

Г.А. Баймаганбетова¹, Е.И. Голубева²

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЕННОГО КАРКАСА Г. АСТАНЫ

Резюме. Статья посвящена использованию данных ДЗЗ для оценки состояния зеленого каркаса в столице Республики Казахстан. В результате работы впервые проведено комплексное обследование территории города Астаны при использовании ДЗЗ и ГИС-технологий, что может быть полезным при планировании посадок новых зеленых насаждений, организации рекреационных зон и ландшафтном планировании города.

Ключевые слова: урбанистика, зеленый каркас, Данные Дистанционного зондирования Земли, ГИС-технологии

Введение. Увеличение городских территорий, связанное с ростом численности населения, обретает все более глобальные масштабы. Урбанизация является естественным процессом, который оказывает колоссальное влияние на природную среду. Жизнь любого крупного города невозможно представить без взаимодействия различных перекликающихся и взаимосвязанных социокультурных и природно-ландшафтных факторов. Города – это яркий пример глубочайшего антропогенного преобразования среды и для его эффективного развития в целом, следует проводить научно обоснованную градостроительную политику. В первую очередь, она заключается в функциональном зонировании городской территории с целью наиболее эффективного ее использования.

Современный город должен обладать следующими показателями:

Функциональность;

Автономность;

Экологичность;

Комфортность для проживания человека.

Безусловно экологичность и комфортность среды проживания человека, в том числе, определяется качеством зеленого каркаса, который выполняет природоохранную, рекреационную и санитарно-гигиеническую функции. Растения, в особенности древесные насаждения, благотворно влияют на микроклимат города, его эстетическую привлекательность, и, самое важное, на здоровье населения.

Астана – новая столица и динамично развивающийся центр Республики Казахстан. На сегодняшний день, согласно данным Агентства по статистике Республики Казахстан, население города составляет чуть более 850 тыс. человек, входя в тройку крупнейших городов страны. [Агентство по статистике РК] Дальнейшее развитие и расширение города может привести к негативным последствиям: увеличению количества транспорта, сточных вод, образования твердых бытовых отходов и выбросов в атмосферу, что зачастую влечет за собой ухудшение качества воздуха, воды, увеличение уровня шума и др. последствия.

Актуальность. Астана – город, в котором только формируется зеленый каркас, значение которого очень велико, но изучен недостаточно. В преддверии всемирной выставки ЕХРО-2017, которая будет проводиться в Астане, исследование зеленого каркаса становится еще более актуальным, так как озелененные территории должны соответствовать мировым стандартам и выполнять не только экологическую функцию, но и иметь эстетическую и ландшафтно-рекреационную привлекательность.

¹ Московский Государственный университет, Географический факультет; e-mail: gunya_19.05@mail.ru.

² Московский Государственный университет, Географический факультет; e-mail: egolubeva@gmail.com.

Оценка степени озеленения и мониторинг зеленых насаждений сегодня трудно представить без использования Данных Дистанционного зондирования, позволяющих получать объективную и достоверную информацию достаточно оперативно и с необходимой периодичностью. [Тикунов, 1997] В Астане мониторинг зеленых насаждений проводился один раз без использования Данных Дистанционного зондирования Земли и охватил всего один административный район. В связи с этим роль ДДЗ, как современный и оперативный способ оценки состояния зеленых насаждений, имеет очевидные перспективы.

Цель работы – анализ формирования зеленого каркаса города Астаны.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить динамику площади озелененных территорий г. Астана по космическим снимкам;
2. Рассчитать NDVI для оценки формирования зеленого каркаса;
3. Провести сравнительный анализ административных районов г. Астаны по структуре зеленого каркаса.

Материалы и методы исследований. Широкий диапазон возможностей современных ГИС-технологий для решения прикладных задач позволил определить различные показатели «озелененности» города:

- общая площадь зеленых насаждений города;
- площадь зеленых насаждений по административным районам;
- обеспеченность зелеными насаждениями на душу населения в целом по городу, и административным районам;
- рассчитать на основе вегетационного индекса (NDVI) состояние (плотность) зеленых насаждений и запас фитомассы;
- посмотреть в процессе формирования зеленого каркаса динамику с 1989 по 2015 годы.

В ходе работы была использована программа ArcGIS и снимки Landsat 4, Landsat 5 и Landsat 7 за 1989, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 годы [Геологическая служба США].

Дешифрирование снимков для определения площади озелененных территорий проводилось с помощью комбинации каналов данных Landsat TM / ETM+: Комбинация 4-5-1 (рис. 1), совместно с комбинацией 3-2-1 (рис. 2), которая позволила дешифрировать здоровую растительность, которая отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого, поскольку здоровая растительность дает сильное отражение в 4 и 5 каналах [Баймаганбетова, Голубева, 2016]. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволило различить затопляемые территории и растительность.

Для оценки состояния и изменения зеленого каркаса нами был рассчитан NDVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, показатель количества фотосинтетически активной биомассы (или вегетационный индекс). [Рис, 2006] Этот индекс достаточно широко используется для оценки растительного покрова и вычисляется по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – инфракрасный канал, RED – красный канал.

Согласно данной формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей. Расчет индекса для каждого пиксела космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение – карту NDVI.

