

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИС И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Т. Н. МЫСЛЫВА, Ю. Н. ДУБРОВА, А. С. КУКРЕШ, Т. Н. ТКАЧЕВА, Д. М. ЛЕЙКО

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: byrty41@yahoo.com; yury_d71@list.ru;
kukresh78@bk.ru; tamaratkacheva60771@gmail.com

(Поступила в редакцию 20.01.2022)

Совершенствование процесса мониторинга мелиорированных земель представляет собой актуальную научную задачу, поскольку именно такие земли подвергаются двойному воздействию неблагоприятных факторов как природного, так и антропогенного происхождения. На основании собственных экспериментальных исследований выполнен анализ возможности применения данных дистанционного зондирования Земли, полученных по результатам радарной топографической интерферометрической съемки с пространственным разрешением 10 м, и классификации LULC спутниковых сцен Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м, а также наборов инструментов «Пространственный анализ» и «Гидрология» модуля ArcToolbox проприетарной ГИС ArcGIS версии 10.5. для целей анализа и визуализации данных мониторинговых наблюдений за состоянием мелиорированных земель. На примере Горецкого района Могилевской области продемонстрировано прикладное применение данных дистанционного зондирования, находящихся в открытом доступе, и функциональных возможностей геоинформационных систем при выполнении геоморфометрического анализа рельефа и расчете морфометрических индексов, пригодных для мониторинга линейной и площадной эрозии и оценки геоморфологических предпосылок для развития процесса переувлажнения земель, при определении отдельных параметров модели оценки величины среднего многолетнего потенциального смыва почвы RUSLE, а также для оценки динамики состояния мелиорированных земель. Установлено, что совместное применение дистанционного зондирования и функциональных возможностей ГИС является источником получения актуальных геопространственных данных и позволяет выполнить прогноз развития деградационных процессов на мелиорированных землях, а также может использоваться при обосновании необходимости проектирования новых и реконструкции существующих осушительно-увлажнительных мелиоративных систем.

Ключевые слова: мелиорация, земли, мониторинг, дистанционное зондирование, ГИС.

Improving the process of monitoring reclaimed lands is an urgent scientific task, since it is precisely such lands that are subjected to the dual impact of adverse factors of both natural and anthropogenic origin. Based on our own experimental studies, we analyzed the possibility of using Earth remote sensing data obtained from the results of radar topographic interferometric survey with a spatial resolution of 10 m, and the LULC classification of Sentinel-2 satellite scenes with a spatial resolution of 10 m, as well as the tool kits «Spatial Analysis» and «Hydrology» of the ArcToolbox module of the proprietary GIS ArcGIS version 10.5. for the purposes of analysis and visualization of data from monitoring observations of the state of reclaimed lands. On the example of Horki district of Mogilev region, we showed the application of remote sensing data, which are in the public domain, and the functionality of geoinformation systems in performing geomorphometric analysis of the relief and calculating morphometric indices suitable for monitoring linear and areal erosion and assessing geomorphological prerequisites for the development of the process of land waterlogging, when determining individual parameters of the RUSLE model for assessing the value of the average long-term potential soil runoff, as well as for assessing the dynamics of the state of reclaimed lands. It has been established that the combined use of remote sensing and GIS functionality is a source of obtaining up-to-date geospatial data and makes it possible to predict the development of degradation processes on reclaimed lands, and it can also justify the need to design new and reconstruct existing drainage and humidification reclamation systems.

Key words: melioration, lands, monitoring, remote sensing, GIS.

Введение

Мониторинг земель, имеющий в Республике Беларусь государственный статус, является важнейшим инструментом для обеспечения сохранения и воспроизводства плодородия почв и обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных земель [1, 2]. Важная составляющая мониторинга земель – осуществление наблюдений за состоянием и эволюцией почв на мелиорированных землях – осушенных сельскохозяйственных землях сельскохозяйственного назначения и осушенных лесных землях [3]. Согласно данным реестра земельных ресурсов Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2021 г., площадь осушенных сельскохозяйственных земель в стране составляла 2846,1 тыс. га, из которых 1453,4 тыс. га – пахотные земли [4].

