

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научная статья
УДК 631.67:528

Мониторинг орошаемых земель с применением геоинформационных технологий

Александр Иванович Долидудко

Научно-информационный центр Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии Центральной Азии, Ташкент, Республика Узбекистан,
aleksandr.dolidudko@gmail.com

Аннотация. Цель: совершенствование процесса проведения гидрогеолого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель с использованием метода Interpolation (Kriging, IDW). **Материалы и методы.** В процессе исследования использовались методы получения данных в зависимости от геолокации базовых точек в системе координат WSC 84, метод измерения гидрогеологических параметров на местности, методы статистической обработки результатов, методы создания аналитических моделей Map Algebra и IDW Geodatabase interpolation. **Результаты и обсуждение.** Оценены данные, полученные по районам Сырдарьинской области методами NDVI при помощи изображений Kriging, IDW interpolation и Landsat, осуществлен анализ изображений на основе географических объектов ArcGIS. Данные мониторинга уровня грунтовых вод Мирзаабадского, Акалтынского и Хавастского районов раскрыты в количественном показателе. На начальном этапе структура геоинформационной модели Сырдарьинской области организована на основе программного инструмента ArcCatalog программной среды ArcGIS. На основе геоинформационной модели проведены вычислительные эксперименты по изучению влияния изменения уровня и минерализации грунтовых вод районов Сырдарьинской области на другие объекты. Изучено использование спутника Landsat для оценки уровня грунтовых вод, засоления почвы, температуры растений на посевных площадях, а также корреляция между развитием растений и засолением почвы. **Выводы.** При помощи методов Map Algebra и Interpolation IDW усовершенствован дистанционный мониторинг уровня и минерализации грунтовых вод Сырдарьинской области, разработан метод повышения эффективности контроля состояния гидрогеологических систем при помощи ГИС, обоснован гидрогеолого-мелиоративный мониторинг с использованием спутниковых снимков Landsat, а также разработан метод анализа засоления почвы при помощи изображений NDVI.

Ключевые слова: мониторинг, орошаемые земли, ГИС-технологии, геоинформационные данные, геоинформационная модель, Landsat, NDVI, ArcGIS, Сырдарьинская область

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 21 февраля 2024 г.).

Для цитирования: Долидудко А. И. Мониторинг орошаемых земель с применением геоинформационных технологий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 92, № 1. С. 99–120.



THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Original article

Monitoring of irrigated lands using geographic information technologies

Aleksandr I. Dolidudko

Scientific-Information Center of the Interstate Commission for Water Coordination of Central Asia (SIC ICWC), Tashkent, Uzbekistan, aleksandr.dolidudko@gmail.com

Abstract. Purpose: to improve the process of hydrogeological and reclamation monitoring of irrigated lands using the Interpolation method (Kriging, IDW). **Materials and methods.** During the research, methods to obtain data depending on the geolocation of base points in the WSC 84 coordinate system, a method for measuring hydrogeological parameters on the field, methods for statistical processing of results, methods for creating analytical models Map Algebra and IDW Geodatabase interpolation were used. **Results and discussion.** The data obtained for the regions of the Syrdarya region by NDVI methods using Kriging, IDW interpolation and Landsat images were assessed, and the images were analyzed on the basis of ArcGIS geographic objects. Monitoring data on groundwater levels in Mirzaabad, Akaltyn and Khavast districts are disclosed in quantitative terms. At the initial stage, the structure of the geoinformation model of the Syrdarya region is organized on the basis of the ArcCatalog software tool of the ArcGIS software environment. Based on the geoinformation model, computational experiments were carried out to study the impact of changes in the level and mineralization of groundwater in the Syrdarya region on other objects. The use of the Landsat satellite to assess groundwater levels, soil salinity, plant temperature in crop areas, and the correlation between plant development and soil salinity was studied. **Conclusions.** Using the Map Algebra and Interpolation IDW methods, remote monitoring of the groundwater level and mineralization in the Syrdarya region has been improved, a method of increasing the efficiency of monitoring the state of hydrogeological systems using GIS has been developed, hydrogeological reclamation monitoring using Landsat satellite images has been justified, as well as a method for analyzing soil salinity using NDVI images has been developed.

Keywords: monitoring, irrigated lands, GIS technologies, geoinformation data, geoinformation model, Landsat, NDVI, ArcGIS, Syrdarya region

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 21, 2024).

For citation: Dolidudko A. I. Monitoring of irrigated lands using geographic information technologies. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;92(1): 99–120. (In Russ.).

Введение. В наше время современные технологии вносят значительный вклад в различные области нашей жизни, и сельское хозяйство не остается исключением. Одной из перспективных областей применения высокотехнологичных методов становится мониторинг орошаемых земель. Анализируя современные методы мониторинга, выявили перспективы

применения геопространственных данных для оптимизации управления орошаемыми землями и повышения устойчивости сельского хозяйства к переменам климата и другим вызовам.

Геоинформационные системы (ГИС) выступают важным инструментом в контексте мониторинга орошаемых земель, предоставляя детальные и актуальные картографические данные. Эти технологии позволяют не только отслеживать текущее состояние участков, но и прогнозировать и анализировать динамику в долгосрочной перспективе. С применением ГИС возможно выявление оптимальных районов для орошения, определение потенциальных рисков и повышение эффективности использования водных ресурсов. В данной статье рассмотрено, как интеграция геоинформационных технологий в систему мониторинга орошаемых земель способствует более оперативной и точной оценке грунтовых вод, мелиоративного состояния орошаемых земель, а также контролю использования подземных водных ресурсов.

Степень изученности проблемы. Научные исследования при разработке различных моделей использования спутниковых данных и ГИС-технологий с целью анализа водных ресурсов и управления ими, хранения и передачи данных проведены такими учеными, как P. A. Burrough, J. J. Gruijter, E. Van Ranst, M. Hafeez, G. Menz, F. Thonfeld и др. В области мелиоративно-гидрогеологических наблюдений и мелиоративного кадастра орошаемых земель, а также формирования геологических баз данных на основе ГИС-технологий в Узбекистане проведены работы А. Х. Каримовым, А. Ф. Акрамхановым, З. А. Гафуровым и другими учеными.

На сегодняшний день основной проблемой использования моделей, созданных на основе ГИС, при проведении и использовании мелиоративного мониторинга в Республике Узбекистан является их низкая точность, создание моделей на основе спутниковых снимков с низкой резoluцией, использование старых методов анализа. Исследований, посвященных со-

зданию базы данных Geodatabase с информацией об уровне грунтовых вод и степени минерализации в гидрогеологических скважинах с использованием ГИС-технологий, а также реализации на этой основе новых цифровых гидрогеологических 3D-моделей и дистанционного управления изменением режима и минерализации грунтовых вод, до сих пор недостаточно.

Цель данного научного исследования заключается в совершенствовании процесса проведения гидрогеолого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель с использованием ГИС-технологий, метода Interpolation (Kriging, IDW).

Материалы и методы. В качестве объекта исследований приняты наблюдательные скважины для мониторинга уровня грунтовых вод (УГВ) на орошаемых площадях Мирзаабадского, Акалтынского и Хавастского районов Сырдарьинской области Республики Узбекистан.

В процессе исследований использовались методы получения данных в зависимости от геолокации базовых точек объекта в системе координат WGS 84, методики статистической обработки данных, а также методы создания аналитических моделей Map Algebra и IDW Geodatabase interpolation.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты литературного анализа и оценки существующих экспериментальных, теоретических исследований показывают, что в ГИС недостаточно разработан современный механизм с точки зрения осуществления теоретического и практического расчета изменений режима уровня грунтовых вод и химического состава в наблюдательных скважинах с помощью программ анализа спутниковых изображений высокого разрешения. В связи с этим на сегодняшний день проведено очень мало исследований, посвященных расчету параметров грунтовых вод с использованием ГИС-технологий.

