

УДК 631:332.3

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Никонорова И.В., Гуменюк А.Е., Пивоваров И.А.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,  
Чебоксары, e-mail: niko-inna@yandex.ru, annagumenuk@yandex.ru

В статье рассматриваются инструменты системы для постоянного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий и развития технического оснащения современных предприятий сельского хозяйства. Применение геоинформационных систем (ГИС) для оценки плодородия почв позволит повысить эффективность использования земельных ресурсов. Анализ вегетативных индексов и карты продуктивности поля, полученных с помощью ГИС, позволяет дистанционно определить такой показатель качества почвы, как продуктивность. А также найти участки почвы, к которым можно применить индивидуальный дифференцированный подход по внесению удобрений и режиму полива. Это позволит перейти к реализации технологий точного земледелия, сэкономить затраты и улучшить состояние почвы. Для усовершенствования метода оценки продуктивности при помощи ГИС, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и построения зональных карт вегетативных индексов следует рассмотреть большее количество данных. Для дешифрования снимков и оценки плодородия исследуемых почв используется специализированная в области сельского хозяйства ГИС EOS Crop monitoring. EOS Crop monitoring имеет простой и понятный интерфейс и позволяет дешифровать космические снимки и получать индексы, характеризующие состояние почвы, в автоматическом режиме. И в данной работе с помощью ГИС EOS Crop monitoring исследуются почвы сельскохозяйственных угодий, расположенных в Чебоксарском районе Чувашской Республики. В качестве данных дистанционного зондирования используются снимки спутника SENTINEL-2, способного передавать как панхроматические, так и мультиспектральные изображения в полосовом режиме. Почвы исследуемого участка дерново-подзолистые, среднесуглинистые. Категория земель – сельскохозяйственного назначения, вид разрешенного использования – для сельскохозяйственного производства. Изменения индексов носят ярко выраженный сезонный характер. В течение года поле имеет неоднородный характер влажности почвы, есть участки, которые требуют дополнительного полива. Данные пространственного распределения индексов, собранные за несколько лет, с большой достоверностью позволяют выявить имеющие постоянную локализацию участки низкой продуктивности.

**Ключевые слова:** плодородие почв, состояние земель сельскохозяйственного назначения, географическая информационная система, агроландшафтное районирование земель

## ASSESSMENT OF THE FERTILITY STATE OF AGRICULTURAL AREAS WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

Nikonorova I.V., Gumenyuk A.E., Pivovarov I.A.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary,  
e-mail: niko-inna@yandex.ru, annagumenuk@yandex.ru

Article discusses the tools of the system for continuous monitoring of the state of agricultural land and the development of technical equipment of modern agricultural enterprises. Using of GIS will increase the efficiency of the use of land resources. Analysis of vegetative indices and its mapping obtained using GIS makes it possible to remotely determine of soil productivity. Also to find areas of soil to which you can apply an individual differentiated approach to fertilization and irrigation regime. This will allow the transition to the implementation of precision farming technologies, save costs and improve the condition of the soil. To improve the method for assessing productivity using GIS, remote sensing data and the construction of zonal maps of vegetative indices, more data should be considered. To decipher the images and assess the fertility of the studied soils, the specialized in the field of agriculture GIS EOS Crop monitoring is used. GIS has a simple and intuitive interface and allows decrypting satellite images and receiving indices characterizing the state of the soil in automatic mode. Article examines the soils of agricultural land located in Cheboksary region, Chuvash Republic. The soils are sod-podzolic, medium loamy. Changes in the indices are of a pronounced seasonal nature. Throughout the year, the field has a non-uniform character of soil moisture; there are areas that require additional irrigation. The data of the spatial distribution of field indexes, collected over several years, with high reliability allow us to identify areas of low productivity with constant localization.

