



Научная статья  
 УДК 332.3; 332.54; 711.14  
 doi: 10.55186/25876740\_2025\_68\_4\_467

## ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК ИНДЕКСА NDVI В ГРАНИЦАХ РАЗЛИЧНЫХ УГОДИЙ

Е.Г. Черных, Д.А. Букреев

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Аннотация.** Исследование посвящено созданию программного модуля расчета элементарных ячеек вегетационного индекса в границах различных угодий. Обработка большого массива информации по заданным алгоритмам, повышение точности анализа, сотрудничество между различными уровнями власти и общества позволят создать комфортные условия использования земельных ресурсов на территории населенных пунктов и за их пределами. Разработка программного расчетного модуля требует интеграции геоинформационной системы и данных дистанционного зондирования Земли. Такое сочетание позволит не только агрегировать данные, но и обрабатывать их по заданному расчетному алгоритму. Визуализация информации является еще одним инструментом научных исследований, позволяющим учитывать уникальные характеристики конкретных исследуемых территорий. Исследование направлено на создание автоматизированного расчетного механизма в виде программного модуля, который позволит эффективнее управлять территориями в условиях современных вызовов.

**Ключевые слова:** мониторинг земель, пространственное развитие территории, земли сельскохозяйственного назначения, урбанизация, вегетационный индекс, дистанционное зондирование Земли

Original article

## SOFTWARE MODULE FOR CALCULATION OF ELEMENTARY CELLS OF THE NDVI INDEX WITHIN THE BOUNDARIES OF VARIOUS LANDS

E.G. Chernykh, D.A. Bukreev

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Abstract.** The study is devoted to the creation of a software module for calculating the elementary cells of the vegetation index within the boundaries of various lands. By processing a large array of information using specified algorithms, increasing the accuracy of analysis, cooperation between different levels of government and society, it will create comfortable conditions for the use of land resources in the territory of populated areas and beyond. The development of a software calculation module requires the integration of a geographic information system and Earth remote sensing data. Such a combination will allow not only to aggregate data, but also to process them according to a specified calculation algorithm. Information visualization is another tool for scientific research, allowing to take into account the unique characteristics of specific study areas. The study is aimed at creating an automated calculation mechanism in the form of a software module that will allow more efficient management of territories in the face of modern challenges.

**Keywords:** land monitoring, spatial development of the territory, agricultural lands, urbanization, vegetation index, remote sensing of the Earth

**Введение.** Оценка средоформирующих свойств территории как совокупности земель, ландшафтов и недр актуальна при анализе состояния земель населенных пунктов и за их пределами. В процессе освоения недр ее средоформирующий потенциал (СФП), как совокупность компонентов природной среды, куда следует отнести запасы ресурсов, воздействие различных факторов естественной среды и условия, характерные для исследуемой территории, которые в своем сочетании и комбинировании обладают средообразующими (СОС), средовоспроизводящими (СВС) и средозащитными (СЗС) свойствами (включая климатические, геологические, гидрологические, земельные, почвенные и др., а также антропогенные), уменьшается при интенсивном освоении. Вследствие этого, коллективом авторов сформулирована актуальная научно-техническая проблема, решение которой, с помощью подготовленного комплекса методик, дает возможность анализировать динамику средоформирующего потенциала различных типов угодий на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли.

**Методы или методология проведения исследования.** Для решения поставленных задач использованы методы моделирования, анализа, формализации, обобщения, абстрагирования.

Авторами разработан расчетный модуль элементарных ячеек индекса NDVI с использованием языка программирования Python для QGIS 3.28.2.

**Ход исследования.** Для повышения эффективности работы с базой данных, а также для автоматического расчета элементарных ячеек индекса NDVI авторами разработан программный модуль на базе QGIS. Модуль позволяет считать количество элементарных ячеек внутри каждого угодья за выбранный год и вычислить частотное распределение NDVI.

Для более развернутого анализа информационной базы данных плагин позволяет выбирать разные спутниковые снимки в зависимости от года. В данном исследовании были использованы снимки 2013, 2019 и 2024 гг. (рис. 1).

Данный модуль может работать на любом предложенном растре. Для корректной работы плагина необходимо извлечь поканальный растр, для NIR-канала для ближней инфракрасной области спектра и RED-канала сигнала красного. Затем необходимо перейти в растр калькуляторов, там видны представленные каналы, далее выбираем только один и перезаписываем его в необходимую директорию.

