

В. А. Генин (Белорусский государственный университет, Республика Беларусь)

В 2010 г. окончил Белорусский государственный университет (БГУ) по специальности «География». В настоящее время — преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем БГУ.

Н. В. Клебанович (Белорусский государственный университет, Республика Беларусь)

В 1979 г. окончил Белорусский государственный университет (БГУ). В настоящее время — заведующий кафедрой почвоведения и земельных информационных систем БГУ. Доктор сельскохозяйственных наук, доцент.

Опыт использования мультиспектральных космических снимков для дифференцированного внесения удобрений

Дифференцированное внесение удобрений в настоящее время является одним из перспективных направлений точного земледелия, которое позволяет не только экономить ресурсы, но и повысить урожайность сельскохозяйственных культур. В данной статье описан эксперимент по дифференцированному внесению азота в офлайн-режиме с использованием дистанционной информации, полученной по космическому снимку Landsat 8.

Согласно закону, сформулированному основателем агрохимии Юстусом фон Либихом [1], величина урожая определяется фактором, который находится в минимуме. На сельскохозяйственных землях Республики Беларусь фактором, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур, является нехватка влаги и азота.

С развитием технологий точного земледелия мы получили возможность управлять азотным питанием растений путем дифференцированного внесения удобрений.

Дифференцированное внесение удобрений может происходить в офлайн- и онлайн-режиме. Режим офлайн вместо полевых измерений использует заранее подготовленные карты заданий. При данном методе трактор, помимо бортового компьютера, должен быть оснащен GNSS-антенной, которая бы позволяла вычислять координаты техники с высокой точностью.

В основном карты заданий для внесения азотных удобрений создаются с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Анализ отношения красной и ближней инфракрасной зон спектра позволяет рассчитывать различные индексы, характеризующие состояние растительности. В исследовании был использован вегетационный индекс NDVI как более простой и надежный из существующих вариантов.

Созданная карта заданий загружается в бортовой компьютер трактора. Дальше, в зависимости от местоположения на поле, компьютер изменяет норму внесения удобрений.

Авторы считают, что наиболее рациональный подход к подкормке почв азотными удобрениями – комплексное использование данных ДЗЗ и данных полевого обследования. Данные ДЗЗ могут поступать как с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных камерой, которая способна работать в ближней инфракрасной зоне спектра, так и с ресурсных спутников, ведущих съемку в высоком пространственном разрешении. Полевое обследование может производиться с использованием датчиков, которые позволяют измерять вегетационный индекс в поле.

Компания Trimble выпускает оборудование для оценки состояния растительности. Система GreenSeeker (рис. 1) базируется на оптических датчиках, каждый из которых имеет свой источник света и может использоваться в любое время суток, в том числе при плохой видимости и в тумане. GreenSeeker излучает красные и ближние инфракрасные лучи, которые, отражаясь от растений, попадают на фотодиод в головной части датчика. Таким образом система GreenSeeker измеряет индекс вегетации биомассы [2].



Рис. 1. Внешний вид сенсора GreenSeeker

Лаборатория SWFAL [3] разработала калькулятор для пересчета значений вегетационного индекса, полученных с прибора GreenSeeker, в значения необходимых доз азотной подкормки.

В 2015 году нами был произведен эксперимент по дифференцированному внесению азотных удобрений на основании данных полевого обследования с помощью системы GreenSeeker и данных ДЗЗ со спутника Landsat 8.

Снимок от 12 апреля 2015 г. использовался для расчета дифференциальной нормы азотных удобрений, снимок от 4 мая 2015 г. — для оценки результата.

Для формирования карты заданий необходимо было рассчитать вегетационный индекс NDVI для данных от 12 апреля 2015 г. Нами были проанализированы все поля с озимыми культурами, на которых планировалось внесение азотных удобрений до 20 апреля, так как спутниковый снимок должен быть не старше 7 дней. Нами был выбран участок площадью 97 га, на котором посеян озимый тритикале и наблюдается значительная неоднородность вегетационного индекса (рис. 2).