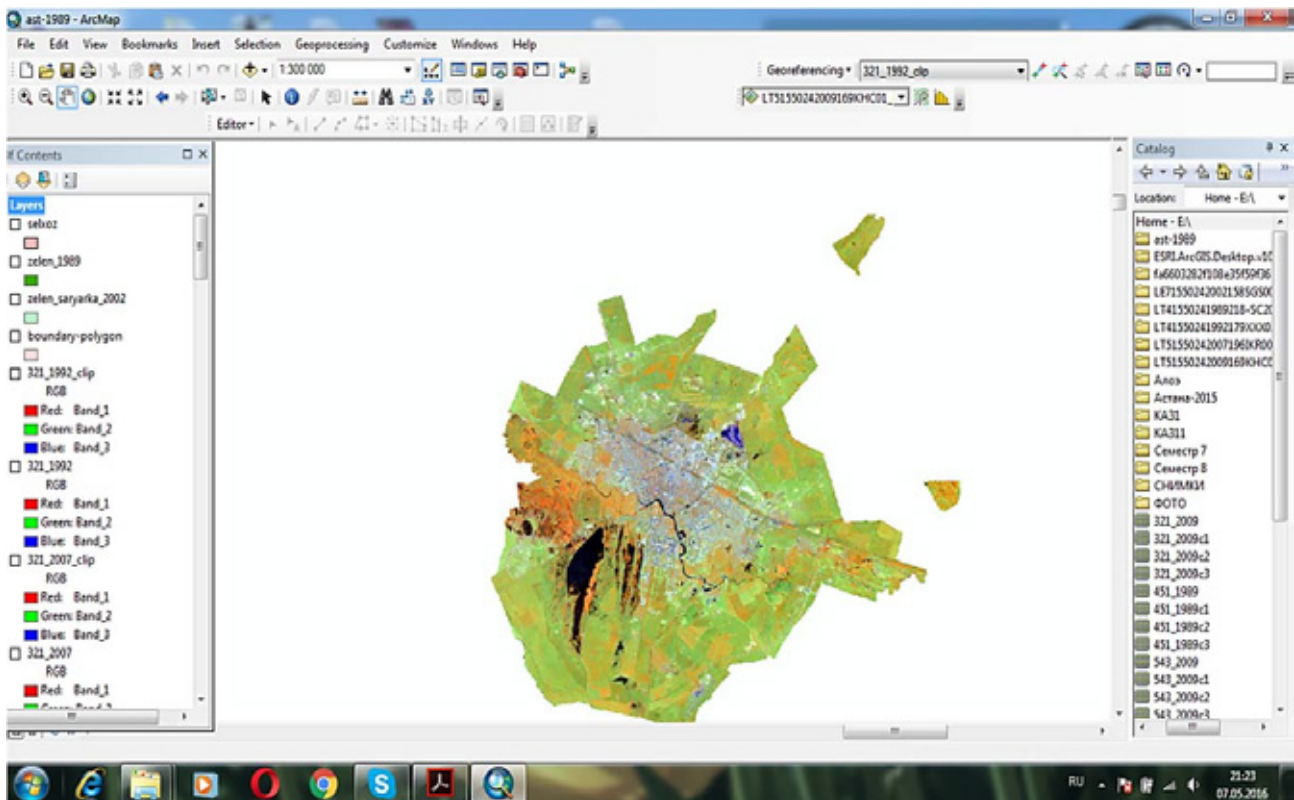


Рис. 1. Комбинация каналов 4-5-1 (Составлено авторами)