**Keywords:** soil fertility, state of agricultural lands, geographic information system, agrolandscape zoning of lands

Федеральным законом РФ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (1998) [1] проведение почвенных, агрохимических, фитосанитарных и эколого-токсикологических обследова-

ний и мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения определено одним из основных направлений агрохимического обслуживания. Этим законом в области обеспечения плодородия почв определены в качестве важнейших научные

исследования по разработке методик оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения и учета показателей состояния их плодородия с учетом природно-сельскохозяйственного районирования, а также гидрофизических свойств почв [2–4].

Цель исследования – дать современную оценку плодородия почв сельхозугодий Чебоксарского района Чувашской Республики с использованием ГИС-технологий.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве надежного современного инструмента анализа состояния сельхозугодий может выступать географическая информационная система (ГИС) района исследований, содержащая структурированные сведения о фактическом состоянии земель и способы анализа пригодности земель под основные типы землепользования, а также схемы оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий и посевов отдельных культур [5, 6].

Геоинформационная система позволяет картографировать географические объекты, а затем визуализировать и анализировать их по большому количеству параметров и на основе этих данных прогнозировать различные события.

Использование ГИС-технологий в инвентаризации земельных угодий, землеустройстве и кадастровых работах предусматривает решение следующих задач:

- оценка пригодности земель под возделывание сельскохозяйственных культур;
- мониторинг плодородия и отдельных свойств почв;
- оптимизация структуры землепользования, нарезка полей, участков;
- агроландшафтное районирование земель;
- региональные ограничения на использование земель;
- экономические показатели при размещении севооборотов в разных агроландшафтных группах земель [7].

ГИС объединяет средства обычных пакетов картографического отображения, функции тематического представления информации на основе привязки табличных данных к географическому местоположению с учетом дополнительной информации по находящимся в этих местах объектам. ГИС связывает инструменты графического отображения, работу с электронными таблицами, базами и хранилищами данных. Созданные карты не привязаны к отдельному моменту времени. В любой момент мож-

но обновить информацию, привязанную к карте, и внесенные изменения автоматически отразятся на ней.

К самым известным зарубежным ГИС относятся: 1) ArcGIS, AtlasGIS (Environmental Systems Research Institut, США); 2) AutoCAD (Autodesk, Inc., США); 3) EOS (EOS Data Analytics inc., США). К наиболее используемым отечественным ГИС разработкам относятся: 1) ГИС «Панорама АГРО», ГИС «Карта 2011» (ЗАО «КБ «ПАНОРАМА»); 2) Мобильная ГИС «ГеоПлан», ИАС «ГЕО-Агро» (ЗАО «ИЦ Геомир»); 3) ГИС «GeoDraw» (Центр геоинформационных исследований института географии РАН); 4) Web-ГИС «GeoMixer» (ООО «ИТЦ «СКАНЭКС»); 5) ГИС «АгроУправление», ГИС GEO'S (ООО «ЦентрПрограммСистем»). В последнее время все большее распространение получили web-ГИС. Одно из важных преимуществ архитектуры web-ГИС заключается в возможности интеграции данных реального времени, поступающих от различных датчиков.

В данной работе исследуются почвы сельскохозяйственных угодий, расположенных в Чебоксарском районе Чувашской Республики.

Для определения местоположения почв при подготовке к дешифрованию космических снимков используется публичная кадастровая карта <https://pkk.rosreestr.ru/>.

В качестве данных дистанционного зондирования используются снимки спутника SENTINEL-2, предназначенного для получения снимков с высоким разрешением, способного передавать как панхроматические, так и мультиспектральные изображения в полосовом режиме. Снимки размещены на <https://eos.com/landviewer>. Характеристики спектральных диапазонов спутника приведены в качестве общегеографической основы, для создания карт динамики плодородия почв используется цифровая карта на основе данных EOS EarthObservingSystem <https://eos.com/>.

