

УДК 528.88:631.4

Влияние диапазона съемки на информативность космических снимков экосистем на землях сельскохозяйственного назначения

Березин Леонид Владимирович

Аннотация:

Эффективность анализа спектра отраженной солнечной радиации на космических снимках агроэкосистем посевов зерновых культур и залежных земель, намечаемых к повторному освоению, повышается при кластеризации по интенсивности светоотражения. Спектральная кривая выделяемых классов определяется диапазоном съемки. Ее максимальная информативность достигается на этапе синтезирования снимков при приоритете инфракрасного диапазона спектра отражения солнечной радиации, по сравнению с его видимой коротковолновой частью.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мультиспектральные снимки, диапазон съемки, спектр солнечной радиации

The role of shooting range on information content of ecosystems space pictures of lands of agricultural purpose

Berezin Leonid Vladimirovich

Abstract:

The efficiency of the analysis of a range of the reflected solar radiation in space pictures of the grain crops and laylands, which are planned to repeated development, increases at a clustering on light reflection intensity. The spectral curve of the allocated classes is defined by a shooting range. Its maximum information content is reached at the stage of pictures synthesizing at a priority of infrared range of a range of reflection of solar radiation, in comparison with its visible short-wave part.

Keywords: remote sensing, multispectral pictures, shooting range, range of solar radiation

Введение Новый этап почвенной науки XXI века характеризуется широким использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в целях корректировки устаревающих почвенных карт, мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения, уточнения местоположения ареалов почв низкого плодородия, оценки плодородия земель различной степени деградации, а также мониторинга динамики свойств почв на участках проводимых многолетних полевых и производственных опытов [8]. Среди основных тенденций развития технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно отметить стремление ведущих мировых операторов космических

аппаратов (КА) совершенствовать их техническое оснащение и, соответственно, возможности, снижение стоимости и повышение доступности широкой аудитории потребителей космической информации [1].

В конце XX века практически все страны Мира использовали снимки КА Landsat (США), имеющих разрешение на местности 30 м на пиксель. Они позволили владельцам информации составлять прогноз производства сельскохозяйственной продукции любой страны, а также обосновывать поиски полезных ископаемых даже на дне океанов. Конкуренцию обеспечивали российские аппараты типа Ресурс и т.п., но они уступали по диапазону съемки, а следовательно по информативности результатов.

Прорыв был сделан Индией, которая благодаря запуску 28.12.1995 г. спутника высокого разрешения IRS-1 (5 м на пиксель), который был осуществлен российской ракетой «Молния» с космодрома Байконур (Казахстан), стала третьей страной, обладающей своими КА. Новый аппарат Индии IRS-5 (Cartosat-1), запущенный через 10 лет (2005 г.), позволил получать стереопары земных объектов. Это облегчило создание цифровой модели рельефа. Благодаря этому была создана база новой методики картографирования почвенного покрова, принятой практически почвоведомы всех стран [7, 8, 10]. Теоретической основой этого способа является одно из основных положений учения В.В. Докучаева о прямой связи почвенного покрова с рельефом местности.

Однако эта методика не может использоваться в равнинных регионах. Поисковыми исследованиями равнинных территорий Приамурья со сложной структурой почвенного покрова (ПП), благодаря тесной обратной коррелятивной связи между содержанием гумуса и показателями интегрального отражения солнечной радиации, уже в 1996 была установлена возможность применения материалов ДЗЗ для оценки контрастности и неоднородности ПП.

Близкие по методике наши исследования, проведенные в начале XXI в. в лесостепи и степи Западной Сибири, показали слабую информативность подобных отношений на распространенных в черноземной полосе Сибири среднегумусовых почвах. Совершенствование методики анализа спектра отражения солнечной радиации позволило оценить состояние эрозионно-деградированных массивов и рассчитать нормы внесения органических удобрений в целях восстановления их продуктивности [11, 14].

В современных условиях все большей популярностью пользуются мультиспектральные оптико-электронных системы высокого и сверхвысокого разрешения. Они позволяют оперативно получать информацию о всех изменениях состояния земных объектов, упрощают и облегчают планирование различных работ, необходимых для жизнедеятельности человека с высокой точностью «привязки», но главное, обеспечивают эффективный контроль за

соблюдением любых природоохранных требований, обеспечивающих оптимизацию агроэкосистем.

Большая часть материалов ДЗЗ получена учеными разных стран при сочетании диапазонов космической съемки в видимой и ближней инфракрасной части солнечного спектра на основе особенностей цифровой модели рельефа [6, 13]

Стандартизация методики обработки материалов ДЗЗ упрощает их почвенное дешифрирование. При облегчении информативности космической съемки по данному принципу, нельзя не видеть в нем фактического усреднения биоразнообразия состава экосистем, которое является основой жизни на Земле. Получаемая картина использования земельных фондов по такой методике дешифрирования материалов ДЗЗ игнорирует не только сортовые различия растительности или эффективность приемов обработки почвы и сочетания элементов НРК удобрений, но, главное, искажает взаимосвязи основных компонентов экосистем: почвы и фитоценоза.

Очевидно, этим обусловлено развитие в последние годы внимания к показателям вегетационных индексов растительности (NDVI) [8]. Но более 20 предложенных разными исследователями вариантов расчета этих показателей уже само по себе свидетельствует о несовершенстве самого принципа изолированного анализа растительности как компонента экосистем в отрыве от условий ее развития.

Цель проведенных исследований – изучить материалы космической съемки высокого разрешения агроэкосистем, получаемых в различных диапазонах спектра, для оценки состояния и рационального использования земельных фондов, как при сельскохозяйственном использовании, так и в залежном состоянии.