На основании обзора литературы [1, 2] сделан вывод, что возможности геоинформационных технологий при осуществлении гидрогеолого-

мелиоративного мониторинга могут быть реализованы на основании использования различных спутниковых снимков.

В первую очередь оценены данные, полученные по районам Сырдарьинской области [3], выбранной в качестве объекта исследования, а также их значимость. Для анализа была собрана следующая группа данных: административные данные, данные полевых опытов и спутниковые данные.

Полученные данные были проанализированы методами NDVI при помощи изображений Kriging, IDW interpolation и Landsat, осуществлен анализ изображений на основе географических объектов ArcGIS. Результаты использовались для картирования, первоначальной обработки и создания базы данных.

Как известно, аналитические процессы дают возможность использовать ГИС-технологии в единых схемах обмена данными, что, в свою очередь, целесообразно осуществлять при помощи специального программного обеспечения, предоставляемого через продукты ГИС.

Данные Geo-Statistical Analysis представлены в виде изображений, которые нам необходимо оцифровать, чтобы извлечь необходимую информацию. С использованием приведенных методов изображения были проанализированы (подвергнуты сегментации и классификации), данные, собранные в полевых опытах, по этим алгоритмам анализа сопоставлены с данными, полученными с помощью ГИС, выполнена оценка достоверности полученных результатов. По результатам анализа коэффициент корреляции составил 0,90.

В данном процессе создаются тематические карты следующего содержания: пространственное распределение гидродинамических параметров, вопросы изменения гидродинамического режима подземных вод, граничные условия залегания подземных вод. Полученные данные интегрируются в систему в виде тематических слоев и карт, после чего проводятся вычислительные эксперименты для определения параметров, начальных и

граничных условий. Данные, полученные в результате анализа, вводятся в компьютеризированную систему в виде тематических слоев и карт, а взаимосвязь между тематическими слоями оценивается на основании метода Kriging interpolation [4].

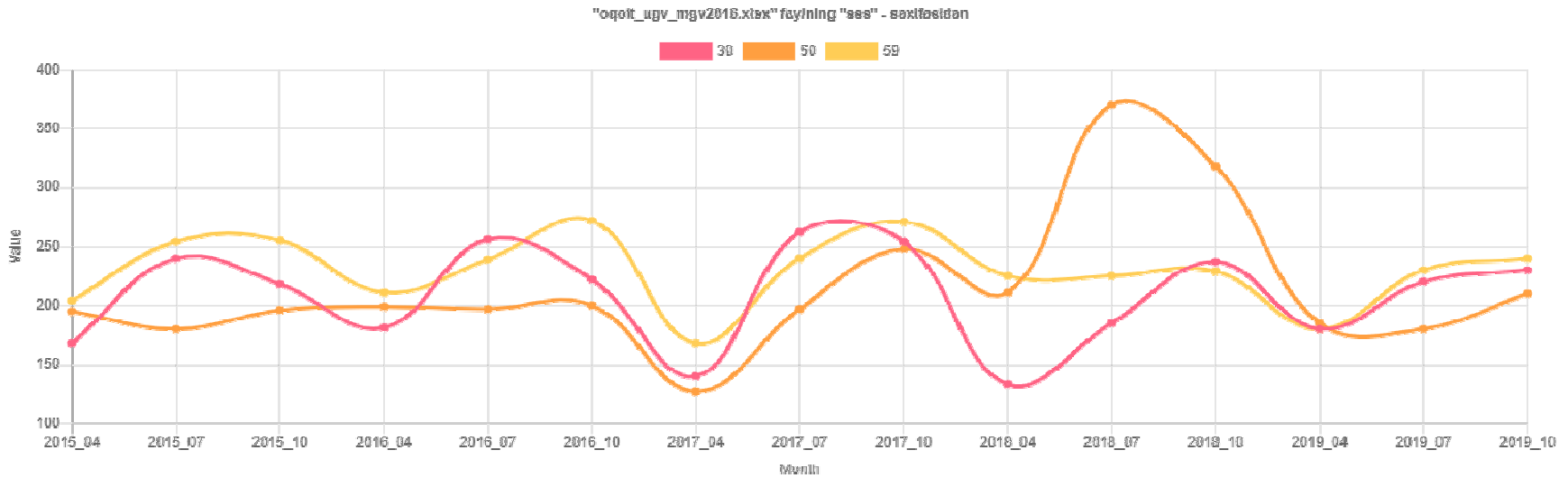
В качестве топологических элементов геоинформационной модели рассматриваемой территории были приняты точечные (водозаборные скважины, наблюдательные скважины), линейные (гидроизогипсы, границы области фильтрации и т. д.), полигонального типа (участки, разделенные по фильтрационным характеристикам, орошаемые площади и т. д.).

Полученные результаты показывают, что использование информационных связей между структурой, динамикой и топологическими элементами гидрогеологических объектов с применением региональной модели на основе совершенствования гидрогеолого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель Мирзаабадского, Акалтынского, Хавастского районов Сырдарьинской области на базе ГИС-технологий является перспективным.

ГИС-технологии – один из наиболее эффективных инструментов изучения динамики подземных вод в Мирзаабадском, Акалтынском, Хавастском районах Сырдарьинской области, данные мониторинга уровня подземных вод раскрыты в количественном показателе (рисунок 1).

Расположение и граничные условия уровней подземных вод в районах позволяют использовать геоинформационную модель региона в качестве отдельной темы. Изменение гидрогеологических условий региона создает возможность для совершенствования при помощи ГИС-технологий.

На начальном этапе структура геоинформационной модели Сырдарьинской области организована на основе программного инструмента ArcCatalog программной среды ArcGIS. Топологические элементы данной модели: полигональные (районы, хозяйства, территории), линейные (районы, границы хозяйств), точечные (водозаборные и наблюдательные скважины) (рисунок 2).



Выбор файла:

<input type="checkbox"/>	56	200	220	250	203	237	250	188	245	245	167	205	241	211	140	175
<input type="checkbox"/>	57	180	230	255	183	192	258	146	228	236	155	197	252	178	170	201
<input type="checkbox"/>	58	205	240	244	210	248	260	172	251	262	169	190	248	163	195	225
<input checked="" type="checkbox"/>	59	204	254	255	211	239	272	168	240	271	225	225	229	180	230	240
<input type="checkbox"/>	60	184	200	260	195	194	260	148	197	233	217	225	214	180	240	250
<input type="checkbox"/>	61	184	195	288	191	229	290	117	232	257	152	220	251	170	305	280
<input type="checkbox"/>	62	195	225	260	199	248	265	118	250	227	148	205	243	140	158	215

Рисунок 1 – График изменения уровня грунтовых вод на орошаемых землях Мирзаабадского, Акалтынского, Хавастского районов Сырдарьинской области

Figure 1 – Graph of changes of groundwater levels on irrigated lands of Mirzaabad, Akaltyn, Khavast districts Syrdarya region

