификации. Но при использовании программного комплекса ENVI по модулю K-Means, удается провести классификацию каждого из агроэкологических ареалов по тону отражения на 5 групп. В данном случае отражательная способность фитоценозов проявляется не по цвету в системе RGB, а по тону передачи информации, о доле отражения спектра поступающей радиации.

Почвенными выборками (прикопки, полуямы и почвенные разрезы), как правило, обеспечиваются все группы основных почв хозяйства. Места (географические координаты) почвенных выборок фиксируются с использованием новейших GPS-навигаторов системы GPS+Glonas с точностью до 3 метров.

При разработке методики оценки почвенного покрова равнинных территорий по материалам ДЗЗ в первую очередь необходимо определить влияние компонентов ПП и биологических особенностей культур на поглощение той или иной части спектра солнечной радиации. Из этого следует задача поиска оптимального варианта синтезирования каналов.

Объективная сложность использования этого метода обусловлена тем, что съемка в большинстве случаев проводится в 5-8 диапазонах солнечной радиации, а в камеральный период исследователь дополнительно использует три цветовых канала: Red, Green и Blue. Это позволяет провести около 1500 вариантов синтезирования. В последнее время для определения оптимального метода синтезирования мультиспектрального космического снимка нами предложено, во-первых, сосредоточить внимание не на характере отражения солнечной радиации, а на специфике ее поглощения почвами и растительностью. Используя коэффициент поглощения солнечной радиации (КПР), в процентах к минимальному (нулевому) поглощению исследователь свободно оперирует результатами компьютерной обработки материалов ДЗЗ в любом программном комплексе. Нами используются ENVI и Adobe Photoshop.

Производственная проверка разработанных принципов оценки качества почвенного покрова по материалам ДЗЗ производилось в нескольких крестьянско-фермерских хозяйствах Омского Прииртышья. Примером использования программного комплекса ENVI является анализ трёх полей КФХ «Яша» (рисунок 1). При этом проводилось сравнение материалов почвенного картирования 1986г. по стандартной методики, космических снимков 2011-2012гг. и результат их классификации кластерным анализом K-Means в программном комплексе ENVI.

Различия, приводимых на рисунке 1 полей характеризуют сложность ПП. Все три полигона в границах полей севооборотов на исходной почвенной карте (а) отражены как чернозем обыкновенный в комплексе с солонцами от 10 до 25%. Но и сам по себе космический снимок не несет конкретной информации о различии качества почвенного покрова, несмотря на достаточно высокую точность отражения изучаемых объектов. Ни цвет рисунка, обусловленный вариантом синтезирования, ни его тон не свидетельствуют о каких-либо существенных особенностях изучаемых полигонов.

Эффективность использования снимков среднего и высокого разрешения зависит от целей проводимых исследований. Снимки с разрешением менее 10 м позволяют выявлять конкретные массивы почв низкого плодородия, нуждающиеся либо в мелиоративных мероприятиях, либо в специфической системе обработки почвы и удобрения посевов.

Наиболее плодородная почвенная группа, показанная на примере исследуемого полигона С отличается однородным почвенным фоном, который достаточно полно может подтверждаться прикопками, а при разногласиях с содержанием почвенной карты – почвенным разрезом в наиболее характерной части полигона. В данном случае преобладающий массив лугово-черноземной почвы окрашен в зелёный цвет, а лесные колки – в голубой (А и С) и красный (В). Результат анализа космического снимка показывает, что поле в мелиоративных мероприятиях не нуждается.

Почвенная группа А отличается наличием нескольких крупных ареалов различных по плодородию почв, каждая из которых нуждается в том или ином виде мелиорации.