Вызвав ее, мы получаем оконный плагин, который запрашивает следующие параметры, представленные на рисунке 2.

Выбор целевой системы координат, безусловно, необходим, но это не обязательный пункт, так как изначально этот плагин формировался под метрические UTM-координаты. По ходу выполнения программирования стало понятно, что можно было от этого отказаться, достаточно было указать только базовую всемирную систему геодезических параметров Земли WGS-84.

После выбора системы координат происходит выбор двух каналов растров NIR и RED, по которым и будет непосредственно выполняться расчет NDVI. В результате, итогом мы получаем слой, содержащий таблицу видов угодий. В графическом представлении это извлеченные точки растра с посчитанным NDVI. То есть здесь каждая точка — это центр искомого пикселя (рис. 3).

На данном этапе графическое представление нам сейчас уже не так актуально, так как внутри уже приведена расчетная сводная таблица. Открыв слой как таблицу, мы увидим название вида угодья, взятое из предыдущего векторного слоя (рис. 4).

Далее рассмотрим этот же плагин со стороны разработчика, и как решены задачи по агрегации. Нажав на кнопку Edit Model, мы сможем увидеть внутренности разработанной алгоритмической модели (рис. 5).



Здесь у нас представлено два канала, которые подключаются к растру, границы участков векторные, обязательное поле, которое содержит класс участка векторного слоя. Также имеются две ветки, верхняя и нижняя, которые потом объединяются в агрегации.

Если рассматривать функционал верхней растровой ветки, то по ней первостепенно происходит расчет NDVI. Сначала подаются два канала и считается формула калькулятора растров, затем происходит переопределение значения растров, соответственно упрощается

процедура подсчета благодаря приведению к конкретной классификации, а не промежуточной, интервальной.

Следующим шагом из растра, просчитанного NDVI, извлекаем центры пикселей (рис. 6).

Это наиболее удобная форма подсчета, когда у нас каждый квадрат возвращает свой пиксель, у которого есть его перекалиброванное значение NDVI. Соответственно, именно на этом моменте у нас формируется этот слой в геометрии, чтобы наши точки на плоскости 100% сошлись и попали внутрь слоя с векторной геометрией границ.

Далее переходим ко второй ветке, которая формирует векторную геометрию границ. Они также могут перепроцессориться, так как если у нас целевая система, не WGS-84, а метрическая целевая система, необходимо, чтобы точки, полученные из растра, и границы, полученные из изначального слоя, совпадали. Затем мы работаем с именем класса, и нам необходимо знать его однозначное имя. Поэтому на этом этапе переименуется имя в класс (class) (рис. 7).

Далее отправляется запрос на каком слое, на каком классе лежит эта точка. Таким образом, каждая точка получает свой класс (вид уголья), исходя из того, где она лежит на слое (рис. 8).

После этой операции мы формируем запрос для точек, которые пересекают или содержатся внутри полигонов, какой у них класс (вид уголья). Это ранее переименованное поле. И, соответственно, после этого у нас уже получается в этом поле два показателя: класс (вид уголья), и ее value, то есть промежуток значения NDVI, который присущ этой точке. Как итог, происходит финальная агрегация.

Агрегация идет сразу по двум параметрам — по виду уголья и по ее NDVI, так как нам необходимо обозначить промежутки значений всех видов угольев. То есть именно так, как здесь представлено, что первый атрибут — это виды уголья, а второй атрибут — это класс NDVI.

То есть здесь выставлена необходимая группировка, а дальше ячейки агрегируются по группам. Формируется здесь только ячейка со значением NDVI, которая считает, сколько числовых значений входит в полигон.

**Результаты и обсуждение.** Несмотря на вышеизложенный функционал, данный программный модуль имеет некоторые незначительные ограничения. Ограничения распространяются на «края вхождения», то есть на те точки, которые не входят в границу исследуемого полигона. Но в целом это никак не влияет на расчетные процедуры, так как этот ряд пикселей можно не учитывать в этом промежутке включения.

В конечном счете этот подход дает лучшие результаты, нежели объединение по полигонам, потому что объединение по полигонам включило бы все внешние точки, если бы они попали в один диапазон, то есть они бы соединились в единый полигон и при наложении учли бы внутри границ, хотя они не входят в заданные границы. То есть точечное попиксельное представление является более рациональным механизмом.