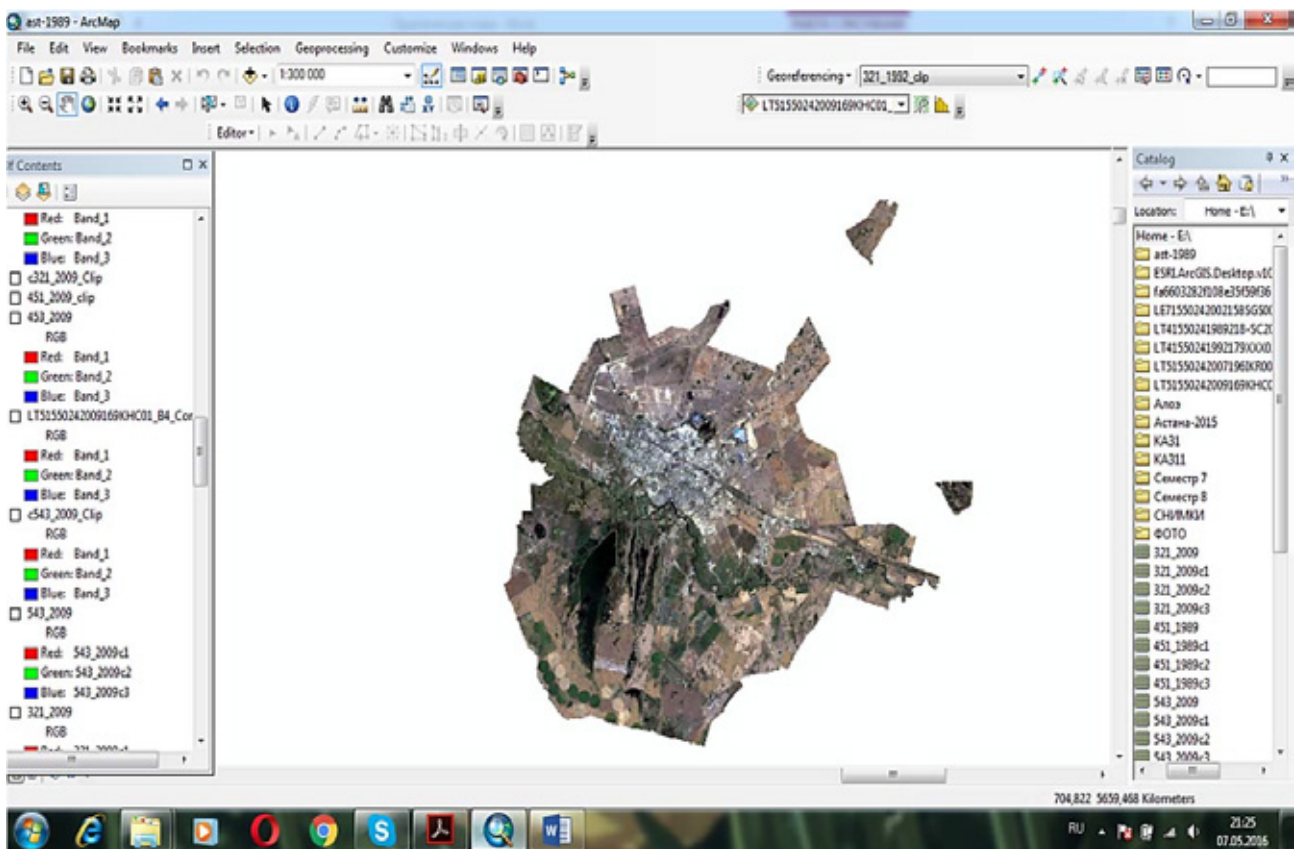


Рис. 2. Комбинация каналов 3-2-1 (Составлено авторами)

Индекс NDVI наиболее эффективно применять для идентификации угнетенной и погибшей растительности, продуктивность которой сильно отличается от здоровой. NDVI поз-

воляет выявить проблемные зоны угнетенной растительности, давая возможность принимать наиболее верные в долгосрочной перспективе решения, направленные на повышение урожайности. Участки с различным состоянием растительности или объемом зеленой фитомассы могут быть изображены разными цветами. [Шовенгердт, 2013] Значение NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1 (табл. 1).

Таблица 1

Значения NDVI в диапазоне от -1 до 1 [Рис, 2006]

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Разряженная растительность	0.1	0.3	0.5
Открытая почва	0.25	0.3	0.025
Облака	0.25	0.25	0
Снег и лед	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Вегетационный индекс (NDVI) применялся для оценки состояния зеленых насаждений г. Москвы, г. Хабаровска, что говорит о том, что данная методика очень эффективна при изучении формирования зеленого каркаса городских территорий. Для г. Астана вегетационный индекс NDVI применяется впервые.

Существуют определенные комбинации каналов для различных спутников (Табл.2). В связи с тем, что мы использовали снимки Landsat 4,5,7 формула расчета NDVI выглядела следующим образом (рис. 3):

$$\text{Float («Канал 4» – «Канал 3»)} / \text{Float («Канал 4» + «Канал 3»)}$$

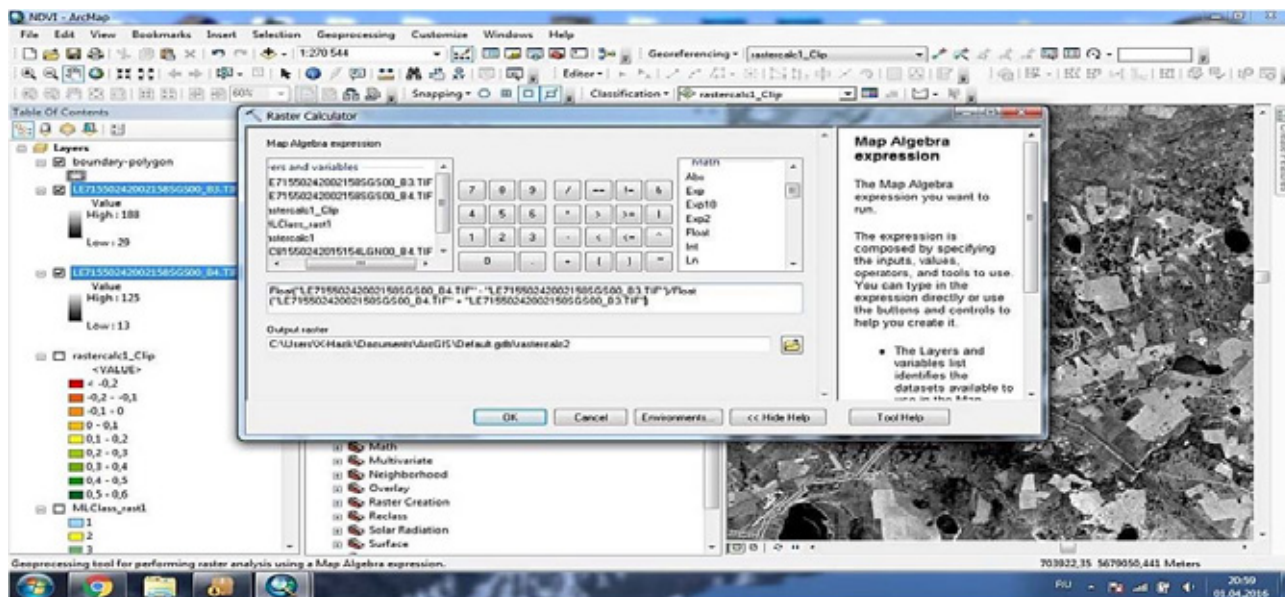


Рис. 3. Введение формулы расчета NDVI в инструменте Map Algebra (Составлено авторами)

Алгоритм расчета NDVI встроен в программу ArcGIS, что облегчает задачу при обработке больших массивов данных. При поиске снимков для работы был выбран диапазон с июня по август, поскольку данный период наиболее оптимален при использовании вегетационного индекса.

