



УДК 911.375:528.83:502.5

DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-1-52-62

**МНОГОЛЕТНИЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ
ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОССИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА**

**LONG-TERM GEOINFORMATION MONITORING OF MINING-TECHNICAL
LANDSCAPES OF THE STEPPE ZONE OF RUSSIA WITH APPLICATION
OF THE SPECTRAL INDEX**

**С.А. Дубровская, С.Ю. Нореика
S.A. Dubrovskaya, S.Yu. Noreyka**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт степи Уральского
отделения Российской академии наук,
Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
11 Pionerskaya St, Orenburg, 460000, Russia

E-mail: skaverina@bk.ru, stac6151@gmail.com

Аннотация

В статье на основе многолетних разновременных геоинформационных и камеральных данных проведена оценка антропогенного воздействия на участки горнотехнических комплексов в пределах урбогеосистем степной зоны. Проанализированы геоэкологические аспекты влияния горнопромышленных ландшафтов на природно-техногенную среду городов Челябинской и Оренбургской областей. На участках месторождений, расположенных в пределах урбанизированной территории, установлена степень трансформации ландшафта и восстановления, которая напрямую зависит от типа горнотехнической геосистемы, добываемого сырьевого ресурса и времени воздействия разработки. Отрицательные последствия для городского ландшафта и в целом комфортного проживания человека установлены следующие: обвалы, оползни, разрывные нарушения близлежащих к руднику территорий, накопление значительного количества отходов, возникновение шламохранилищ и отвалов, загрязнение природной среды (атмосферы, питьевой воды, почвенного покрова, деградация и уничтожение флоры и фауны), что напрямую влияет на социально-экологическое благополучие населения.

Abstract

On the basis of many years of geo-information and cameral data of different periods, an assessment of the anthropogenic impact on the sections of the mining-technical complexes within the urban-geological systems of the steppe zone was carried out. Used data of field observation of the objects of study. The geocological aspects of the influence of mining landscapes on the natural and man-made environment of the cities of Chelyabinsk and Orenburg regions are analyzed. In areas of deposits located within an urbanized territory, the degree of landscape transformation and restoration has been established, which directly depends on the type of mining geosystem, the extracted raw material resource and the time of development impact. The studied urbanized areas of the steppe zone are ranked by the degree of anthropogenic environmental impact. Negative consequences for the urban landscape and in general comfortable living of a person are as follows: landslides, landslides, rupture violations of the territories adjacent to the mine, accumulation of significant amounts of waste, the emergence of sludge dumps and dumps, environmental pollution (atmosphere, drinking water, soil cover, degradation and destruction flora and fauna), which directly affects the socio-ecological well-being of the population. The deposits of ore and combustible minerals located within the urban ecosystem of Korkino and Guy are defined as objects with a very high degree of anthropogenic pressure and transformation changes. In Sol-Iletsk, the situation on the studied parameters is satisfactory.

Ключевые слова: урбогеосистема, недропользование, техноморфогенез, трансформация ландшафта, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), мультиспектральные данные, состояние растительности, антропогенное воздействие.

Keywords: urbogeosystem, subsoil use, technomorphogenesis, landscape transformation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), multispectral data, state of vegetation, anthropogenic impact.

Введение

Город – техногеосистема со сложными внутренними и внешними взаимосвязями, которые возникают в процессе интенсивной хозяйственной деятельности человека. Этот процесс создает в городских условиях интегральную геосистему, которая кардинально изменяет природный ландшафт. Дисбаланс урбосистемы – это нормальное состояние городского ландшафта, но рассогласованность должна быть минимизирована, что требует систематических корректировок со стороны всех управленческих структур.

Недропользование – фактор создания и развития моногородов в России. Устойчивое развитие таких городов напрямую связано со стабильной работой градообразующего предприятия или группы предприятий одной отраслевой принадлежности, ведь город данного типа и предприятие неразрывны [Гундарев, 2013]. В условиях резкого обострения социально-экономических проблем в развитии монопрофильных городов представляется крайне важным выработать принципиальные подходы, механизмы и инструменты, позволяющие обосновать дальнейшие пути их существования. При этом неприемлемы общие подходы ко всей совокупности монопрофильных городов, сценарии их возможного развития, не учитывающие масштабность явления, разнообразие специализации, особенности генезиса, планировочные и региональные условия и жизненно важные интересы проживающего населения [Развитие моногородов России..., 2013]. В размещении целого ряда городов решающую роль играет наличие месторождений полезных ископаемых. Добыча полезных ископаемых формирует новый тип техногеосистем (ТГС) – горнопромышленный, при котором происходит кардинальное изменение рельефа с созданием новых типов ландшафта: карьерно-отвалный, провальнотерриконовый со значительными изменениями структуры водосборных бассейнов и расчлененности. Города степных ландшафтов России имеют общую особенность – низкий уровень облесенности. Этот недостаток древесно-кустарниковых насаждений ведет к ухудшению микроклимата урбогеосистем. На данный естественный фактор накладывается техногенная составляющая. Таким образом, в результате антропогенного воздействия при добыче полезных ископаемых наблюдается деградация природных геосистем и возникновение глубоко преобразованных (нуклеарных) техногеосистем: полностью уничтожается почвенный покров, происходит засоление почв, загрязнение природной среды тяжелыми металлами от отвалов и полное отсутствие естественного растительного покрова на территории добывающего предприятия. Горнопромышленные комплексы создают новые формы рельефа и приводят к возникновению катастрофических явлений – техногенных геохимических потоков, обвалов, эрозионных процессов и многое другое. Характер и масштаб воздействия на прилегающие территории зависит от химического состава вскрышных пород, площади и времени эксплуатации данного месторождения.