**Выводы.** В заключение следует отметить, что разработка расчетного модуля элементарных ячеек индекса NDVI представляет собой важный шаг в направлении эффективного управления земельными ресурсами и обеспечения устойчивого развития территорий регионов.

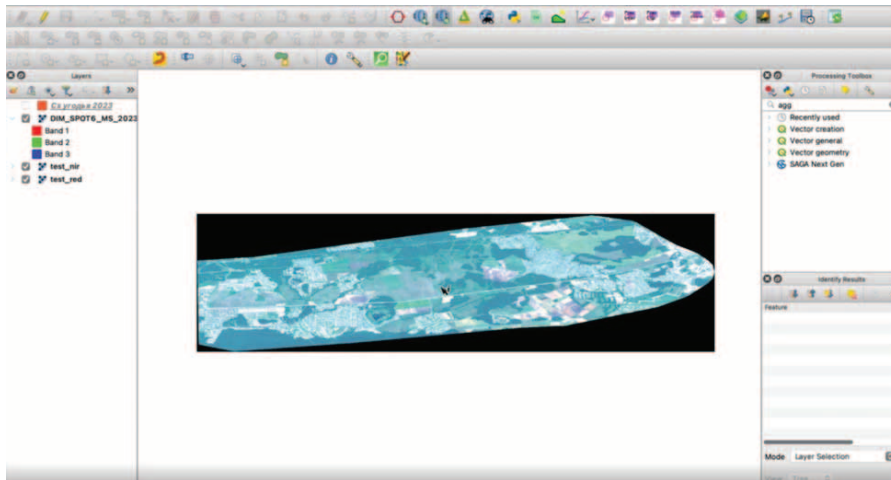


Рисунок 1. Фрагмент растра разработанного расчетного модуля  
Figure 1. Raster fragment of the developed calculation module

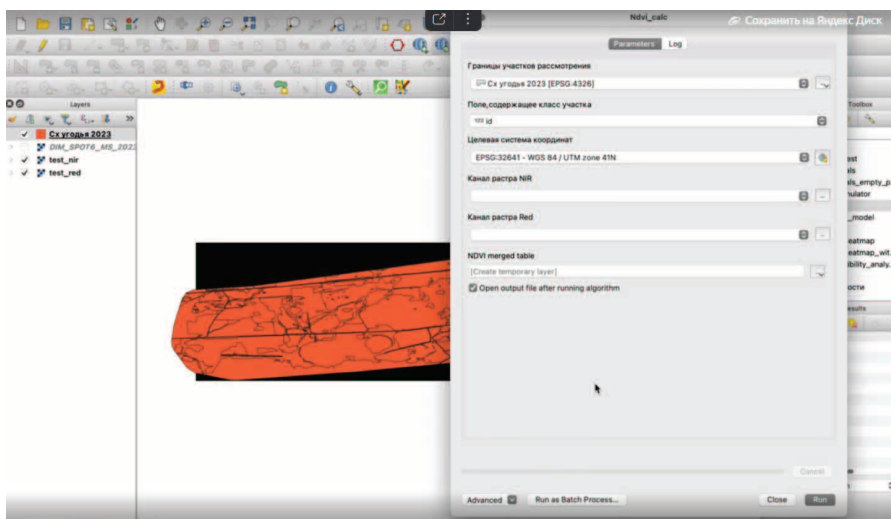


Рисунок 2. Фрагмент программного модуля с указанием границ участков рассмотрения  
Figure 2. A fragment of the software module indicating the boundaries of the areas under consideration