Совершенствование методов мониторинга земель в направлении повышения оперативности получения результатов и обеспечения их визуализации, а также применение современных методов анализа и обработки мониторинговых данных является важным направлением исследований, которое еще недостаточно разработано применительно к условиям Беларуси. Ускорить получение информации о состоянии мелиорированных земель возможно посредством комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗ) и функциональных возможностей ГИС [5]. В частности,

ДДЗ являются надежным источником получения информации о динамике деградационных процессов на мелиорированных землях, которые проявляются в виде водной и ветровой эрозии; вторичном заболачивании земель в результате нерационального ведения хозяйственной деятельности; минерализации органического вещества торфа; пирогенной деградации осушенных торфяников и лесных земель [6]. Функциональные возможности ГИС по гидрологическому моделированию и построению корректных топографических поверхностей, учитывающих морфометрические особенности изучаемой территории, позволяют выполнять оперативный и эффективный мониторинг критических свойств рельефа для целей прогнозирования развития водной и ветровой эрозии.

Целью исследования стала оценка возможности использования функционала наборов инструментов модуля ArcToolbox ArcGIS версии 10.5 и данных радарной топографической съемки поверхности земного шара, произведенной методом радарной интерферометрии, для мониторинга мелиорированных земель и визуализации полученных результатов.

Основная часть

Методологической и теоретической основой выполненного исследования является диалектический метод и системный подход к познанию явлений и процессов, согласно которому все объекты окружающего мира рассматриваются не изолированно, а во взаимной связи и в процессе постоянного развития. В основу научного поиска положены разработки отечественных и зарубежных ученых, земельно-кадастровые данные, нормативная и справочная литература.

В ходе выполнения исследований использовались следующие методы: монографический, абстрактно-логический, системного подхода, сравнительного анализа, экспертных оценок, геостатистический и метод геопространственного моделирования.

Оценивалась возможность использования для целей мониторинга мелиорированных земель следующих данных дистанционного зондирования, находящихся в свободном доступе: 4-й версии (2018 г.) данных Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) – радарной топографической съемки поверхности земного шара, произведенной в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы методом радарной интерферометрии с борта американского челнока Shuttle [7], математической основой которых является референц-эллипсоид WGS84 и проекция GCS_WGS_1984, а пространственное разрешение составляет 1 угловую секунду (30 м); данных дистанционного зондирования земной поверхности 2020 года с пространственным разрешением 10 м в формате классификации LULC, представленных на сайте www.livingatlas.arcgis.com, и полученных с помощью классификации спутниковых сцен с применением методов глубокого машинного обучения. Также была исследована пригодность функционала наборов инструментов «Пространственный анализ» и «Гидрология» модуля ArcToolbox ArcGIS версии 10.5. для целей анализа и визуализации данных мониторинга мелиорированных земель. Данные радарной топографической съемки являются базовыми для получения информации о мелиорированных землях, поскольку являются информационной и геопространственной основой для выполнения комплексного морфометрического анализа поверхности. Извлечь необходимую информацию из данных SRTM возможно посредством использования 18 различных инструментов ArcGIS по геообработке пространственных данных (рис. 1–2).

В частности, инструмент «Заполнение» набора инструментов «Гидрология» выполняет заполнение локальных понижений в растре цифровой модели поверхности и производит удаление всех небольших ошибок и неточностей, присущих исходным данным несмотря на то, что матрица высот SRTM, полученная по результатам съемки, выполненной в феврале 2000 года, трижды уточнялась.

Инструмент «Направление стока», позволяет определить направление поверхностного стока в каждой ячейке раstra цифровой модели поверхности, что в свою очередь делает возможным выполнение прогнозирования преобладающих направлений развития водноэрозионных процессов на региональном уровне (рис. 3).

Ряд инструментов модуля «Гидрология» дают возможность идентифицировать постоянные и временные водотоки, а также определить следующие параметры линейного аспекта рельефа: порядок тальвегов, количество тальвегов, длину тальвегов каждого порядка, среднюю длину тальвегов каждого порядка, соотношение длин тальвегов и коэффициент бифуркации.