Для дешифрования снимков и оценки плодородия исследуемых почв используется специализированная в области сельского хозяйства ГИС EOS Crop monitoring. EOS Crop monitoring имеет простой и понятный интерфейс и позволяет дешифровать космические снимки и получать индексы, характеризующие состояние почвы, в автоматическом режиме. Кроме того, результаты дешифрования доступны через интернет, что позволяет работать с данными участка дистанционно.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

На подготовительном этапе дешифрования определялось местоположение поля. Поле площадью 28 га, расположено 56° с.ш. 47° в.д. Почвы дерново-подзолистые, среднесуглинистые. Поле имеет угол склона 5°. Поле законтуренное. Вкрапленный леса нет. Содержание гумуса 1,5%. Категория земель – сельскохозяйственного назначения, вид разрешенного использования – для сельскохозяйственного производства. Определение местоположения поля показано на рис. 1.

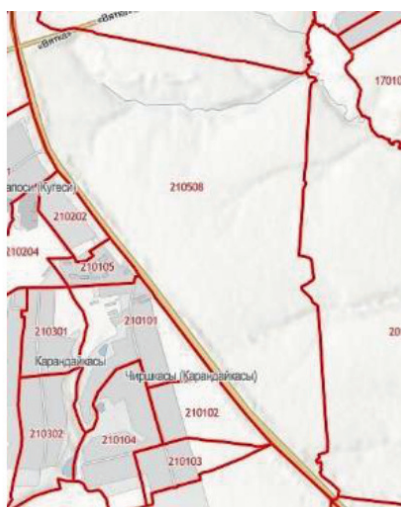


Рис. 1. Определение местоположения поля

Поле находится близко к дороге и недалеко от пунктов реализации сельскохозяйственной продукции и приобретения промышленных товаров.

Для дешифрования были выбраны снимки спутника SENTINEL-2, полученные в различных комбинациях спектральных каналов. На рис. 2 представлен снимок поля в каналах 2, 3, 4.

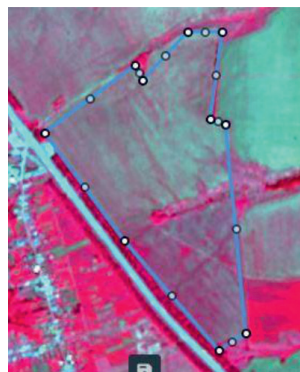
Также были выбраны снимки в других комбинациях спектральных каналов, которые используются для расчета вегетативных индексов и индекса влажности. На рис. 2, 3 представлен снимок поля в различных комбинациях спектральных каналов.

Для дешифрования космических снимков использовалась ГИС Crop Monitoring. Способ дешифрования – автоматизированное. На рис. 4 представлен снимок поля, загруженный в Crop Monitoring.

По спутниковым снимкам определялись вегетативные индексы и строились зонированные карты для определения проблемных участков почвы. На рис. 4 показаны карты вегетативных индексов и индекса влажности поля. Полученные карты вегетации позволяют сделать вывод, что поле имеет части с сорными растениями и части, требующие внесения азотных удобрений. Режим влажности поля неоднородный, есть сухие участки, требующие дополнительного полива.

Использование серии космических снимков на некотором отрезке времени позволяет проследить, как меняются карты вегетации. На рис. 5 показан график изменения индекса вегетации NDVI участка в течение года.

Индекс NDMI связан с фотосинтетической активностью растений. Уровень значений NDMI начинает возрастать в апреле. Минимум NDMI приходится на вторую половину лета, когда заканчивают развитие злаковые травы.



а) в комбинации спектральных каналов 2, 3, 4

б) в комбинации спектральных каналов 3, 4, 8

Рис. 2. Снимок спутника SENTINEL-2



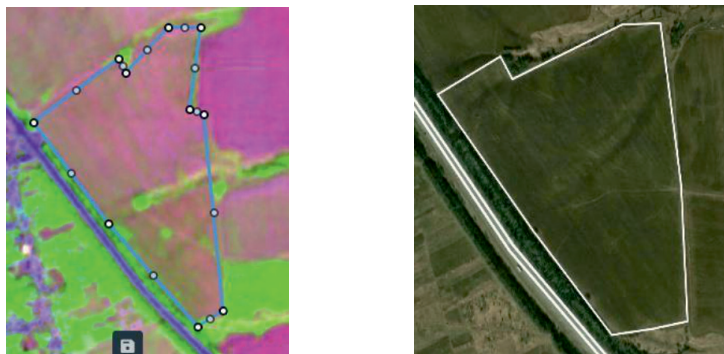
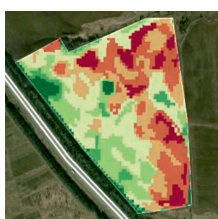