Предметом исследований последних лет являлось изучение взаимосвязи поглощенной части солнечной радиации с качеством почвенного и растительного покрова в степной и лесостепной зонах Юга Западно-Сибирской равнины.

Методика исследований. Объектами исследований, проведенных в последние годы с помощью мультиспектральных снимков германского аппарата RapidEye высокого разрешения (5м), были посевы зерновых культур на солонцово-черноземных почвенных комплексах вдоль долины бывшей реки Камышловки, разделяющей северную и южную часть лесостепи Ишим-Иртышского междуречья, а также залежные массивы, расположенные на почвах черноземно-солонцового комплекса Западной Барабы [2].

В целях детализации информации о комплексности ПП с помощью синтезированных снимков, получаемых в видимой и ближней инфракрасной части спектра солнечной радиации, использовался программный комплекс ENVI, версия 5.0 (США), обеспечивающий кластеризацию усредненных

показателей методом к-средних (по модулю K-Means). Он позволяет автоматически разгруппировать все участки, различающиеся по величине и характеру светоотражения. На этапе кластеризации с учетом первоначального опыта и рекомендаций канадских ученых, разработанных при исследовании земельных фондов Индии, применялась группировка на 10 кластеров. Они косвенно характеризуют уровень плодородия почвы и продуктивность биогеоценоза [БГЦ].

Анализ космических снимков агроценозов одних и тех же полей проводился в течение двух лет в период парования поля севооборота и посевов по пару яровой пшеницы в фазу от цветения до начала созревания посевов.

Разнокачественность классов светоотражения БГЦ изучалась в 5-10 кратной повторности на участках площадью не более 300 пикселей, а при крайне сложном ПП по участкам в 6-8 пикселей. После анализа космических снимков на типичных ареалах БГЦ закладывались почвенные разрезы и иные почвенные выборки. Они определяли принципы агротехнологии возделывания полевых культур.

По анализу спектра отражения залежных массивов определялась однородность БГЦ для решения вопроса о сложности агротехнологии повторного освоения, ее трудоемкости и очередности освоения залежных земель.

Данная методика принципиально отличается от стандартной методики почвенного картирования на основе аэрофотосъемки, которая применима лишь на полях лишенных растительного покрова, т.к. он маскирует сложность ПП, а оценка полей с растительностью на основе цифровой модели рельефа позволяет прогнозировать изменение состава почв по элементам макро- и мезорельефа, исходя из ранее установленных общих закономерностей связи почв и рельефа. В обоих случаях трудно ожидать объективной оценки состояния изучаемых агроэкосистем, каждая из которых имеет свои характерные особенности и свой характер динамики свойств и взаимосвязи компонентов экосистемы в различных климатических и ландшафтных условиях на фоне разнообразия современных агротехнологий использования пахотных земель.

Результаты исследования и их обсуждение Известно, что в конце XX века многие ведущие страны Мира стали сокращать площади посева большинства продовольственных культур. На фоне непрерывно растущего населения планеты из активного оборота выведено с 1961 по 2003 гг. 223 млн га сельскохозяйственных угодий, в т.ч. в семи странах – основных производителях продуктов питания – 176 млн га. В этом списке первое место занимает Россия – 58,3 млн га, затем Австралия – 40 млн га; США – 35,6 млн га и страны Европы 25,1 млн га [9, с. 46]. Причины этого процесса различны, но результат всегда

сказывается на сокращении количества продовольствия и растущих ценах на продукты питания.

После 1990 г. из пашни в России было выведено, по разным причинам, около 40 млн. га – четвертая часть посевных площадей – больше, чем было освоено в восточных регионах страны за все три этапа широкого освоения новых земель: в начале XX века в годы столыпинских реформ, в 30-е предвоенные годы – после проведения коллективизации сельского хозяйства, и в середине истекшего века – в период восстановления народного хозяйства после второй мировой войны [14].

В последние годы принимаются определенные меры по восстановлению в пашне ранее использовавшихся земель. По сообщению Министра сельского хозяйства России А. Ткачева в ближайшие годы необходимо ввести в оборот не менее 10 млн. га. Этот показатель превышает планы СССР на 1953—1954 гг. по освоению земель в Сибири и Казахстане вместе взятых.

Во избежание ранее допущенных ошибок при выборе подлежащих распашке массивов малоплодородных и эрозионно-податливых массивов, в современных условиях необходимо учесть накопленный в 1980—1990 гг. опыт рационального использования земель сельскохозяйственного назначения. Однако упразднение в стране в 1995—2000 гг. почвенной службы привело к тому, что хозяйства вновь не имеют качественных почвенных карт, т.к. нормативный срок действия почвенной карты М 1:25 000 не более 15 лет.

Оперативная информация о состоянии всех экосистем и использовании земельного фонда любого землевладения и в целом субъектов государства может быть обеспечена лишь при использовании материалов ДЗЗ.

Большая часть методических указаний по дешифрированию материалов ДЗЗ применительно к оценке III предусматривает уже на первом этапе работ синтезирование снимков, полученных в разных диапазонах съемки.

В отличие от ранее применяемых для почвенного картирования черно-белых аэрофотоснимков, современные мультиспектральные снимки космических аппаратов, создаются одновременной работой нескольких съемочных камер, каждая из которых дает отражение в определенном диапазоне солнечного спектра. Благодаря проводимой в камеральный период компьютерной комбинации снимков, получаемых в разных диапазонах и цветовых каналах можно получить до 1500 вариантов синтезированного изображения изучаемых объектов. Однако большинство исследователей используют вариант их сочетания при соотношении красного (R), зеленого (G) и синего (B) диапазонов солнечного спектра по типу R5G3B2. Это позволяет получать изображение земельных угодий в «естественных» цветах, близких к восприятию объектов глазом человека. Но задачей почвоведов является обоснование оптимального, т.е. максимально объективного варианта синтезирования, и оценка информативности каждого из диапазонов съемки.