Комбинации каналов при расчете NDVI [gis-lab.info]

Практическая глава - Word

Таблица 2.

MSS Landsat(4,5)	5 (0.6-0.7 мкм), 6 (0.7-0.8 мкм) или 7 (0.8-1.1 мкм)
TM Landsat(4,5)	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.76-0.90 мкм)
ETM+ Landsat7	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.75-0.90 мкм)
AVHRR NOAA	1 (0.58-0.68 мкм), 2 (0.72-1.0 мкм)
MODIS Terra(Aqua)	1 (0.62-0.67 мкм), 2 (0.841-0.876 мкм)
ASTER Terra	2 (0.63-0.69 мкм), 3 (0.76-0.86 мкм)
LISS IRS(1C/1D)	2 (0.62-0.68 мкм), 3 (0.77-0.86 мкм)

Изначально полученные данные выглядят не лучшим образом и требуют доработки. (Рис. 7) Что подразумевает переход к градиентной палитре от фиксированных значений, что позволяет выбрать цвета для лучшего отображения ситуации в определенный период.

Первичная картина требует доработки (рис. 4), что подразумевает от фиксированных значений к градиентной палитре, выбора цветов при отображении ситуации в определенный период.

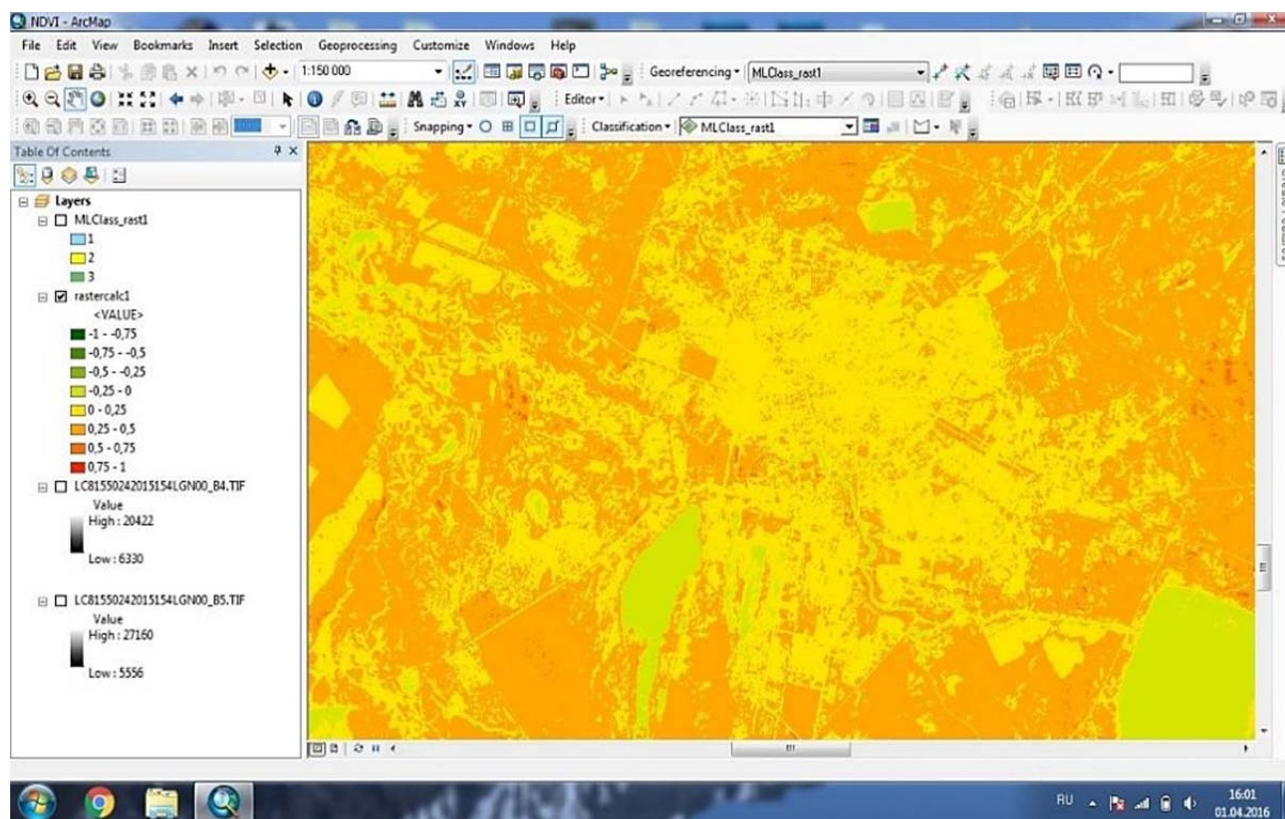


Рис. 4. Один из этапов расчета NDVI (составлено авторами)