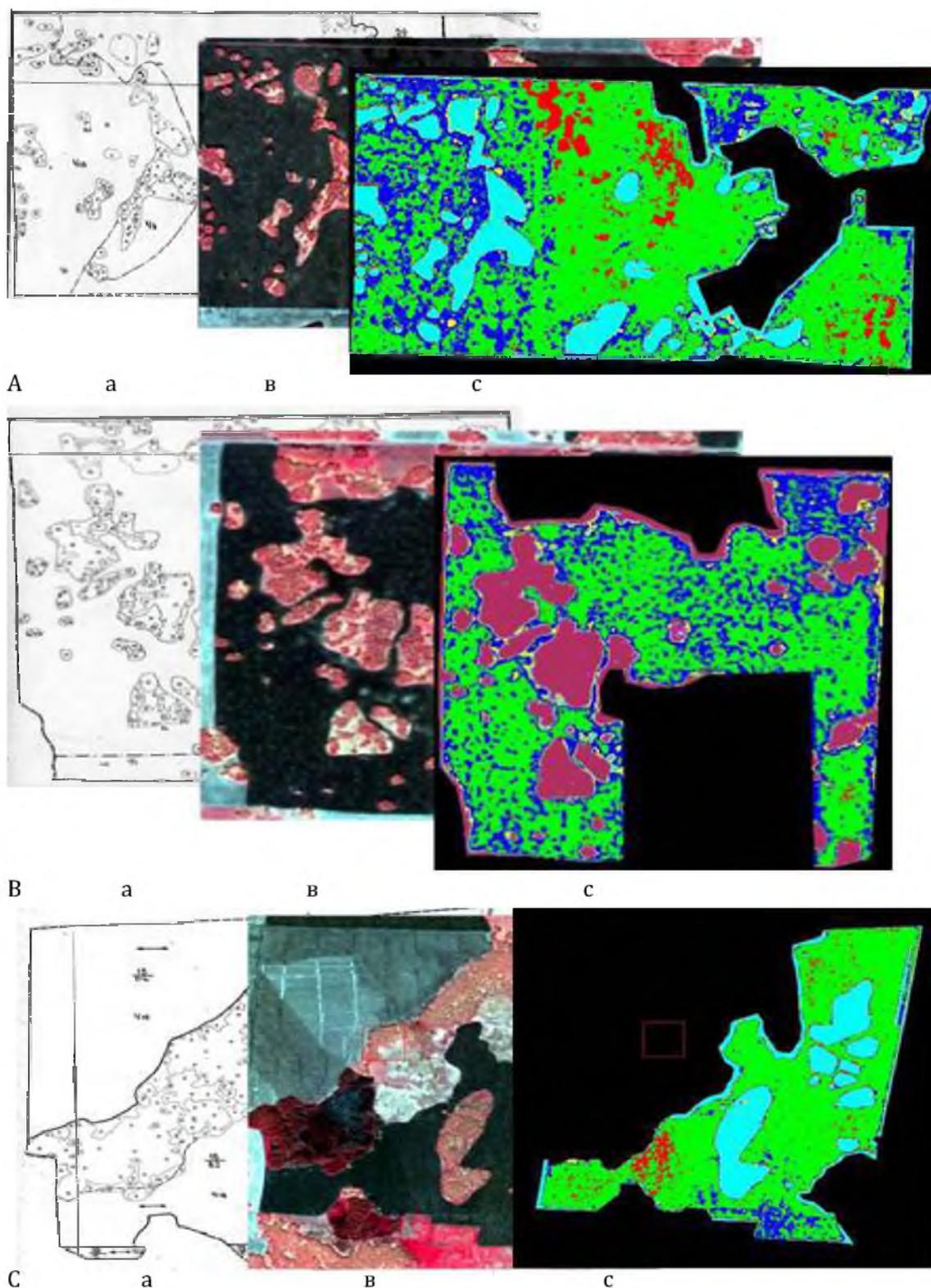


Рисунок 1 - Сопоставление устаревшей почвенной карты (а), космического снимка (в) и результатов классификации агроэкологических ареалов в пределах поля кластерным анализом К-Means в программном комплексе ENVI (с) на трех полигонах КФХ «Яша» Марьяновского района

Программный комплекс ENVI позволяет сразу выдавать сведения о суммарной площади почв этой подгруппы и ее долю в ПП исследуемого полигона. Данное поле нуждается в частичной (точечной) мелиорации.

Наиболее сложный ПП имеет полигон почв группы В. Здесь массив лугово-черноземной почвы (зелёная окраска) почти весь занят пятнами солонца (синий цвет). Данный полевой массив нуждается в сплошной мелиорации.