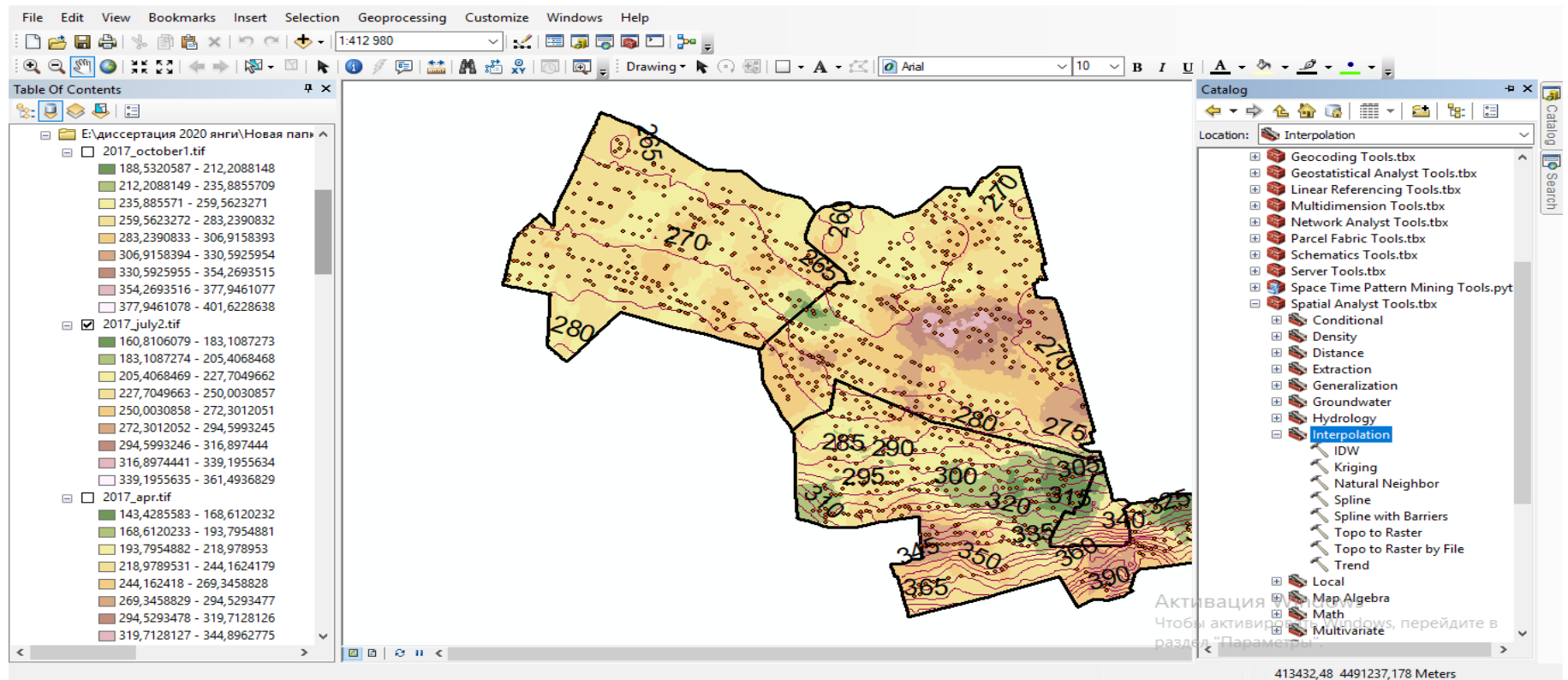


Рисунок 2 – Геоинформационная модель гидрогеологических условий районов Сырдарьинской области
Figure 2 – Geoinformation model of hydrogeological conditions of the districts of Syrdarya region

На основе геоинформационной модели анализируемых территорий были проведены вычислительные эксперименты по изучению влияния изменения уровня и минерализации грунтовых вод на другие объекты.

Уровень грунтовых вод колеблется в зависимости от сезона под влиянием таких факторов, как орошение, промывка, механический состав почвы, климатические условия и состояние дренажа. Он поднимается от начала зимы к концу зимы и понижается от лета к осени. Уровень грунтовых вод всегда выше со стороны оросительных каналов, чем со стороны расположения дренажных каналов. Если глубина залегания грунтовых вод менее 1 м, это легко приводит к засолению почвы. Относительно безопасным, с точки зрения засоления почвы, уровнем залегания грунтовых вод считается их глубина не менее 2–3 м.

Уровень грунтовых вод в основном высок с января по февраль, так как в этот период проводятся промывные работы и выпадает много осадков. Количество воды, подаваемой на поле, необходимо контролировать, чтобы уровень грунтовых вод не поднимался слишком высоко во время промывки. Для предотвращения распространения засоления на площади при подъеме уровня грунтовых вод рекомендуется уменьшать количество промывных вод, если степень засоления почвы не слишком высока [5]. Самое главное: при подаче больших объемов воды для промывки следует учитывать рабочее состояние дренажного канала.

В качестве основного показателя при оценке мелиоративного состояния земель по степени засоления был принят уровень грунтовых вод (рисунки 3, 4). На этом основании можно отметить, что подъем уровня грунтовых вод приводит к увеличению засоленных площадей (рисунки 5, 6).