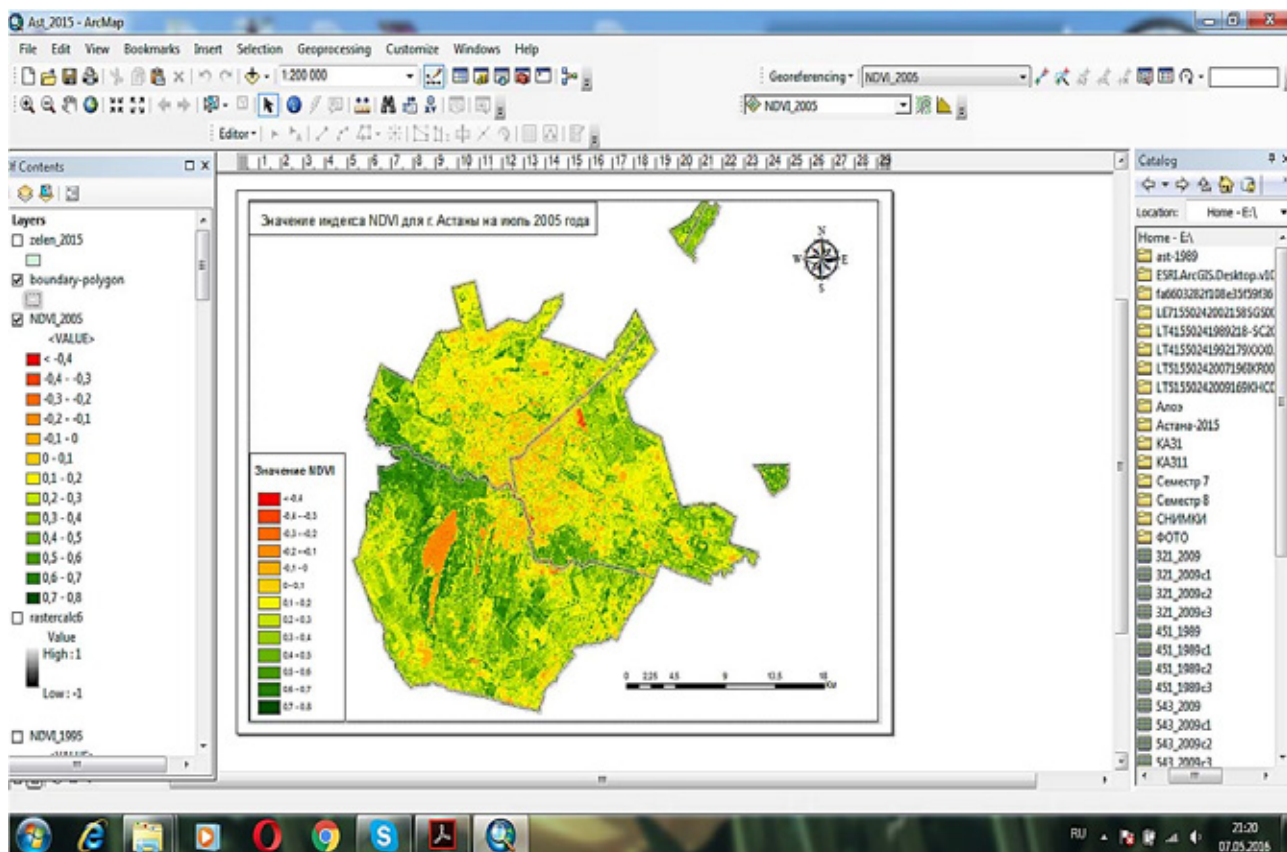


Рис. 5. Создание карты NDVI (составлено авторами)

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные результаты позволили сравнить площади озелененных территорий со здоровой растительностью с 1989 года по 2015 г. Динамика площадей со здоровой растительностью, в целом, положительная (рис. 6). В 1989 году составляла 791,2 га, а в 2015 году достигла 1186,1 га. В 2005 году наблюдается значительное сокращение площади с 903,2 га до 611,2 га, что связано с началом строительства новых жилых комплексов и других сооружений, приведшее к уничтожению зеленых насаждений.

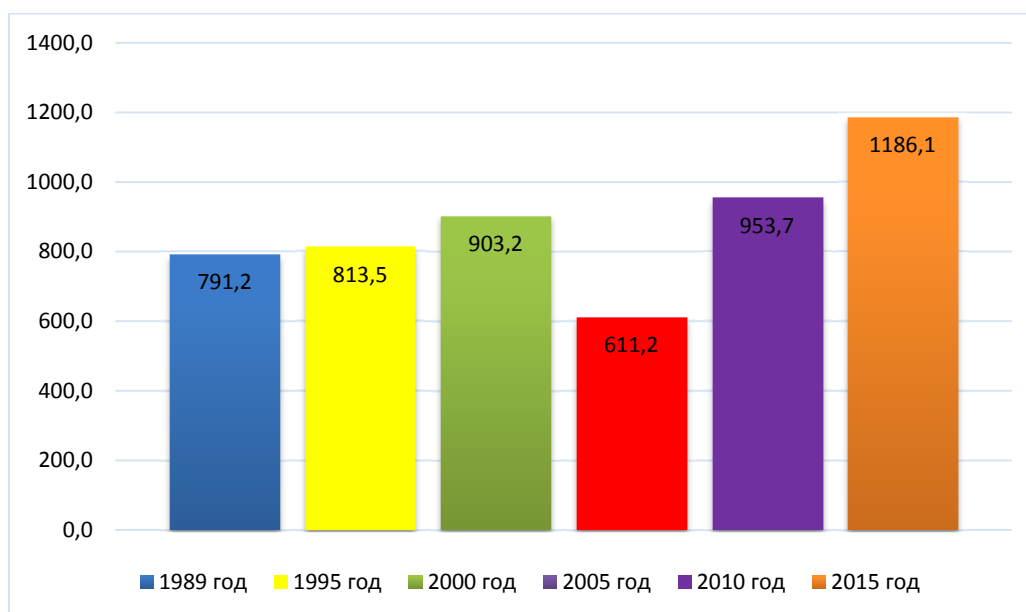


Рис. 6. Динамика площади озелененных территорий со здоровой растительностью, га в г. Астана (составлено авторами)