Оперативное использование космической информации со спутников, производящих съемку не реже трех раз в неделю, позволяет дифференцировать агротехнологию на массивах плодородных почв с участием низкопродуктивных осолоделых, солонцовых или деградированных почв. Именно в этом обеспечивает адаптацию систем земледелия к экологическим и биологическим особенностям природных ландшафтов.

На основе сопоставления светопоглощения парового поля и биоценоза представляется возможным определить для каждого типа сельскохозяйственных культур оптимальный вариант синтеза, который может значительно упростить и снизить стоимость работ по картированию почв и инвентаризации земель.

Объективная сложность использования этого метода обусловлена тем, что съемка в большинстве случаев проводится в 5-8 диапазонах солнечной радиации, а в камеральный период исследователь дополнительно использует три цветовых канала: Red, Green и Blue. Это позволяет провести около 1500 вариантов синтеза. В последнее время для определения оптимального метода синтеза мультиспектрального космического снимка нами предложено, во-первых, сосредоточить внимание не на характере отражения солнечной радиации, а на специфике ее поглощения почва-

ми и растительностью. Используя коэффициент поглощения солнечной радиации (КПР), в процентах к минимальному (нулевому) поглощению исследователь свободно оперирует результатами компьютерной обработки материалов ДЗЗ в любом программном комплексе. Нами используются ENVI и Adobe Photoshop. Последний, наряду с его простотой использования и широким распространением, отличается от многих более сложных программ возможностью вычисления коэффициента яркости Glow.

Коэффициент яркости (свечения, блеска, показатель Glow), в отличие от коэффициента отражения измеряет интенсивность светового потока, отраженного только в каком-либо одном направлении. Другое отличие в том, что он определяется данным программным комплексом одновременно с компонентами коэффициента отражения, но независимо от них. Это позволяет определять зависимость общей степени поглощения солнечной радиации от компонентов коэффициента отражения, используя методы трехмерного анализа поверхности отражения.

Результаты зависимости яркости отражения Glow от каналов Red + (Green+Blue/2) были обобщены с помощью метода пирамид, при котором можно выявить зависимость показателя Glow от диапазонов съёмки и соотношения степени поглощения Red – канала и полусуммы Green и Blue – каналов, выявляется оптимальный вариант решения поставленных задач. К примеру (рисунок 2), проанализированная серия вариантов синтеза снимков одного и того же массива в состоянии пара и в посевах зерновых культур, выявила варианты оптимального решения задачи установления априори известного контрастного различия почв: чернозема и солонца (рисунок 2) на равнинных территориях с комплексным составом ландшафтных экосистем.

Метод пирамиды отражает зависимость Glow от диапазонов съемки и соотношения степени поглощения Red - спектра и полусуммы Green и Blue - спектров



Рисунок 2 - Варианты оптимизации синтезирования мультиспектрального снимка спутника Rapid Eye в программном комплексе ENVI и Adobe Photoshop в целях выявления различий агроценоза на почвах солонцевой экосистемы



Рисунок 3 - Коэффициент спектральной яркости парового поля

После статистической обработки данных паровых полей и агроценозов выявляются различия в поглощении солнечной радиации сельскохозяйственными культурами. Анализ светопоглощения

инфракрасного (теплового) спектра позволяет предположить, что светопоглощение пшеницы на солонце больше, чем на чернозёмной почве, в связи с тем, что количество питательных веществ

меньше в солонце, и культура компенсирует недостаток энергии для роста, поглощая солнечную энергию. Обратная пропорциональная зависимость наблюдается при анализе паровых полей. Чернозёмная почва наиболее богата гумусом (темнее) и в пару аккумулирует в себе больше энергии, чем солонцовые почвы (рисунок 3).

На основе экспериментальных данных впервые были построены математические модели (рисунок 4) для конкретных типов почв в программном комплексе Table Curve 3d. Выбор из множества математических моделей осуществлялся с учётом критерия адекватности, в нашем случае использовался коэффициент детерминации R2, корень из которого есть коэффициент корреляции.

