

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-6-124-133>



УДК [332.3:004.89] (470.621)

© 2021

Поступила 19.11.2021

Received 19.11.2021

Принята в печать 15.12.2021

Accepted 15.12.2021

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

## МЕТОДОЛОГИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ «УМНОГО», ТОЧНОГО, ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ АДЫГЕИ

Татьяна П. Варшанина<sup>1\*</sup>, Ольга А. Плисенко<sup>1</sup>,  
Виктор Н. Коробков<sup>1</sup>, Заурбий А. Шехов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ.ВО «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем АГУ,  
Центр интеллектуальных геоинформационных технологий;  
ул. Гагарина, д. 13, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Адыгейский научно-  
исследовательский институт сельского хозяйства»;  
ул. Ленина, д. 48, п. Подгорный, 385064 Российская Федерация

**Аннотация.** Разрабатываемая цифровая платформа является информационно-математической моделью пространства сельскохозяйственных земель Адыгеи, предназначенной для решения актуальной проблемы современности: автоматизированной визуализации границ пространственно-временной неоднородности посевов и среды их обитания. Впервые создана автоматизированная вычислительная модель перераспределения агрохимических показателей в классифицированных морфометрически квазиоднородных поверхностях рельефа – геотопах в сопоставлении с почвенными условиями, климатическими и микроклиматическими флуктуациями. В задачи разработки входит: обеспечение автоматизированного мониторинга, анализа, прогнозирования и оптимизации условий произрастания культур на локальном и мезоуровне природно-хозяйственных районов региона, а также создание интеллектуальной системы информационной поддержки технологических решений применительно к почвенно-климатическим и экономическим условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия. На региональном и мезоуровне к базовой информационной составляющей цифровой платформы относится иерархия природно-хозяйственных районов, выделенных методами ландшафтно-климатического, эколого-почвенного и природно-антропогенного районирования по квазиоднородному распространению материнских пород и природно-экологическим условиям формирования мезо-, микроклимата и почв. На локальном уровне информация интегрируется относительно авторской информационно-математической 3D геометрической структурной модели поверхности рельефа поля, обеспечивающей извлечение морфометрических характеристик и расчет линий тока, определяющих направление перемещения вещества по геотопам, определение репрезентативных точек агрохимического обследования и интерполяцию

данных агрохимического анализа в рельефе поля. Цифровая платформа разрабатывается на базе свободной кроссплатформенной Quantum GIS в виде модуля расширения на языке Python с использованием библиотек QGIS. База данных цифровой платформы создается на СУБД PostgreSQL. Модуль расширения напрямую обрабатывает информацию, хранящуюся в базе данных, для получения консолидированной информации по иерархии единиц анализа – природно-хозяйственный район и сельскохозяйственное предприятие, геотоп и поле.

**Ключевые слова.** Интеллектуальная система точного земледелия, природно-хозяйственное районирование, природно-экологические условия поля, информационно-математическая модель поля, структурная геометрическая модель рельефа поля, визуализация пространственно-временной неоднородности поля, экологические морфотипы рельефа, линии тока геотопов, репрезентативные точки агрохимического обследования, интерполяция агрохимических показателей

*Для цитирования:* Методология цифровой платформы «умного», точного, экологически сбалансированного земледелия Адыгеи / Варшанина Т.П. [и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 6. С. 124-133. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-6-124-133>

## METHODOLOGY OF THE DIGITAL PLATFORM OF SMART ACCURATE ECOLOGICALLY BALANCED AGRICULTURE OF ADYGEA

**Tatiana P. Varshanina<sup>1\*</sup>, Olga A. Plisenko<sup>1</sup>, Victor N. Korobkov<sup>1</sup>, Zaurbiy A. Shekhov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*FSBEI HE «Adyghe State University», Research Institute of Complex Problems of ASU,  
Center for Intelligent Geoinformation Technologies,  
13 Gagarina str., Maykop, 385000, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Scientific Institution  
«Adyghe Scientific Research Institute of Agriculture»;  
48 Lenin str., Podgorny settlement, Maykop, 385064, Russian Federation*