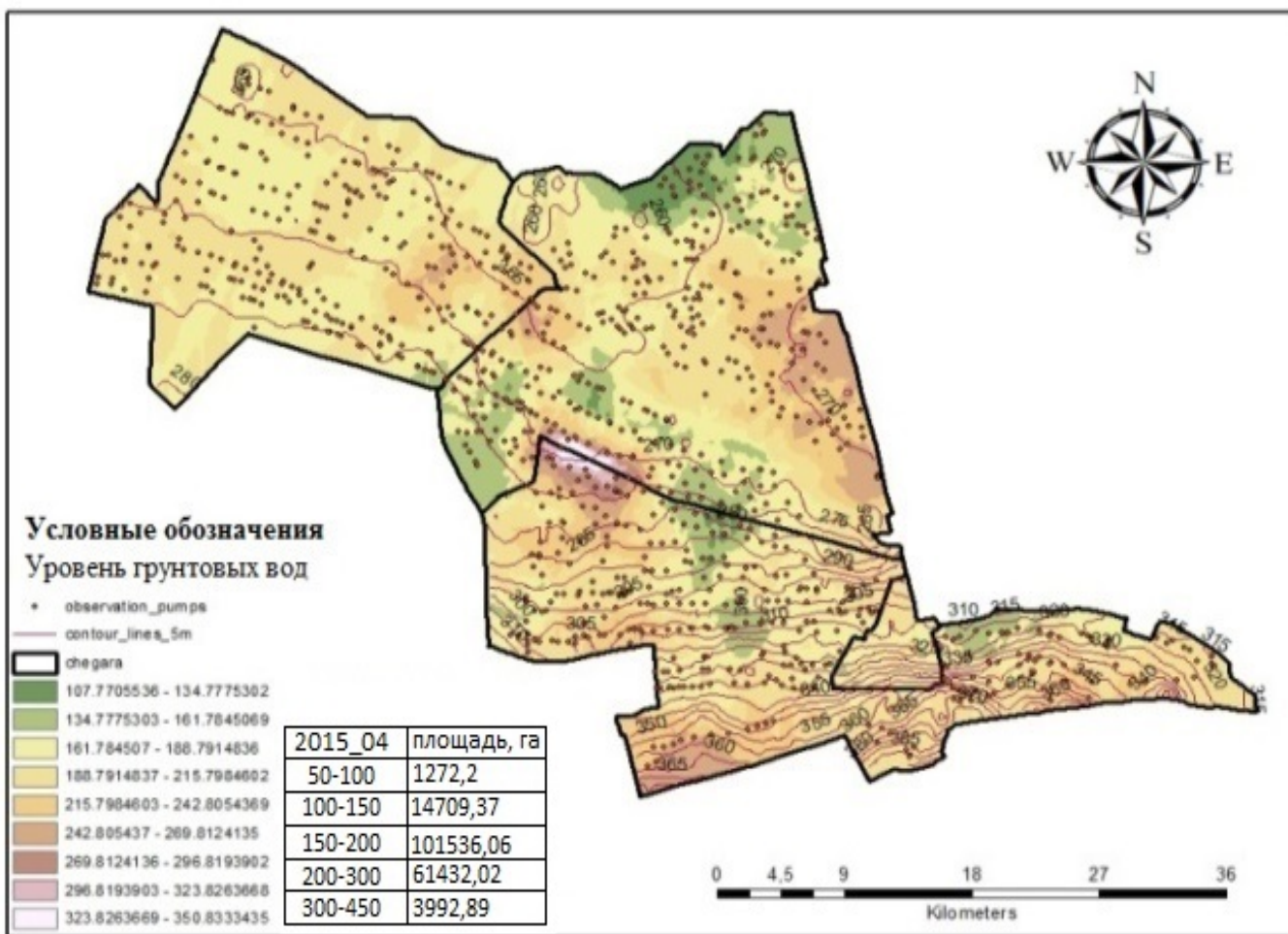


Рисунок 3 – Уровень грунтовых вод в Сырдарьинской области в 2015 г. по данным геоинформационного моделирования методом Kriging interpolation

Figure 3 – Groundwater level in Syrdarya region in 2015 according to data geographic information modeling using the Kriging interpolation method

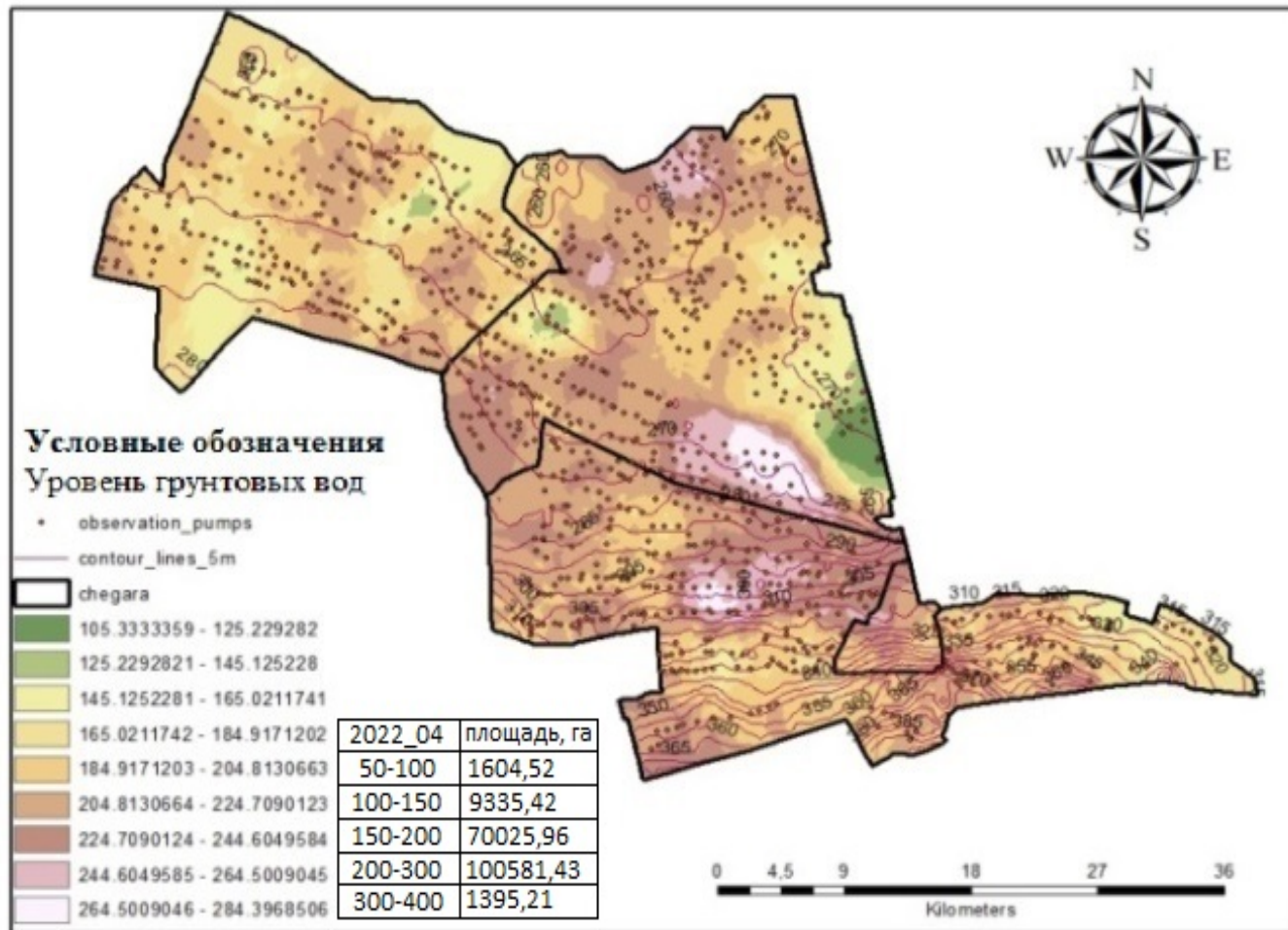


Рисунок 4 – Уровень грунтовых вод в Сырдарьинской области в 2022 г. по данным геоинформационного моделирования методом Kriging interpolation
Figure 4 – Groundwater level in Syrdarya region in 2022 according to data geographic information modeling using the Kriging interpolation method