Первый опыт исследования вариантов синтезирования нами проводился на полях опытного хозяйства СибНИИСХ «Омское» сопоставлением содержания ранее составленной почвенной карты хозяйства и материалов ДЗЗ полученных с КА Landsat-7 (при разрешении 30 м на пиксель) и IRS&LISS (5 м) (рис.1).

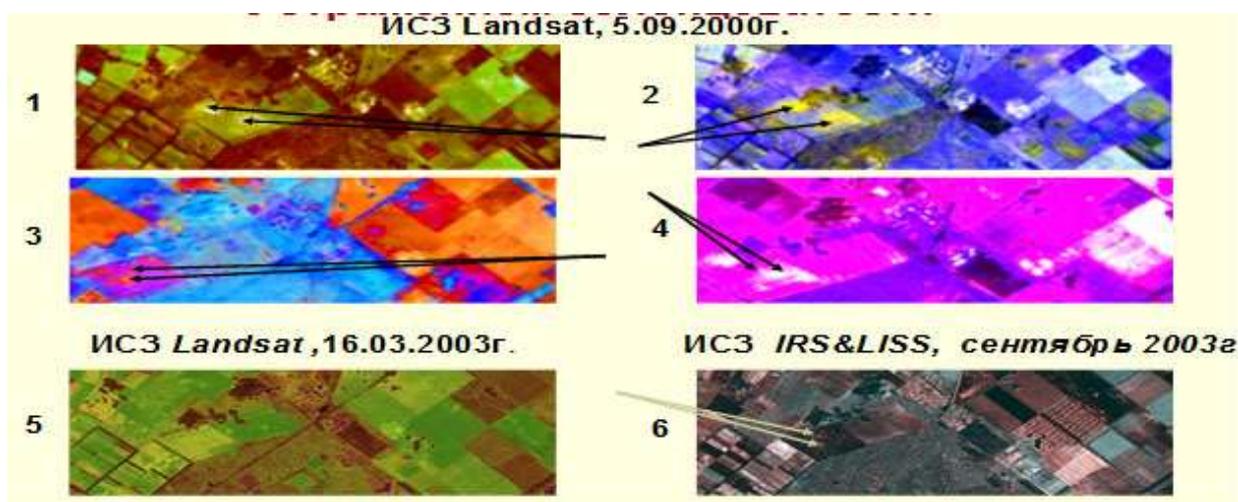


Рис. 1 - Варианты синтезирования снимков светоотражения полей ОПХ «Омское» на почвах черноземного типа с пятнами солонцов. Как видно на рисунке 1, информация о состоянии почвенного покрова полей севооборота различается не только на снимках разного типа и года съемки, но даже на одном и том же снимке в зависимости от варианта синтезирования. В частности, солонцеватость почв наиболее четко проявляется в данном хозяйстве на варианте 4, который был получен при синтезировании спектра отражения солнечной радиации в системе RGB по типу R50G30B10 (иначе R5G3B1) и практически не обнаруживается при синтезировании спектра на варианте 3 по типу R30G10B70. Но снижение контрастности почвенного покрова на последнем снимке компенсируется более четким выделением полей севооборота и, соответственно спектра возделываемых полевых культур.

Особую значимость методика синтезирования играет при анализе процессов подтопления территории не только вблизи водохранилищ, но даже при равнинном характере степной зоны Юга Западной Сибири (рис. 2).

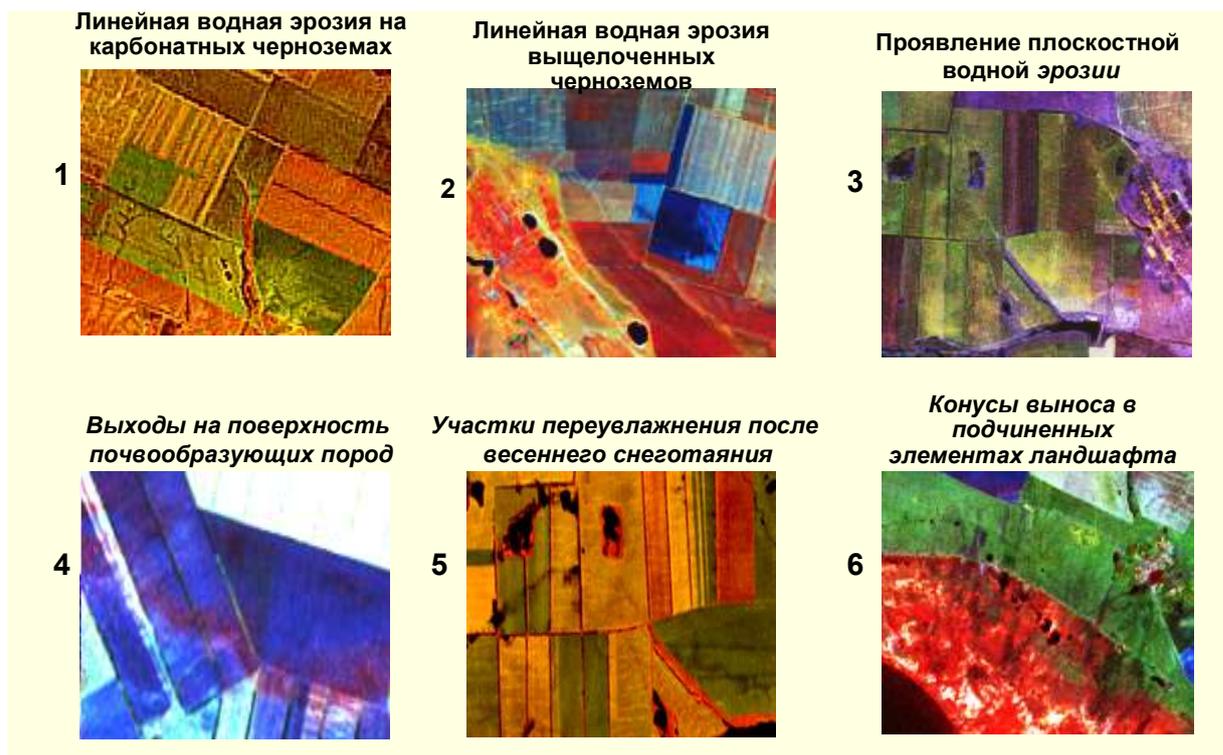


Рис. 2 - Варианты отражения типов эрозии и переувлажнения на снимках КА Landsat-7 в Ишимской степи Юга Омской области