**Abstract.** The digital platform being developed is an information and mathematical model of the space of agricultural lands of Adyghea, designed to solve an urgent problem of our time: automated visualization of the boundaries of spatial and temporal heterogeneity of crops and their habitat. For the first time, an automated computational model of the redistribution of agrochemical indicators in morphometrically classified quasi-homogeneous relief surfaces – geotopes in comparison with soil conditions, climatic and microclimatic fluctuations has been created. The tasks of the development include: providing automated monitoring, analysis, forecasting and optimization of crop growth conditions at the local and meso-level of natural and economic areas of the region, as well as creating an intelligent information support system for technological solutions in relation to the soil, climatic and economic conditions of a particular agricultural enterprise. At the regional and meso-level, the basic information component of the digital platform includes the hierarchy of natural and economic areas identified by methods of landscape-climatic, ecological-soil and natural-anthropogenic zoning according to the quasi-homogeneous distribution of parent rocks and natural and ecological conditions of the formation of meso-, microclimate and soils. At the local level, information is integrated with respect to the author's information-mathematical 3D geometric structural model of the field relief surface, which provides extraction of morphometric characteristics and calculation of current lines determining the direction of movement of matter along geotopes, determination of representative points of agrochemical examination and interpolation of agrochemical analysis data in the field relief. The digital platform is being developed on the basis of the free cross-platform Quantum GIS in the

form of an extension module in Python using QGIS libraries. The database of the digital platform is created on the PostgreSQL database management system. The extension module directly processes the information stored in the database to obtain consolidated information on the hierarchy of units of analysis – natural and economic area and agricultural enterprise, geotope and field.

**Keywords.** Intelligent system of precision agriculture, natural and economic zoning, natural and ecological conditions of the field, information and mathematical model of the field, structural geometric model of the relief of the field, visualization of spatial and temporal heterogeneity of the field, ecological morphotypes of the relief, current lines of geotopes, representative points of agrochemical survey, interpolation of agrochemical indicators

**For citation:** Varshanina T.P. [et al.] *Methodology of the Digital Platform of Smart Accurate Ecologically Balanced Agriculture of Adygea. New Technologies. 2021; 17(6):124-133. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-6-124-133> (In Russ.)*

**Актуальность исследования.** Одним из ключевых направлений развития точного земледелия в России считают разработку недорогостоящих методов распознавания и выделения границ пространственно-временной неоднородности посевов и среды их обитания и создание интеллектуальных систем информационной поддержки технологических решений применительно к почвенно-климатическим и экономическим условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия [8].

**Методология.** В соответствии с этим предметная составляющая разрабатываемой цифровой платформы «умного» точного земледелия (ЦП) Адыгеи ориентирована на поддержку автоматизированного комплексного анализа суммы факторов, определяющих биологическую продуктивность земель, на основе особенностей климата, рельефа, почв, растительного покрова, культурных режимов и их взаимосвязи с сельскохозяйственной продуктивностью земель. Существенным дополнением является реализация возможности интеграции наземной информации с данными дистанционного зондирования для целей автоматизированного мониторинга почвенных ресурсов на основании точечной информации как по почвенным разрезам, так и по данным агрохимического обследования. При этом надежность пространственной интерполяции и экстраполяции точечных наблюдений

определяется прецизионным расположением точек обследования.

**Результаты.** В настоящее время разрабатываемая на примере горно-равнинной Адыгеи ЦП «умного» точного земледелия включает модули цифровой визуализации системы полимасштабной (взаимообусловленной) пространственно-временной природно-антропогенной неоднородности как в пределах каждого сельскохозяйственного поля, так и во вмещающей земли сельскохозяйственного назначения ландшафтной среде, для сопровождения устойчивого высокопродуктивного ресурсо- и природосберегающего производства экологически чистой растениеводческой продукции.

На локальном уровне сельскохозяйственного поля вычислительными методами выявляются природные границы неоднородностей, обуславливающих пространственную дифференциацию агрохимического состояния почв и микроклимата – среды обитания посевов, необходимых для дифференцированного планирования и выполнения соответствующих агроприемов. На региональном и мезоуровне выявленные неоднородности, связанные с природно-антропогенными, почвенно-климатическими параметрами и экологическим балансом земельных угодий, позволяют разработать алгоритмы технологических решений для конкретных сельскохозяйственных предприятий.