Как уже отмечалось, в г. Астана три административных района с различной площадью. Самым большим по площади является район Есиль (3112 га), меньшую территорию занимают районы Алматы (2105 га) и Сарыарка (1926 га).

По площади озелененных территорий со здоровой растительностью на 2015 лидирует Сарыаркинский район (492,8 га), существенно меньше Есильский (361,4) и Алматинский (331,7) районы (рис. 7).

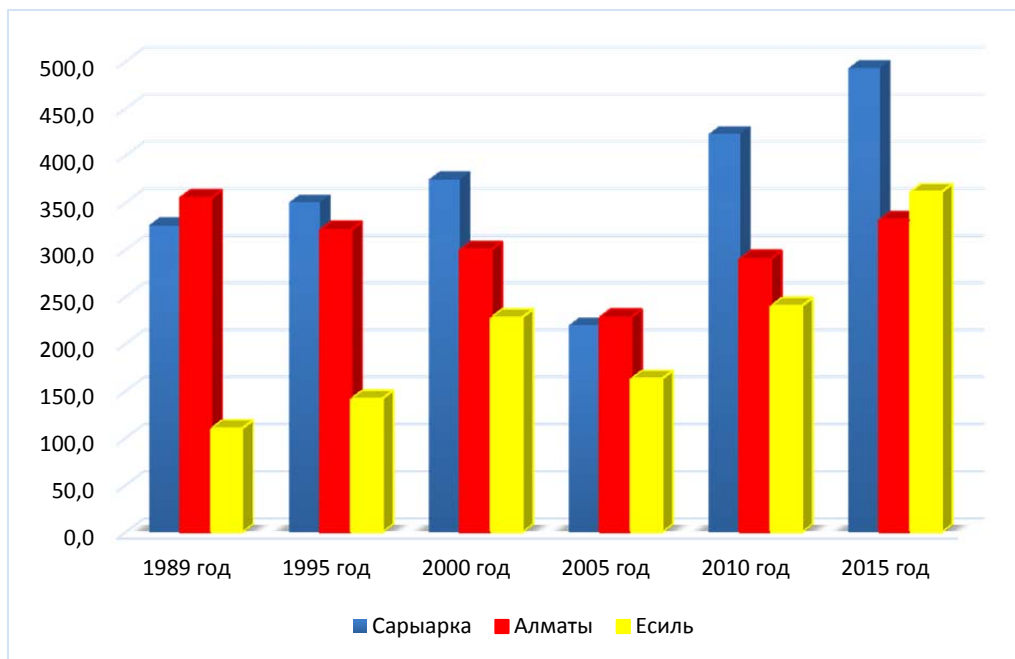


Рис. 7. Динамика площади озелененных территорий со здоровой растительностью, га по административным районам г. Астана (составлено авторами)

Если рассматривать динамику, то в Алматинском районе площади начинают сокращаться еще к 2000 г. Это связано с тем, что район начал застраиваться раньше остальных, тогда как площади зеленых насаждений в Сарыаркинском и Есильском районе начали сокращаться к 2005 г.

По нормативам уничтожение зеленых насаждений предполагает их высадку в конце строительства любого объекта – жилых или административных зданий. Об этом свидетельствует тот факт, что к 2010 г. площади зеленых насаждений постепенно возвращались к значениям, которые были в начале 2000-х годов.

К 2010 г. резко выросла площадь озелененных территорий со здоровой растительностью в районе Сарыарка, что связано, по-видимому с тем, что в первую очередь началось благоустройство набережной р. Есиль, а также строились основные магистрали с высадкой зеленых насаждений вдоль дорог.

Есильский район быстро начал озеленяться, благодаря тому, что все административные здания были перенесены сюда, и этот район сейчас представляет собой практически новый город с развитой инфраструктурой и зеленым каркасом. В 1989 г. левый берег р. Ишим (соответственно Есильский район) представлял собой сельскохозяйственные земли с небольшой площадью озелененных территорий со здоровой растительностью (110,3 га). Сейчас Есильский район опережает Алматинский с площадью 361,4 га, т.е. за 25 лет площадь увеличилась в 3 раза.

Площадь озелененных территорий на одного жителя ($\text{м}^2/\text{чел}$) по городу на сегодня составил $13,9 \text{ м}^2/\text{чел}$, что соответствует норме (рис. 8). Благодаря тому, что в Есильском районе живет наименьшее количество жителей, этот район лидирует по данному показателю и на 2015 год составляет $28,5 \text{ м}^2$ озелененных территорий на душу населения. Изменения с 1989 по 2015 год в Алматинском и Сарыаркинском районах коррелируют. Резкие снижения площадей на душу населения в Есильском районе отражают скорость заселения левого берега р. Ишим.