Проведенные исследования материалов ДЗЗ на почвах в степной и лесостепной зонах сибирского региона показали возможность определения не только светоотражения полей на землях сельскохозяйственного назначения, но и характера поглощения ими солнечной радиации. А это – основа повышения плодородия почвы и получения высокой урожайности полевых культур [3, 4].

Детальное изучение роли диапазонов съемки агроэкосистем при последовательном увеличении доли длинноволновой (красной и инфракрасной) части спектра отраженной солнечной радиации проводилось в 25 вариантах синтеза космических снимков. На рисунке 3 приведены сокращенные варианты анализа лишь в синем и красном каналах компьютерной обработки снимка одного и того же поля за 2011 (в период парования, рис. 3 А1 и В1) и 2012 гг. при возделывании яровой пшеницы (рис. 3 А2 и В2).

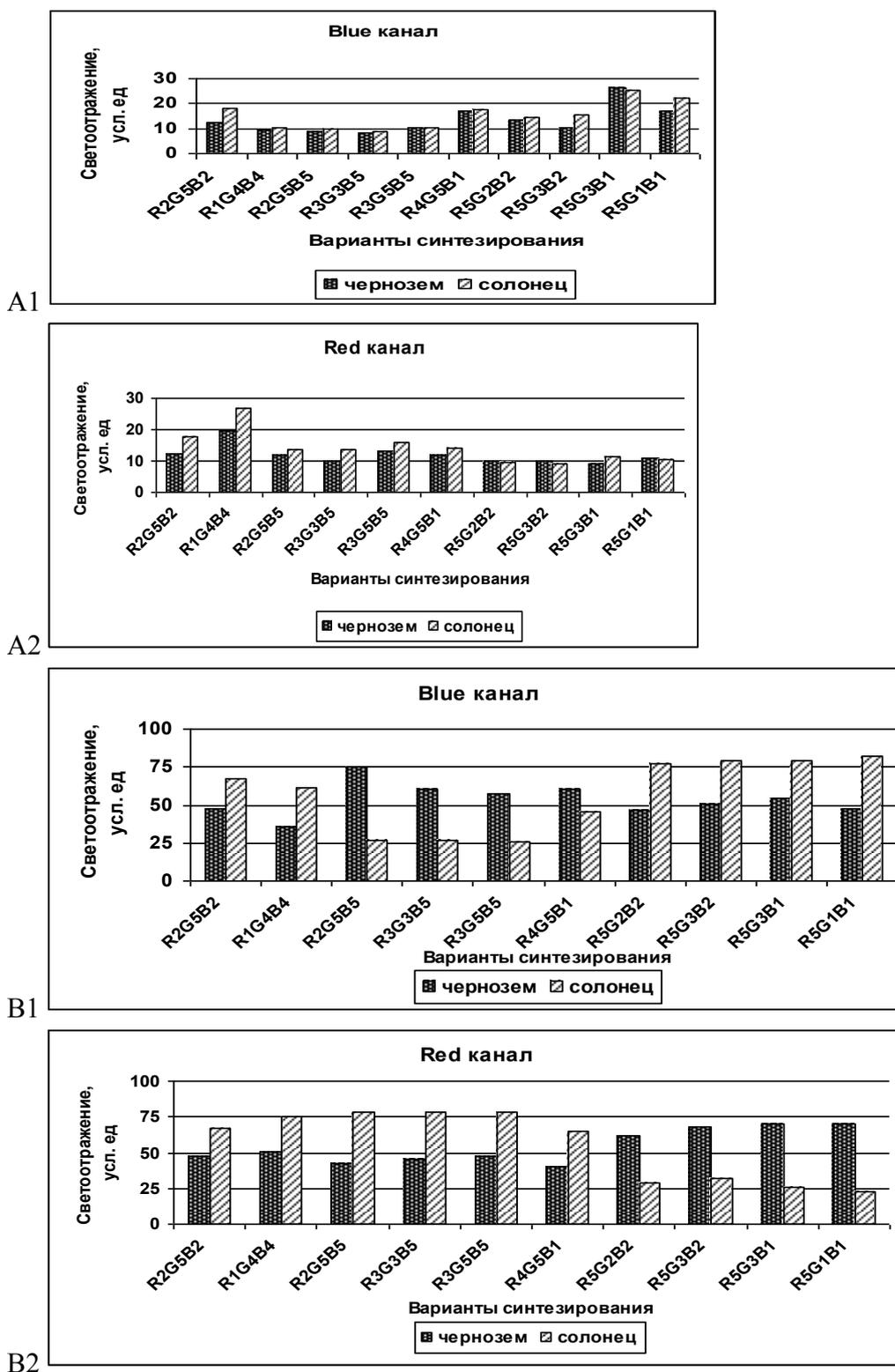


Рис. 3 - Светоотражение агроэкосистемы южной лесостепи Западной Сибири в период парования (А) и последующего возделывания яровой пшеницы (В) на солонцово-черноземном комплексе почв при различном сочетании диапазонов съемки и цветовых каналов.