Пространственно-атрибутивная информация базы данных характеристик

полимасштабной природно-антропогенной, агрохимической неоднородности и ее мониторинг создают электронную базу агротехнологических знаний (БЗ) для последующей разработки интеллектуальных систем автоматизированного прогнозируемого и оперативного принятия оптимальных агротехнологических решений для конкретного сельскохозяйственного поля.

В целом ЦП Адыгеи представляет собой информационно-математическую модель пространства сельскохозяйственных земель, предназначенную для анализа, прогнозирования и оптимизации природно-экологических ситуаций (условий произрастания) на локальном и мезоуровне природно-хозяйственных районов (ПХР) региона.

На мезоуровне иерархия ПХР выделена по квазиоднородному распространению материнских пород и природно-экологическим условиям формирования мезо-, микроклимата и почв [2; 3]. Районирование произведено в результате совмещенного анализа климатической, почвенной, ландшафтной, агроклиматической карт Адыгеи [1] с учетом закономерности модификации физико-географических

условий в пространстве горно-равнинного региона. Так, в результате классификации комплекса климатоформирующих факторов Западного Кавказа [2, с. 142–172; 12; 13] на территории республики выделено 11 ландшафтно-климатических мезорайонов, в их границах 17 районов и 10 подрайонов. Классификация комплекса почвоформирующих факторов позволила определить 10 эколого-почвенных районов и в их границах 35 подрайонов; классификация комплекса агроприродных факторов выявила 9 природно-хозяйственных районов и в их границах 35 подрайонов [3, с. 267–307].

К атрибутам базы данных по каждому из выделенных девяти ПХР отнесены характеристики: рельефа (форма, высота, уклоны, экспозиция, наветренные/подветренные склоны), литологии, климата (режимы температуры и осадков, продолжительность вегетации, теплообеспеченность, коэффициент увлажнения), гидросети, почв, вида природопользования (рис. 1, 2).

Обеспечивается автоматизированная оценка экологической сбалансированности землепользования в пределах ПХР и функциональной репрезентативности ее

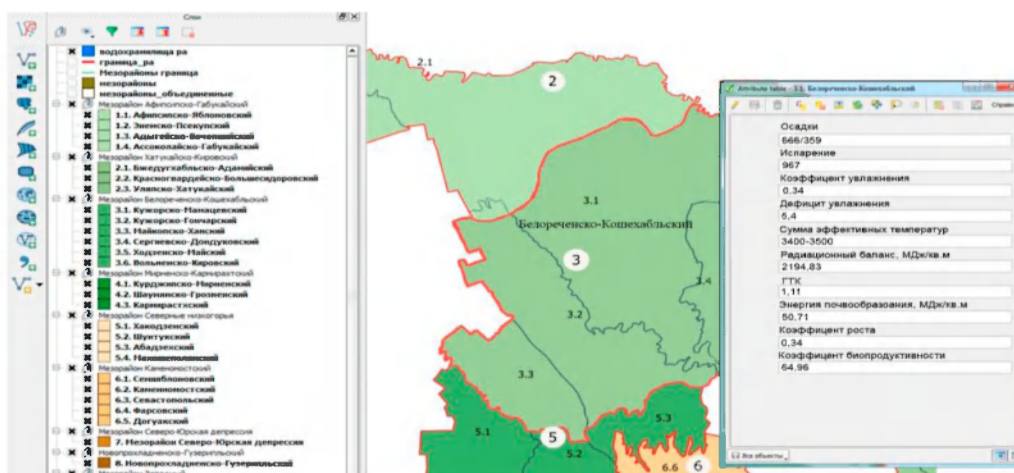


Рис. 1. Белореченско-Косехабльский ПХР. Информационное наполнение базы данных. Окно атрибутов базы данных, характеризующих условия произрастания сельхозкультур в каждом из девяти ПХР.

Fig. 1. Belorechensk-Koshekhabsky PCR. Information content of the database. A window of database attributes characterizing the growing conditions of crops in each of the nine PCR

