

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ КУЛЬТУРЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (ФАКТОРА ЗАСОРЕНИЯ)
НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

В работе использовано комплексное применение данных дистанционного зондирования земли из космоса и полевых исследований сезонной динамики агроценозов сельскохозяйственных культур на территории юга Красноярского края. Показана возможность прогноза и уточнения урожайности зерновых культур с учетом влияния уровня культуры земледелия (фактора засорения).

Ключевые слова: земледелие, сельскохозяйственные культуры, урожайность, земля, космос, Красноярский край.

T.I. Pisman, I.Yu. Botvich, A.F. Sidko

**ESTIMATION OF THE FARMING STANDARD LEVEL INFLUENCE (INFESTATION FACTOR)
ON THE AGRICULTURAL CROP PRODUCTIVITY ON THE BASIS OF GROUND RESEARCH
AND EARTH REMOTE SENSING FROM SPACE**

Complex data application of the Earth remote sensing from space and field research of the agricultural crop agroecocenosis seasonal dynamics on the Krasnoyarsk region south territory is used in the article. The possibility to forecast and to specify the crop culture productivity taking into account the farming standards (infestation factor) is shown.

Key words: arable farming, agricultural crops, productivity, the Earth, space, Krasnoyarsk region.

В настоящее время в связи с увеличением потребности в продуктах сельского хозяйства особую актуальность приобретает задача поэтапной оценки и уточнения урожайности зерновых культур. Для данных целей все еще используются традиционные приемы оценки агроклиматических ресурсов, что связано с существенными материальными и временными затратами. Ситуация осложняется еще и тем, что произошло ухудшение экологического состояния сельскохозяйственных земель, вызванное существенными нарушениями агротехники возделывания, наблюдавшимися в последние годы, что приводит к уменьшению продуктивности сельскохозяйственных культур.

Все многообразие факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, можно разделить на две группы: уровень культуры земледелия (фактор засорения) и метеорологические факторы. Фактор засорения оказывает значительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Однако учесть это влияние не просто.

В связи с этим важнейшее значение для оптимизации землепользования, реабилитации деградированных территорий и прогноза изменений в агрофитоценозах приобретают спутниковые методы исследования [1, 2]. Эти методы позволяют одновременно охватить значительные территории и обладают необходимой информативностью, достоверностью и периодичностью для решения вышеуказанных задач. Зарубежный опыт убедительно подтверждает, что съемки из космоса не только дают возможность улучшить сбор сельскохозяйственной статистики, повышая точность, однородность, объективность и частоту наблюдений, но и позволяют существенно усовершенствовать методы оперативного контроля за состоянием посевов и прогноза урожая, как в глобальном, так и локальном масштабе [3]. При этом для достоверной интерпретации снимков необходимо использовать данные наземных (подспутниковых) наблюдений за состоянием посевов, которые позволяют получить информацию о стадии развития ценозов, сухой и сырой фитомассе, засоренности и производить построение карто-схем расположения посевов [4]. Следовательно, оба указанных подхода должны применяться в комплексе. Ошибки оценки урожайности зависят от многих факторов и в первую очередь от возделываемых культур и их площадей [5, 6].

Целью работы является оценка урожайности сельскохозяйственных культур и влияния уровня культуры земледелия (фактора засорения) на урожайность агроценозов на основе космических и наземных исследований.

Материалы и методы исследований. Для интерпретации космических снимков проводились подспутниковые наблюдения растительности сельскохозяйственных угодий. В качестве объекта исследований

выбраны сельскохозяйственные посевы пшеницы (*Triticum aestivum L.*) и овса (*Avena Sativa L.*) на территории юга Красноярского края (Минусинский район) [4].

В течение вегетационного сезона 2006 года стандартными геоботаническими методами на стационарных площадках в даты, приближенные к датам прохождения спутника Modis/Terra, изучались агрофитоценозы пшеницы и овса [4]. Координаты участков зарегистрированы с помощью GPS-навигатора.

Пробы для взвешивания сырой надземной биомассы отбирались в течение вегетационного сезона в 3–5-кратной повторности с площадок 1×1 м².

