

содержание гумуса снизилось на 0,4 абсолютного процента. Поэтому одной из причин часто повторяющихся засух за последние годы является и этот фактор.

В настоящее время в засушливые годы причиной снижения урожайности полевых культур стал и человеческий фактор, к которому относятся:

– бессистемная минимализация основной обработки почвы (на площади 1,5–1,7 млн га), что приводит к увеличению засорённости посевов, болезней и вредителей, ухудшению водного режима почвы и т.д.;

– возделывание сортов и гибридов сельхозкультур, не адаптированных к местным условиям, особенно к условиям засухи;

– недостаточное количество в структуре пашни самых урожайных и страховых культур, таких, как озимая рожь, просо, ячмень;

– нарушение технологии возделывания культур и севооборотов и т.д.

Таким образом, за 1990–2013 гг. 54,2% лет – это годы, характеризующиеся очень сильной засухой и погодой, близкой к условиям пустыни, в вегетационный период сельхозкультур.

Самыми устойчивыми культурами к различным видам засухи оказались озимая рожь, ячмень и просо, урожайность которых составила в среднем за 24 года соответственно 25,9, 19,0 и 16,0 ц с 1 га, поэтому они в борьбе с ней являются страховыми культурами. Наиболее высокая урожайность этих культур отмечена и в благоприятные годы: озимой ржи – 47,3 ц (1990 г.), ячменя – 44,5 (1992 г.) и проса – 46,9 ц с 1 га (1990 г.).

Эффективность минеральных удобрений в условиях засухи в первую очередь зависит от весенних запасов влаги в почве, при низком их содержании наблюдается даже снижение урожая за счёт повышенной концентрации почвенного поглотительного комплекса. Наиболее отзывчивым на удобрения является ячмень, как во влажные, так и в засушливые годы. Просо не проявляет положительную реакцию на удобрение, но очень хорошо использует его в последствии.

В годы с хорошими весенними запасами влаги в почве и повышенной её температурой очень интенсивно происходит разложение зелёного удобрения с выделением особенно биологического азота, который способствует повышению урожайности всех культур севооборота.

Глубокая основная обработка почвы тяжёлого механического состава к весне за счёт лучшей водопроницаемости и усвоения талых вод больше накапливает влаги, чем нулевые и минимальные обработки, поэтому в условиях засухи при дефиците осадков в мае и июне урожайность ранних зерновых культур на таких обработках снижается.

Литература

1. Шульмейстер К.Г. Борьба с засухой и урожай: монография. М., 1995. С. 19–20.
2. Максютов Н.А., Жданов В.М., Абдрашитов Р.Р. Повышение плодородия почвы, урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах степной зоны Южного Урала: монография. Оренбург, 2012. 332 с.
3. Шульмейстер К.Г. Избранные труды. В 2-х т. Волгоград, 1995. Т. 2. С. 218–219.
4. Максютов Н.А., Жданов В.М., Лактионов О.В. Биологическое и ресурсосберегающее земледелие в степной зоне Южного Урала: монография. 2-е изд. доп. Оренбург, 2008. 232 с.

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 сельско-

хозяйственных 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:

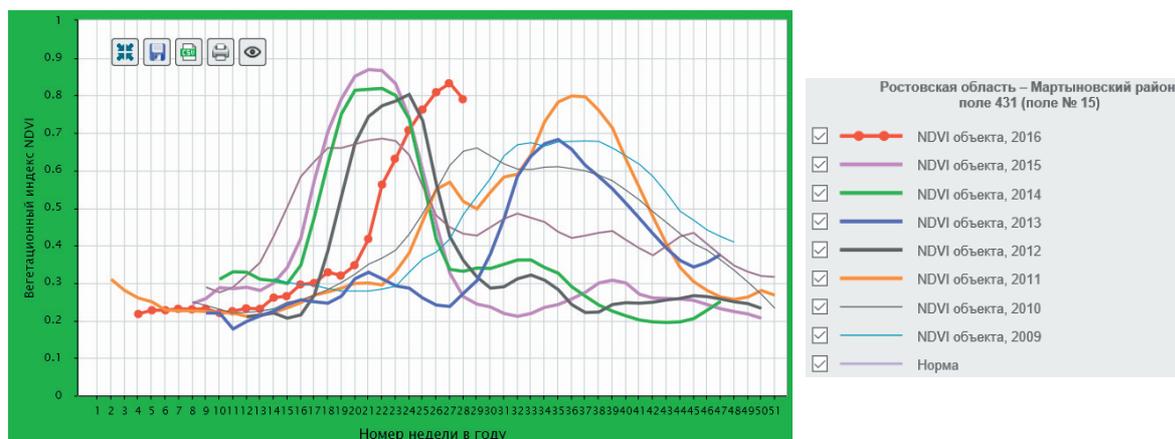


Рис. 1 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 15

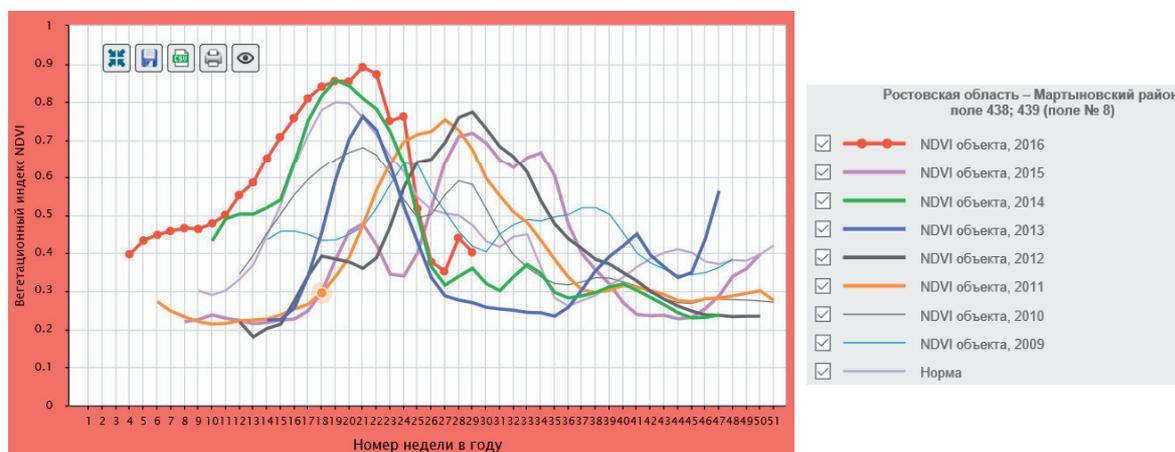


Рис. 2 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 8

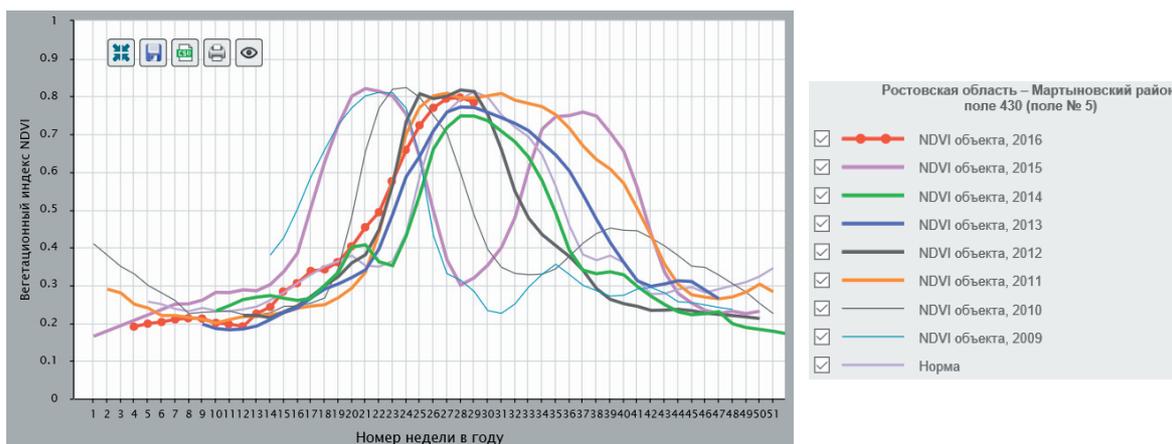


Рис. 3 – Изменение индекса NDVI после проведения мероприятий по рекультивации за 2009–2016 гг., поле № 6