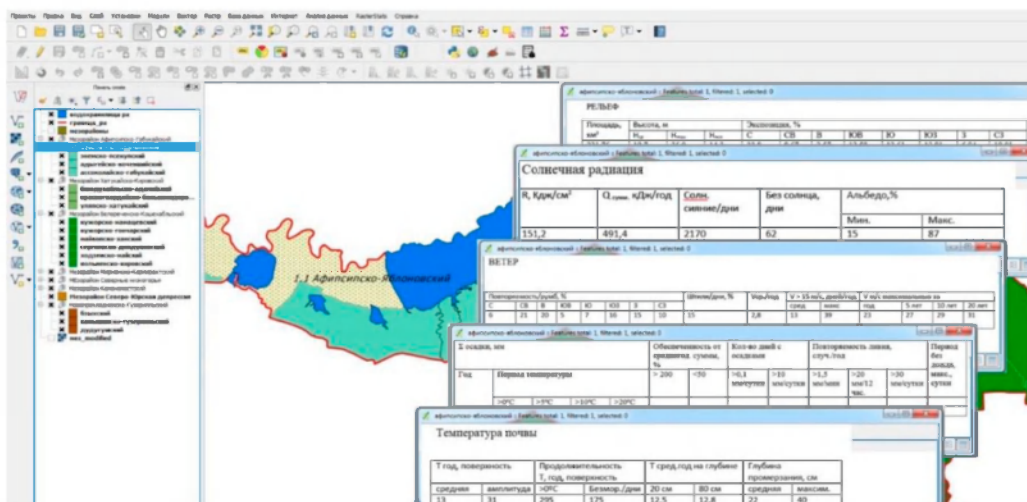


Рис. 2. Информационное наполнение базы данных. Афипсипско-Яблоновский подрайон Афипсипско-Габукайского ПХР.  
Окно некоторых из атрибутов базы данных по подрайонам ПХР

**Fig. 2.** Information content of the database. Afipsipskoye-Yablonoysky subdistrict of Afipsipskoye-Gabukaysky PCR.  
A window of some of the attributes of the database by subdistricts of the PCR

природного ландшафта как составляющей системы природного экологического каркаса (ПЭК) Адыгеи. Оценка экологического баланса территории производится методом скользящей палетки (рис. 3) по двум известным показателям: коэффициенту экологической стабильности территории и коэффициенту антропогенной нагрузки, иллюстрирующих соотношение измененных (не более 65%) и природных/полуприродных территорий (не менее 30–35%) ПЭК [6].

Картографическая инвентаризация ПЭК территории республики произведена по панхроматическому космоснимку ([www.onearth.jpl.nasa.gov](http://www.onearth.jpl.nasa.gov), разрешение 10 м) с определением состояния лесомелиоративных насаждений по мультиспектральному снимку высокого разрешения Rapid Eye (5 м). Состояние ПЭК оценивается с помощью применяемых в биоэкологии гамма- и альфа-индексов по степени связанности его узловых элементов природными коридорами, с рекомендациями восстановления связанности там, где она нарушена. Предлагается обеспечить репрезентативность ПЭК территории в

результате соблюдения охраны прибрежных защитных полос, включения в его структуру малопригодных земель, пастбищ и сенокосов, восстановления качества полезных лесных полос.

На локальном уровне каждого фермерского хозяйства или сельскохозяйственной фирмы информация интегрируется относительно авторской информационно-математической 3D геометрической структурной модели рельефа поля [8].

На уровне сельскохозяйственного поля структура данных определяется морфологической структурой рельефа, представленной системой элементарных поверхностей квазиоднородных по геоморфологическим параметрам (уклон, кривизна в профиле и плане) и экспозиции. Эти поверхности – геотопы принимаются за однородные по условиям перераспределения тепла, влаги и веществ [9].

Информационно-математическая модель рельефа строится в авторском программном продукте, разработанном на языке программирования C++ с использованием продукционной модели