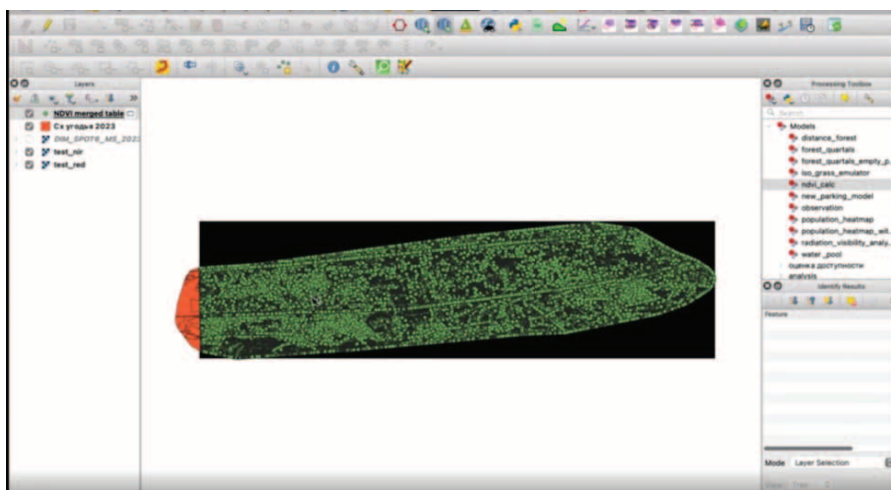


Рисунок 3. Фрагмент программного модуля с извлеченными точками растра с посчитанным NDVI  
Figure 3. A fragment of the software module with extracted raster points with calculated NDVI



Созданный модуль позволяет проводить глубокий анализ и прогнозирование изменений в окружающей среде, а также принимать обоснованные решения по управлению природными ресурсами.

Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию более детализиро-

ванных информационных систем, которые будут способствовать более эффективному использованию земельных ресурсов и сохранению экологического баланса на планете.

В целом результаты исследования имеют важное значение для развития теории и практики управления земельными ресурсами. Они мо-

гут быть использованы при разработке стратегий и планов развития территорий, а также при принятии решений в области природопользования и охраны окружающей среды.

**Список источников**

1. Бородин С.Н. Модель оценки устойчивого развития региона на основе индексного метода // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 1. С. 45-59.

2. Варламов А.А. Региональные системы землепользования в Российской Федерации // Землеустроительное образование и наука: из XVIII в XXI век: материалы Международного научно-практического форума, посвященного 240-летию со дня основания Государственного университета по землеустройству, Москва, 27 мая 2019 г. М.: Государственный университет по землеустройству, 2019. Т. 1. С. 65-73.

3. Гузева И.В., Черных Е.Г., Бударова В.А. Некоторые проблемы землеустройства как сферы деятельности и ведущей отрасли науки // Московский экономический журнал. 2019. № 10. С. 137-146. doi: 10.24411/2413-046X-2019-10082

4. Доклад «О состоянии и использовании земель в Тюменской области в 2022 году»: официальный сайт Росреестра. URL: <https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyaniye-zemel-rossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-0-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения: 09.05.2024).

5. Сизов А.П. Оценка средоформирующего потенциала территории населенных пунктов при осуществлении государственного мониторинга земель // Геодезия и картография. 2018. № 6. С. 43-50.

6. Ramos Aguila, L.C., Sánchez Moreano, J.P., Akutse, K.S., Bamisile, B.S., Liu, J., Haider, F.U., Ashraf, H.J., Wang, L. (2023). Comprehensive genome-wide identification and expression profiling of ADF gene family in *Citrus sinensis*, induced by endophytic colonization of *Beauveria bassiana*. *Int J Biol Macromol.*, vol. 225, pp. 886-898. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.153

7. Wilcken, C.F., Dal Pogetto, M.H. F.D.A., Lima, A.C.V., Soliman, E.P., Fernandes, B.V., da Silva, I.M., Zanuncio, A.J.V., Barbosa, L.R., Zanuncio, J.C. (2019). Chemical vs entomopathogenic control of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) via aerial application in eucalyptus plantations. *Sci Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 416. doi: 10.1038/s41598-019-45802-y

8. Barra-Bucarei, L., France Iglesias, A., Gerding González, M., Silva Aguayo, G., Carrasco-Fernández, J., Castro, J.F., Ortiz Campos, J. (2019). Antifungal Activity of *Beauveria bassiana* Endophyte against *Botrytis cinerea* in Two Solanaceae Crops. *Microorganisms*, vol. 8, no. 1, p. 65. doi: 10.3390/microorganisms8010065

9. Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, no. 309 (5734), p. 570.

10. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Glob. Environ. Change*, no. 11 (4), p. 261.

11. De Souza Miranda R. (2016). Ammonium improves tolerance to salinity stress in *Sorghum bicolor* plants. *Plant Growth Regulation*, vol. 78, no. 1, pp. 121-131.

12. Zaytsev, A., Pak, Kh.S., Elkina, O., Tarasova, T., Dmitriev, N. (2021). Economic security and innovative component of a region: a comprehensive assessment. *Sustainable Development and Engineering Economics*, no. 2, pp. 58-78.