Для оценки фотосинтетически активной биомассы использовался нормализованный дифференциальный индекс растительности – *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index), который вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Для наблюдения за развитием растительности на исследуемой территории использовались данные спектрометра MODIS/Terra. Для расчета *NDVI* использовались спутниковые данные, полученные в красном (620–670 нм) и ближнем инфракрасном (841–876 нм) каналах с пространственным разрешением 250 м. Благодаря наличию большой выборки в пределах одного поля (порядка 9–11 пикселей со сканера MODIS при площади поля 90–100 га) данные космического дистанционного зондирования могут повысить точность измерения биометрических показателей.

Результаты исследования. На рисунке 1 представлены результаты полевых исследований агрофитоценоза пшеницы в течение полевых сезонов (июнь – август). Были выделены: среднемесячная динамика общей сырой надземной фитомассы пшеницы (в которую входит и сорная трава), чистой фитомассы (суммы вегетативной и генеративной биомасс) и отдельно показаны значения вегетативной и генеративной частей фитомассы. Проведенный анализ наземных данных показал, что общая надземная фитомасса агроценоза пшеницы в среднем увеличивалась с середины июня по август в две раза. Чистая фитомасса пшеницы в середине июля составляла в среднем около 860 г/м², генеративная биомасса в середине августа – 240 г/м².

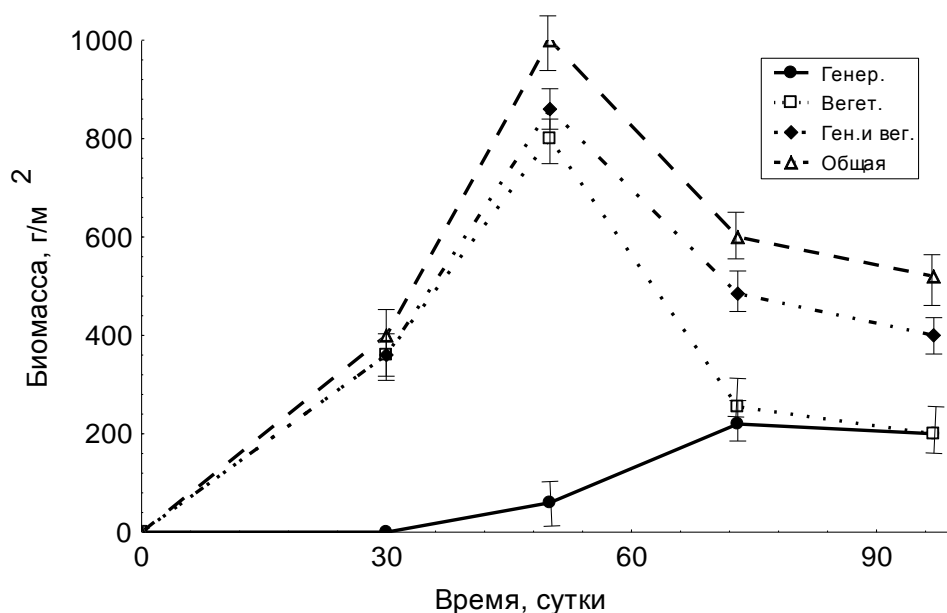


Рис. 1. Динамика фитомассы агроценоза пшеницы (за начало отсчета принято 1 июня)

Данный способ получения информации о динамике урожайности сельскохозяйственных культур очень трудоемок и в связи с этим проводится нерегулярно (5–7 раз в течение всего периода вегетации).

Для получения более полной информации (практически ежедневной) о динамике урожайности агрофитоценозов пшеницы проводилась обработка спутниковых измерений Modis этого же района. На рисунке 2 представлена сезонная динамика *NDVI* посевов пшеницы с указанием величины среднеквадратического отклонения. Было выделено 3 поля (из них поле № 1 в июне имело наименьшую степень засоренности по сравнению с полями № 2 и 3). Поэтому в июне значение *NDVI* для поля 1 ниже значений *NDVI* для полей № 2 и 3.

