

## Мониторинг орошаемых земель в масштабе отдельного хозяйства после проведения рекультивационных мероприятий

*Л.А. Митяева, н.с., ФГБНУ РосНИИПМ*

Одной из главных задач систем мониторинга нарушенных орошением сельскохозяйственных земель является подсистема оценки состояния и урожайности сельскохозяйственных культур. Достаточно распространённый метод получения таких оценок основывается на сравнении динамики состояния растительности в разные годы в зависимости от различных показателей плодородия почвы [1].

В результате многочисленных экспериментов установлено, что одним из надёжных индикаторов состояния сельскохозяйственных посевов является вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), определяемый по данным дистанционного зондирования [2–6].

Разработанная нами система дистанционного мониторинга нарушенных орошением сельскохо-

зяйственных земель была подробно рассмотрена в ряде работ [7–8].

Цель настоящего исследования – разработка подсистемы мониторинга для расчёта оптимальных показателей плодородия почвы чернозёма южного в рамках отдельного хозяйства юга Ростовской области.

**Материал и методы исследования.** Исследование в данном направлении проводилось в системе мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса России с помощью сервиса спутникового мониторинга «Вега» [1].

Рассмотренная подсистема мониторинга ориентирована на сбор, обработку и анализ информации о динамике усреднённого вегетационного индекса (NDVI) по различным полям в зависимости от интенсивности процессов нарушений за 2008–2016 гг. Основными используемыми данными дистанци-

онного зондирования являлась спутниковая информация Terra Modis и Landsat 7 ETM+. Данные Terra/Modis использовались для вычисления NDVI в сервисе спутникового мониторинга «Вега».

Контактные методы включали в себя процедуру полевой калибровки и наземной верификации результатов исследования. Построение зависимостей показателей почвенного плодородия проводили на участках полей с различной интенсивностью процессов нарушений с использованием данных полевого обследования (почвенных разрезов и смешанных агрохимических образцов).

Чтобы охватить весь вегетационный период сельскохозяйственных полей на территории отдельного хозяйства, использовали композитные изображения за период 10.05.2009–10.09.2016 гг.

Результаты исследования обрабатывали с использованием теории планирования эксперимента и математической статистики [9].

**Результаты исследования.** Вегетационный индекс NDVI существенно колебался как по годам исследования (2008–2016 гг.), так и по вариантам опыта.

На рисунках 1–3 видно, что за норму принят 2008 г. (контроль), т.е. без применения мероприятий

по рекультивации. С 2009 по 2016 г. происходило значительное увеличение вегетационного индекса от 0,33 до 0,96 по сравнению с 2008 г. – от 0,52 до 0,68.

На основании полевой калибровки отмечено увеличение содержания гумуса после проведения мероприятий по рекультивации, уменьшение плотности пахотного слоя почвы и увеличение содержания водопрочных агрегатов за 2009–2016 гг. по отношению к 2008 г.

Нами были получены зависимости индекса NDVI от таких показателей почвенного плодородия, как количество гумуса в почве, плотность почвы и водопрочность (содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм).

Заметно влияло на индекс NDVI содержание гумуса в почве. Зависимость индекса NDVI (y) от содержания гумуса (x) в почве имело высокую тесноту связи. Коэффициент корреляции составлял 0,8596; 0,9466; 0,8492. Взаимосвязь выражалась уравнениями вида:

при слабой интенсивности процессов нарушений:

$$y = -1,01239971 + 0,450487893 \cdot x;$$

при средней интенсивности процессов нарушений:

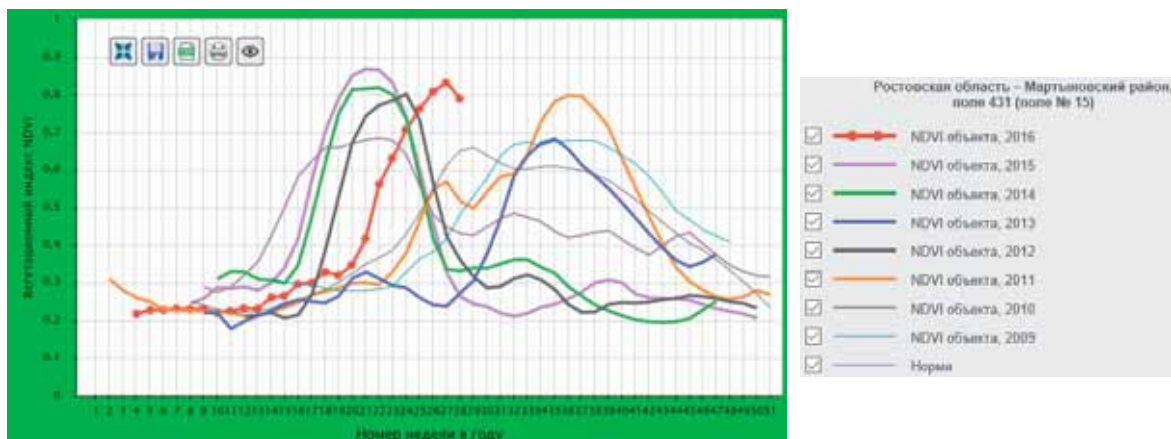


Рис. 1 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 15

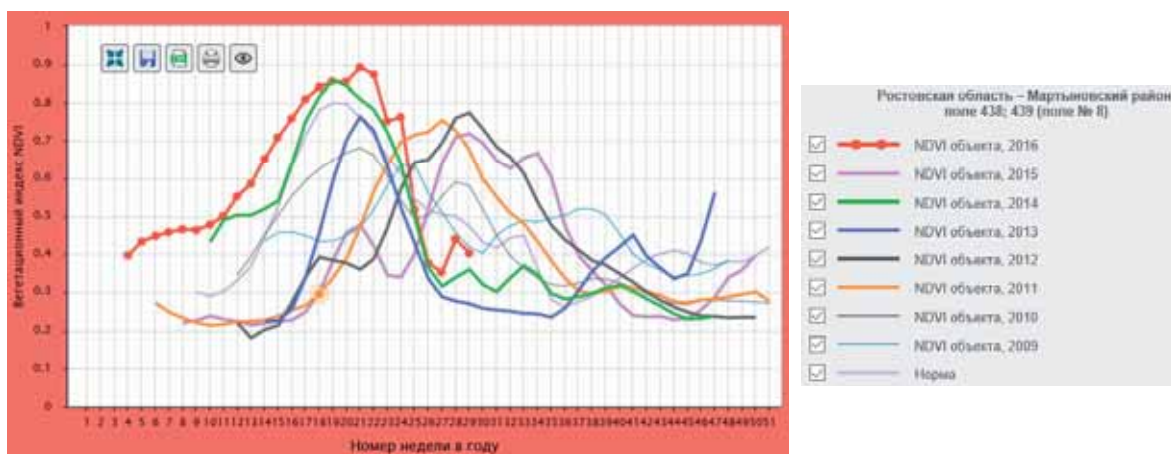


Рис. 2 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 8

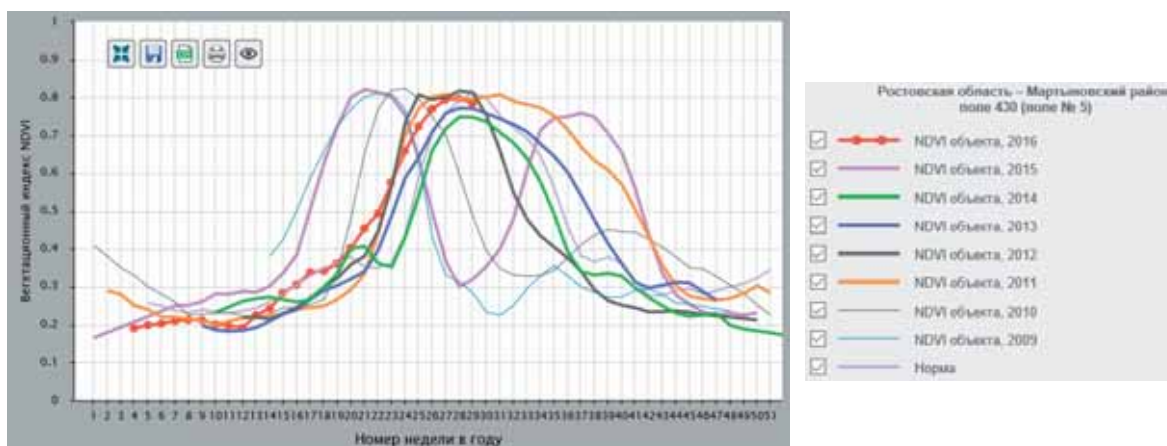


Рис. 3 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 6

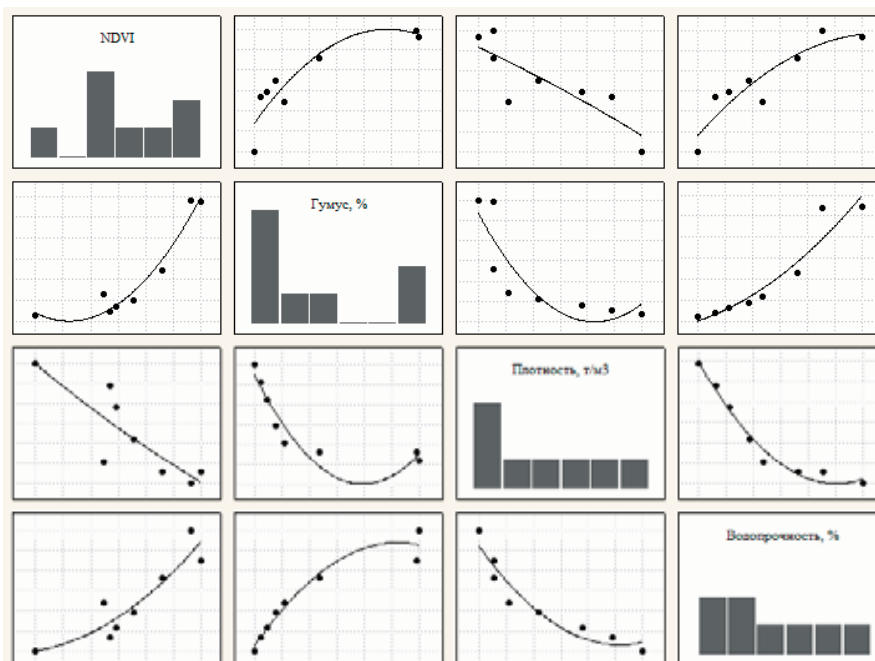


Рис. 4 – Матрица взаимосвязи показателей почвенного плодородия после проведения мероприятий по рекультивации (2009–2016 гг.) при слабой интенсивности процессов нарушений

$$y = -0,8245199 + 0,388597619 \cdot x;$$

при сильной интенсивности процессов нарушений:

$$y = -0,448074143 + 0,277235011 \cdot x.$$

Решение уравнений показывает, что с увеличением индекса NDVI от 0,32 до 0,96 происходит значительное увеличение количества гумуса в почве (с 3,37 до 4,97%).

Высокая теснота связи отмечена между индексом NDVI (y) и водопрочностью (x), коэффициент корреляции 0,8947; 0,9771; 0,7378. Взаимосвязь выражалась уравнениями вида:

при слабой интенсивности процессов нарушений:

$$y = -0,496134483 + 0,021700645 \cdot x;$$

при средней интенсивности процессов нарушений:

$$y = -0,527504373 + 0,0179132462 \cdot x;$$

при сильной интенсивности процессов нарушений:

$$y = -1,32146817 + 0,0292840838 \cdot x.$$

Решение уравнений показывает, что увеличение индекса NDVI с 0,32 до 0,96 способствует увеличению водопрочности почвенных агрегатов с 43,32 до 74,13%.

Также отмечена тесная зависимость между индексом NDVI (y) и плотностью пахотного слоя почвы (x). Коэффициент корреляции составлял -0,8442; -0,9654; -0,9571. Взаимосвязь выражалась уравнениями:

при слабой интенсивности процессов нарушений:

$$y = 4,43654849 - 3,36079249 \cdot x;$$

при средней интенсивности процессов нарушений:

$$y = 5,26547703 - 4,1024735 \cdot x;$$

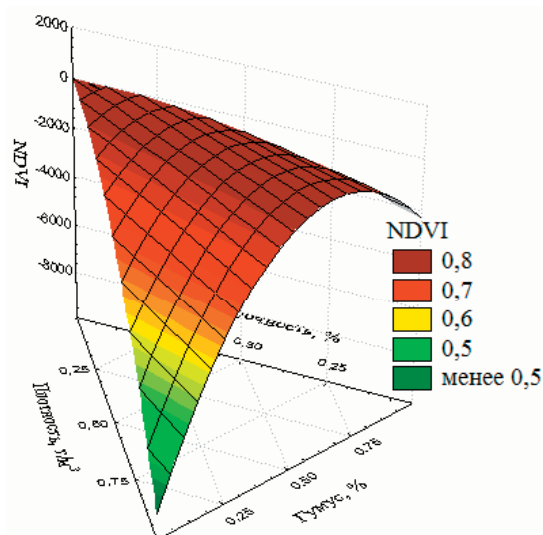


Рис. 5 – Трёхмерный график для определения оптимальных показателей плодородия почвы по значению индекса NDVI

при сильной интенсивности процессов нарушений:

$$y = 5,28332776 - 4,4180602 \cdot x.$$

Решение уравнений показывает, что увеличение индекса NDVI с 0,32 до 0,96 способствует снижению плотности пахотного слоя с 1,2 до 0,98 т/м<sup>3</sup>.

Вся комбинация взаимосвязей для слабой интенсивности процессов нарушений представлена на рисунке 4.