Трансформация рельефа на городской территории – это не только изменение поля высот, морфометрических и морфологических характеристик, это создание новых ландшафтно-геоморфологических условий, новой антропогенно-геоморфологической системы со свойственными ей особенностями функционирования [Лихачева, 2017, с. 17]. Воздействие на ландшафты открытых горных работ проявляется в коренном переустройстве рельефа с образованием техногенных отрицательных (денудационных) и положительных (аккумулятивных) форм. К положительным формам рельефа, образующимся в результате открытых горных работ, относятся отвалы. По отношению к



контуру карьера их подразделяют на внутренние и внешние. Отрицательными формами рельефа, остающимися после открытых разработок, являются карьеры, траншеи и каналы, весьма различные по своим параметрам. Карьер охватывает собой совокупность горных выработок, образованных при добыче полезного ископаемого открытым способом. Форма карьеров определяется условиями залегания полезного ископаемого и геометрией разрабатываемого пласта или рудного тела [Фурманова и др., 2016]. Изменение природного ландшафта вызывает взаимосвязанные друг с другом преобразования, направленные на перестройку геосистемы урболандшафта [Петрищев, Ряхов, 2015; Li et al., 2015; Ряхов, 2016]. Интенсивное развитие промышленности, транспорта ставит города на грань системного экологического кризиса, связанного с высоким массовым загрязнением всех природных компонентов урбозкосистемы отходами, выбросами, стоками, содержащими высокие концентрации поллютантов.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – средние по численности населения города степной зоны России с наличием в них горнопромышленных ландшафтов и различных типов месторождений. г. Коркино (Челябинская область) – Коркинское бурогольное месторождение, угледобывающее предприятие ОАО «Челябинская угольная компания», г. Гай (Оренбургская область) – Гайское медно-колчеданное месторождение, предприятие добывающего комплекса уральской горно-металлургической компании, Публичное акционерное общество «Гайский горно-обогатительный комбинат» (ПАО «Гайский ГОК»), г. Соль-Илецк (Оренбургская область) – Илецкое месторождение каменной соли, предприятие добычи, производства, реализации пищевой и технической соли ОАО «Руссоль», гипсовое месторождение, месторождения строительных песков и кирпичных глин.

Цель – выявить особенности динамических изменений горнотехнических территорий в городских условиях. В последние годы, в условиях возрастающего антропогенного воздействия на окружающую среду, наряду с традиционными наземными методами наблюдения за состоянием компонентов ландшафтного покрова всё чаще используется космический мониторинг. Преимуществами дистанционного исследования ландшафтов на основе мультиспектральных изображений являются масштабность, возможность получения в процессе их дешифрирования разнообразной глобальной и локальной информации (оперативной или архивной) о природных объектах в изучаемый момент времени [Мячина, 2013; 2016; Никитина, Олзоев, 2014].

Проведен расчет показателей нормализованного разностного вегетационного индекса растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), для этого выбраны разновременные мультиспектральные изображения спутника Landsat-5 с сенсором TM (дата съемки июнь 1985 г.), Landsat-8 с сенсором OLI/TIRS (дата съемки июнь 2016 г., июнь 2017 г.) с разрешением 30 м. Снимки Landsat на территорию месторождений представлены Геологической службой США (USGS) и находятся в открытом доступе на электронном ресурсе – www.glovis.usgs.gov. Использование индекса нормализованной разности растительности (NDVI) дает возможность проведения анализа состояния растительного покрова по многовременным спутниковым данным. Формула для расчета вегетационного индекса следующая:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)},$$

где NIR – значения отражения в инфракрасной области спектра, RED – значения отражения в красной области спектра [Effah et al., 2014; Alves, Pereira, 2015; Padmanaban et al., 2017]. Производился расчет вегетационного индекса NDVI на основе имеющихся спектральных данных каналов – красной (0.60–0.75 мкм) и ближней инфракрасной (0.75–1.3 мкм) зонах. Значения NDVI меняются в диапазоне от –1 до 1 [Евдокимов, Михалап,



2015]. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, чем больше фитомасса, тем его показатели выше (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Градация значений нормализованного разностного
вегетационного индекса растительности NDVI [Петрищев и др., 2014]
Gradation of values of normalized differential vegetation index NDVI [Петрищев и др., 2014]