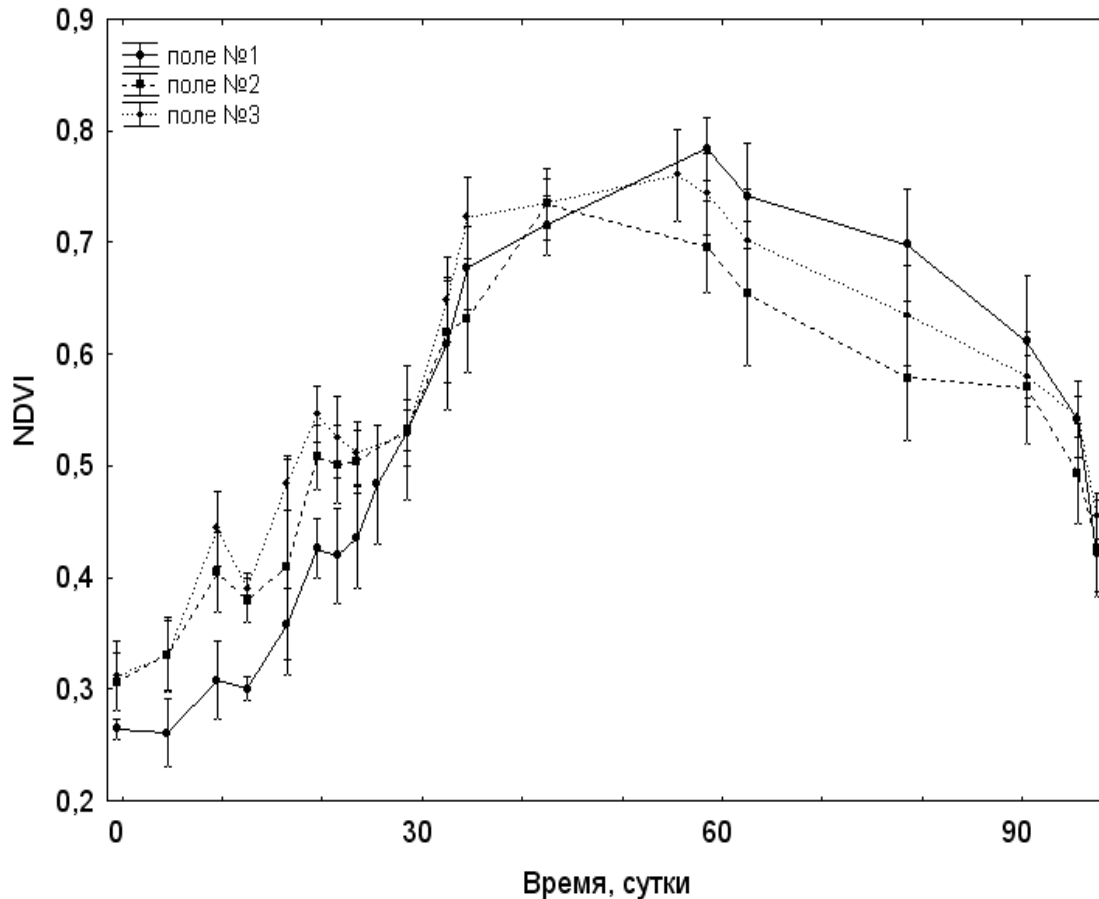


Рис. 2. Динамика значений *NDVI* территории, засеянной пшеницей (за начало отсчета принято 1 июня)

В общем виде по динамике значений *NDVI* в течение полевого сезона (июнь – август) достаточно полно отслеживается динамика сезонной продукции общей сырой надземной фитомассы агрофитоценоза пшеницы (биомассы пшеницы и сорной травы). Кроме того, в августе культурные растения, в отличие от сорных, быстрее начинали терять влагу и желтеть. Поэтому в этот период на спутниковом снимке высокого разрешения возможно распознавание сорной растительности в культурных посевах, так как значение *NDVI* отображает в основном зеленую фитомассу [6].

Для оценки более точной возможности распознавания сорной растительности в сельскохозяйственных культурах использовались фитоценозы овса, расположенные на разных участках и имеющие различную степень засорения (полосы 6 и 8).

На локальном уровне в полевом сезоне 2006 года за развитием овса на наблюдаемых полях в течение вегетационного периода (с 12 июня по сентябрь) проводился визуальный и инструментальный контроль. Проводилось измерение основного биометрического показателя – биомассы. Результаты локальных измерений показали хорошую взаимосвязь биомассы растительности с усредненными в рамках каждого поля значениями *NDVI*, полученными со сканера Modis/Terra в течение вегетационного периода отдельно для каждой полосы: полосы 6 и 8 (рис. 3).