Рис. 3. Снимок спутника SENTINEL-2 в комбинации спектральных каналов 2, 8, 11



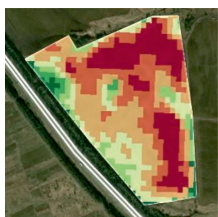
Карта индекса NDVI

зеленый цвет, 6,5% NDVI = 0,85 высокий уровень вегетации, поле может содержать сорные растения  
90,5% NDVI = 0,6÷0,78 средний уровень вегетации  
красный цвет, 3% NDVI = 0,54 низкий уровень вегетации, поле может иметь проблемы с вредителями или заболеваниями растений



Карта индекса NDRE

зеленый цвет, 5,4% NDRE = 0,59 высокий уровень вегетации  
82,9% NDRE = 0,37÷0,52 средний уровень вегетации  
красный цвет, 12,5% NDRE = 0,34 низкий уровень вегетации



Карта индекса MSAVI

зеленый цвет, 2,9% MSAVI = 0,61 высокий уровень вегетации  
84,8% MSAVI = 0,35÷0,52 средний уровень вегетации  
красный цвет, 12,3% MSAVI = 0,34 низкий уровень вегетации



Карта индекса ReCI

зеленый цвет, 2% ReCI = 14,41 высокий уровень вегетации  
69,1% ReCI = 3,63÷5,75 средний уровень вегетации  
красный цвет, 30,9% ReCI = 2,73 низкий уровень вегетации, поле требует внесения азотных удобрений



Карта индекса NDMI

зеленый цвет, 3,4% NDMI = 0,63 высокий уровень влажности  
69,6% NDMI = 0,05÷0,27 средний уровень влажности  
красный цвет, 27% NDMI = 0 низкий уровень влажности  
поле имеет разные режимы влажности почвы