Участок, выбранный для исследования, разделен дорогой и геометрически образует два участка — северный и южный. Значения вегетационного индекса для южного участка в среднем на 27% выше, чем значения вегетационного индекса для северного участка. Сев на обоих участках производился в течение 3 дней, и разные его даты не могли стать причиной столь сильных различий вегетационного индекса. Гистограмма распределения вегетационного индекса для участка исследования показывает, что наблюдалось большое его разнообразие: минимальное значение — 0,13, максимальное — 0,46, при доминировании значений от 0,32 до 0,42.

Данные вегетационного индекса, полученные с использованием космического снимка от 12 апреля 2015 г., сравнивались со значениями, полученными с сенсора GreenSeeker. В ходе полевых работ на исследуемом участке в местах с однородным состоянием растительности было

выбрано 29 контрольных точек. Для каждой точки было определено значение вегетационного индекса сенсором GreenSeeker, и с использованием GNSS-системы были записаны их координаты для последующего опознавания на космическом изображении.

Между полевыми и дистанционными значениями вегетационного индекса существует тесная связь (рис. 3). Коэффициент детерминации составил 0,85, на основании чего можно утверждать, что, несмотря на низкое пространственное разрешение третьего и четвертого каналов спутника Landsat 8 (30 м), на основании его данных можно получать достаточно точные значения вегетационного индекса

и дифференцировать норму азотных удобрений.

Вторая подкормка осуществлялась 19 апреля 2015 г. На 1 га планировалось внести 200 кг карбамида и 96 кг действующего вещества — азота. В ходе исследования значения вегетационного индекса были разделены нами на 3 группы:

1. Среднее значение вегетационного индекса $\pm 20\%$.
2. От среднего значения вегетационного индекса (+20%) до максимального значения (0,45).
3. От минимального значения вегетационного индекса до -20% от среднего значения.

На основании данной группировки значений нами были получены 16 контуров,

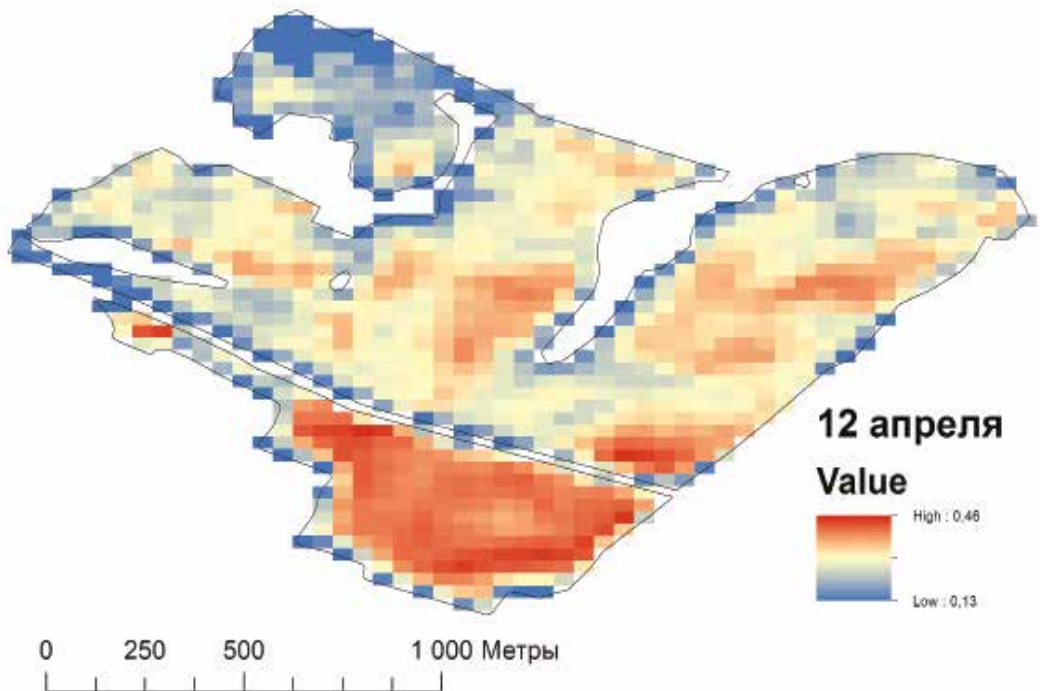


Рис. 2. Вегетационный индекс исследуемого участка по состоянию на 12 апреля 2015 г.