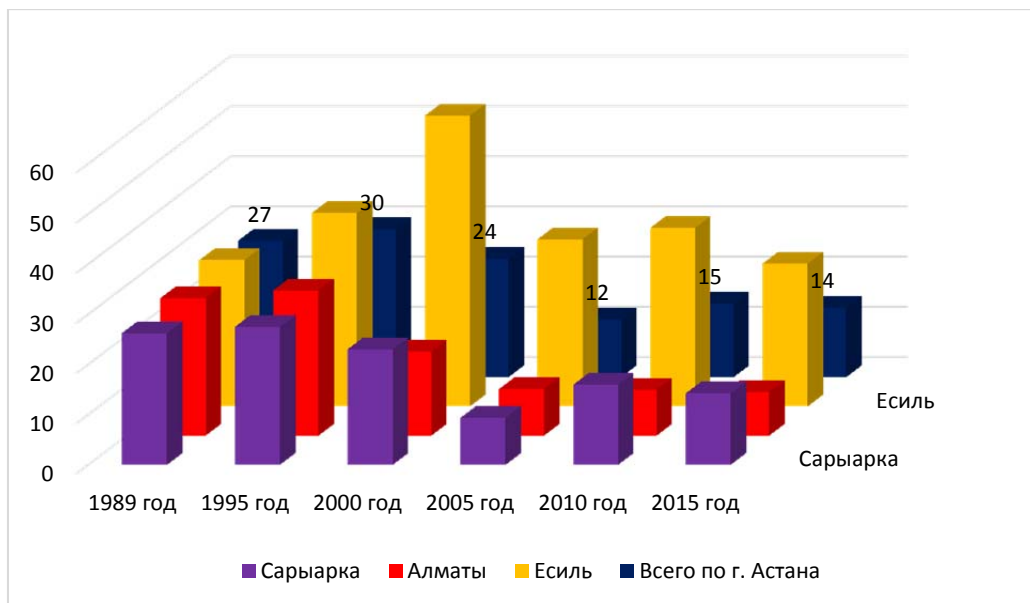


Рис. 8. Площадь озелененных территорий на одного жителя, м²/ чел. (составлено авторами)

Результаты, полученные в ходе расчета NDVI можно показать в виде карт на исследуемый период: июль месяц 1989, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 годов.

Интересно, что результаты, полученные за 1989 г. сильно отличаются от других дат, поскольку преобладание значений NDVI 0,6–0,9 на левом берегу р. Ишим (нынешнего Есильского района) связано с тем, что вся территория была отдана под пашни и соответственно, значения NDVI в данном случае отражали состояние посевов, а не озелененность.

Значения NDVI также реагируют на влажность почв, что видно в виде кругов орошаемых земель в юго-западной части современного города.

К 1995 г. пашни перестали обрабатываться и урожайность полей в Есильском районе резко снизилась, что повлияло на снижение значения индекса NDVI. В других районах также можно проследить изменения, значение NDVI снизилось вдоль правого берега р. Ишим, земли которой также раньше были под сельскохозяйственными угодьями, а в 1995 г. поменяли свою функцию.

Ситуация с зелеными территориями меняется после того, как город стал столицей Республики Казахстан, что заметно на карте NDVI 2000 г. Значения индекса от минус 0,6 до минус 0,1 отражают, что растительность полностью уничтожена и город начал застраиваться на прежде существовавших здесь сельскохозяйственных территориях.

При этом, сохранились территории с густой растительностью, преобладавшей за границей застройки и вдоль р. Ишим, где существовали дачные участки с большим количеством садов с яблоней домашней, облепихой крушиновидной, черной смородиной и др. [Кебекбаев, 2016].

К 2005 году в городе началось активное строительство новых сооружений, снос частных домов и дачных участков, что приводило к уничтожению здоровых древесных насаждений и заболачиванию территорий вдоль р. Ишим (особенно рядом с о. Талдыколь), что хорошо отражается в изменении значений NDVI, которые снизились в Алматинском и Сарыаркинском районах.

Значение индекса NDVI на июль 2010 г. отражают начало процесса формирования зеленого пояса столицы, часть которой входит в границу города. Площади озелененных территорий, которые уничтожались во время строительства начали возмещать за границей застройки, вплоть до начала зеленого пояса столицы.

Карта NDVI за 2015 г. отражает положительную тенденцию развития зеленого каркаса города. Поскольку высокие значения NDVI выявляются за счет новых саженцев, приживаемость которых достигает почти 90%. Хорошо видны зеленые полосы вдоль основных магистралей и зеленая зона в санитарно-защитной зоне аэропорта г. Астаны.

Расчет индекса NDVI помог выявить общую тенденцию развития зеленого каркаса города. Видно, что к 2015 году сформирован зеленый пояс города, парки, скверы, бульвары, которые были созданы за последние 10 лет, что делает город более «зеленым», благодаря использованию саженцев, соблюдению норм, предусмотренных в Концепции озеленения столицы. В дальнейшем, предлагаемый метод может быть использован для мониторинга состояния зеленых насаждений.

Выводы. В настоящее время становятся актуальными вопросы формирования и реконструкции городских насаждений. В связи с чем, весьма важным является изучение зеленого каркаса города, имеющего важнейшее значение в создании комфортной среды проживания, оказывая комплексное положительное влияние на здоровье человека. Зеленые насаждения создают эстетически привлекательные и комфортные микроклиматические условия, улучшают качество воздуха, ионизируют и насыщают фитонцидами, подавляющими развитие патогенной микрофлоры, опасной для здоровья человека.