Значения индекса NDVI	Состояние растительности
-0.5 – 0.25	Бетон, асфальт, стекло, вода, открытая почва
0.25 – 0.34	Низкая степень развития растительности, угнетенное состояние
0.34 – 0.62	Средняя степень развития растительности, удовлетворительное состояние
0.62 – 0.81	Высокая степень развития растительности, хорошее состояние

В красной области спектра происходит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, а в ближней инфракрасной – область максимального отражения клеточных структур листа. Чем активнее вегетация, тем больше будет поглощать хлорофилл, и больше отражать клеточная структура. Таким образом, высокая фотосинтезирующая активность (густой растительный покров) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и к высокому в инфракрасной, при ослаблении вегетации увеличивается отражение в красной части спектра и уменьшается отражение в инфракрасной. На значения индекса также влияют видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, почва под разреженным растительным покровом, экспозиция и угол наклона поверхности. Вся территория «искусственной» среды города лежит в отрицательных диапазонах. Анализ проводился при помощи программных комплексов ENVI 5.1, ArcGIS for Desktop 10.2.

Результаты и их обсуждение

Исследуемые участки месторождений нами распределены по трем типам преобразованности рельефа под действием техногенных процессов и формированию новых форм поверхностей, их воздействия на соседние геосистемы (степень гипотехноморфогенеза и гипертехноморфогенеза, объемы отвалов и площади растительных сообществ) (табл. 2): 1) регенерирующие (восстанавливающиеся); 2) стагнирующие (статичные – выраженные в нулевых или незначительных темпах изменения); 3) деструктирующие (нарушение процесса протекания этапов первичной сукцессии). Особенностью горнотехнических ландшафтов является наличие нескольких геоморфологических уровней, формирующиеся в результате разработки карьеров и образования отвалов. Развитие искусственных форм рельефа приводит к активизации экзогенных процессов, усиливает динамику геосистемы и вовлекает ее в дисбаланс.

Коркинское бурогольное месторождение расположено в Челябинской области, примыкает к городской территории. Селитебные, промышленные и общественно-деловые объекты г. Коркино находятся непосредственно вблизи бортов угольного разреза «Коркинский». Обрушение бортов карьера и выход метана на поверхность в 2013–2015 гг. «захватило» жилые постройки рабочего поселка (в зону обвала попадает большая часть центра г. Коркино и рабочего поселка Роза). Причиной этих техногенных рисков при разработке объекта недропользования является неверное градостроительное планирование в рамках долгосрочной перспективы застройки. Для решения создавшейся ситуации была осуществлена программа переселения жителей в безопасные районы [Большаков, 2014]. В прошлом эксплуатация угольного разреза осуществлялась без установленной санитарно-защитной зоны. Угольное месторождение в 2010 г. решением комиссии Челябинской области от 14.12.2010 г. № 32–2010 по предупреждению и ликвидации чрезвычайных



ситуаций, дан статус потенциально опасного объекта (I класс) [Соколовский и др., 2018]. В процессе эксплуатации месторождения зафиксировано множество техногенных последствий, которые проявляются на городской территории и горнотехническом ландшафте в современный период времени: масштабные оползневые процессы; возгорание породы, с выделением вредных токсичных веществ, негативно влияющих на комфортное проживание населения. В 2017 г. на месторождении многими компаниями проводились исследования на предмет рекультивации угольного разреза при помощи закладки материала на основе хвостов обогатительной фабрики АО «Томинский ГОК» с последующим затоплением карьера. Исследуемая горнотехническая геосистема относится к стагнирующим, с уменьшением полигонов «зеленых» зон на 15.46 км². По показателям индекса NDVI (1985–2017 гг., см. рис. 1, табл. 1) фиксируется переход к низкому общему состоянию растительности. Причиной процесса снижения доли насаждений является рост площадей разработки и промышленной ТГС.

Таблица 2
Table 2

Количественные показатели и типизация техногеосистем городов Коркино, Гай, Соль-Илецк по результатам полевых обследований и данным дешифрирования мультиспектральных изображений
Quantitative indicators and typification of technogeosystems of the cities of Korkino, Gai, Sol-Iletsk according to the results of field surveys and data interpretation of multispectral