| Набор инструментов «Гидрология» | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| Инструменты | Бассейн | → | Создает растр, содержащий контуры всех дренажного бассейна |
| | Водосборная область | → | Определяет водосборную область, расположенную выше набора ячеек раstra |
| | Водоток в пространственный объект | → | Преобразует растр, представляющий линейную сеть в векторные объекты, представляющие сеть линий |
| | Длина линии стока | → | Вычисляет расстояние вверх или вниз по течению, или взвешенное расстояние, вдоль потока для каждой ячейки |
| | Заполнение | → | Заполняет локальные понижения в растре поверхности для удаления всех небольших ошибок и неточностей |
| | Идентификация водотоков | → | Присваивает уникальные значения секциям растровой линейной сети, расположенным между сочленениями линий |
| | Локальное понижение | → | Создает растр, определяющий локальные понижения или районы внутреннего дренажа |
| | Направление стока | → | Создает растр направления стока из каждой ячейки по ближайшей соседней ячейке вниз по склону наибольшей крутизны |
| | Порядок водотоков | → | Присваивает число, определяющее порядок, сегментам раstra, представляющим сегменты линейной сети |
| | Привязка точки устья | → | Привязывает точки устьев к ячейке с наибольшим суммарным стоком в пределах заданного расстояния |
| | Суммарный сток | → | Создает растр потока накопления в каждую ячейку |

Рис. 1. Функциональные возможности набора инструментов «Гидрология», которые могут быть использованы для целей мониторинга мелиорированных земель

| Набор инструментов «Поверхность» | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---|---|
| Инструменты | Изолинии | → | Создает класс линейных объектов изолиний из растровой поверхности |
| | Изолинии по значениям | → | Создаёт класс пространственных объектов выбранных значений изолиний из растровой поверхности |
| | Изолинии с барьерами | → | Строит изолинии по растровой поверхности с учетом объектов-барьеров |
| | Кривизна | → | Вычисляет кривизну растровой поверхности, определяя профильную и плановую кривизну |
| | Отмывка | → | Создаёт рельеф с тенью из растровой поверхности, принимая во внимание угол источника освещения и тени |
| | Уклон | → | Определяет уклон (градиент, или скорость максимального изменения значения z) для каждой ячейки поверхности раstra |
| | Экспозиция | → | Извлекает экспозицию склонов из растровой поверхности |

Рис. 2. Функциональные возможности набора инструментов «Поверхность», которые могут быть использованы для целей мониторинга мелиорированных земель

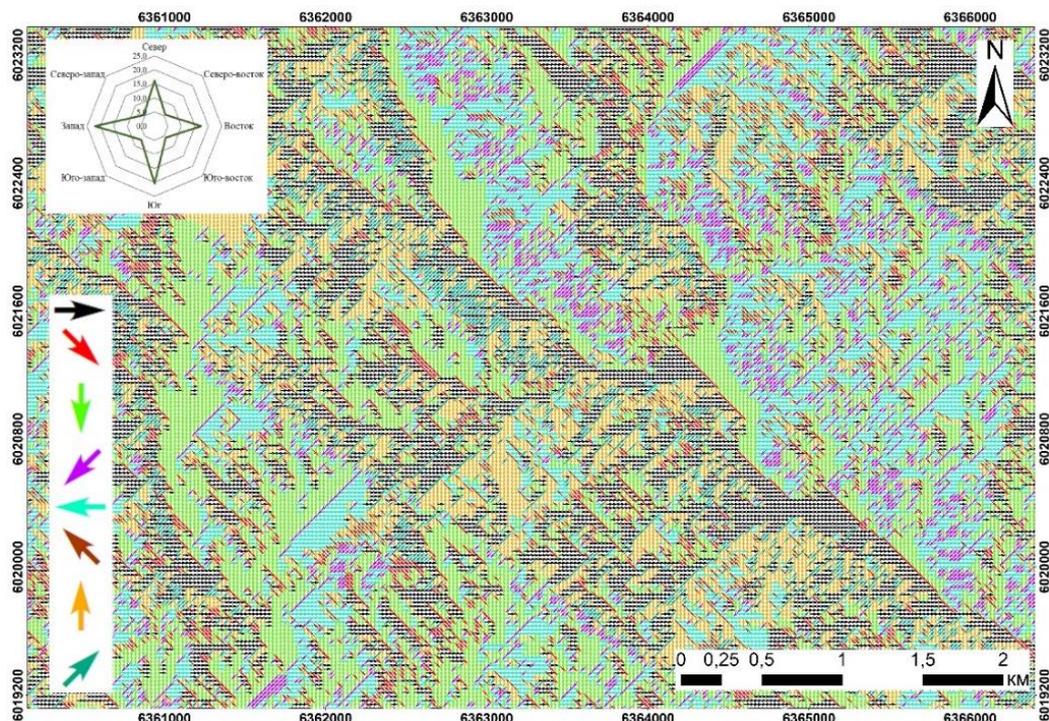


Рис. 3. Фрагмент растрового изображения территории Горьковского района с отображением направления поверхностного стока (на диаграмме-вкладке указан % стока в направлении каждого румба от общей территории; расчет выполнен для ячеек раstra с пространственным разрешением 30 м)