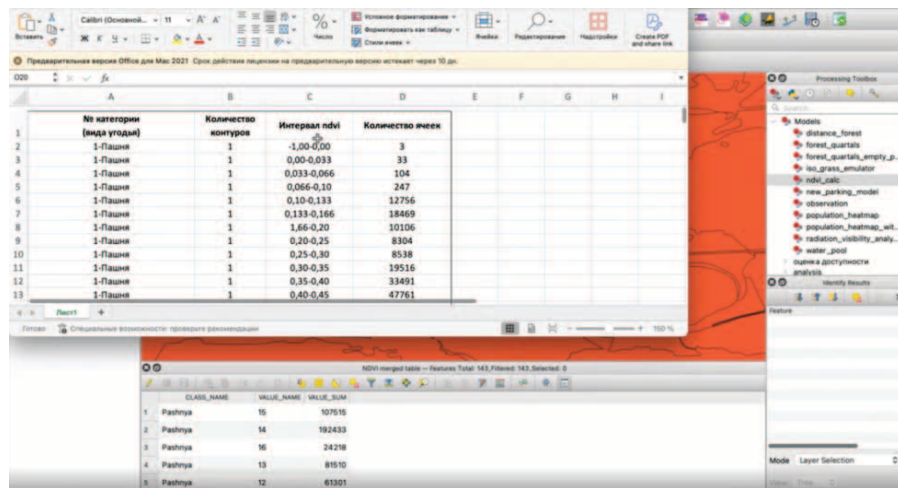


Рисунок 4. Фрагмент программного модуля с расчетной сводной таблицей  
Figure 4. A fragment of a software module with a calculation summary table

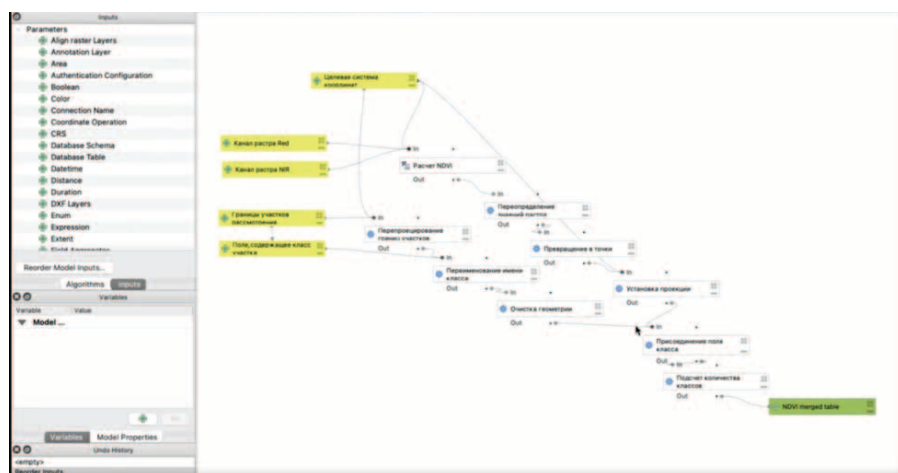


Рисунок 5. Фрагмент программного модуля с разработанной алгоритмической моделью  
Figure 5. A fragment of a software module with a developed algorithmic model

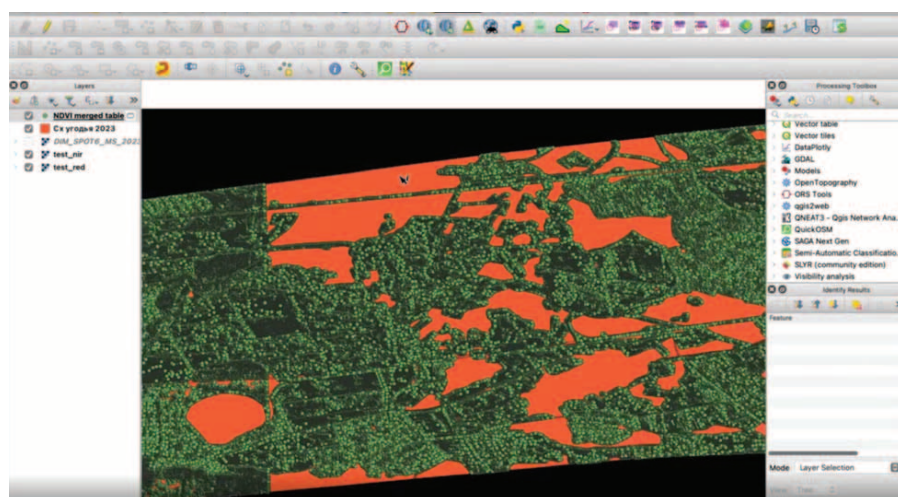


Рисунок 6. Фрагмент программного модуля с визуализацией извлекаемых центров пикселей  
Figure 6. A fragment of the software module with visualization of extracted pixel centers