Березин Л. В., Влияние диапазона съемки на информативность космических снимков экосистем на землях сельскохозяйственного назначения // «Живые и биокосные системы». – 2016. – № 15; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-15/article-4>

Представленные результаты однозначно свидетельствуют о том, что светоотражение посева пшеницы значительно выше, чем парового поля. Открытая поверхность почвы в агроэкосистемах в период парования отражает ничтожную часть поступающей на Землю солнечной радиации, поглощая 80-90 % энергии и коротковолновой, и длинноволновой радиации. Благодаря этому в поле создается тот запас энергии, который в последующие годы обеспечивает высокую продуктивность возделываемых культур, а также накопление гумуса в почве и иные почвенные процессы.

При анализе космических снимков посевов зерновых культур в синем канале невозможно обнаружить закономерных изменений в поглощении солнечной радиации компонентами почвенного покрова. Но анализ отражения радиации того же поля в Red-канале показывает, что при синтезировании снимков с преобладанием синего (B) и зеленого (G) видимых коротковолновых диапазонов съемки четко проявляется значительное поглощение радиации черноземной почвой и ее высокое отражение на пятнах солонцов.

Обратная картина обнаруживается при повышенной доле инфракрасного (пятого) диапазона в комбинации снимков. Посев яровой пшеницы на черноземе отражает более 50 % поступившей на землю солнечной радиации, а светоотражение ее изреженных посевов на пятнах солонцов в три раза слабее, чем при съемке в видимой части спектра (лишь около 25 %).

Особое значение роль диапазона съемки играет при использовании космической информации в целях оценки качества почвенного покрова залежных земель, намечаемых к повторному освоению. Известно, что в середине истекшего века многие хозяйства в период широкого освоения целинных земель, не имея почвенных планов или грамотных специалистов, ошибочно распахивали массивы с повышенной долей солонцовых почв низкого плодородия. После реформирования сельского хозяйства в конце XX века большая часть таких массивов не используется и, либо зарастает лесом, либо является низкопродуктивными пастбищами. Однако окрепшие землепользователи, стремясь увеличить продуктивность своего земельного фонда и рентабельность производства, уже во втором десятилетии XXI века, приступили к освоению заброшенных земель. Одним из таких хозяйств Омской области явилось ООО «Нива» Горьковского района, расположенного по Правобережью Иртыша.

Имея 6000 га пашни, руководство хозяйства наметило к освоению 3000 га залежных массивов. По рекомендации почвоведов Омского аграрного университета оно в первую очередь приобрело в 2014 г. мультиспектральный снимок космического аппарата RapidEye (2013 г., июнь) высокого разрешения (5 метров на пиксель).

В подготовительный период, еще до выхода в поле, в ходе углубленного анализа усредненных показателей светоотражения основных компонентов ПП методом кластеризации к-средних были выделены на каждом из бывших полей ареалы самостоятельных специфических биогеоценозов. После этого для оценки состояния залежных фитоценозов было проведено почвенно-геоботаническое обследование залежных массивов, при котором границы выделенных по космическим снимкам самостоятельных ареалов БГЦ сопоставлялись с результатами почвенного картирования 1986 г.

По результатам маршрутного почвенного обследования всех залежных земель хозяйства были выделены только 6 массивов, общей площадью около 1000 гектаров, на которых хозяйство при минимальных затратах на освоение залежей своими силами, без подрядных организаций, сможет рентабельно возделывать зерновые культуры.

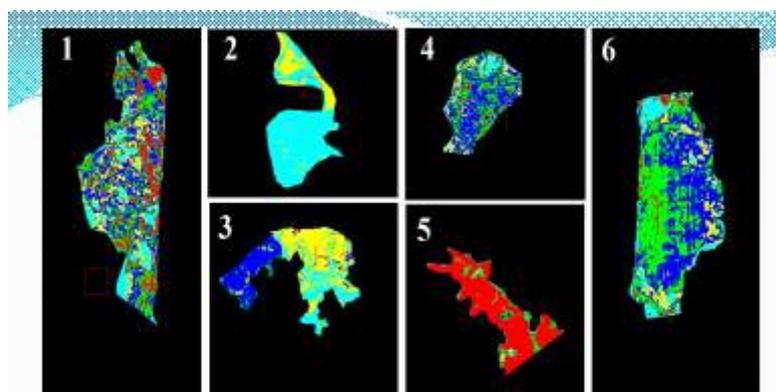


Рис. 4 - Изображения залежных массивов после кластеризации снимка экосистемы в микрорайоне преобладания черноземно- солонцового комплекса почв.

Сопоставление шести земельных массивов по составу компонентов экосистем показало их резкие различия между собой, хотя почти все они расположены в равных ландшафтных условиях на слабоволнистой равнине при высоте над уровнем моря 115-117 м.

Основным фактором данного разнообразия является степень сложности ПП.

Наибольшая сложность видна на массиве № 1 (рис. 4). Практически здесь отсутствуют однородные участки площадью более 5 га. Исключением являются березовые лески – «колки», выделяющиеся светлой окраской.

Освоение таких массивов в пашню в настоящее время не целесообразно, так как технически пока невозможно обеспечить дифференциацию элементов агротехнологии. На данном массиве оказалось невозможным обосновать спектральную кривую взаимосвязи диапазона спектра космической съемки и светоотражения компонентов экосистемы, поскольку величина коэффициента

детерминации не подтвердила наличие закономерности показателя аппроксимации светоотражения компонентов экосистемы, ни линейной ($R^2 = 0,11$), ни степенной криволинейной ($R^2 = 0,07$). Лишь расчет тренда полиномиальной зависимости 3 степени показал допустимую величину искомой спектральной кривой ($R^2 = 0,41$).