Водосборная область представляет собой территорию, с которой осуществляется сток воды и других веществ в общую точку «выхода» или точку устья, под которой понимают самую низкую точку вдоль границы дренажного бассейна. Инструмент «Привязка точки устья» позволяет определить на сгенерированной сети водотоков точки с высоким суммарным стоком и использовать полученную

информацию при выделении границ водосборных бассейнов. На рис. 4 представлен фрагмент векторного изображения территории с отображением идентифицированных водотоков различного порядка и их устьев, максимальная концентрация которых приурочена к участкам открытой и закрытой мелиоративной сети. Данная информация позволяет отследить эффективность работы созданных мелиоративных систем и принять оптимальное решение в случае необходимости создания новых либо реконструкции уже существующих.

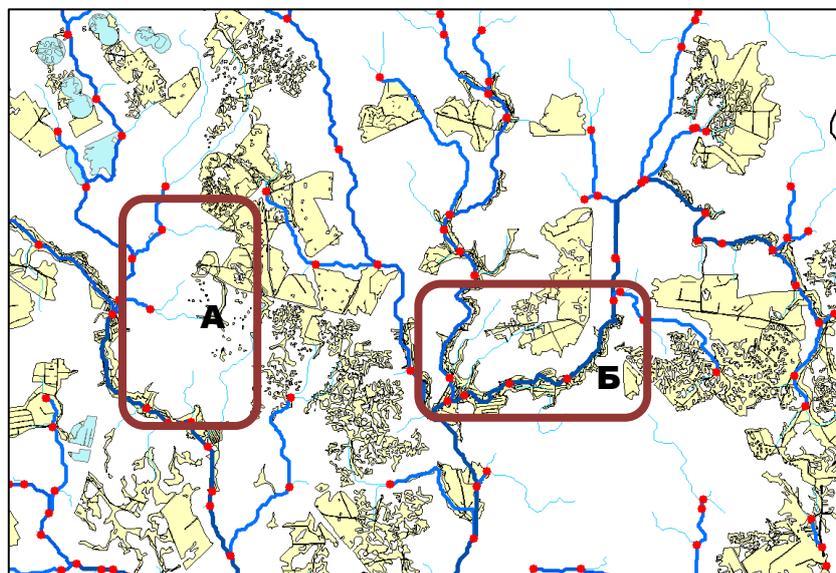


Рис. 4. Фрагмент векторного изображения территории Горьковского района с отображением идентифицированных водотоков различного порядка и их устьев

По данным гидрологически корректной цифровой модели поверхности можно построить актуальные картографические изображения количественных показателей эрозионного потенциала и гидроморфности почвенного покрова мелиорированных земель – морфометрических индексов LSF, SPI, TWI и TRI (табл. 1).

Таблица 1. Морфометрические индексы, определяемые по данным дистанционного зондирования SRTM, пригодные для мониторинга мелиорированных земель

| Морфометрический индекс | Формула расчета индекса | Функция индекса | Направление использования для целей мониторинга |
|--|--|--|---|
| Фактор эрозионного потенциала рельефа (Length Steepness Factor, LSF) | $LSF = (m + 1) * (A/22,13)^m * (\sin\beta/0,0896)^n,$ где А – удельная водосборная площадь; β – угол наклона земной поверхности; m и n – эмпирические коэффициенты | Характеризует влияние рельефа на процессы плоскостной эрозии | Составляющая универсального уравнения потерь почвы (RUSLE) – наиболее часто используемой модели оценки риска эрозионных потерь вследствие проявления плоскостной эрозии [8] |
| Индекс мощности линейной эрозии (Stream Power Index, SPI) | $SPI = A * \tan(\beta)$ где А – удельная водосборная площадь; β – угол наклона земной поверхности | Описывает потенциальную эрозию водного потока в данной точке топографической поверхности | Оценка степени проявления линейной эрозии почвы |
| Топографический индекс влажности (Topographic Wetness Index, TWI) | $TWI = \ln[A/\tan(\beta)]$ где А – удельная водосборная площадь, β – топографический градиент | Отображает потенциальную влажность водосбора | Оценка геоморфологических предпосылок для развития процесса переувлажнения земель |
| Индекс устойчивости местности (Terrain Ruggedness Index, TRI) | $TRI = Y [\sum(x_{ij} - x_{00})^2]^{1/2}$ x_{ij} – перепад высот между каждой из соседних ячеек раstra | Выражает величину перепада высот между соседними ячейками в растре | Оценка направления проявления интенсификации водноэрозионных процессов в пределах водосбора |