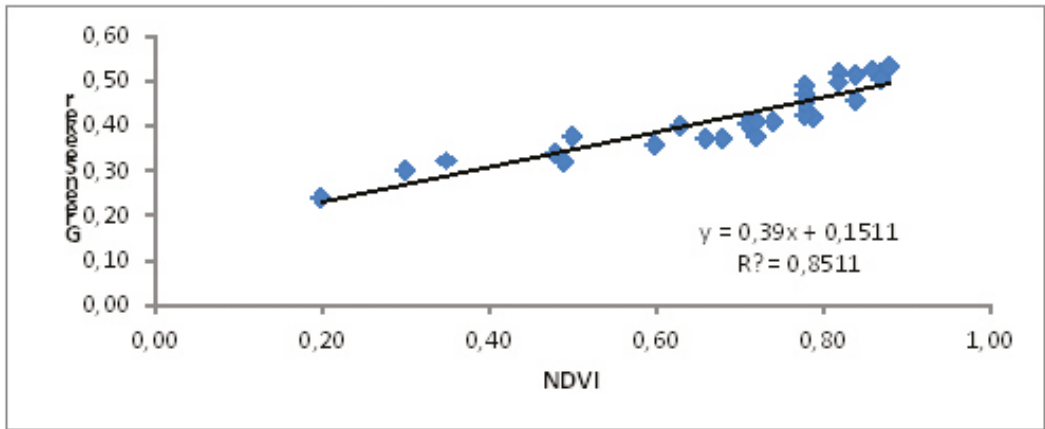


Рис. 3. Зависимость между значениями вегетационного индекса NDVI, измеренного полевым и дистанционным способами

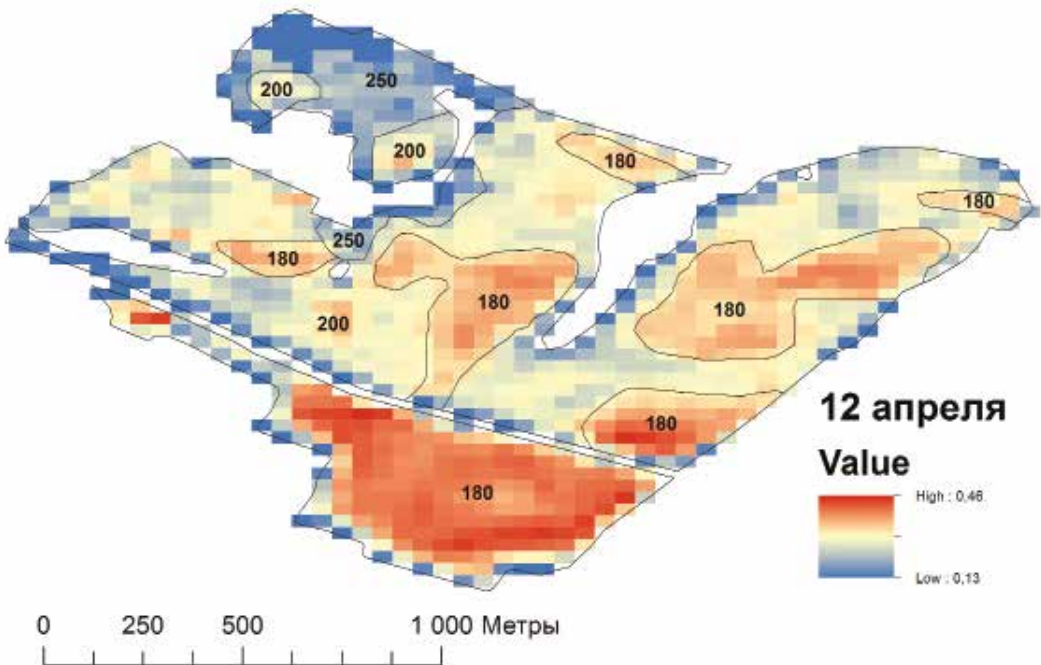


Рис. 4. Группировка значений вегетационного индекса и рассчитанные дозы азотной подкормки для каждого контура