Как видно на рисунке 4, после способа рекультивации индекс NDVI начинает увеличиваться в среднем за 8 лет мониторинга на 0,06 на полях со слабой интенсивностью нарушений, на 0,42 – со средней интенсивностью нарушений и на 0,16 – с сильной интенсивностью нарушений по сравнению с контролем (2008 г.). Подставляя в уравнения значения индекса NDVI, найденного по данным дистанционного зондирования, можно определить оптимальные значения основных агрофизических показателей плодородия почвы для данных условий в рамках отдельного хозяйства.

Статистическая обработка рассмотренных взаимосвязей показателей плодородия позволяет построить трёхмерный график в координатах XYZ (рис. 5).

Получена аналитическая зависимость, описывающая взаимосвязь гумуса, водопрочности и плотности пахотного слоя почвы индексом NDVI после проведения мероприятий по рекультивации:

$$\begin{aligned} \text{NDVI} = & -8953,425 \cdot \text{П} - 2356,585 \cdot \text{Г} - \\ & 1,0979 \cdot \text{В} + 20864,5808 \cdot \text{П} \cdot \text{Г} + 8585,791 \cdot \text{П} \cdot \text{В} + \\ & + 2516,905 \cdot \text{Г} \cdot \text{В}, \end{aligned}$$

где NDVI – вегетационный индекс NDVI;

П – плотность пахотного слоя почвы, т/м<sup>3</sup>;

Г – гумус, %;

В – водопрочность, %.

Решение уравнения позволяет выявить оптимальные агрофизические почвенные условия формирования положительного индекса NDVI на

уровне 0,32–0,96 на чернозёмных почвах юга Ростовской области в рамках отдельного хозяйства.

При слабой интенсивности процессов нарушений (поле № 15) при максимальном индексе NDVI – 0,84 гумуса в почве должно быть не менее 3,37%; плотность пахотного слоя почвы должна составлять не более 1,2 т/м<sup>3</sup>; водопрочность – не менее 43,32%. Один раз в 8 лет необходимо вносить 1 т/га композиции из влагосорбентов.

При средней интенсивности процессов нарушений увеличение индекса NDVI к 0,96 (поле № 8) гумуса в почве должно быть не менее 3,43%, плотность почвы – не более 1,16 т/м<sup>3</sup>, водопрочность – не менее 56,31%. Один раз в 8 лет необходимо вносить 3,5 т/га композиции из влагосорбентов.

При сильной интенсивности процессов нарушений (поле № 6) при максимальном значении индекса NDVI 0,9 гумуса в почве должно быть не менее 3,50%, плотность почвы – не более 1,1 т/м<sup>3</sup>, водопрочность – не менее 60,31%. Один раз в 8 лет необходимо вносить 8,5 т/га композиции из влагосорбентов.

**Выводы.** Для поддержания вегетационного индекса NDVI на высоком уровне (значения 0,32–0,96) необходимо поддерживать оптимальную плотность почвы – не более 1,10 т/м<sup>3</sup>, водопрочность – не менее 43,32%, гумус – не менее 3,37%. При предложенных оптимальных показателях плодородия чернозёма южного в масштабе отдельного хозяйства юга Ростовской области не произойдёт нарушения водного и воздушного режима почвы, что позволит снизить риск наступления деградации почвенного плодородия.

### Литература

1. Барталев С.А. Возможности использования спутникового сервиса VEGA для решения различных задач мониторинга наземных экосистем / С.А. Барталев, Д.В. Ершов, Е.А. Лупян, В.А. Толпин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
2. Повх В.И., Гарбузов Г.П., Шляхова Л.А. Космический мониторинг сельскохозяйственных угодий Ростовской области // Исследование Земли из космоса. 2006. № 3. С. 89–96.
3. Барталев С.А. Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным Modis / С.А. Барталев, Е.А. Лупян, И.А. Нейштадт, И.Ю. Савин // Исследование Земли из космоса. 2006. № 3. С. 68–75.
4. Зборишук Ю.Н. Дистанционные методы инвентаризации и мониторинга почвенного покрова. М.: Изд-во МГУ, 1994. Ч. 2. 96 с.
5. Mulder V.L., de Bruin S., Schaepman M.E., Mayr T.R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review // Geoderma. 2011. V. 162, No 1-2. P. 1-19.
6. Бурцев М.А. Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности / М.А. Бурцев, А.А. Мазуров, И.А. Нейштадт, А.А. Прошин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. науч. статей / под ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой. М.: «Азбука-2000», 2006. Т. 1. С. 170–174.
7. Васильев С.М., Митяева Л.А. Результаты изучения опасности ирригационной эрозии в контуре Нижне-Донской оросительной системы Ростовской области // Природообустройство. 2011. № 5. С. 7–11.
8. Васильев С.М., Митяева Л.А. Разработка композиции из влагосорбентов для защиты почв от процессов ирригационной эрозии на орошаемых землях ОАО «Малоорловское» Ростовской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 2. С. 165–170.
9. Зелгендизе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. 390 с.