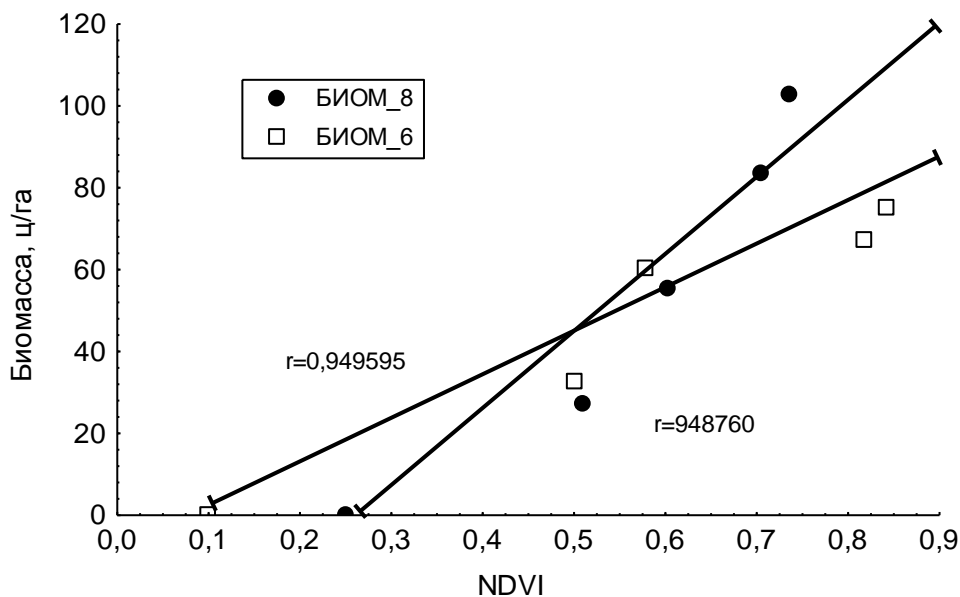


Рис. 3. Зависимость биомассы фитоценоза овса от NDVI для полосы 6 и 8

Нетрудно заметить различный угол наклона зависимостей между значениями общей сырой биомассы фитоценоза овса и значениями NDVI для разных полос. Кроме того, начальное значение NDVI для полосы 6 имеет значение около 0,1, что соответствует открытому участку земли (без растительности). Начальное значение NDVI для полосы 8 равно 0,2 и выше, что, вероятно, можно объяснить наличием начального небольшого количества фотосинтезирующей растительности. В дальнейшем по данным наземных исследований это подтвердилось наличием сорной растительности.

Для понимания и объяснения результатов космических измерений на рисунках 4 и 5 представлены данные наземных измерений для разных участков (полосы 6 и 8). Определена биомасса всех составляющих фитоценоза овса (общая фотосинтезирующая биомасса, вегетативная, генеративная и биомасса сорной травы). На полосе 6 урожайность овса достигла больших значений (рис. 4), чем на полосе 8 (рис. 5). При этом отмечено, что на полосе 8 обнаружено засорение культуры в более ранние сроки по сравнению с полосой 6, чем можно объяснить меньшую урожайность овса на полосе 8.