которые представлены на рис. 4. Норма азотных удобрений была распределена следующим образом: на участках

с высоким значением NDVI она была снижена до 180 кг карбамида на га; на участках со средним значением норма

азота осталась без изменения (200 кг карбамида на га); на участках с низкими значениями вегетационного индекса норма азотных удобрений была увеличена до 250 кг. На основании выделенных контуров формировалась карта заданий для сельскохозяйственной техники. Экспорт осуществлялся в формате шейп-файла, тип геометрии — полигональный, система координат — WGS 84.

Дата второй азотной подкормки — 19 апреля 2015 г. Для дифференцированного внесения был использован разбрасыватель твердых минеральных удобрений ZG-B компании Amatron, совмещенный с бортовым компьютером и GNSS-системой Amatron 3 [4]. На основании карты задания оборудование позволяет автоматически

изменять норму разбрасывания удобрений в соответствии с местоположением трактора на поле.

Оценка результатов внесения карбамида осуществлялась на основании спутникового снимка Landsat 8, полученного 4 мая 2016 г., или через 15 дней после проведения азотной подкормки (рис. 5). С использованием инструментов геообработки нами было получено изображение, которое характеризует прирост вегетационного индекса с 11 апреля до 4 мая 2016 г.

Изображение (рис. 6) свидетельствует о том, что максимальный прирост вегетационного индекса (более чем 30%) сосредоточен на участках с дозой внесения карбамида 250 кг/га. На участках с дозой внесения 200 кг/га прирост NDVI в среднем составляет

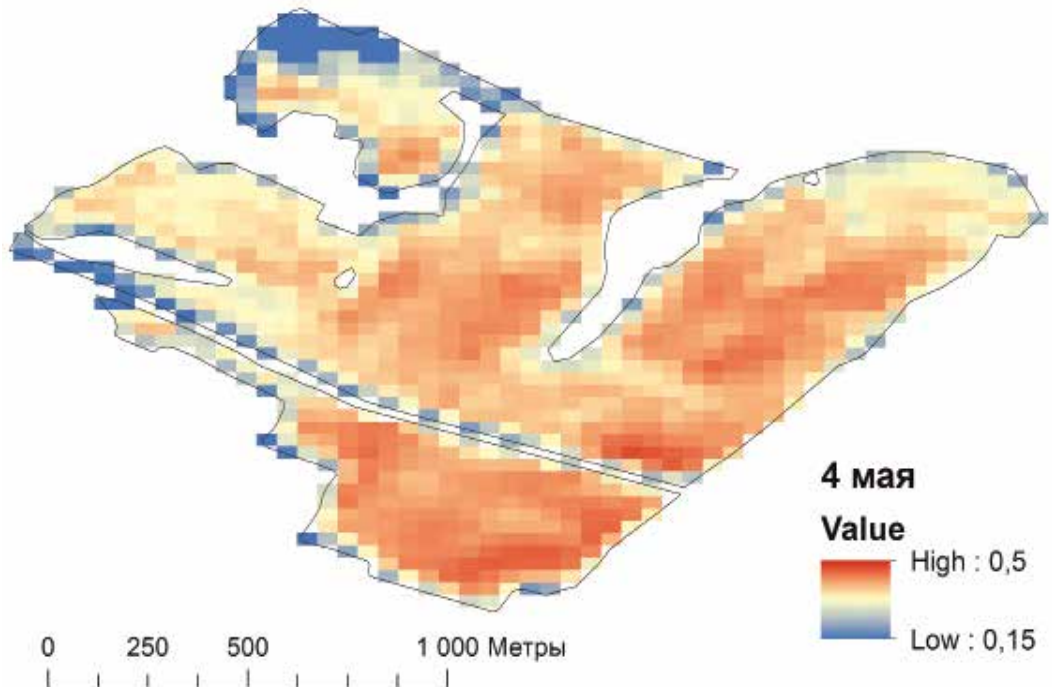


Рис. 5. Вегетационный индекс исследуемого участка по состоянию на 4 мая 2015 г.