Месторождения	Коркинское	Гайское	Илецкое	Гипсовое (г. Гипсовая)	Строительных песков и кирпичных глин
Площадь техногеосистемы, км ²	62.99	23.36	3.49	0.58	0.59
Площадь карьера, км ²	6.94	2.75	0.08	0.14	0.37
Площадь отвалов, км ²	14.21	7.3	–	–	0.003
Степень гипотехноморфогенеза (глубина, м)	493	> 1400	> 400	18.9	3/6.8
Степень гипертехноморфогенеза (высота, м)	70–110	40–65	–	–	2.5
Состояние растительности по значениям индекса NDVI (1985 г.) (таб. 1)	0.34–0.62	0.25–0.34	0.25–0.34	0.34–0.62	0.25–0.34
Состояние растительности по значениям индекса NDVI (2016–2017 гг.) (таб. 1)	0.25–0.34	0.25–0.34	0.34–0.62	0.34–0.62	0.34–0.62
Площадь «зеленой» зоны по значениям индекса NDVI, км ² (1985 г.)	51.5	3.12	0.4	0.05	0.31
Площадь «зеленой» зоны по значениям индекса NDVI, км ² (2016–2017 гг.)	36.04	2.84	0.76	0.17	0.38
Тип горно-технической геосистемы	Стагнирующее	Стагнирующее	Регенерирующее	Регенерирующее	Регенерирующее

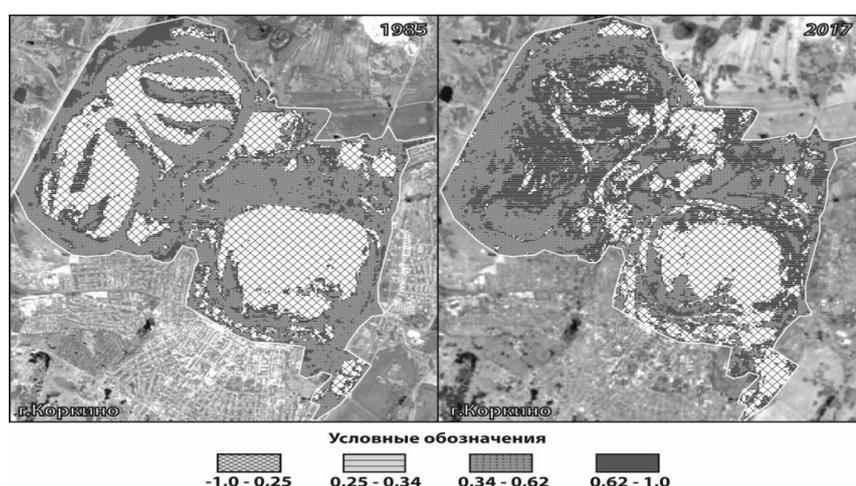


Рис. 1. Расчет показателей NDVI территории г. Коркино с вмещающим в себя горнотехническим комплексом Коркинского бурогоугольного месторождения в период с 1985 по 2017 гг. по космическим снимкам спутников Landsat 5-8. Условными обозначениями показаны значения NDVI
 Fig. 1. Calculation of NDVI indicators for the territory of urban ecosystems with the hosted mining complex of the Korkinsky brown coal mine in the period from 1985 to 2017 on the space images of the Landsat satellites 5-8. NDVI values are indicate by legend

Особенностью развития урбанизированного пространства города Гая является градообразующий комплекс горнотехнического ландшафта – предприятие добывающего комплекса уральской горно-металлургической компании Публичное акционерное общество «Гайский горно-обогатительный комбинат» (ПАО «Гайский ГОК»). Химическое загрязнение токсичными продуктами при переработке колчеданных руд природных компонентов ведет к негативному влиянию на комфортные условия проживания населения в городской среде. Наиболее неблагоприятным для жителей города является прогноз по болезням нервной системы, аномалиям развития, болезням крови и кроветворных органов [Ульрих, 2016]. На основе визуальной оценки спутниковых снимков и полевых исследований территории Гайского месторождения (отвал карьера № 2) выявлены рекультивированные участки, тогда как северный отвал карьеров № 1 и № 3 характеризуется интенсивной разработкой (рис. 2).