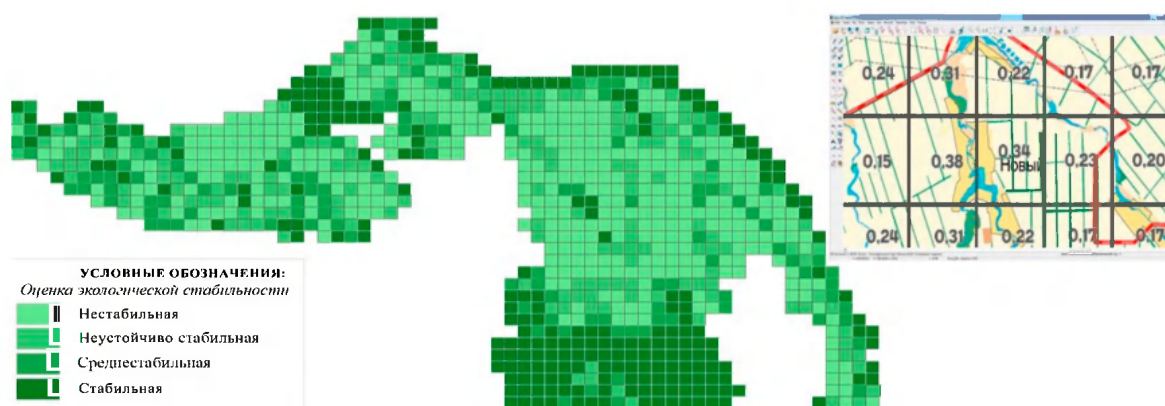


Рис. 3. Картографическая визуализация результатов оценки экологической стабильности территории

Fig. 3. Cartographic visualization of the results of the environmental stability assessment of the territory

знаний и библиотек среды разработки Qt. Цифровая платформа разрабатывается на базе Quantum GIS (свободная кроссплатформенная геоинформационная система) в виде модуля расширения на языке Python с использованием библиотек QGIS. База данных для разрабатываемой цифровой платформы создается на СУБД PostgreSQL. Модуль расширения напрямую обрабатывает информацию, хранящуюся в базе данных, для получения консолидированной информации по иерархии единиц анализа. Полученные элементарные поверхности загружаются

в QGIS в виде слоя и для них строятся растровые модели рельефа, используемые для дальнейших математических расчетов.

Цифровая модель рельефа элементарной поверхности необходима для извлечения расчетных морфометрических характеристик средствами QGIS, а также для расчета линий тока, определяющих направление перемещения вещества по данной поверхности. Границы элементарных поверхностей определяют структурные кривые, соответствующие структурным линиям рельефа, и характерные точки. К

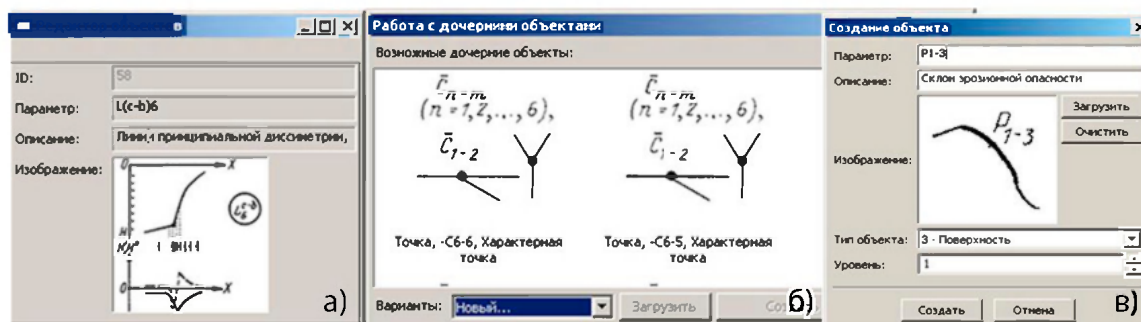


Рис. 4. Форма задания а) типа структурных линий, б) типа характерных точек, в) типа элементарной поверхности.

Окна автоматизированной классификации экологических морфотипов (геотопов) информационно-математической 3D геометрической структурной модели поверхности рельефа

Fig. 4. The form of the task is a) the type of structural lines, b) the type of characteristic points, c) the type of elementary surface.

Windows of automated classification of ecological morphotypes (geotopes) of information and mathematical 3D geometric structural model of the relief surface