Наличие подобной информации позволяет оценить направление и вероятность развития негативных ландшафтных процессов на мелиорированных землях на региональном уровне и разработать комплекс противоэрозионных мероприятий. Важно отметить, что результаты выполнения комплексного морфометрического анализа территории на основе данных радарной интерферометрической топографической съемки SRTM могут быть использованы как для проведения оперативной и эффективной оценки критических свойств рельефа для целей прогнозирования использования мелиориро-

ванных земель, так и для разработки проектов мелиоративного устройства территорий. В частности, сведения о количественных характеристиках рельефа, выраженные через его морфометрию, довольно часто используются при мониторинге экзогенных природных опасностей (абразионно-оползневые явления, склоновая и русловая эрозия, селевая опасность), а также для целей ландшафтного анализа территории и ее районирования. Существует ряд моделей эрозии почвенного покрова – AGNPS (Agricultural Non-Point-Source Pollution Model), WEPP (Water erosion prediction project), USLE (Universal Soil Loss Equation), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) и MUSLE (Modification Universal Soil Loss Equation), PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) [9, 10]. Каждая из этих моделей базируется на разделении водораздела на отдельные ячейки регулярной сети и назначении каждой ячейке раstra атрибутивных данных, таких как значение уклона, длины склона, эрозионной интенсивности дождя, коэффициента эродуемости почвы. Среди этих моделей для оценки величины среднего многолетнего потенциального смыва почвы (A) довольно часто используют уточненное универсальное уравнение разрушения почвы (RUSLE), разработанное Департаментом сельского хозяйства Службы охраны почв США (Natural Resources Conservation Service, NRCS) (1):

$$A = R * K * L * S * C * P, \quad (1)$$

где A – годовые потери почвы, т/га; R – фактор эродирующей способности дождевых осадков, МДж*мм/(га*час*год); K – фактор размываемости почв, т*га*ч/(МДж*мм*га); L – фактор длины склона (безразмерный); S – фактор крутизны склона (безразмерный); C – фактор растительности и севооборота (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1); P – фактор эффективности выполненных противоэрозионных мероприятий (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1).

Функциональные возможности наборов инструментов «Гидрология» и «Поверхность» позволяют выполнить определение произведения фактора длины склона на фактор крутизны склона, являющееся фактором эрозионного потенциала рельефа LSF, который при отсутствии данных об удельной водосборной площади определяется по формуле (2):

$$LSF = ((A * D) / 22,13)^m * (0,01745 * (\sin(\sin \alpha / 0,0896)))^n * 1,4 \quad (2)$$

где A – грид-модель слоя стока (растровое изображение, полученное после применения инструмента «Суммарный сток» модуля «Гидрология»); α – растровая тема уклонов в градусах (растровое изображение, полученное после применения инструмента «Уклон» модуля «Поверхность»); D – длина ячейки раstra SRTM в метрах (пространственное разрешение раstra); n – показатель уклона, равный 1,3; m – показатель площади, определяемый по формуле (3):

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (3)$$

где β – локальное значение уклона в градусах, вычисляемое по формуле (4):

$$\beta = (\sin \alpha / 0,0896) / (3,0 * (\sin \alpha)^{0,8} + 0,56) \quad (4)$$

Кроме уклона поверхности инструмент «Экспозиция» набора инструментов «Поверхность» позволяет вычислить солярную экспозицию – угол по часовой стрелке между направлением на север и проекцией внешней нормали на горизонтальную плоскость в определяемой точке земной поверхности, который определяет направление уклона поверхности [11]. Она выражается положительными значениями градусов от 0 до 359,9, измеряемыми по часовой стрелке от направления на север. При этом плоским областям, не имеющим направления вниз по склону, присваивается значение -1. Данный фактор непосредственно влияет на водный режим почв, во многом определяя величину инсоляции и эвапотранспирации. Кроме того, уклон и солярная экспозиция склона совместно контролируют перераспределение зимних осадков по земной поверхности, поэтому данные морфометрические величины влияют на дифференциацию и динамику промерзания и оттаивания почвы, а следовательно, и на дифференциацию накопления в ней запасов влаги.