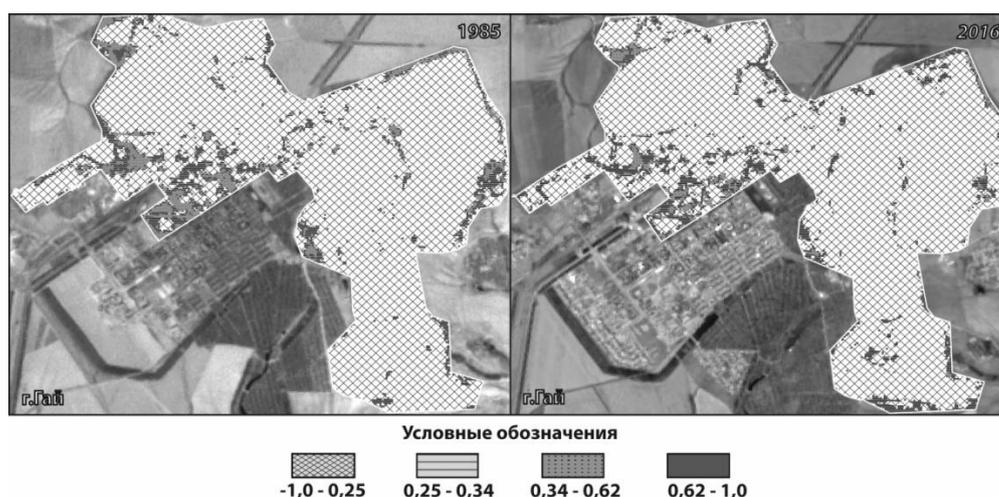


Рис. 2. Расчет показателей NDVI территории г. Гай с вмещающим в себя горнотехническим комплексом Гайского медно-колчеданного месторождения в период с 1985 по 2016 гг. по космическим снимкам спутников Landsat 5-8. Условными обозначениями показаны значения NDVI
 Fig. 2. Calculation of NDVI indicators on the territory of urban ecosystems with the hosted mining complex of the Gaisky copper-pyrite deposit in the period from 1985 to 2016 on the space images of the Landsat satellites 5-8. NDVI values are indicated by legend



Законсервированный южный отвал зарастает степными злаково-полынковыми сообществами с посадками *Ulmus parvifolia Jacq.* Северная часть действующего отвала (карьер № 1) характеризуется низкой степенью развития растительности. В результате дешифрирования и камеральной обработки данных, нами выделены следующие антропогенные геосистемы с высокой степенью трансформации ландшафта: селитебная малоэтажная ТГС с низким уровнем озеленения, гаражные кооперативы; промышленная ТГС – ПАО «Гайский ГОК»; нерекультивированные участки отвалов; карьеры и хвостохранилище; садово-дачные индивидуальные массивы, расположенные в непосредственной близости от рекультивируемого участка на юго-западной части урбанизированной территории. Лесозащитные полосы урбогеосистемы располагаются по периферии северо-западной, западной и юго-восточной частях, не оказывая оздоровительного эффекта на микроклимат города. Рекультивируемый участок карьера по состоянию растительного покрова, рассчитанного по индексу NDVI остался практически неизменным, но зафиксировано увеличение площади флоры на 12.7 %. Компактность урбогеосистемы и близость горнопромышленного комплекса оказывает в целом негативное влияние на комфортное проживание горожан [Гаев, Карпов, 2002].

По результатам экспедиционных обследований и обработки разновременных геоинформационных данных за 33-летний период авторами на территорию современного г. Соль-Илецка получены ландшафтно-экологические данные антропогенного изменения урбогеосистемы на следующих объектах недропользования: Илецкое (каменная соль), гипсовое (гора Гипсовая), строительных песков и кирпичных глин (последние три в настоящее время не разрабатываются) (рис. 3). Эксплуатация месторождений проводилась в пределах городских границ и непосредственной их близости по причине совокупности факторов, представленные отсутствием долгосрочной перспективы развития городской среды, логистической и экономической обеспеченностью, несоблюдение геоэкологических норм. Илецкое месторождение каменной соли представляет собой диапировое поднятие, расположенное в междуречье р. Елшанка и р. Песчанка, разработка ведется на протяжении трехсот лет. В результате постоянного притока слабоминерализованных грунтовых и речных вод и повышенной карстовой активности, за период разработки карьеров и многочисленных шахт происходили затопления выработок. Это привело к образованию серии техногенных озер, в том числе, уникального по своим гидрогеологическим и бальнеологическим свойствам озера Развал. Совокупность природных и антропогенных процессов в пределах горного отвала территории Илецкого месторождения позволили сформировать курортно-рекреационную зону [Абдрахманов и др., 2008]. На участке горнотехнического ландшафта компанией ОАО «Руссоль» проводились мероприятия, направленные на снижение вероятных карстовых процессов, а также велся мониторинг за состоянием окружающей природной среды (атмосфера, недра, почвенный покров, биоресурсы). На современном этапе развития этой глубоко-преобразованной ТГС (локальный участок действующей шахты №2 и территория курортной зоны) происходит уменьшение антропогенной нагрузки и катастрофических явлений. По динамике показателей вегетационного индекса NDVI общее состояние растительности удовлетворительное и наблюдается увеличение площади рекреационных зон на 0.36 км² (рис. 3).

Другим объектом обследования в г. Соль-Илецк является месторождение гипса (гора Гипсовая, велась добыча гипса и алебаstra), расположенное на левобережье р. Песчанка, образованное путем отбрасывания Илецким соляным куполом гипсового кепрока. Особенностью разработки таких объектов выступает малое количество отвалов, поскольку выбор и разработка происходит точечно, с учетом минимальных вложений в планы технических мероприятий. Негативные последствия в границах и за пределами техногеосистемы минимальны, так как степень гипотехноморфогенеза незначительна и вскрышные породы представлены плодородным слоем и суглинистыми массами, самозарастание которых происходит быстро. Южная часть карьера использовалась как

несанкционированная свалка, которая ликвидирована. Земли существовавшего горнотехнического ландшафта на данном этапе переведены в категорию селитебных ТГС, ориентированных на курортную сферу. Естественное зарастание древесно-кустарниковой растительностью происходит локально. Кроме этого, в частном порядке проведена рекультивация горы Гипсовая и благоустроена парковая зона, проведено выравнивание территории, отсыпка обрывистых участков, подверженных эрозионным процессам. Карьерно-отвалный участок расположен в пределах террасы на левобережье р. Елшанка. Состояние растительного покрова на месторождении гипса – удовлетворительное, за исключением сокращения площади в пользу селитебной ТГС.