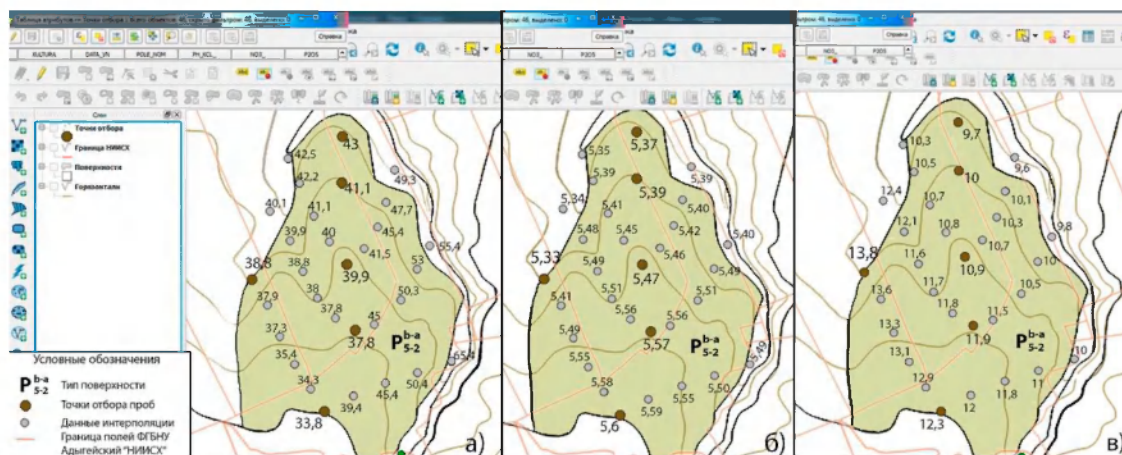


Рис. 5. Результаты интерполяции данных агрохимического анализа в репрезентативных точках отбора проб в пределах гомоморфной поверхности. 2020 г.: а) –  $P_2O_5$ ; б) – pH; в) –  $NO_2$ .

Fig. 5. Results of interpolation of agrochemical analysis data at representative sampling points within a homomorphic surface. 2020: a) –  $P_2O_5$ ; b) – pH; c) –  $NO_2$ .

структурным линиям относят: гребневые и килевые линии, линии выпуклых и вогнутых перегибов, линии экстремальных уклонов (рис. 4). В качестве характерных точек рассматриваются точки пересечения структурных линий, а также вершины, седловины и т.п. Полная систематика типов структурных линий и характерных точек разработана Н.И. Ласточкиным [5].

Элементарная поверхность с геометрической точки зрения представляет собой полигон, связанный с цифровой моделью рельефа в формате DEM, описывающей выделенный участок [10; 11].

Строится классификация поверхностей рельефа и его структурных линий (СЛ) по природно-экологическим свойствам [8]. Эта процедура позволяет выполнить детальное районирование территории по экологическим особенностям рельефа, строить адекватные математические модели перераспределения в рельефе природных и антропогенных вещественно-энергетических потоков.

Алгоритм расчета линий тока элементарных поверхностей работает с растровой моделью рельефа каждой поверхности. Построенные линии записываются в базу данных, по ним можно создать отдельный векторный слой.

Расчет приходящей солнечной радиации на каждую элементарную поверхность производится известным методом, связывающим количество солнечной радиации с крутизной склона, его экспозицией, азимутом и высотой Солнца [2, с. 49–51]. Алгоритм расчета перераспределения солнечной радиации в рельефе работает с использованием растровой модели рельефа. На основе названного метода разработан обобщенный алгоритм расчета значений сравнительного количества приходящей солнечной радиации для элементарной поверхности.

Структурная информационно-математическая модель рельефа [8], разработанная на основе известной классификации природно-экологических элементарных поверхностей, обеспечивает определение координат репрезентативных точек отбора агрохимических проб, расположенных вдоль структурных линий элементарной поверхности и на их пересечении [7, с. 436–443]. Уточнение положения репрезентативных точек отбора агрохимических проб производится с помощью линий тока. Интерполяция данных – результатов анализа агрохимических проб в репрезентативных точках, от гребня к киям по трассам линий тока (рис. 5 а, б,

в) визуализирует закономерность перераспределения вещества в границах элементарной поверхности, взаимообусловленную комплексом физико-географических условий (материнские породы, почвы, морфометрические параметры, микроклимат).

Интерполяция данных агрохимического анализа в репрезентативных точках отбора проб в пределах гомоморфной поверхности в 2020 году произведена по линиям тока. Результаты интерполяции соответствуют ожидаемым характеристикам миграционных свойств анализируемых веществ. Мониторинг результатов анализа перераспределения вещества и урожайности в пределах гомоморфных поверхностей и вычисление связи этой закономерности с актуальными и прогнозируемыми изменениями климатических условий позволит не только строить модели адаптационных агротехнологий, вычислять почвосберегающие и природоохранные дозы вносимых веществ и управлять урожайностью, но и выстраивать упреждающую стратегию устойчивого сельскохозяйственного производства в соответствии с прогнозируемыми изменениями климата.