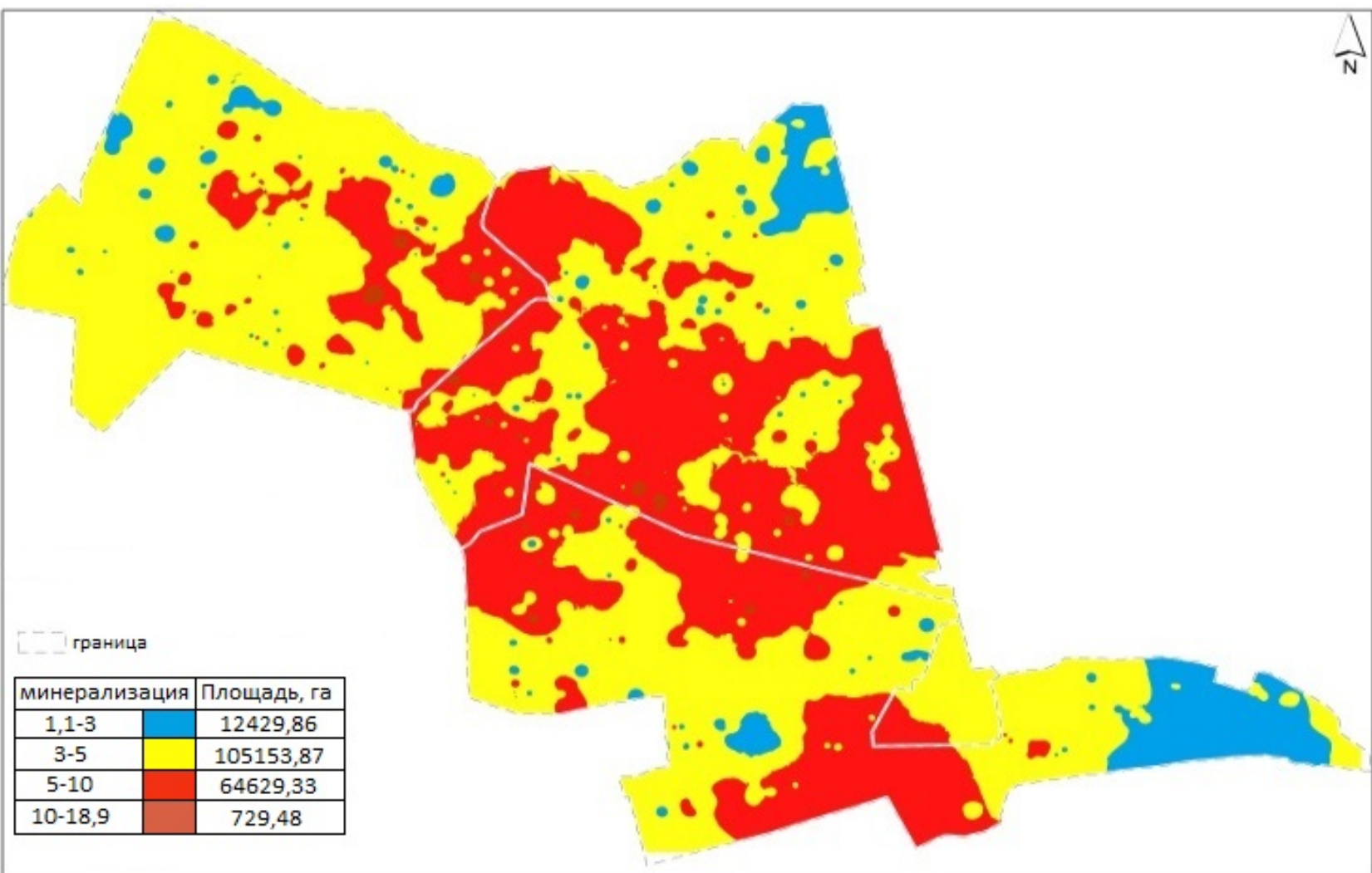


Рисунок 5 – Минерализация грунтовых вод в Сырдарьинской области, 2015 г.

Figure 5 – Mineralization of groundwater in the Syrdarya region, 2015

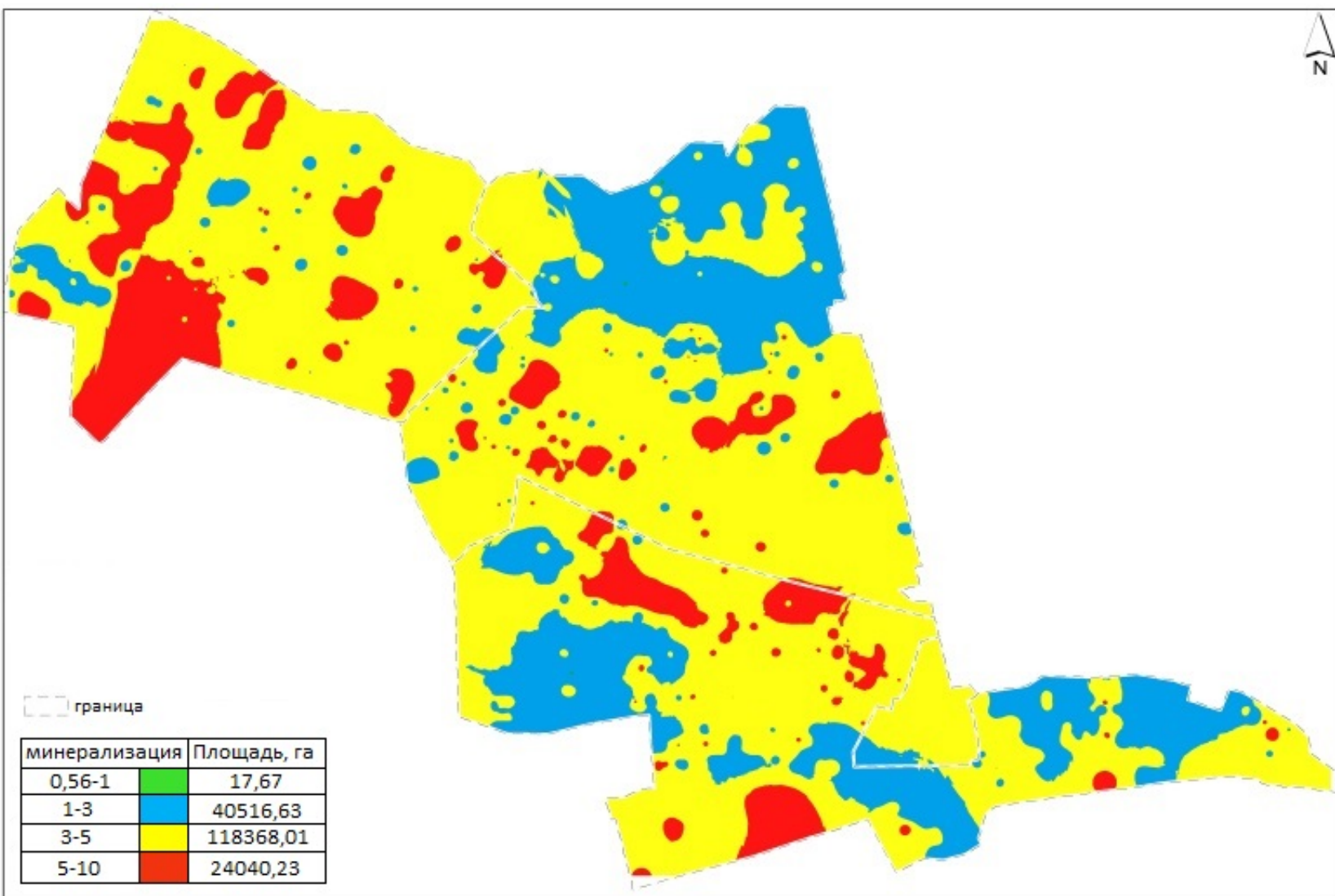


Рисунок 6 – Минерализация грунтовых вод в Сырдарьинской области, 2022 г.

Figure 6 – Mineralization of groundwater in Syrdarya region, 2022

В ходе исследований разработан метод проведения учета подземных вод, основанный на инновационных технологиях гидрогеолого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель. При этом в процессе создания геоинформационных моделей имеет значение соблюдение пропорциональности координат при организации информационного обмена между гидрогеологическим объектом и геоинформационной моделью, а также принятие решений по гидрогеолого-мелиоративному мониторингу на основе комплексного анализа гидрогеологического объекта.

В проведенных исследованиях анализ осуществлялся по данным космических снимков Landsat 8, главным образом через изображения NDVI, основное внимание уделялось стадии развития растений. В нашем исследовании изучено использование спутника Landsat для оценки засоления почвы на посевных площадях. В районе исследования использовались спутниковые снимки среднего разрешения Landsat 8 для оценки показателя температуры растений хлопчатника или пшеницы в Сырдарьинской области, а фактические данные были собраны в виде карты засоления почв области. Использовалась цифровая высотная модель (DEM) на основе спутниковых снимков, сделанных Landsat 8 в 2021–2022 гг. (можно заходить через EarthExplorer Geological Survey). Были классифицированы снимки, проанализированы изменения растительного покрова области за много лет и научно спрогнозировано изменение степени водопользования на 2025 г. Эти изменения получены из ближнего инфракрасного (NIR) и коротковолнового IQ-диапазонов Landsat и других спутников, а также из характеристик воздействия одинаковой (NIR и коротковолновой IQ) области спектра. В целом относительно пониженное инфракрасное (NIR) излучение указывает на здоровье растений и поэтому может служить косвенным индикатором уровня засоления (рисунки 7, 8). Известно, что значения нормализованного индекса различий растений (NDVI) являются количественной мерой их состояния [6]. На разницу нормализованных показателей растений (NDVI) могут влиять многие факторы, в т. ч. ограниченность воды для растений и плохое управление [7].