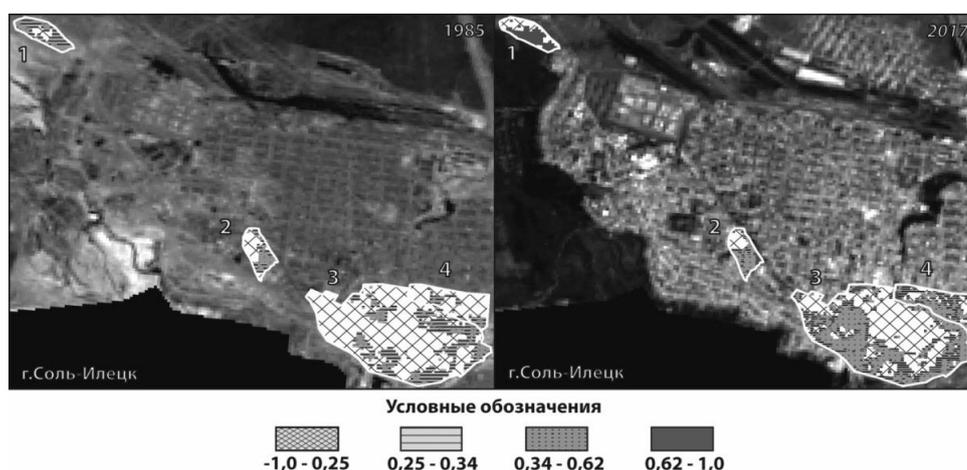


Рис. 3. Расчет показателей NDVI территории г. Соль-Илецк с вмещающим в себя горнотехническим комплексом Илецкого месторождения каменной соли в период с 1985 по 2017 гг. по космическим снимкам спутников Landsat 5-8. Условными обозначениями показаны значения NDVI, цифрами отмечены: 1 – месторождение строительных песков, 2 – месторождение кирпичных глин, 3 – Илецкое месторождение каменной соли, 4 – гипсовое месторождение

Fig. 3. Calculation of NDVI indicators on the territory of urbogeosystems with the mountain-technical complex of the Iletskiy rock salt deposit hosting the period from 1985 to 2017. on the space images of the Landsat satellites 5-8. The NDVI values are indicated by conventional symbols, the figures are: 1 – deposit of construction sand, 2 – deposit of brick clay, 3 – Iletskiy deposit of rock salt, 4 – gypsum deposit

Месторождение кирпичных глин эксплуатируется в среднем около 10–15 лет. В результате исследований нами зафиксирован факт естественных процессов восстановления горнотехнического ландшафта: сглаживание бортовых частей под действием атмосферных осадков, зарастание многолетней травянистой и древесно-кустарниковой растительностью и переход его в категорию селитебных, сельскохозяйственных и коммунально-складских ТГС. На этом участке остается острой проблема затопления бывшего карьера, так как отсутствует обвалование бортов. В северной части выходы глинистых масс не закреплены техническими сооружениями и не проведено озеленение южной экспозиции северного склона. Это приведет к образованию овражно-балочной сети, и представляет угрозу транспортно-коммуникационной ТГС. Склон карьера восточной экспозиции преобразован в несанкционированную свалку бытовых отходов и здесь же расположены индивидуальные садово-дачные массивы. При рассмотрении динамики по данным ДДЗ (см. рис. 3) на территории нерудных месторождений отмечается процесс восстановления ландшафта. Месторождение строительных песков заложено в пределах террасы на левобережье р. Елшанка. В пределах месторождения зафиксированы выходы грунтовых вод, отмечаются положительные процессы зарастания, образование водоема и увеличение его акватории в период с 1985–2017 гг. Карьер не эксплуатируется, мероприятия, направленные на улучшение геоэкологической обстановки не предусмотрены. Высокую опасность вызывает западная часть месторождения, с развитой овражно-балочной сетью,



образованная эрозионными процессами в результате отсутствия водоотвода. Процесс зарастания горнотехнических ландшафтов по добыче песка происходит значительно интенсивнее, глинистых и гипсовых – медленнее из-за гранулометрического состава субстрата и минимального количества либо отсутствия органоминеральных веществ. По данным расчета вегетационного индекса NDVI состояние растительного покрова фиксируется как удовлетворительное и соответствует значениям 0.34–0.62.