Рис. 4. Карты индексов NDVI, NDRE, MSAVI, ReCI, NDMI

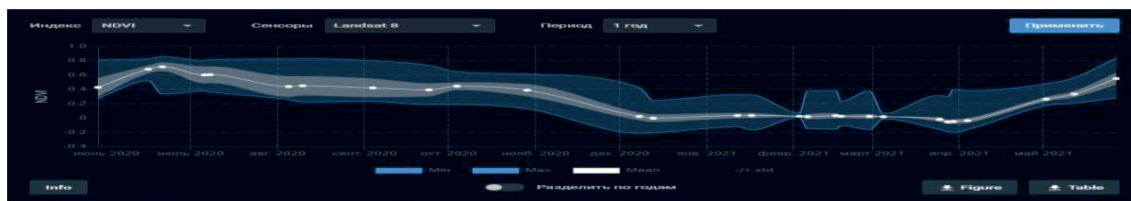


Рис. 5. График изменения индекса вегетации NDVI участка в течение года

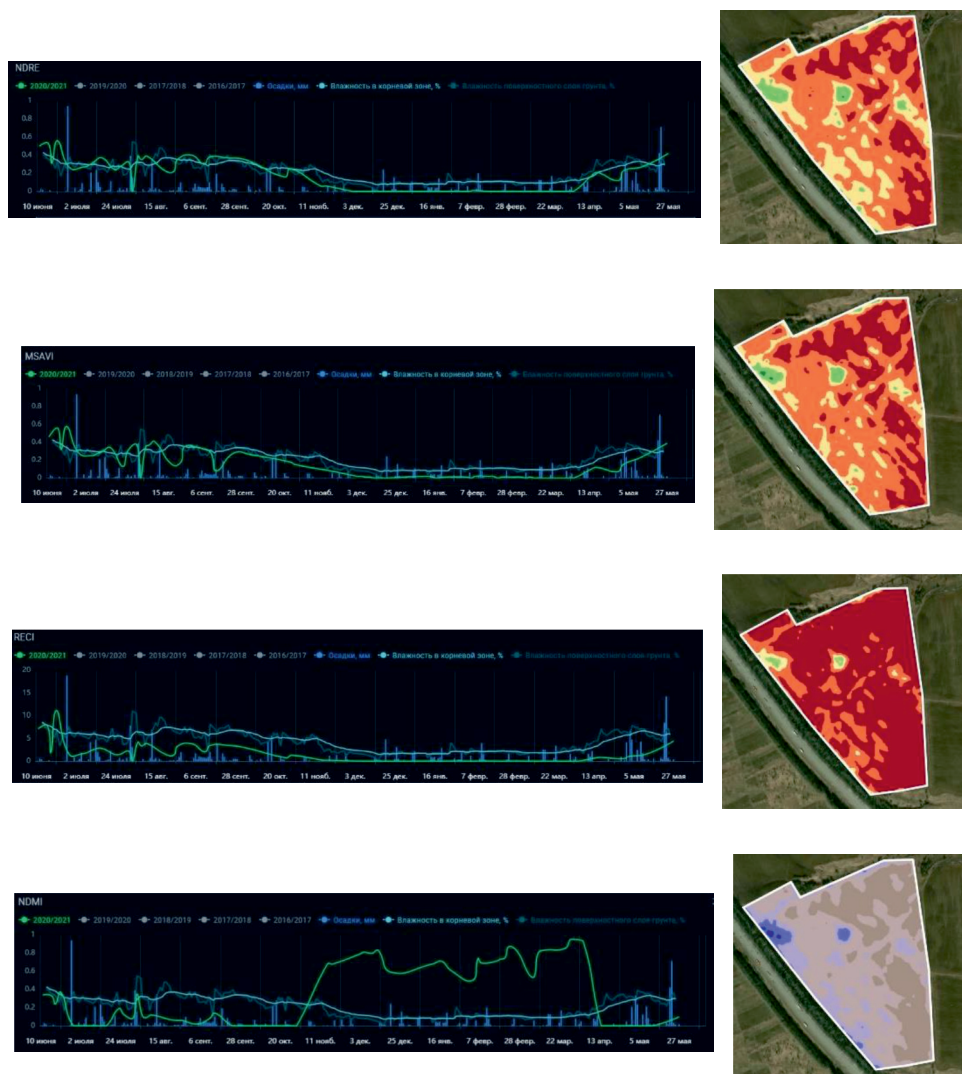


Рис. 6. Изменение индекса NDMI

Осенние дожди вызывают вторичную вегетацию злаков. На графике виден максимум. Низкие значения индекса не обязательно означают отсутствие растительного покрова. На NDMI оказывает влияние почвенный покров. На отражение почвами световой энергии влияет их увлажнение, структура, пористость.

На рис. 6 показаны графики изменения индексов вегетации и индекса влажности поля в течение года.

Изменения индексов носят ярко выраженный сезонный характер. В течение года поле имеет неоднородный характер влажности почвы, есть участки, которые требуют дополнительного полива.

Данные пространственного распределения индекса NDVI на поле, собранные за несколько лет, с большой достоверностью позволяют выявить имеющие постоянную локализацию участки низкой продуктивности. Если такие участки на поле есть и ежегодно воспроизводятся, то их появление связано с какой-то постоянной проблемой, которая из года в год негативно воздействует на развитие посевов [8]. На рис. 7 показана карта продуктивности исследуемого поля.



Рис. 7. Карта продуктивности поля

По карте продуктивности (рис. 7) видно, что поле показывает скорее среднюю продуктивность. Уровень продуктивности поля, найденный при помощи автоматизированного анализа вегетативного индекса NDVI за несколько лет, составляет около 40%. Для повышения продуктивности [8] рекомендуется осуществить отбор проб для агрохимического анализа почвы, а затем, по необходимости, вносить удобрения согласно результатам агрохимического анализа. Также следует обратить внимание и на агрофизические свойства почвы. Возможно, средняя продуктивность связана с агрофизическими особенностями поля и его гидрологическими условиями.