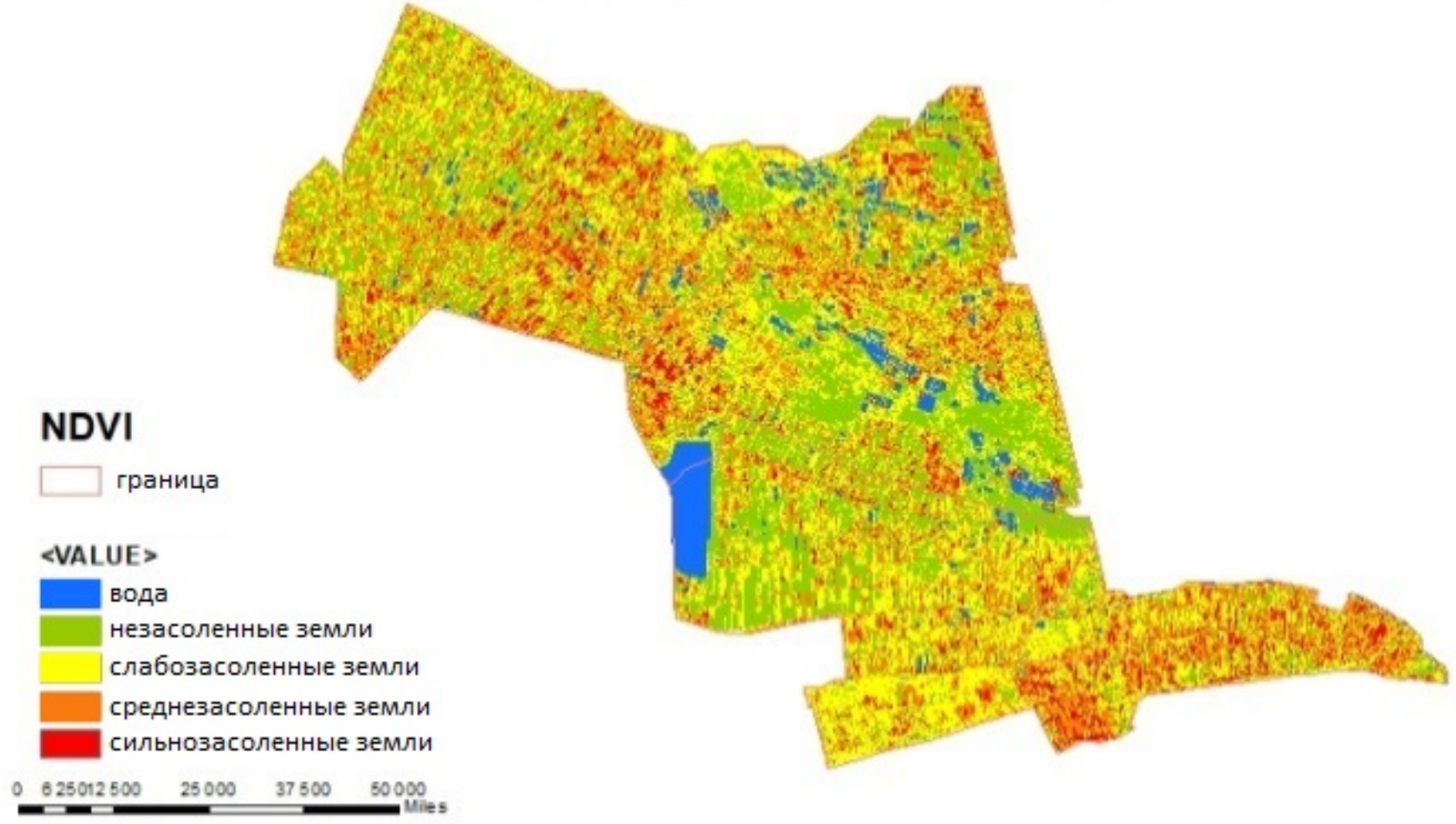


Рисунок 7 – Анализ засоления почв Сырдарьинской области методом NDVI при помощи снимков Landsat 8, 2019 г.

Figure 7 – Analysis of soil salinity in Syrdarya region by NDVI method using Landsat 8 images, 2019

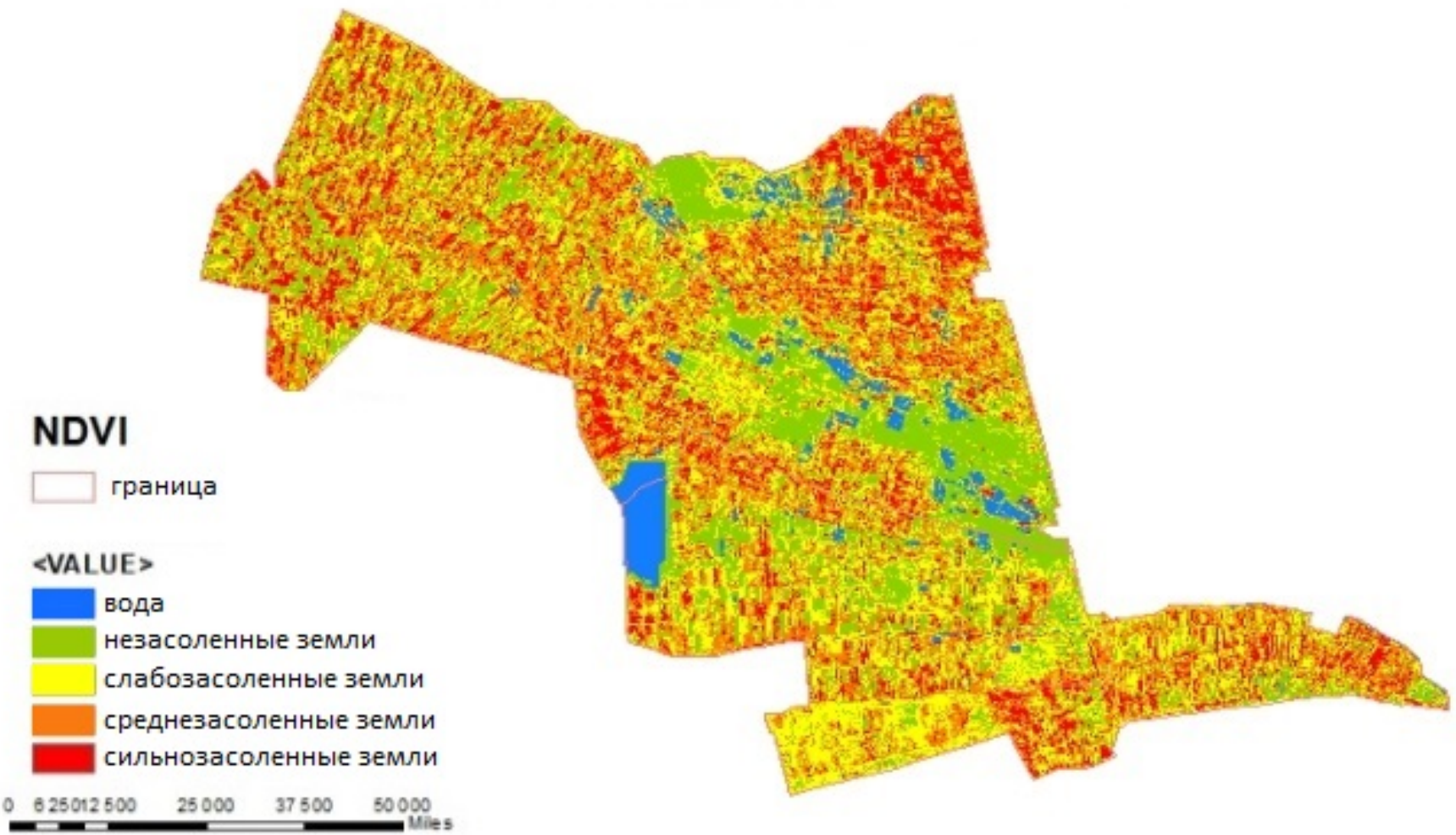


Рисунок 8 – Анализ засоления почв Сырдарьинской области методом NDVI при помощи снимков Landsat 8, 2022 г.