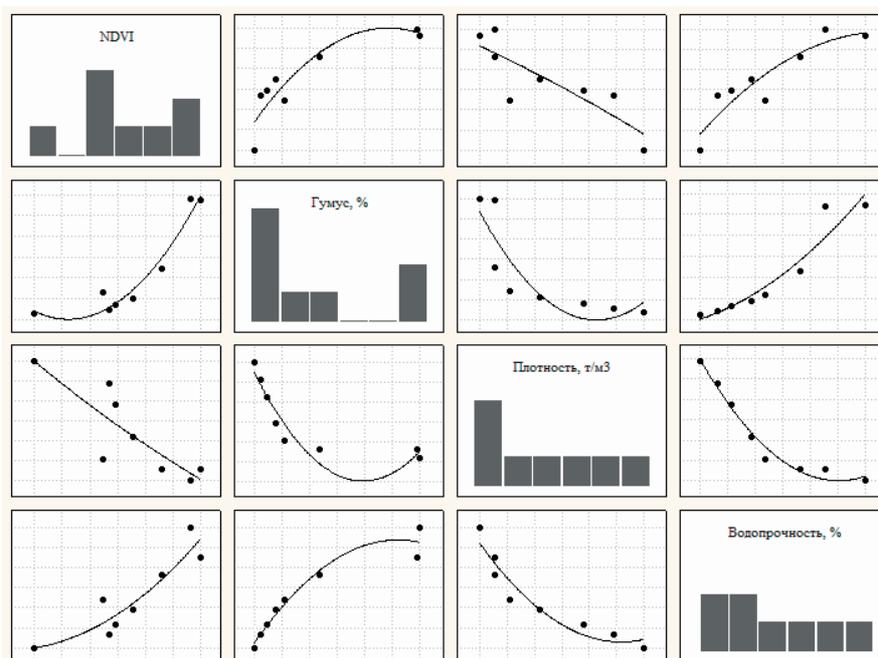


Рис. 4 – Матрица взаимосвязи показателей почвенного плодородия после проведения мероприятий по рекультивации (2009–2016 гг.) при слабой интенсивности процессов нарушений

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

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:

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

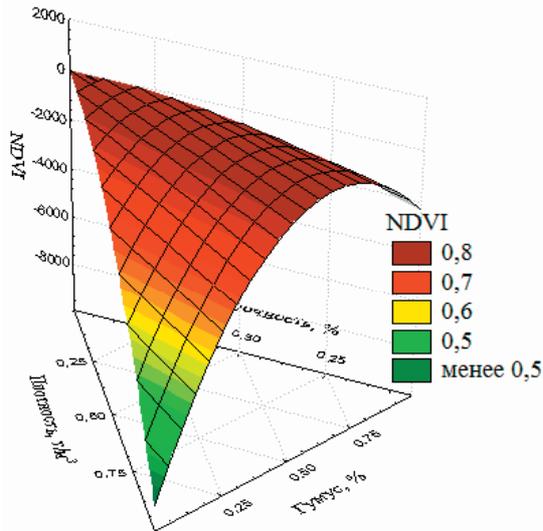


Рис. 5 – Трёхмерный график для определения оптимальных показателей плодородия почвы по значению индекса NDVI

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/м³.

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:

$$NDVI = -8953,425 \cdot П - 2356,585 \cdot Г - 1,0979 \cdot В + 20864,5808 \cdot П \cdot Г + 8585,791 \cdot П \cdot В + 2516,905 \cdot Г \cdot В,$$

где NDVI – вегетационный индекс NDVI;

П – плотность пахотного слоя почвы, т/м³;

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/м³; 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/м³, 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/м³, 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/м³, 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.