Принципиально иную структуру имеет экосистема залежного биогеоценоза № 5. Фоном является разнотравно-злаковый мятликово-кострецовый луг на лугово-черноземной почве. Солонцы встречаются небольшими контурами (рис. 5А). Они не препятствуют освоению данной залежи силами самого хозяйства. Таких массивов, пригодных к освоению без значительных затрат, выделено лишь 10% к площади пашни хозяйства (640 га).

Расчеты влияния диапазона космической съемки на величину коэффициента спектральной яркости светоотражения показали, что на массивах с преобладанием черноземных почв не только криволинейная, но и простая линейная связь свидетельствует о достаточно высокой информативности снимков в видимом диапазоне даже в сине-зеленой коротковолновой части солнечного спектра (рис. 5В-Д). Но при дополнительном учете длинноволновой инфракрасной части спектра (рис. 5D) коэффициент детерминации спектральной кривой посева пшеницы на почвах черноземного типа достигает максимально высокого значения ($R^2 = 0,89$).

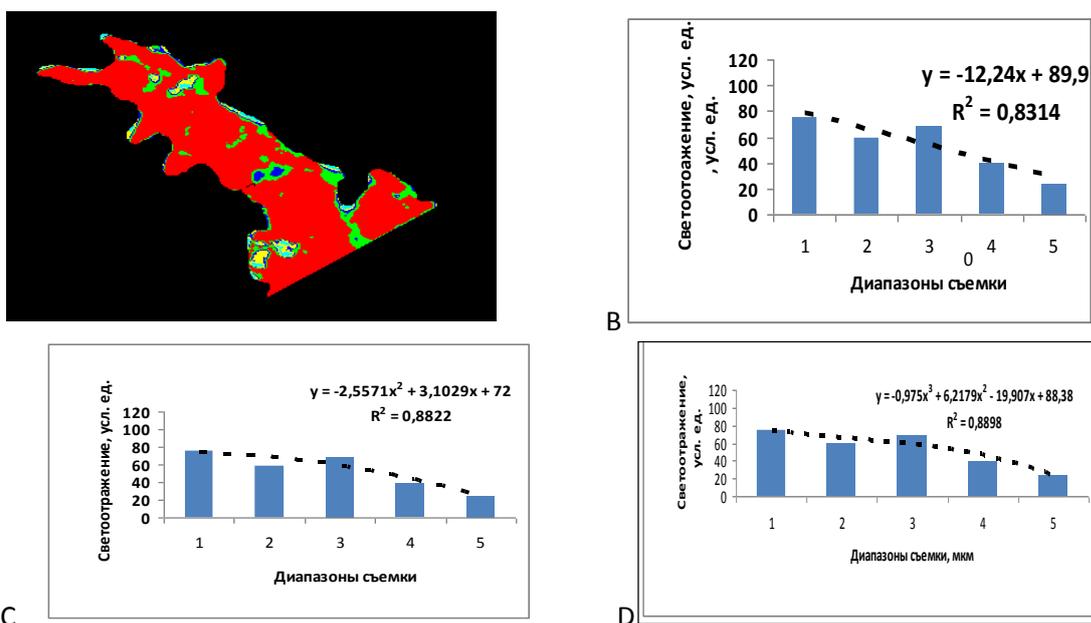


Рис. 5 - Структура экосистемы при слабой комплексности почвенного покрова. А - Залежный массив № 5 после проведения кластеризации; В – диаграмма влияния диапазона съемки на величину тренда светоотражения, линейная связь; С - то же, полиномиальная связь 2 степени; D - полиномиальный тренд 3 степени.

Особая картина проявилась после обследования массива № 3, расположенного вокруг небольших березово-осиновых «колков». Хотя данный массив отличается практически однородным почвенным фоном, что достаточно полно подтверждается почвенным разрезом и прикопками, сам по себе космический снимок, как и фотография участка, не дают ключа для оценки плодородия почвы (ср. рис. 6А и 6В).