Figure 8 – Analysis of soil salinity in Syrdarya region by the NDVI method using Landsat 8 images, 2022

Из-за пространственных размеров мультиспектральных снимков Landsat 8 (30 × 30 м, или 0,09 га) невозможно определить засоление, если размер участков засоления почвы меньше размера пикселя [8]. Единственный способ решить эту проблему – использовать изображения со спутников высокого разрешения.

Все наборы данных сначала спроецированы на WGS 1984 UTM. Зона 42 системы координат N вырезана. Затем выделили площади растений с использованием программы NDVI. Используя индекс вегетации MOD13A2 с пределом NDVI 0-3, отделили пиксели с растениями от пикселей без растительности. Все последующие анализы, термальные данные и другие наборы данных дистанционного зондирования [7] показывают, что последующие расчеты следует вести только в регионах с наличием растительности (NDVI > 0,3) (см. рисунки 7, 8).

На почвенной карте мира (ФАО) почвы, содержащие в верхнем слое 0–15 см более 3 % солей, отнесены к солончаковой группе (таблица 1).

Таблица 1 – Разделение почв по степени засоления (ФАО) [9]

B %

Table 1 – Soil parting by degree of salinity (FAO) [9]

In %

Степень засоления	Количество солей в слое 0–100 см	
	Плотный остаток	В т. ч. хлор
Незасоленные	< 0,3	< 0,01
Слабозасоленные	0,3–1,0	0,01–0,05
Среднезасоленные	1,0–2,0	0,05–0,10
Сильнозасоленные	2,0–3,0	0,10–0,15
Солончаки	> 3,0	> 0,15

Изображения NDVI разделяются на объекты, сегменты. Затем находится корреляция с различными факторами.

Поля с растительностью разделены на изображениях по областям. С целью упрощения процесса вычисления корреляции результаты были обобщены и изучены в процентах.

По степени корреляции результаты были разделены на следующие группы:

- очень сильная корреляция – засоление со степенью корреляции более 0,50;
- сильная корреляция – засоление со степенью корреляции от 0,49 до 0,40;
- средняя корреляция – засоление со степенью корреляции от 0,39 до 0,30;
- слабая корреляция – засоление со степенью корреляции от 0,29 до 0,20;
- очень слабая корреляция – засоление с индексом корреляции от 0,10 до 0,01;
- некоррелированные объекты – засоление с индексом корреляции менее 0,5.

Изучены степени корреляции между развитием растений и засолением почвы [10]. Развитие растений сильно положительно коррелировало с засолением почвы (рисунок 9). Степень корреляции составила $R^2 = 0,48$. Причиной является возделывание сельскохозяйственных культур в жаркую погоду.

Изображения NDVI позволяют использовать их для проверки точности созданного нами метода. Изображения Landsat бесплатны, а широта охвата имеет значение при проведении анализа в глобальном масштабе. Однако главным затруднением при анализе изображений в глобальном масштабе было время, затраченное на него. Из-за большого размера изображений пользователь наблюдал значительный объем анализа данных в течение нескольких суток [11]. В ходе рассматриваемых исследований эти проблемы нивелированы с помощью использования программы ArcGIS: точность полученных данных повышена, для сегментации 154 изображений затраты времени составили 12 мин.

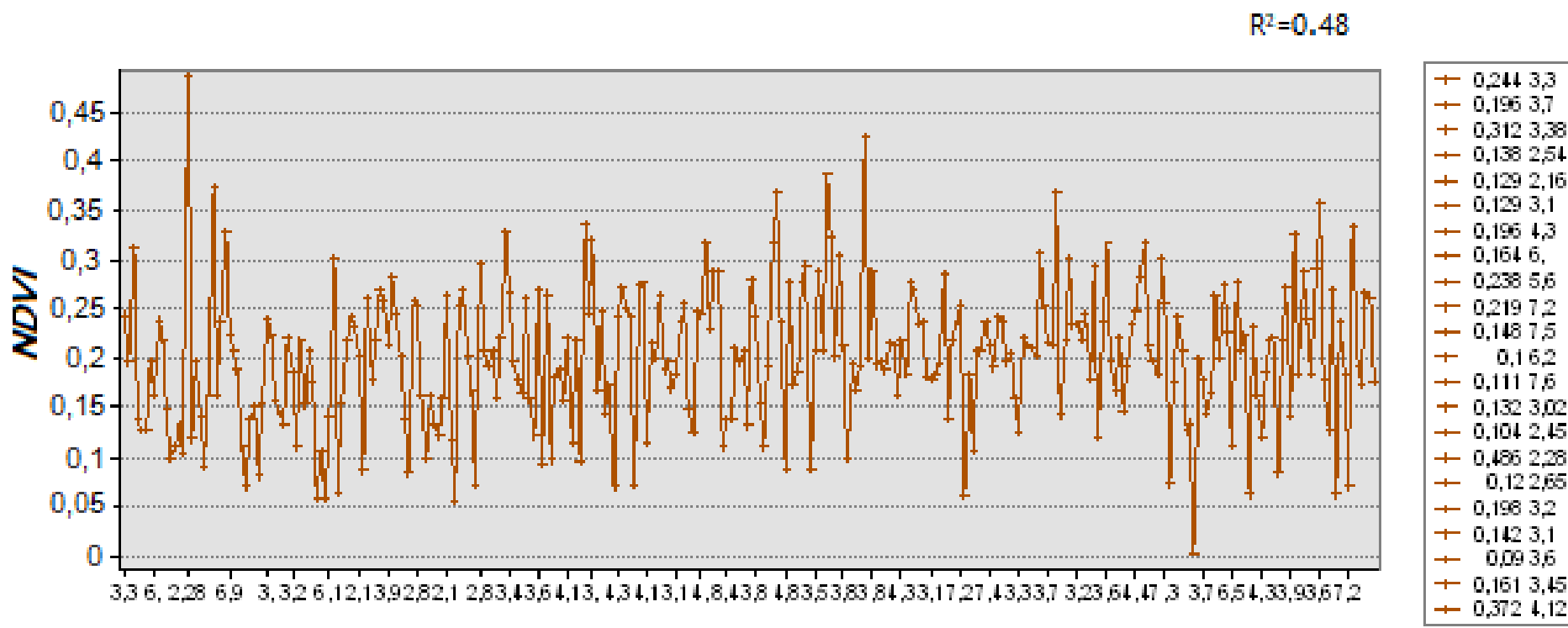


Рисунок 9 – График корреляционной зависимости развития растений от засоления по данным изображений NDVI для 4, 7, 10-го месяцев 2022 г.

Figure 9 – Correlation dependence graph of plant development on salinity according to NDVI images for the 4th, 7th, 10th months of 2022

Выводы

1 Усовершенствован дистанционный мониторинг уровня грунтовых вод и общей минерализации при помощи методов Map Algebra и Interpolation IDW, программы ArcGIS.