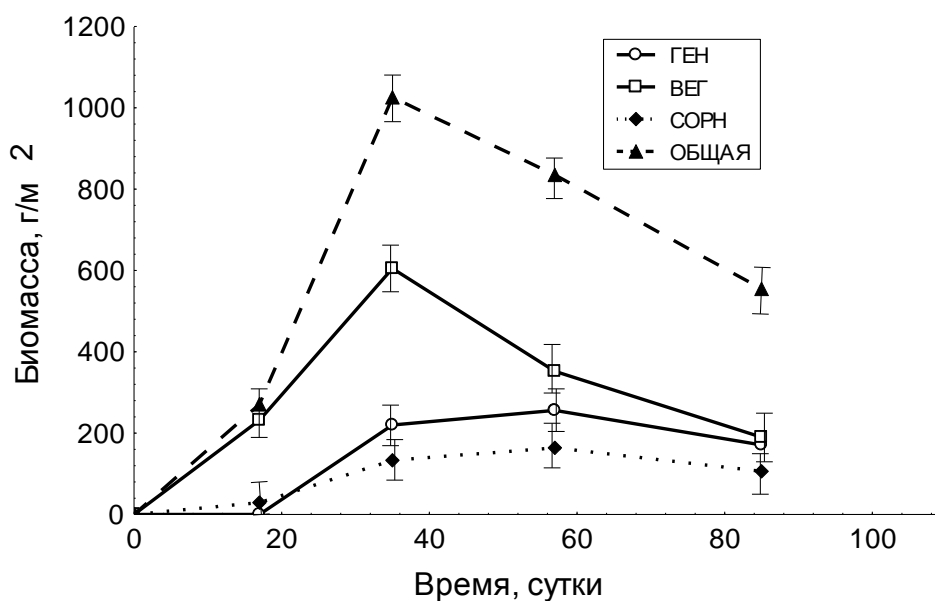


Рис. 4. Динамика фитоценоза овса на полосе 6 (за начало отсчета принято 12 июня).

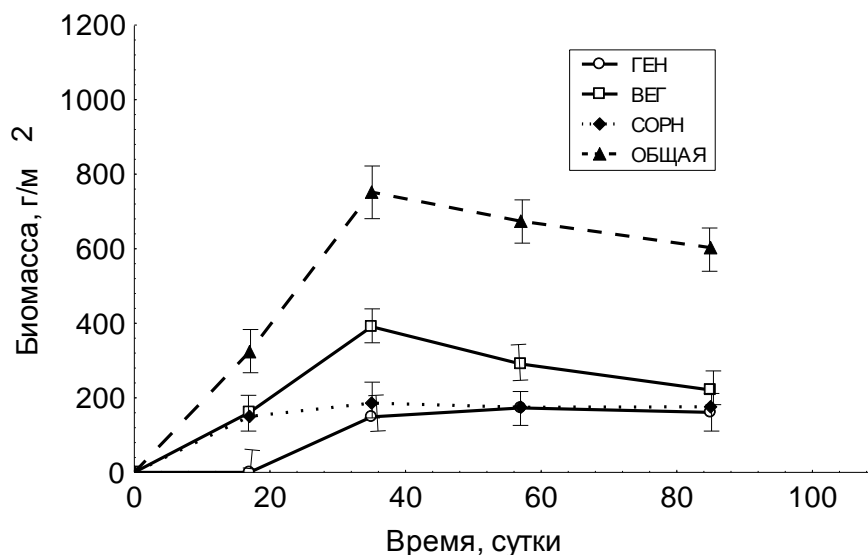


Рис. 5. Динамика фитоценоза овса на полосе 8 (с засорением) (за начало отсчета принято 12 июня)

Таким образом, сочетание двух подходов (применение наземных и спутниковых измерений) позволяет более точно и быстро оценить урожайность и степень засорения сельскохозяйственных культур. Благодаря наличию большой выборки в пределах одного поля по данным космического дистанционного зондирования стало возможно повысить точность измерения биометрических показателей. Данная методика позволяет интерполировать биометрические величины на те поля, по которым измерения производились нерегулярно или не производились вообще.

Выводы

1. Показано, что динамика значений нормализованного дифференциального индекса растительности достаточно полно отслеживает динамику сезонной продукции общей сырой надземной фитомассы агрофитоценоза пшеницы в течение полевого сезона (июнь – август).

2. На основе сочетания наземных и спутниковых измерений агрофитоценозов овса показана возможность более точной и быстрой оценки урожайности и степени засорения сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Савин И.Ю., Нэгр Т. О новом подходе к использованию NDVI для мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование Земли из космоса. – 2003. – № 4. – С. 91–96.
2. Мониторинг сельскохозяйственных земель на базе разномасштабных спутниковых данных / Н.М. Вандышева [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2003. – № 3. – С. 72–84.
3. Justice C.O., Townshend J. Special issue on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring // Remote Sensing of Environment. – 2002. – № 83. – P. 1–2.
4. Изучение сезонной динамики сельскохозяйственных посевов на территории Хакасии по снимкам Terra Modis / А.П. Шевырногов [и др.] // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2007. – № 5 (173). – С. 29–35.
5. Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным Modis / С.А. Барталев [и др.] // Исследование земли из космоса. – 2006. – № 3. – С. 68–75.
6. Сидько А.Ф., Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края // ДАН. – 2008. – Т. 419, № 3. – С. 417–420.