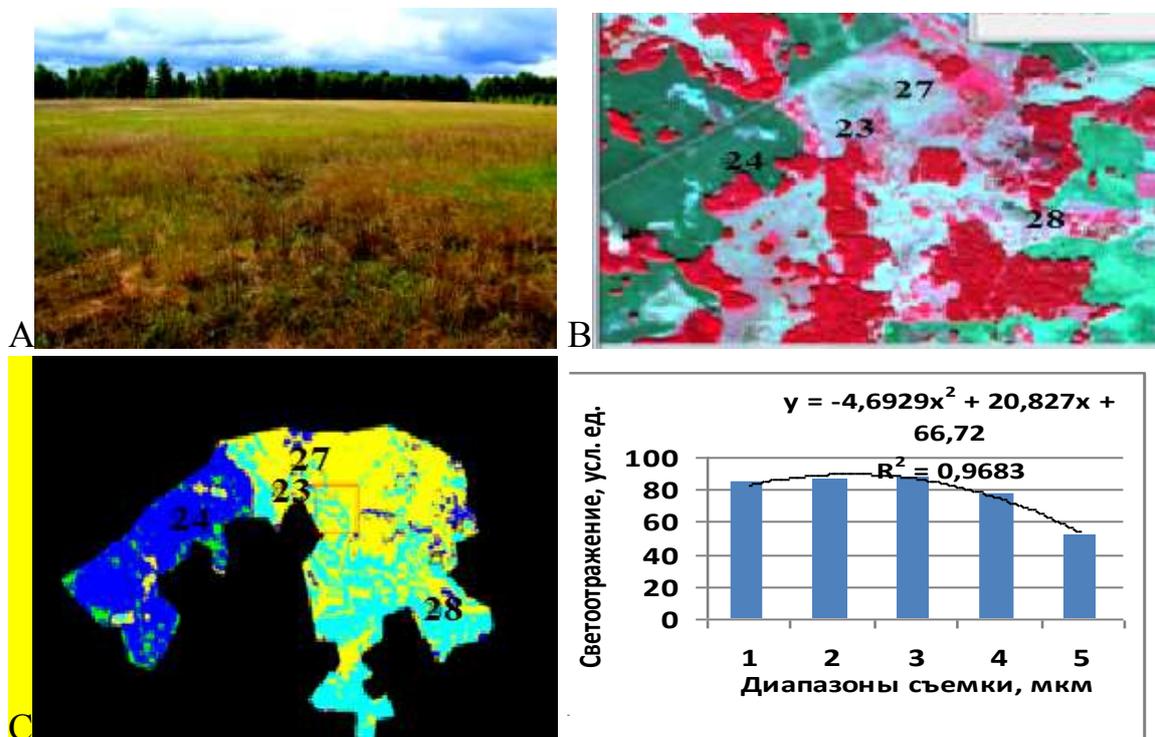


Рис. 6 – Сопоставление фотографии залежного массива № 3 (А), космического снимка (В), результатов кластеризации компонентов экосистемы (С – цифрами обозначены номера прикопок и разрезов) и расчет полиномиального тренда 2 степени (D).

Лишь после кластеризации снимка на нем выявились различные компоненты экосистемы, различающиеся по величине светоотражения, которые после полевого почвенного обследования и уточнения признаков почвы показали, что массив в основном занят солонцами мелкими (серый тон), но местами встречаются пятна солонца коркового (светлые участки). В центре данного массива есть участок черноземной почвы, окрашенный программой K-mpens при кластеризации методом к-средних в светло желтый цвет, остальная часть занята солонцами (синий и голубой цвет). В черно-белом варианте печати они различаются оттенками серого цвета.

Залежный массив под номером 3 показал наличие четкой взаимосвязи при расчетах тренда спектральной кривой, как при линейной, так и экспоненциальной, полиномиальной второй и третьей степени взаимосвязи показателей светоотражения и диапазона космической съемки. Во всех

вариантах расчетов проявляется существенная корреляция с коэффициентами от 0,60 до 0,99.

Был сделан вывод, что данное поле целесообразно повторно вовлечь в пашню, но после этого оно нуждается в выборочной химической мелиорации при внесении различных доз гипса.

В итоге в пределах хозяйства на основе материалов ДЗЗ были выявлены массивы залежных земель, на которых после освоения возможно эффективное возделывание зерновых культур, а также массивы с отрицательной оценкой, освоение в пашню которых в современных условиях, без существенного дополнительного финансирования из Госбюджета, не целесообразно. Рекомендовано использовать их в качестве естественных кормовых угодий.

Уже в 2015 году была проведена первичная обработка залежного луга на массиве № 6, который расположен на Прииртышском увале и ранее использовался как орошаемый участок, хотя значительная его часть представлена почвами солонцового типа. Работы проводились по новой технологии мелиоративной обработки почв [5,12].

Заключение

Углубленный анализ космических снимков земель сельскохозяйственного назначения, как при интенсивном использовании, так и в залежном состоянии, позволяет выделить по особенностям спектра отражения не только степень поглощения солнечной радиации компонентами изучаемой агроэкосистемы, но и зависимость получаемой информации о ее составе в коротковолновом (синем) и ближнем инфракрасном диапазоне космической съемки.

Такой подход обеспечивает возможность выбора космического аппарата для оценки состояния земельного массива не только с позиции масштаба съемки на основе параметров разрешения космических аппаратов, но и с учетом возможности всестороннего учета свойств компонентов экосистемы, как растительного, так и почвенного покрова.

Библиографический список

1. Андроников В.Л. Дешифрирование почв и сельскохозяйственных культур по спектральным и многозональным аэроснимкам // Исследование природной среды космическими средствами. М., 1976. – С. 147—155.
2. Березин Л.В. Почвенно-мелиоративное районирование солонцовых комплексов Зауралья и Западной Сибири // Науч.-техн. бюл. // Новосибирск: Сиб. отд-ние ВАСХНИЛ, 1985. – С. 104—111.
3. Березин Л.В. Способность к поглощению солнечной радиации почвами и биоценозами // Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины. Мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону. 3—5.10.2013. – С. 371-372.
4. Березин Л.В., Шаяхметов М.Р., Гиндемит А.М. Изучение поглощения солнечной радиации почвами и агроценозами на основе анализа космической информации // Почвоведение и агрохимия Каз. НИИ почвоведения и агрохимии. Алматы, 2014, № 4. – С. 92—102.
5. Гиндемит А.М., Чекусов М.С. Новый способ мелиоративной обработки малопродуктивных уплотняющихся почв // Мат-лы Международной науч.-практ. конф. «Проблемы рационального использования малопродуктивных земель» (28—29 апреля 2009 г.). – Омск: изд-во РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИСХ, 2009. – С. 131—135.
6. Зинченко В.Е., Лохманова О.И, Калиниченко В.П. [и др.], Космический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения юга России // Исследования Земли из космоса. 2013. № 3. – С. 33—45.
7. Златопольский А.А. Мультимасштабный анализ цифровой модели рельефа. Экспериментальные закономерности //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 12. 2015. № 3. – С. 27—35.
8. Книжников Ю.Ф, Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Изд. центр «Академия», 2011. – 416 с.
9. Люри Д.Ю., Горячкин С.В. [и др.] Закономерности вывода из оборота сельскохозяйственных земель в России и мире и процессы постагрогенного развития залежей //Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: мат-лы всеросс. науч. конф. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – С. 45—71.
10. G. Mitchell. Цифровые модели рельефа, созданные по данным спутниковой стереосъемки и лазерного сканирования: сравнительный анализ. Геоматика, №4 (9), 2010. http://sovzond.ru/upload/iblock/78d/2010_04_010.pdf