Заключение

Применяя данные, полученные на основе разновременных мультиспектральных изображений, нами была получена комплексная информация об экологической обстановке урбосреды и прилегающей к ней территории. Исследованные урбанизированные территории степной зоны ранжированы по степени антропогенного воздействия на окружающую среду. В результате экспедиционных исследований и геоинформационного мониторинга мультиспектральных снимков месторождения рудных и горючих полезных ископаемых, находящиеся в пределах урбосистем Коркино и Гай определены как объекты с очень высокой степенью антропогенной нагрузки и трансформации ландшафтов. Большая востребованность ресурсов и специфика разработки таких месторождений способствует увеличению площадей добычи, повышению рисков нерационального природопользования. В г. Соль-Илецк ситуация по исследуемым параметрам удовлетворительная. Нахождение в пределах горного отвода Илецкого месторождения крупной туристско-рекреационной зоны способствует соблюдению санитарно-защитных мер. Месторождения Гипсовое, строительных песков и кирпичных глин в настоящее время не эксплуатируются, проведена рекультивация и зафиксирован процесс самовосстановления. Нами установлен факт увеличения зеленой зоны и улучшения состояния растительности по данным вегетационного индекса NDVI.

В целях повышения точности прогноза дальнейшего состояния горнотехнических ландшафтов, детальной фиксации состояния растительности и выявления дифференциации антропогенной нагрузки, с последующим влиянием на урбогеосистемы, необходимо применять мультиспектральные изображения высокого и сверхвысокого разрешения. Следует проводить сезонный полевой мониторинг состояния геосистем, посредством расширения спектра применяемых индексов и ведение единой базы данных для крупных месторождений.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» № ГР АААА-А17-117012610022-5

Список литературы

References

1. Абдрахманов А.Р., Абдрахманов А.Р., Будкова Г.А., Абдрахманов А.А. 2008. Соленые озера курорта «Соль-Илецк». Оренбург, Союз, 196.
Abdrakhmanov A.R., Abdrakhmanov A.R., Budkova G.A., Abdrakhmanov A.A. 2008. Salt lakes of the resort «Sol-Iletsk». Orenburg, Union, 196. (in Russian)
2. Большаков В.В. 2014. Города-спутники в составе Челябинской агломерации. Проблемы и потенциал. Академический вестник Урал НИИ проект РААСН, 4: 33–36.
Bolshakov V.V. 2014. Satellite towns as part of Chalyabinsk agglomeration. Problems and potential of urban planning development. Academic Bulletin Ural RI project RAACS, 4: 33–36. (in Russian)
3. Гаев А.Я., Карпов Г.Н. 2002. О геоэкологических условиях строительства и освоения Гайского района. Вестник ОГУ, 2: 188–198.
Gaev A.Ya., Karpov G.N. 2002. On the geoecological conditions for the construction and development of the Gai district. Bulletin of OSU, 2: 188–198. (in Russian)

4. Гундарев А.А. 2013. Моногорода Челябинской области: актуальные проблемы, потенциал и перспективы развития. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура», 13 (1): 87–89.

Gundarev A.A. 2013. Chelyabinsk region single-industry towns: current problems, potential and development prospects. Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture», 13 (1): 87–89. (in Russian)

5. Евдокимов С.И., Михалап С.Г. 2015. Определение физического смысла комбинации каналов снимков Landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем. Вестник ПГУ. Серия Естественные и физико-математические науки, 7: 21–32.

Evdokimov S.I., Mikhlap S.G. 2015. Determining the physical meaning of a combination of Landsat imaging channels for monitoring the state of terrestrial and aquatic ecosystems. Bulletin PSU. Series of Natural and Physical and Mathematical Sciences, 7: 21–32. (in Russian)

6. Лихачева Э.А. 2017. Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М., Медиа-ПРЕСС, 176.

Likhacheva E.A. 2017. Geomorphology of urban areas: constructive ideas. Moscow, Media-PRESS, 176. (in Russian)

7. Мячина К.В. 2013. Анализ космических изображений с расчетом NDVI для изучения динамики ландшафтного покрова территории нефтяного месторождения в Оренбургской области. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 4 (42): 206–209.

Myachina K.V. 2013. Analysis of space images with the calculation of NDVI to study the dynamics of the landscape cover of the oil field in the Orenburg region. IZVESTIA Orenburg State Agrarian University, 4 (42): 206–209. (in Russian)

8. Мячина К.В. 2016. К методике оценки геоэкологического состояния степных ландшафтов нефтяного недропользования с применением спутниковых данных. В кн.: Труды IV Международной научно-практической конференции. Свердловское областное отделение общественной организации международной академия наук экологии, безопасности человека и природы; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»; Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, 7 апреля 2016 г.). Екатеринбург: 206–212.

Myachina K.V. 2016. By the method of assessing the geoecological state of the steppe landscapes of oil subsoil using satellite data. In: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Sverdlovsk Regional Branch of the Public Organization of the International Academy of Ecology, Safety of Man and Nature; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FSBI NE «Ural State Mining University»; Institute of Economics UB RAS (Ekaterinburg, 7 April, 2016). Ekaterinburg: 206–212. (in Russian)

9. Никитина Ю.Г., Олзоев Б.Н. 2014. Изучение антропогенной трансформации ландшафтов Прибайкалья по космическим снимкам на примере острова Ольхон. ВЕСТНИК ИрГТУ, 2 (85): 67–74.