Метод определения продуктивности поля по карте вегетативного индекса NDVI является статистическим. Для увеличения степени достоверности определения продуктивности исследуемого поля надо рассмотреть более длительный отрезок времени. Также можно рассмотреть карты продуктивности нескольких полей и выбрать критерии оценки продуктивности.

### Заключение

Таким образом, анализ вегетативных индексов и карты продуктивности поля, полученных с помощью ГИС, позволяет дистанционно определить такой показатель качества почвы, как продуктивность. А так-

же найти участки почвы, к которым можно применить индивидуальный дифференцированный подход по внесению удобрений и режиму полива. Это позволит перейти к реализации технологий точного земледелия, сэкономить затраты и улучшить состояние почвы. Для усовершенствования метода оценки продуктивности при помощи ГИС, ДЗЗ и построения зональных карт вегетативных индексов следует рассмотреть большее количество данных.

### Список литературы / References

1. Федеральный закон от 16.07.1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (с изм. 2020 года). [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12112328/> (дата обращения: 07.12.2021).
2. Federal Law of July 16, 1998 No. 101-FZ «On State Regulation of Ensuring the Fertility of Agricultural Lands» (as amended in 2020). [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/12112328/> (date of access: 07.12.2021).
3. Васюков П.В., Васюков С.В., Гасанов И.М., Сироткин В.В. Гидрофизические параметры как основа качественной оценки основных зональных почв Чувашской Республики // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 83–89.
4. Vasyukov P.V., Vasyukov S.V., Gasanov I.M., Sirotkin V.V. Hydrophysical parameters as a basis for a qualitative assessment of the main zonal soils of the Chuvash Republic // Bulletin of the Chuvash University. 2013. No. 3. P. 83–89.
5. Васюков П.В., Васюков С.В., Сироткин В.В. Use of the data of remote sensing for definition of hydrophysical parameters of soils of the east and the south of the European Russia // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 2014. Т. 8. No. 9. P. 27–34.
6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
7. Methodical instructions for conducting integrated monitoring of soil fertility of agricultural lands. M.: FGNU «Rosinformagrotech», 2003. 240 p.
8. Варламов А.А., Гальченко С.А., Никонорова И.В., Мулендеева А.В., Ильин В.Н. Теория и практика управления земельными ресурсами регионов Среднего Поволжья. Чебоксары, Чувашский государственный университет. 2016. 240 с.
9. Varlamov A.A., Galchenko S.A., Nikonorova I.V., Mulendeeva A.V., Ilyin V.N. Theory and practice of land management in the regions of the Middle Volga region. Cheboksary, Chuvash State University. 2016. 240 p.
10. Копишев И.Е., Иманбаева М.Т., Байгарин Д.Д., Айдарбекова А.А. Применение ГИС-технологий при мониторинге состояния сельскохозяйственных угодий: сборник материалов международной научно-практической конференции. Астана, 2016. С. 289.
11. Kopishev I.E., Imanbaeva M.T., Baigarin D.D., Aydarbekova A.A. Application of GIS technologies in monitoring the state of agricultural land: Collection of materials of the international scientific and practical conference. Astana, 2016. P. 289.
12. Дитц Л.Ю., Билецкая Н.Л. Информационная оценка земель Новосибирской области // Гео-Сибирь. 2005. Т. 3. № 1. С. 131–135.
13. Dietz L.Yu., Biletskaya N.L. Information assessment of the lands of the Novosibirsk region // Geo-Siberia. 2005. T. 3. No. 1. P. 131–135.
14. Железнова С. Дистанционная оценка зон продуктивности поля – еще один шаг к точному земледелию. [Электронный ресурс]. URL: <https://exactfarming.com/ocenka-produktivnosti-polya> (дата обращения: 21.11.2021).
15. Zheleznova S. Remote assessment of field productivity zones – another step towards precision farming [Electronic resource]. URL: <https://exactfarming.com/ocenka-produktivnosti-polya> (date of access: 21.11.2021).