11. Патент 3233718. Российская Федерация. Способ внесения органических удобрений / Л. В. Березин, О. С. Сергеева, Д. А. Климович. Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – 2008 г. Приоритет 11.12.2006.
12. Патент 2407262. Российская Федерация, ПМК А01В 79/02. Способ мелиоративной обработки почвы / Л.В. Березин, А.М. Гиндемит; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2008130219/21; заявл. 21.07.08; опубл. 27.12.10, бюл. № 36.
13. Савич В.И. Агрономическая оценка отражательной способности системы почва-растение методом компьютерной диагностики: метод. пособие. М.: МСХА, 2005. – 75 с.
14. Сергеева О.С., Березин Л.В. Научные основы мониторинга и процессов деградации почв с использованием космической информации. // Мат-лы Междунар. конф. по борьбе с опустыниванием. Абакан: НИИ аграрных проблем Хакасии, 16—19 мая 2006. – С. 298—305.

A List of Literature

1. Andronikov L.V. Deshifirovanie pochv i sel'skoxozyajstvennyx kul'tur po spektral'nym i mnogozonal'nym ae'rosnimkam / L.V. Andronikov // Issledovanie prirodnoj sredy kosmicheskimi sredstvami. – М., 1976. – S. 147-155.
2. Berezin L.V. Pochvenno-meliorativnoe rajonirovanie soloncovyx kompleksov Zaural'ya i Zapadnoj Sibiri /L.V. Berezin. - Nauch.-texn. byul. // Novosibirsk: Sib. otd-nie VASXNIL, 1985. - S. 104-111.
3. Berezin L.V. Sposobnost' k pogloshheniyu solnechnoj radiacii pochvami i biocenozami /L.V. Berezin // Aktual'nye problemy biologii, nanotexnologij i mediciny. Mat-ly V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. . Rostov-na-Donu. 3-5.10.2013. – S. 371-372.
4. Berezin L.V. Izuchenie pogloshheniya solnechnoj radiacii pochvami i agrocenozami na osnove analiza kosmicheskoy informacii / L.V. Berezin, M.R. Shayaxmetov, A.M. Gindemit // Pochvovedenie i agroxiimiya Kaz. NII pochvovedeniya i agroxiimii . Almaty, 2014, № 4. - S. 92-102.
5. Gindemit A.M. Novyj sposob meliorativnoj obrabotki maloplodorodnyx uplotnyayushixsya pochv /A.M Gindemit., M.S. Chekusov //Mat-ly Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. «Problemy racional'nogo ispol'zovaniya maloplodorodnyx zemel'» (28-29 aprelya 2009 g.). – Omsk: izd-vo RASXN. Sib. otd-nie. SibNIISX, 2009. – S. 131-135.
6. Zinchenko V.E., Kosmicheskij monitoring zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya yuga Rossii /V.E. Zinchenko, O.I. Loxmanova, V.P. Kalinichenko, A.I. Gluxov, V.I. Povx, L.A. Shlyaxova // Issledovanii Zemli iz kosmosa. 2013. № 3. - S. 33-45.

7. Zlatopol'skij A.A. Mul'timasshtabnyj analiz cifrovoj modeli rel'efa. E'ksperimental'nye zakonomernosti / A.A. Zlatopol'skij //Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. T. 12 2015. № 3. - S. 27-35.
8. Knizhnikov Yu.F. Ae'rokosmicheskie metody geograficheskix issledovanij : uchebnik / Yu.F. Knizhnikov, V.I. Kravcova, O.V. Tutubalina. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Izd. centr «Akademiya», 2011.- 416 s.
9. Lyuri D.Yu. Zakonomernosti vyvoda iz oborota sel'skoxozyajstvennyx zemel' v Rossii i mire i processy postagrogennogo razvitiya zalezhej /D.Yu. Lyuri, S.V. Goryachkin [i dr.] //Agroe'kologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshix iz aktivnogo sel'skoxozyajstvennogo oborota: mat-ly vseross. nauch. konf. M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008. - S. 45-71.
10. G. Mitchell. Cifrovye modeli rel'efa, sozdannye po dannym sputnikovoj stereos"emki i lazernogo skanirovaniya: sravnitel'nyj analiz. «Geomatika» №4 (9), 2010 g. http://sovzond.ru/upload/iblock/78d/2010_04_010.pdf
11. Patent 3233718. Rossijskaya Federaciya. Sposob vneseniya organicheskix udobrenij / L. V. Berezin, O. S. Sergeeva, D. A. Klimovich. zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO OmGAU. – 2008 g. Prioritet 11.12.2006.
12. Patent 2407262. Rossijskaya Federaciya, PMK A01B 79/02. Sposob meliorativnoj obrabotki pochvy / L.V. Berezin, A.M. Gindemit; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO OmGAU. – № 2008130219/21; zayavl. 21.07.08; opubl. 27.12.10, byul. № 36.
13. Savich V.I. Agronomicheskaya ocenka otrazhatel'noj sposobnosti sistemy pochvarastenije metodom komp'yuternoj diagnostiki: metod. posobie / V.I. Savich [i dr.], M.: MSXA, 2005. - 75 s.
14. Sergeeva O.S. Nauchnye osnovy monitoringa i processov degradacii pochv s ispol'zovaniem kosmicheskoy informacii. / O.S. Sergeeva, L.V. Berezin // Mat-ly Mezhdunar. konf. po bor'be s opustynivaniem. – Abakan: NII agrarnyx problem Xakasii, 16-19 maya 2006. – S. 298-305.