В первую очередь сельхозугодья автоматизированно дифференцируются по существующей и потенциальной ценности, по рекомендуемому экологически сбалансированному землепользованию, применению соответствующих агротехнологий и выращиванию соответствующих сельскохозяйственных культур.

*Заключение.* Разработаны геоинформационные инструменты информационно-математической визуализации границ пространственно-временной неоднородности сельскохозяйственных земель с атрибутивной параметрической информацией, критичной для производства растениеводческой продукции.

Разработаны алгоритмы и программные модули информационно-математического автоматизированного отображения репрезентативных точек отбора агрохимических проб и линий тока по каждой гомоморфной поверхности для интерполяции данных агрохимического анализа по каждой поверхности, что исключит необходимость применения дорогостоящей техники для непрерывного считывания агрохимических параметров по поверхности поля.

Обеспечивается системный мониторинг и анализ закономерности перераспределения вещества и энергии в пределах гомоморфных поверхностей в соответствии с их литогенным основанием, почвами, морфометрией, микроклиматом и сельхозкультурой. В связи с чем предоставляется возможность программирования пространственно-дифференцированных доз внесения удобрений в границах поля, прогнозирование их доз в соответствии с климатическими трендами.

Разрабатываемая цифровая платформа «умного» точного земледелия является интеллектуальной системой информационной поддержки технологических решений применительно к почвенно-климатическим и экономическим условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия.

Создаются условия для функционирования инжиниринговых компаний организации и поддержки цифрового точного земледелия в регионах.

Дальнейшее развитие возможностей цифровой платформы будет осуществляться за счет применения интеллектуальных технологий высокоточного управления урожайностью с учетом прогнозируемых почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Атлас Республики Адыгея. Майкоп: Ассоциированный картографический Центр-М, 2005. 79 с.
2. Варшанина Т.П., Митусов Д.В. Климатические ресурсы ландшафтов Республики Адыгея. Майкоп: АГУ, 2005. 237 с.



3. Варшанина Т.П., Плисенко О.А. Интегрированная ГИС региона на примере Республики Адыгея. М.; Майкоп: Камертон, 2011. 399 с.
4. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 418 с.
5. Ласточкин А.Н. Общая технологическая схема геоэкологических исследований на системно-морфологической основе // Прикладная геоморфология на основе общей теории геосистем. СПб., 2008. С. 364–370.
6. Волков С.Н. Землеустройство. Т. 2. Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство. М.: Колос, 2001. 648 с.
7. Плисенко О.А. Применение экспертных систем в ГИС для пространственного анализа рельефа. ИнтерКарто/ИнтерГИС 22. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата. Т. 1. М.: Научная библиотека, 2016. С. 157–167.
8. Плисенко О.А. Моделирование элементарных геоморфных поверхностей на цифровых картах // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: материалы IV Международной научно-практической конференции. Майкоп: Кучеренко В.О., 2017. 254 с.
9. Якушев К.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. Научные основы построения интеллектуальных систем для точного земледелия // Вестник защиты растений. 2020. № 103(1). С. 25–36.
10. Tang J., Pilesjo P., Persson A. Estimating slope from raster data – a test of eight algorithms at different resolutions in flat and steep terrain. *Geodesy and Cartography*. 2013; 39(2): 41–52. <https://doi.org/10.3846/20296991.2013.806702>
11. Zhou Q.M., Liu X.J. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. *Computers & Geosciences*. 2004;30(4):369–78.
12. Kostianoy A.G. [et al.] General Characteristics of the Climate in the Republic of Adygea. Springer Crossref DOI link: [https://doi.org/10.1007/698\\_2021\\_735](https://doi.org/10.1007/698_2021_735) 2021 (In Russ.)
13. Kostianoy A.G. [et al.] Regional Climate Change in the Republic of Adygea. Springer Crossref DOI link: [https://doi.org/10.1007/698\\_2021\\_734](https://doi.org/10.1007/698_2021_734) 2021 (In Russ.)
14. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Коробков В.Н. Методология и научно-практическое значение визуализации интегральных геофизических полей [Электронный ресурс] // Научная визуализация. Режим доступа: <http://www.sv-journal.org/2017-4/11.php?lang=ru>