2 Разработан метод повышения эффективности контроля состояния гидрогеологических систем с помощью геоинформационных систем.

3 Обоснован гидрогеолого-мелиоративный мониторинг при помощи спутниковых снимков Landsat.

4 Разработан метод анализа засоления почвы с использованием изображений NDVI.

Список источников

1. Кривоконова Е. Ю., Гончарова И. Ю. Мониторинг земель с применением ГИС-технологий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 4(04). 4 с. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=479> (дата обращения: 15.12.2023). EDN: OKJFCSJ.

2. Горохова И. Н., Филиппов Д. В. Применение геоинформационных технологий и материалов космической съемки для мониторинга орошаемых земель Светлоярской оросительной системы (Волгоградская область) // Исследование Земли из космоса. 2017. № 4. С. 79–87. DOI: 10.7868/S020596141704008X. EDN: ZGINHV.

3. Чембарисов Э. И., Рахимова М. Н., Долидудко А. И. Гидрологические и гидрохимические характеристики коллекторно-дренажных вод среднего течения бассейна р. Сырдарьи // Гидрометеорология, изменение климата и мониторинг окружающей среды: актуальные проблемы и пути их решения: междунар. науч.-практ. конф., г. Ташкент, 7 мая 2021 г. С. 147–150.

4. Jamoljon D., Akmal A. Monitoring of groundwater status based on geoinformation systems and technologies // 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). Tashkent, Uzbekistan, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670175. EDN: LMVFST.

5. Akmalov Sh. B., Ruziev I. M. Geographical object based image analysis (GEOBIA) // Sustainable Agriculture. 2018. № 1(1). P. 63–64.

6. Akmalov Sh. B., Ruziev I. M. The role of geo information (GIS) technologies in water management // Sustainable Agriculture. 2019. № 1(2). P. 9–11.

7. Satellite thermography for soil salinity assessment of cropped areas in Uzbekistan / K. Ivushkin, H. Bartholomeus, A. K. Bregt, A. Pulatov // Land Degradation & Development. 2017. 28(3). P. 870–877. DOI: 10.1002/ldr.2670. EDN: XNBSDW.

8. Платонов А. Е., Винсент Б. Использование спутниковых снимков для оценки орошения // Информационная система и дистанционный сбор данных. Ч. 2. Ташкент, 2005. С. 68–84.

9. Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса, Е. И. Панковой, С. А. Балюка, П. В. Красильникова и Г. М. Хасанхановой. Рим: ФАО, 2017. 144 с.

10. Yusupov G., Ruziev I., Nurjanov S. On the establishment of the correlation dependence of results of physical properties, dynamic probing and filtration coefficient from the granulometric composition of alluvial sands in the valley of the Amudarya river // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883. 012035. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012035.

11. Методика оценки орошаемых земель по данным дистанционного зондирования Земли / Н. Э. Бекмухамедов, К. А. Аюпов, Н. Ю. Цычуева, Р. Т. Искаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы 17-й Всерос. открытой конф., г. Москва, 11–15 нояб. 2019 г. М.: Ин-т космич. исслед. РАН, 2019. С. 405. EDN: ZEDWNY.

References

1. Krivokoneva E.Yu., Goncharova I.Yu., 2011. [Land monitoring using GIS technologies]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(04), 4 p., available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=479> [accessed 15.12.2023], EDN: OKJFCJ. (In Russian).

2. Gorokhova I.N., Filippov D.V., 2017. *Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologiy i materialov kosmicheskoy s'emki dlya monitoringa oroshaemykh zemel' Svetloyarskoy orositel'noy sistemy (Volgogradskaya oblast')* [The application of geoinformation technology and aerospace photography for irrigate soils monitoring of Svetloyarsky Irrigation System (Volgograd region)]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], no. 4, pp. 79-87, DOI: 10.7868/S020596141704008X, EDN: ZGIHHV. (In Russian).

3. Chembarisov E.I., Rakhimova M.N., Dolidudko A.I., 2021. *Gidrologicheskie i gidrokhimicheskie kharakteristiki kollektorno-drenazhnykh vod srednego techeniya basseyna r. Syrdar'i* [Hydrological and hydrochemical characteristics of collector-drainage waters of the middle reaches of the Syrdarya river basin]. *Gidrometeorologiya, izmenenie klimata i monitoring okruzhayushchey sredy: aktual'nye problemy i puti ikh resheniya: mezhdunarodnaya nauchno-prakt. konferentsiya* [Hydrometeorology, Climate Change and Environmental Monitoring: Current Problems and Ways to Solve Them: International Scientific-Practical Conference]. Tashkent, pp. 147-150. (In Russian).

4. Jamoljon D., Akmal A., 2021. Monitoring of groundwater status based on geoinformation systems and technologies. 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). Tashkent, Uzbekistan, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670175, EDN: LMVFST.

5. Akmalov Sh.B., Ruziev I.M., 2018. Geographical object based image analysis (GEOBIA). *Sustainable Agriculture*, no. 1(1), pp. 63-64.

6. Akmalov Sh.B., Ruziev I.M., 2019. The role of geo information (GIS) technologies in water management. *Sustainable Agriculture*, no. 1(2), pp. 9-11.

7. Ivushkin K., Bartholomeus H., Bregt A.K., Pulatov A., 2017. Satellite thermography for soil salinity assessment of cropped areas in Uzbekistan. *Land Degradation & Development*, no. 28(3), pp. 870-877, DOI: 10.1002/ldr.2670, EDN: XNBSDW.

8. Platonov A.E., Vincent B., 2005. *Ispol'zovanie sputnikovykh snimkov dlya otsenki orosheniya* [Using satellite images to assess irrigation]. *Informatsionnaya sistema i distantsionnyy sbor dannykh* [Information System and Remote Sensing]. Pt. 2, Tashkent, pp. 68-84. (In Russian).

9. Vargas R., Pankova E.I., Balyuk S.A., Krasilnikov P.V., Khasankhanova G.M. (eds.), 2017. *Rukovodstvo po upravleniyu zasolennymi pochvami* [Guide for Saline Soil Management]. Rome, FAO, 144 p. (In Russian).

10. Yusupov G., Ruziev I., Nurjanov S., 2020. On the establishment of the correlation dependence of results of physical properties, dynamic probing and filtration coefficient from the granulometric composition of alluvial sands in the valley of the Amudarya river. IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering, 883, 012035, DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012035.

11. Bekmukhamedov N.E., Ayupov K.A., Tsychieva N.Yu., Iskakov R.T., 2019. *Metodika otsenki oroshayemykh zemel' po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Methodology for assessing irrigated lands based on Earth remote sensing data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: materialy 17-y Vserossiyskoy otкрытой konferentsii* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space: Proc. of the 17th All-Russian Open Conference]. Moscow, Institute of Space Sciences RAS, p. 405, EDN: ZEDWNY. (In Russian).

Информация об авторе

А. И. Дolidудко – специалист, Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (НИЦ МКВК), Ташкент, Республика Узбекистан, aleksandr.dolidudko@gmail.com.

Information about the author

A. I. Dolidudko – Specialist, Scientific-Information Center of the Interstate Commission for Water Coordination of Central Asia (SIC ICWC), Tashkent, Uzbekistan, aleksandr.dolidudko@gmail.com.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 22.01.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024;
принята к публикации 01.04.2024.
The article was submitted 22.01.2024; approved after reviewing 04.03.2024; accepted for
publication 01.04.2024.*