Выходные данные, полученные после реализации функционала инструмента «Кривизна» набора инструментов «Поверхность» с точки зрения прикладного применения могут быть использованы прежде всего для описания физических характеристик водосборного бассейна, которые могут помочь в понимании направления процессов эрозии и поверхностного стока. Если уклон влияет на общую скорость движения вниз по склону, а экспозиция определяет направление потока, то профильная кривизна поверхности влияет на ускорение или замедление потока, и, следовательно, воздействует на процессы эрозии и депонирование осадков, а плановая кривизна влияет на конвергенцию и дивергенцию потока вещества в мелиорированном ландшафте.

Карты LULC (землепользование/земельный покров) играют важную роль в мониторинге мелиорированных земель на местном, региональном и национальном уровнях, планировании землепользования, гидрологическом моделировании и управлении водными ресурсами. Открытые, точные, динамические и актуальные карты земного покрова с высоким разрешением имеют важное

значение для принятия оптимальных управленческих решений. Такие карты получают посредством классификации данных дистанционного зондирования с применением методов глубокого машинного обучения. На рис. 5 представлено картографическое изображение территории Горецкого района, извлеченное в среде ГИС из массива данных классификации сцен Sentinel-2, выполненных в видимых красном, зеленом, синем, ближнем инфракрасном и двух коротковолновых инфракрасных диапазонах. На полученный растровый слой типов землепользования наложен векторный слой мелиорированных земель, представленный в качестве отдельного класса пространственных объектов в базе геоданных ЗИС Горецкого района.

Классификация LULC предусматривает определение в пределах территории интереса следующих классов: 1) водные объекты (реки, пруды, озера, океаны, затопленные соляные равнины); 2) древесная растительность (скопление высокой (~ 15 м и более) и густой растительности, обычно с закрытым или плотным пологом); 3) травянистая растительность (естественные луга и поля с редким покровом деревьев или без него, открытая саванна с небольшим количеством деревьев или без них, парки, пастбища); 4) затопленная растительность (затопленные мангровые заросли, зарождающаяся растительность, рисовые поля и другое интенсивно орошаемые и затопляемые сельскохозяйственные земли); 5) сельскохозяйственные культуры; 6) кустарниковая растительность (смесь небольших скоплений растений или отдельных растений, разбросанных по ландшафту, на котором видна открытая почва или скалы; заросшие кустарником поляны в густых лесах); 7) земли под застройкой (строения, основные автомобильные и железнодорожные сети; большие однородные непроницаемые поверхности, включая парковочные конструкции, офисные здания и жилые дома); 8) открытые земли (участки скал или почвы с очень редкой растительностью или без нее в течение всего года; большие участки песка и пустынь с практически отсутствующей растительностью; песчаные дюны, сухие солончаки, высохшие дна озер, шахты); 9) снег и/или лед (большие однородные участки постоянного снега или льда, обычно в горных районах или на самых высоких широтах; ледники, постоянный снежный покров, снежные поля).