Nikitina Yu.G., Olzoev B.N. 2014. The study of anthropogenic transformation of landscapes of the Baikal region using satellite images on the example of Olkhon Island. Bulletin ISTU, 2 (85): 67–74. (in Russian)

10. Петрищев В.П., Дубровская С.А., Ряхов Р.В. 2014. Сравнительный анализ состояния растительности в г. Оренбурге по результатам обработки мультиспектральных космических снимков. Проблемы региональной экологии, 4: 213–217.

Petrishchev V.P., Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V. 2014. Comparative analysis of the state of vegetation in the city of Orenburg based on the results of processing multispectral satellite images. Problems of Regional Ecology, 4: 213–217. (in Russian)

11. Петрищев В.П., Ряхов Р.В. 2015. Анализ ландшафтной структуры природного комплекса солянокупольного происхождения с использованием методов ДЗЗ. В кн.: Степи Северной Евразии. Материалы VII международного симпозиума (Оренбург, 26–31 мая 2015 г.). Оренбург, «Димур»: 643–646.

Petrishchev V.P., Ryakhov R.V. 2015. Analysis of the landscape structure of the natural complex of salt-dome origin using remote sensing methods. In: Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the VII International Symposium (Orenburg, 26–31 May, 2015). Orenburg, «Dimur»: 643–646. (in Russian)

12. Развитие моногородов России: монография / Под. ред. д.э.н., проф. И.Н. Ильиной. М., Финансовый университет, 2013, 168.



The development of single-industry cities in Russia: a monograph / Ed. d.e.s., prof. I.N. П'ina. Moscow, Financial University, 2013, 168. (in Russian)

13. Ряхов Р.В. 2016. Оценка состояния перспективных участков целинных и залежных земель Оренбургской области по данным дистанционного зондирования. Вопросы степеведения, 23: 67–73.

Ryakhov R.V. 2016. Assessment of the status of promising areas of virgin and fallow lands of the Orenburg region using remote sensing data. Problems of Steppe Science, 23: 67–73. (in Russian)

14. Соколовский А.В., Лапаев В.Н., Темникова М.С., Гордеев А.И. 2018. Технологические особенности ликвидации разреза «Коркинский». Уголь, 3: 91–95.

Sokolovskiy A.V., Lapaev V.N., Temnikova M.S., Gordeev A.I. 2018. Technological features of the liquidation of the incision «Korkinsky». Coal, 3: 91–95. (in Russian)

15. Ульрих Д.В. 2016. Экологическая нагрузка на окружающую среду предприятиями по добыче и переработке меди в Южно-Уральском регионе. XXI век. Техносферная безопасность, 1 (1): 49–58.

Ulrikh D.V. 2016. Environmental impact induced by copper mining companies in the Southern Urals. XXI century. Technosphere safety, 1 (1): 49–58. (in Russian)

16. Фурманова Т.Н., Петина М.А., Петин А.Н., Белоусова Л.И. 2016. Техногенная трансформация ландшафтов в зоне влияния активно разрабатываемых месторождений полезных ископаемых региона КМА. Успехи современного естествознания, 11 (2): 422–426.

Furmanova T.N., Petina M.A., Petin A.N., Belousova L.I. 2016. Technogenic transformation of landscapes in the zone of influence of actively developed mineral deposits of the KMA region. Successes of modern science, 11 (2): 422–426. (in Russian)

17. Alves M., Pereira S.Y. 2015. Landscape transformation in the estuarine region of the Itanhaem river (20 years – period from 1987 to 2007), southern coast of San Paulo State, Brazil. Terra, 12: 49–58.

18. Effah K.A., Boakye-Danquah J., Asabere S.B., Takeuchi K., Wiegleb G. 2014. Land cover transformation in two post-mining landscapes subjected to different ages of reclamation since dumping of spoils. SpringerPlus, 3: 702.

19. Li H., Lo K., Wang M. 2015. Economic transformation of mining cities in transition economies: lessons from Daqing, Northeast China. IDPR (International Development Planning Review), 37 (3): 311–328.

20. Padmanaban R., Bhowmik A.K., Cabral P. 2017. A remote sensing approach to environmental monitoring in a reclaimed mine area. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 6: 401.

Ссылка для цитирования статьи Reference to article

Дубровская С.А., Норейка С.Ю. Многолетний геоинформационный мониторинг горнотехнических ландшафтов степной зоны России с применением спектрального индекса // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Т. 43, №1. С. 52–62. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-52-62

Dubrovskaya S.A., Noreyka S.Yu. Long-Term Geoinformation Monitoring of Mining-Technical Landscapes of the Steppe Zone of Russia with Application of the Spectral Index // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series. 2019. V. 43, №1. P. 52–62. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-52-62