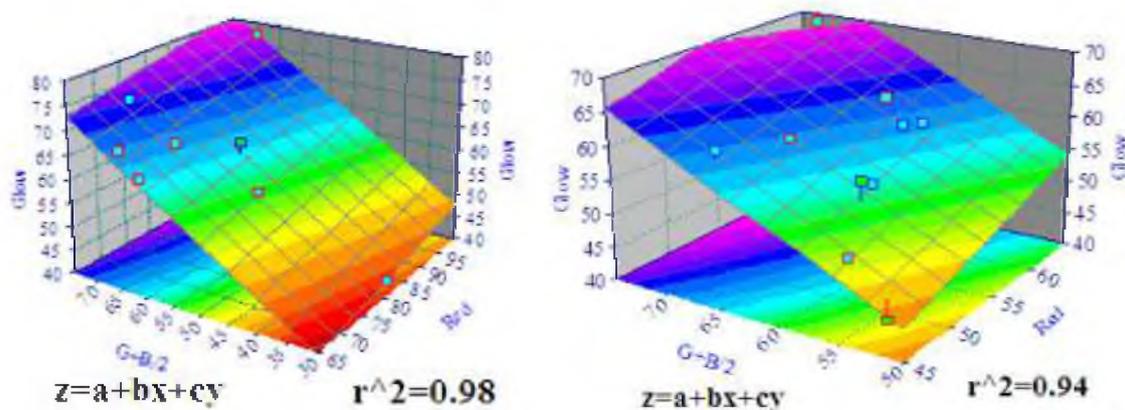


Рисунок 4 - 3d линейная модель данных сравнения чернозёма и солонца при варианте синтезирования R5G2B1

Чем ближе данный показатель к единице, тем адекватнее математическая модель. В нашем случае такой моделью является линейная модель, коэффициент детерминации для различных моделей составляет от 0,89 до 0,99, что вполне достаточно для высокой оценки прогнозируемых исследований. Данные математические модели позволяют спрогнозировать изменение одного параметра и влияние его на другие параметры. На основе математических моделей мы можем осуществлять прогнозирование исследуемого процесса как внутри экспериментального поля (интерполяция) так и вне экспериментального поля (экстраполяция). Ошибка при прогнозе составляет менее 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, альянс инновационных технологий познания природы и разработки современных агротехнологий, легко изменяемых, на основании оперативной космической информации о состоянии системы почва - растения с теоретическим анализом поступающей информации на основе методологии системного анализа и когнитивного инструментария, позволяет выявлять региональные особенности и непредсказуемые отклонения при реализации планов и прогнозов с целью обеспечения максимальной производительности производства с учетом интересов данной территории и рационального использования местных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.С. Кауричев, Л.Н. Александрова, Н.Н. Панов и др.// Почвоведение. М.: Колос, 1982. 496 с.
2. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв// Уч. пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
3. Шаяхметов, М.Р., Л.В. Березин Методологические основы изучения природно-ресурсного потенциала региона// Омский научный вестник. 2012. №1 (108). С. 146-149.
4. Шаяхметов, М.Р. Точное земледелие (Precision Agriculture) – путь к ресурсосбережению. Омский научный вестник. 2013. №1 (118). С. 197-200.

ТҮЙІН

Мақалада жиіліктің әр түрлі диапазонындағы суреттерді дифференциалды синтездеу жолымен жерді қашықтықтан зондылау материалдарын топырақтық жіктеудің жаңа әдістері алғаш рет жариялануда. Осы мақсатта жер бедерінің сандық моделі қолданылмайтын жазық аймақтардың топырақ жамылғысын талдау үшін, тікелей бағытталған жарық шағылғыштың жарықтығы мен спектрдің инфрақызыл диапазонына елеулі назар аударылады.

SUMMARY

New approaches to soil decoding of remote sensing materials of the Earth by the differentiated synthesizing of images in different frequency bands were firstly published in this article. Considerable attention devotes to the infrared range and the luminance of directional light reflection for the analysis of plains regions soil landscapes where using of digital terrain model for these purposes is not applicable.