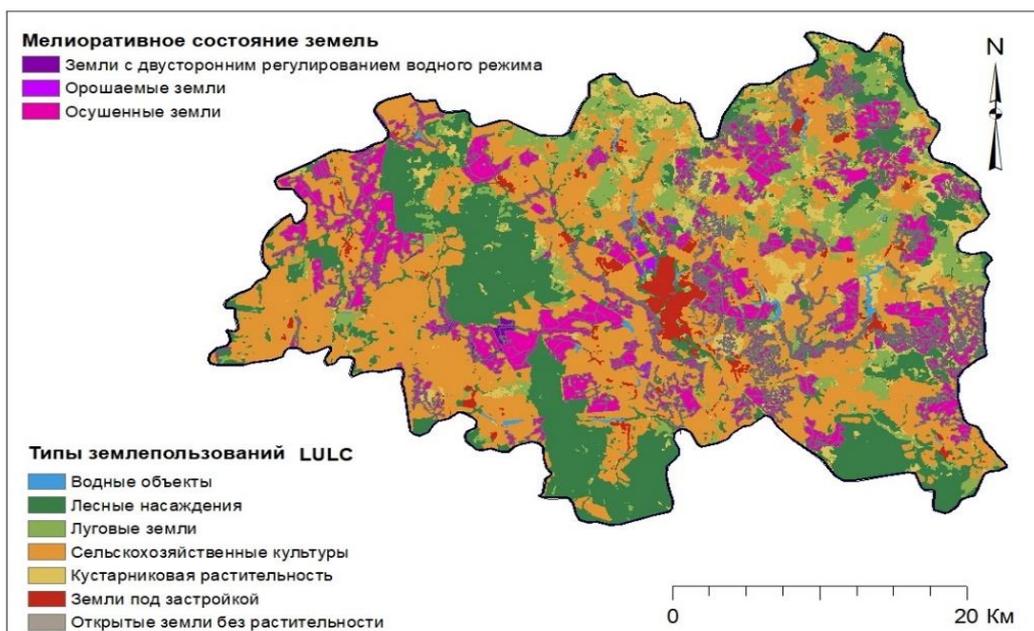


Рис. 5. Типы землепользования LULC на территории Горецкого района

Классификация LULC отличается от принятой в Республике Беларусь классификации видов земель однако позволяет довольно точно идентифицировать отдельные виды земель в пределах актуальных спутниковых сцен на любую интересующую территорию. Дальнейшее преобразование растровых данных в векторные в среде ГИС дает возможность точно определить актуальную площадь того либо иного вида земель (табл. 2).

При сравнении данных классификации LULC с данными реестра земельных ресурсов наблюдаются значительные расхождения по площади земель под болотами – 51,13 км². Однако, при сравнении векторного слоя ЗИС и данных дистанционного зондирования оказалось, что в качестве земель под болотами идентифицированы преимущественно вымочки, имеющиеся на пахотных и луговых землях, а не «избыточно увлажненные земли, покрытые слоем торфа», как определены земли под болотами в ст. 7 Кодекса о земле Республики Беларусь. Следует также учитывать тот факт,

что данные дистанционного зондирования, находящиеся в свободном доступе, не позволяют четко идентифицировать линейные водные объекты, поскольку для их извлечения из растра требуется специальная комбинация каналов. Однако, если использовать спутниковые сцены Landsat-8 с комбинацией каналов 5–6–2, то линейные водные объекты могут быть идентифицированы с высокой точностью. По понятным причинам данные дистанционного зондирования не позволяют идентифицировать вид земель «неиспользуемые земли» и «иные земли», которые по данным спутниковых сцен идентифицируются как земли под древесно-кустарниковой растительностью.

Таблица 2. Наличие и распределение земель Горецкого района по данным дистанционного зондирования и данным реестра земельных ресурсов Республики Беларусь

| Вид земель | Площадь земель, км ² | | ± к площади, представленной в реестре |
|---|---|--|---------------------------------------|
| | представленная в реестре земельных ресурсов | идентифицированная по классификации LULC | |
| Пахотные земли | 695,41 | 728,68 | +33,27 |
| Луговые земли | 151,46 | 142,67 | -8,79 |
| Земли под постоянными культурами | 7,22 | 281,31 | +51,38 |
| Лесные земли | 229,93 | | |
| Земли под древесно-кустарниковой растительностью | 69,63 | 89,61 | +19,98 |
| Земли под болотами | 51,15 | 0,02 | -51,13 |
| Земли под водными объектами | 14,42 | 7,43 | -6,99 |
| Земли под дорогами и иными транспортными коммуникациями | 17,61 | 35,73 | -1,14 |
| Земли под застройкой | 19,26 | | |
| Земли общего пользования | 8,64 | – | – |
| Нарушенные земли | 0,07 | 0,76 | +0,69 |
| Неиспользуемые земли | 16,54 | – | – |
| Иные земли | 2,97 | – | – |
| Всего земель | 1284,31 | 1366,21 | +1,90 |

При мониторинге мелиорированных земель данные дистанционного зондирования позволяют оценить их состояние на региональном уровне без выполнения полевых исследований. На рис. 6 представлен фрагмент растрового слоя LULC с наложенной на него векторной маской участка осушенных земель, которые в ЗИС представлены как луговые улучшенные земли, тогда как фактически не могут быть отнесены к таковым, поскольку подвержены зарастанию кустарниковой растительностью, площадь которой в пределах векторной маски составляет 24,25 га.