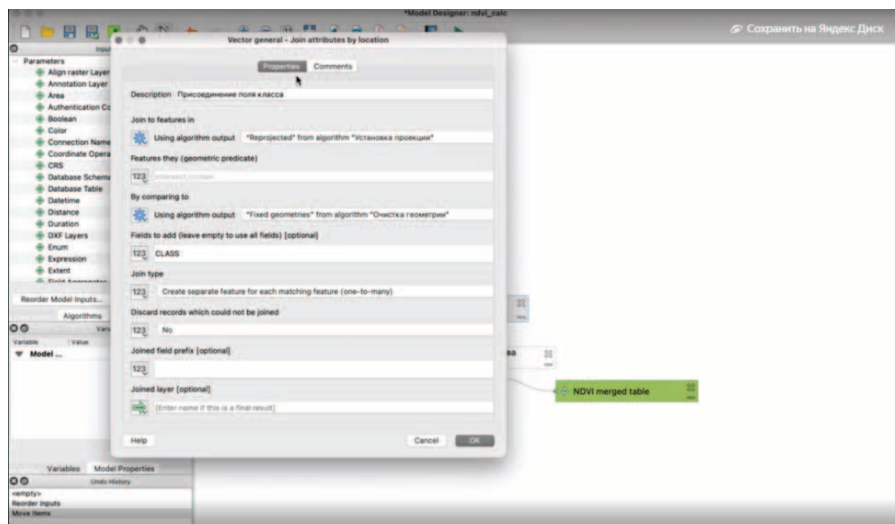


Рисунок 7. Фрагмент программного модуля с подачей запроса на присоединение поля класса  
Figure 7. A fragment of a software module with a request to attach a class field

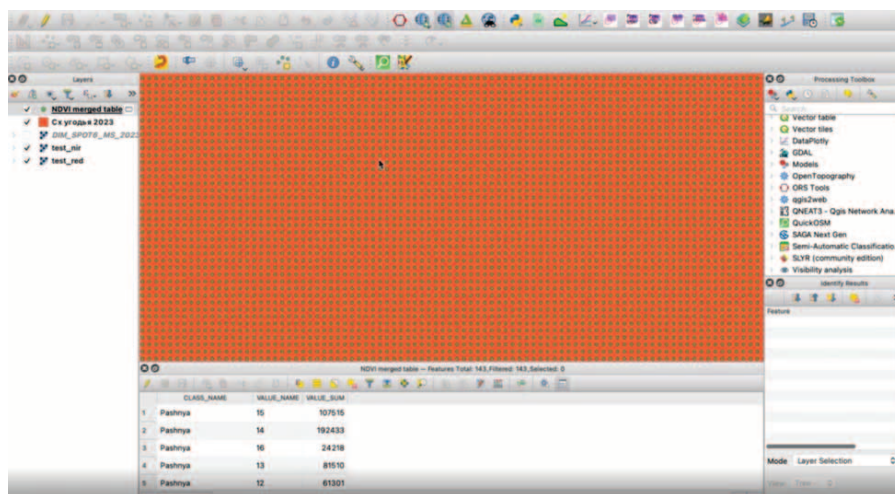


Рисунок 8. Фрагмент программного модуля с указанием точки вида угодья  
Figure 8. A fragment of the software module indicating the point of the type of land

13. Oulidi, H.J., Moumen, A. (2015). Towards to Spatial Data Infrastructures and an Integrated Management of Groundwater Resources. *Journal of Geographic Information Systems*, no. 7, pp. 667-676.

## References

1. Borodin, S.N. (2023). Model' otsenki ustoychivogo razvitiya regiona na osnove indeksnogo metoda [Model for assessing regional sustainable development based on the index method]. *Ekonomika regiona* [Economy of regions], vol. 19, no. 1, pp. 45-59.