Проведенное исследование по оценке формирования зеленого каркаса города Астаны позволяет сделать следующие выводы:

– Город Астана располагается в степной зоне, с характерным резко континентальным климатом, с морозной продолжительной зимой и жарким летом, сильными и сухими ветрами, что влияет на возможности выживания зеленых насаждений города. Поэтому важно учитывать эти природные особенности при подходе к концепции озеленения и выбору растений.

– Определение изменения площадей озелененных территорий г. Астана проводилось с использованием ГИС-технологий, а также снимков Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7, что позволило выявить состояние на 1989, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 г. Расчеты вегетационного индекса (NDVI) для оценки состояния зеленого каркаса г. Астаны, показали тенденцию развития города. Интересно, что результаты, полученные за 1989 г. сильно отличаются от других дат, поскольку преобладание высоких значений NDVI 0,6-0,9 на левом берегу р. Ишим (нынешнего Есильского района) связано с тем, что территория была отдана под пашни и соответственно, значения NDVI в данном случае отражали состояние посевов, а не озелененность.

– Сравнительный анализ структуры зеленого каркаса административных районов г. Астаны показал, что во всех случаях заметна положительная динамика. Спад в 2005 г. связан с началом активного строительства и уничтожением больших площадей озелененных территорий, в том числе дачных участков, которые были сосредоточены, преимущественно, в Есильском районе. Заметно, что динамика развития зеленого каркаса в Есильском и Сарыаркинском районах схожа, тогда как Алматинский район начал застраиваться раньше и поэтому площади озелененных территорий со здоровой растительностью начали сокращаться еще с 1990-х годов. По площади озелененных территорий на душу населения выделяется Есильский район – новый, хорошо озелененный, но еще мало заселенный.

– Как основную тенденцию можно отметить, что к 2015 году город становится более «зеленым». Он становится все более привлекательным не только с точки зрения архитектуры, но и его зеленого каркаса. Так, существенно расширился его зеленый пояс, парки, скверы, бульвары, многие из которых были высажены за последние 5 лет, придавая городу красоту и комфорт.

***Благодарности.** Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 15-05-01788 «Ландшафтно-экологическое планирование городских территорий при изменении их функционального назначения на основе «зеленых» технологий.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баймаганбетова Г.А., Голубева Е.И., Зимин М.В. Данные дистанционного зондирования Земли для оценки состояния зеленых насаждений г. Астана. // Материалы 6-й Всероссийской (с международным участием) конференции «Аэрокосмические методы и геоинфор-

мационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», ИКИ РАН. – М., 2016. С. 88–91.

2. Кебекбаев А.Е. Опыт озеленения г. Астаны с использованием интродуцентов. // Сборник докладов Второй научно-практической конференции «Современные тенденции в озеленении и питомниководстве». – Астана: ТОО «Типография Форма Плюс», 2016. С. 49–51.

3. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. 336 с.

4. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник. – М.: Издательство МГУ, 1997. – 405 с.

5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. – М.: Техносфера. 2013. – 592 с.

6. Агентство по статистике Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stat.gov.kz>.

7. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis-lab.info>.

8. Геологическая служба США. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usgs.gov>.

G.A. Baimaganbetova¹, E.I. Golubeva²

SATELLITE IMAGES FOR MAPPING AND MONITORING OF GREEN FRAME OF THE CITY OF ASTANA

Abstract. *Astana – a city in which only formed a green frame, the value of which is very large, but has not studied. On the eve of the world exhibition EXPO-2017 to be held in Astana, the study of green frame becomes even more urgent, since green spaces must comply with international standards and to fulfill not only the environmental function, but have aesthetic and landscape-recreational attraction. Purpose – analysis of the formation of green frame the city of Astana. To achieve the goal the following tasks: 1) Determine the trend of green areas Astana on satellite images; 2) Calculate the NDVI to assess the formation of a green carcass; 3) Carry out a comparative analysis of the administrative districts of Astana on the structure of the green frame.*

Key words: *Urban studies, green frame, Earth remote sensing data, GIS technology.*

REFERENCES

1. Baimaganbetova G.A., Golubeva E.I., Zimin M.V. Dannyye distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya otsenki sostoyaniya zelenyih nasazhdeniy g. Astana. [Remote sensing of earth to assess the status of green space of Astana city] // Materialy 6-y Vserossiyskoy (s mezhdunarodnyim uchastiem) konferentsii «Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnyie tehnologii v lesovedenii, lesnom hozyaystve i ekologii», ИКИ РАН. – М., 2016. Pp. 88–91.

2. Кебекбаев А.Е. Опыт озеленения г. Астаны с использованием интродуцентов. [Experience landscaping Astana using exotic species] // Sbornik dokladov Vtoroy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye tendentsii v ozelenenii i pitomnikovodstve». – Астана: ТОО «Типография Форма Плюс», 2016. Pp. 49–51.

3. Рис У.Г. Osnovy distantsionnogo zondirovaniya. [Fundamentals of Remote Sensing]. – М.: Техносфера, 2006. – 336 p.

4. Тикунов В.С. Modelirovaniye v kartografii [Modelling in cartography]: Uchebnyk. – М.: Izdatelstvo MGU, 1997. – 405 p.

¹ Moscow State University, Faculty of Geography; e-mail: gunya_19.05@mail.ru.

² Moscow State University, Faculty of Geography; e-mail: egolubeva@gmail.com.