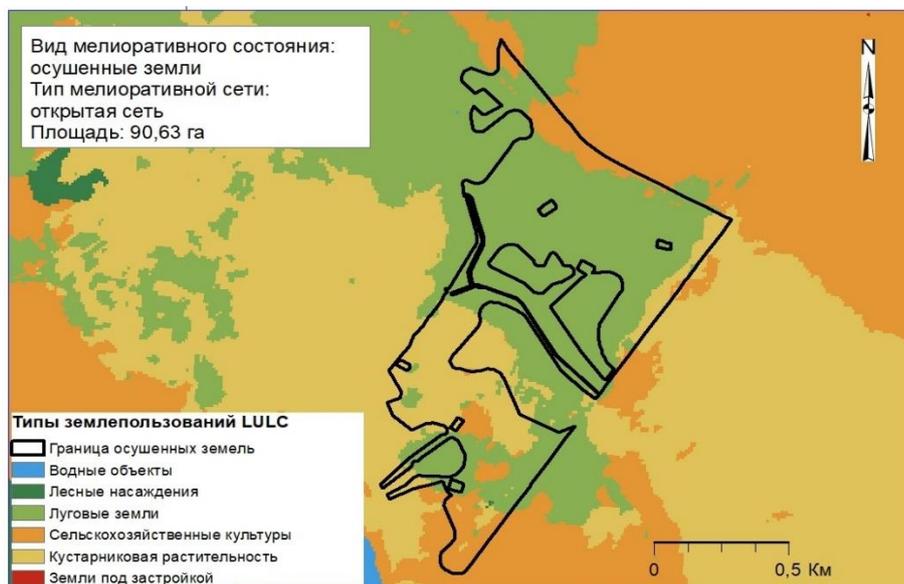


Рис. 6. Типы землепользования LULC в пределах участка мелиорированных земель на территории Горецкого района

Заключение

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов: 1) прогрессирующее увеличение масштабов антропогенного воздействия на природные и агроландшафты требует совершенствования процесса выполнения локальных и региональных мониторинговых наблюдений за состоянием мелиорированных земель; 2) получение достоверных и оперативных данных о состоянии мелиорированных земель и их использование для целей мониторинга возможно посредством применения эффективных инструментов анализа и интерпретации большого объема геопространственных данных; 3) геоинформационные системы и их функциональные наборы инструментов поз-

воляют получать актуальные данные о результатах воздействия природных и антропогенных факторов на состояние мелиорированных ландшафтов в каждой точке изучаемого пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов, К. Нерешенные вопросы государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / К. Ибрагимов // Земля Беларуси. – 2013. – №4. – С. 12–15.
2. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в Республике Беларусь: проблемы и перспективы развития / Т. Н. Мыслыва, Ж. З. Циавиа, Е. В. Шабрина, П. П. Надточий // Вестник БГСХА. – 2017. – №2. – С. 105–111.
3. Об утверждении инструкции об организации работ по проведению мониторинга земель. – [Электронный ресурс]: постановление Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь № 68 от 22 декабря 2009 г. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org>.
4. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2021 года) / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2021. – 57 с.
5. Дуброва, Ю. Н. Геоморфометрический анализ рельефа территории Горецкого района с использованием данных дистанционного зондирования / Ю. Н. Дуброва, Т. Н. Мыслыва, Т. Н. Ткачева // Вестник БГСХА. – 2021. – №1. – С. 209 – 216.
6. Экология почвы / Т. Н. Мыслыва [и др.]; под. ред. Т. Н. Мыслывой. – Житомир: Изд-во ПП Евенок А. А., 2018. – 516 с.
7. Дуброва, Ю. Н. Комплексный морфометрический анализ территории Горецкого района с использованием данных дистанционного зондирования Земли / Ю. Н. Дуброва, Т. Н. Мыслыва, Т. Н. Ткачева // Мелиорация. – 2020. – №3(93). – С. 43–54.
8. Panagos, P. A new european slope length and steepness factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water / P. Panagos, P. Borrelli, K. Meusburger // Geosciences. – 2015. – Vol. 5. – P. 117–126.
9. Горбачёва, Е. Н. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов на основе ГИС / Е. Н. Горбачёва // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2(47). – С. 42–51.
10. Spatial assessment of the effects of land cover change on soil erosion in Hungary from 1990 to 2018 / I. Waltner, S. Saeidi, J. Grósz [et al] // International Journal of Geo-Information. – 2020. – Vol. 9. – P. 667.
11. Дамшевич, А. Возможности использования цифровой модели рельефа для изучения влияния морфометрических показателей на влажность почв / А. Дамшевич // Земля Беларуси. – 2017. – №1. – С. 42–45.