2. Varlamov, A.A. (2019). Regional'nye sistemy zemlepol'zovaniya v Rossiiskoi Federatsii [Regional land use systems in the Russian Federation]. *Zemleustroitel'noe ob-*

*razovanie i nauka: iz XVIII v XXI vek: materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 240-letiyu so dnya osnovaniya Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroystvu, Moskva, 27 maya 2019 g.* [Land management education and science: from the XVIII to the XXI century: materials of the International scientific and practical forum dedicated to the 240th anniversary of the founding of the State University of Land Use Planning, Moscow, May 27, 2019]. Moscow, State University of Land Use Planning, vol. 1, pp. 65-73.

3. Guzeva, I.V., Chernykh, E.G., Budarova, V.A. (2019). Nekotorye problemy zemleustroystva kak sfery deyatel'nosti i vedushchei otrasli nauki [Some problems of land management as a sphere of activity and leading branch of science]. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal* [Moscow economic

journal], no. 10, pp. 137-146. doi: 10.24411/2413-046X-2019-10082

4. Doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Tyumenskoi oblasti v 2022 godu»: ofitsial'nyi sait Rosreestra [Report "On the condition and use of land in the Tyumen region" in 2022: the official website of Rosreestr]. Available at: <https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii> (accessed: 09.05.2024).

5. Sizov, A.P. (2018). Otsenka sredoformiruyushchego potentsiala territorii naselennykh punktov pri osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa zemel' [Assessment of the environment-forming potential of the territory of settlements in the implementation of state monitoring of lands]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], no. 6, pp. 43-50.

6. Ramos Aguila, L.C., Sánchez Moreano, J.P., Akutse, K.S., Bamisile, B.S., Liu, J., Haider, F.U., Ashraf, H.J., Wang, L. (2023). Comprehensive genome-wide identification and expression profiling of ADF gene family in *Citrus sinensis*, induced by endophytic colonization of *Beauveria bassiana*. *Int J Biol Macromol.*, vol. 225, pp. 886-898. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.153

7. Wilcken, C.F., Dal Pogetto, M.H. F.D.A., Lima, A.C.V., Soliman, E.P., Fernandes, B.V., da Silva, I.M., Zanoncio, A.J.V., Barbosa, L.R., Zanoncio, J.C. (2019). Chemical vs entomopathogenic control of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) via aerial application in eucalyptus plantations. *Sci Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 416. doi: 10.1038/s41598-019-45802-y

8. Barra-Bucarei, L., France Iglesias, A., Gerding González, M., Silva Aguayo, G., Carrasco-Fernández, J., Castro, J.F., Ortiz Campos, J. (2019). Antifungal Activity of *Beauveria bassiana* Endophyte against *Botrytis cinerea* in Two Solanaceae Crops. *Microorganisms*, vol. 8, no. 1, p. 65. doi: 10.3390/microorganisms8010065

9. Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, no. 309 (5734), p. 570.

10. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Glob. Environ. Change*, no. 11 (4), p. 261.

11. De Souza Miranda R. (2016). Ammonium improves tolerance to salinity stress in Sorghum bicolor plants. *Plant Growth Regulation*, vol. 78, no. 1, pp. 121-131.

12. Zaytsev, A., Pak, Kh.S., Elkina, O., Tarasova, T., Dmitriev, N. (2021). Economic security and innovative component of a region: a comprehensive assessment. *Sustainable Development and Engineering Economics*, no. 2, pp. 58-78.

13. Oulidi, H.J., Moumen, A. (2015). Towards to Spatial Data Infrastructures and an Integrated Management of Groundwater Resources. *Journal of Geographic Information Systems*, no. 7, pp. 667-676.

## Информация об авторах:

**Черных Елена Германовна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2644-4721>, Scopus ID: 57199391561, SPIN-код: 4135-6812, [chernyheg@tyuiu.ru](mailto:chernyheg@tyuiu.ru)

**Букреев Дмитрий Александрович**, аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности, SPIN-код: 4448-3990, [bukadimka37@gmail.com](mailto:bukadimka37@gmail.com)

## Information about the authors:

**Elena G. Chernykh**, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of geodesy and cadastral activities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2644-4721>, Scopus ID: 57199391561, SPIN-code: 4135-6812, [chernyheg@tyuiu.ru](mailto:chernyheg@tyuiu.ru)

**Dmitry A. Bukreev**, postgraduate student of the department of geodesy and cadastral activities, SPIN-code: 4448-3990, [bukadimka37@gmail.com](mailto:bukadimka37@gmail.com)

✉ [chernyheg@tyuiu.ru](mailto:chernyheg@tyuiu.ru)