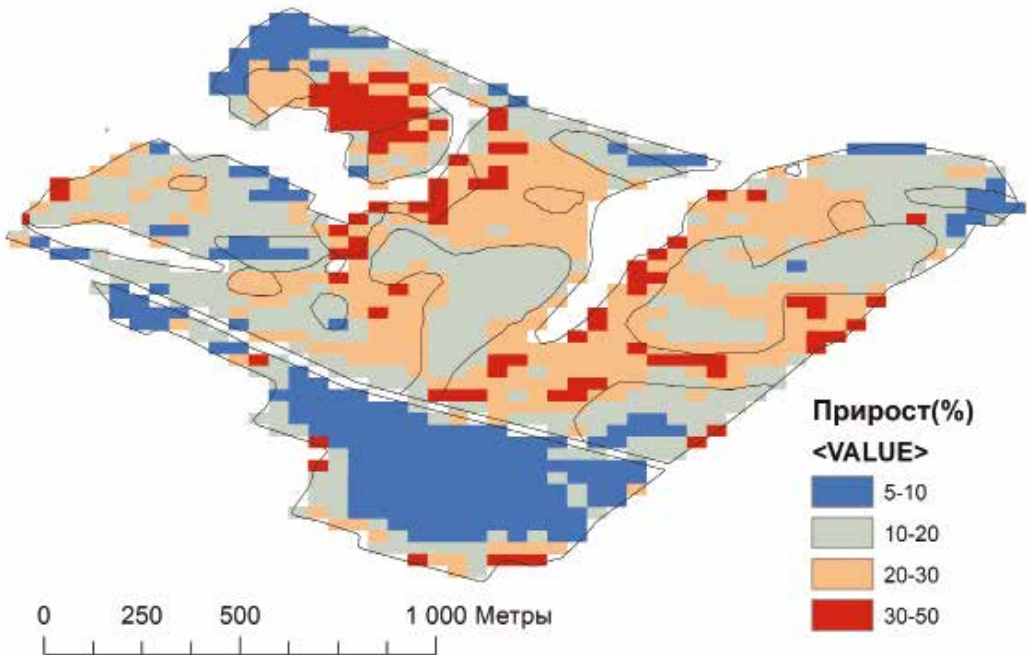


Рис. 6. Прирост значения NDVI в процентах

20–30%; на участках, где доза удобрений была снижена до 180 кг/га, прирост составил 5–20%. В целом для участка характерно повышение однородности состояния посевов, что свидетельствует об эффективности использованной методики.

Авторы эксперимента не ставили цель повлиять на урожайность сельскохозяйственной культуры, ввиду отсутствия данных о влажности почвы и содержания в ней химических элементов. В ходе проведения исследования нами было доказано, что с использованием данных ДЗЗ и специализированной сельскохозяйственной техники возможно влиять на состояние сельскохозяйственных культур. Данная методика требует дальнейшего детального исследования для научнообоснованного

определения норм внесения азотных удобрений по данным вегетационных индексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродский А. К. *Краткий курс общей экологии: Учебное пособие*. — СПб.: ДЕАН, 2000. 224 с.
2. GreenSeeker handheld crop sensor — electronic resource. Mode of access: <http://www.trimble.com/Agriculture/gs-handheld.aspx>
3. Sensor-Based Nitrogen Rate Calculator. Accurate Mid-Season Crop Fertilizer N Recommendations — electronic resource. Mode of access: <http://soiltesting.okstate.edu/sensor-based-n-rate-calculator>
4. Ротационный культиватор AMAZON KG — электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.amazone.ru/420.asp>