#### REFERENCES:

1. Atlas of the Republic of Adygea. Maikop: Associated Cartographic Center-M, 2005. (In Russ.)
2. Varshanina T.P., Mitusov D.V. Climatic resources of landscapes of the Republic of Adygea. Maikop: Adyge State University, 2005. (In Russ.)
3. Varshanina T.P., Plisenko O.A. Integrated GIS of the region on the example of the Republic of Adygea. Moscow; Maykop: Tuning fork, 2011. (In Russ.)
4. Vinogradov B.V. Fundamentals of landscape ecology. Moscow: GEOS, 1998. (In Russ.)
5. Lastochkin A.N. General technological scheme of geoecological research on a systemic-morphological basis. Applied geomorphology based on the general theory of geosystems. SPb., 2008:364–370. (In Russ.)
6. Volkov S.N. Land management. Volume 2. Land management design. On-farm land management. Moscow: Kolos, 2001. (In Russ.)
7. Plisenko O.A. Application of expert systems in GIS for spatial analysis of relief. InterCarto / InterGIS 22. Geoinformation support of sustainable development of territories in the context of global climate change. T. 1. Moscow: Scientific Library. 2016:157-167. (In Russ.)
8. Plisenko O.A. Modeling elementary geomorphic surfaces on digital maps. Applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies: materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Maykop: Kucherenko V.O., 2017. (In Russ.)

9. Yakushev K.P., Yakushev V.V., Blokhin S.Yu. Scientific foundations for building intelligent systems for precision farming. *Plant Protection Bulletin*. 2020;103(1):25–36. (In Russ.)
10. Tang J., Pilesjo P., Persson A. Estimating slope from raster data – a test of eight algorithms at different resolutions in flat and steep terrain [Electronic resource]. *Geodesy and Cartography*. 2013;39(2):41–52. URL: <https://doi.org/10.3846/20296991.2013.806702>
11. Zhou Q.M., Liu X.J. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. *Computers & Geosciences*. 2004;30(4):369–78.
12. Kostianoy A.G. [et al.] General Characteristics of the Climate in the Republic of Adygea. Springer Crossref DOI link: [https://doi.org/10.1007/698\\_2021\\_735](https://doi.org/10.1007/698_2021_735) 2021 (In Russ.)
13. Kostianoy A.G. [et al.] Regional Climate Change in the Republic of Adygea [Electronic resource]. Springer Crossref DOI link: [https://doi.org/10.1007/698\\_2021\\_734](https://doi.org/10.1007/698_2021_734) 2021 (In Russ.)
14. Varshanina T.P. [et al.] Methodology and scientific and practical significance of visualization of integral geophysical fields/Electronic journal. *Scientific Visualization* [Electronic resource]. URL: <http://www.sv-journal.org/2017-4/11.php?lang=ru> (In Russ.)

### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Татьяна Павловна Варшанина**, заведующая Центром интеллектуальных геоинформационных технологий ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем АГУ, кандидат биологических наук, доцент

[vtp01@mail.ru](mailto:vtp01@mail.ru)

SPIN-код: 9872-9246

**Ольга Анатольевна Плисенко**, программист, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем АГУ

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)

SPIN-код: 3558-2718

**Виктор Николаевич Коробков**, программист, Центр интеллектуальных геоинформационных технологий ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем АГУ

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)

SPIN-код: 3720-5356

**Заурбий Асланбиевич Шехов**, лаборант-исследователь, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)

**Tatiana P. Varshanina**, Head of the Center for Intelligent Geoinformation Technologies of FSBEI HE «Adyghe State University», Research Institute of Complex Problems of ASU, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

[vtp01@mail.ru](mailto:vtp01@mail.ru)

SPIN-код: 9872-9246

**Olga A. Plisenko**, Programmer, Center for Intelligent Geoinformation Technologies of FSBEI HE «Adyghe State University», Research Institute of Complex Problems of ASU

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)

SPIN-код: 3558-2718

**Victor N. Korobkov**, Programmer, Center for Intelligent Geoinformation Technologies of FSBEI HE «Adyghe State University», Research Institute of Complex Problems of ASU

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)

SPIN-код: 3720-5356

**Zaurbiy A. Shekhov**, Laboratory Assistant-researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Adyghe Scientific Research Institute of Agriculture»

[gic-info@yandex.ru](mailto:gic-info@yandex.ru)