Т.С. Хайбрахманов¹, Е.М. Никифорова², Н.Е. Кошелева³

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗАПЕЧАТАННЫХ ПОЧВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

АННОТАЦИЯ

Разработана методика геоинформационного картографирования запечатанности почвенного покрова на городских территориях для обеспечения их эколого-геохимических исследований. Она предполагает автоматизированное дешифрирование космических многозональных снимков для определения соотношения площадей открытых и заасфальтированных (застроенных) участков, которое является одним из показателей эколого-геохимического состояния городской среды. В качестве единицы картографирования используются функциональные зоны, в каждой из которых рекомендуется выделять три степени запечатанности городских почв: низкая, средняя, высокая. При этом процент запечатанности каждой из степеней в разных зонах может различаться. Согласно функциональному зонированию территории, цвет выдела на карте соответствует функциональной зоне, а насыщенность цвета – степени запечатанности по принципу: чем темнее, тем более запечатана территория. Методика апробирована на примере Восточного округа г. Москвы, для которого составлена карта масштаба 1:50 000. Её анализ показал, что степень запечатанности почвенного покрова изменяется от < 10 % до > 70 %. Наиболее сильно запечатанные почвы характерны для промышленных и жилых зон района Перово, отличающихся плотной застройкой смешанной и периметральной структуры. Высокая степень запечатанности выявлена в районах нового многоэтажного строительства Новокосино и Косино-Ухтомский. Низкая степень запечатанности соответствует жилым кварталам в районах Вешняки, Ивановское и Новогиреево. Карта запечатанности городских почв в различных функциональных зонах ВАО г. Москвы послужила основой для составления серии эколого-геохимических карт, различающихся по уровням загрязнения почв различными токсикантами: нефтепродуктами, бензопиреном, легкорастворимыми солями и др. В качестве примера приводится одна из таких карт, составленная по данным почвенно-геохимической съёмки 2016 г. и отражающая пространственную структуру загрязнения нефтепродуктами поверхностных горизонтов экранозёмов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

экрanoзёмы, функциональные зоны города, космические многозональные снимки, загрязнение, геоинформационное картографирование

ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы охраны окружающей среды в урбозкосистемах привело к пониманию роли почв как основного депонирующего компонента в поддержании их устойчивого развития и обеспечении экологической безопасности [Экологические..., 2004; Mapping..., 2011; Demetriades, Birke, 2015; Soils..., 2017]. К городским запечатанным почвам – экранозёмам – относятся почвы, закрытые дорожными покрытиями, зданиями и сооружениями. Не-

¹ Группа компаний «СКАНЭКС»; Киевское шоссе, 1, Бизнес-парк «Румянцево», корп. А, офис 732, Россия, 108811, Москва; *e-mail*: t.s.kh@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв; Ленинские горы, 1, Москва, 199991, Россия; *e-mail*: nikiforova-geo@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв; Ленинские горы, 1, Москва, 199991, Россия; *e-mail*: nataalk@mail.ru

смотря на доминирующее положение (до 70–95 % площади) в почвенном покрове Москвы и других крупных городов, их свойства, особенности функционирования и степень загрязнения остаются слабо изученными. Многие важные аспекты геохимии экранозёмов, такие как вертикальная и латеральная миграция загрязняющих веществ, картографирование их техногенных аномалий, эколого-геохимическая оценка загрязнения, не рассматривались.

В России городские почвы традиционно изучались только на открытых (незаасфальтированных) участках, а полученные данные, как правило, распространялись на всю территорию, исходя из предположения, что их свойства идентичны. Современный этап их изучения немыслим без оценки экранозёмов как неотъемлемой части почвенного покрова в урбоэкосистемах, выявления их состояния и степени загрязнения различными токсикантами.

Цель данной работы – для обеспечения эколого-геохимического изучения запечатанных почв разработать структуру и содержание картографической базы данных с привлечением существующих методов геоинформационного картографирования и на их основе создать методику составления карт запечатанности почв для урбанизированных территорий. В качестве объекта картографирования выбрана территория Восточного административного округа (ВАО) Москвы. Здесь сконцентрированы десятки крупных предприятий разных отраслей, которые наряду с автомагистралями являются основными источниками техногенного воздействия на городские ландшафты, поставляющими в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. Комплексные эколого-геохимические исследования ВАО как модели крупного промышленного города ведутся с 1989 г. сотрудниками кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ [Касимов и др., 2016].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучаемая территория

Исследовалась южная часть ВАО Москвы в пределах семи муниципальных районов: Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский. Территория относится к южно-таёжным ландшафтам Подмосковной Мещеры и представляет собой плоскую зандровую равнину междуречья Москвы и Клязьмы с абсолютными высотами 150–160 м, сложенную водно-ледниковыми и древнеаллювиальными отложениями.

Эколого-геохимические исследования экранозёмов проводились на основе предварительного функционального зонирования ВАО [Лабутина, Хайбрахманов, 2010]. Выделено пять ландшафтно-функциональных зон: промышленная с нежилой застройкой, состоящая из производственных, административных, торговых и коммунально-складских объектов, транспортная, селитебная (разной этажности), рекреационная и постагрогенная [Касимов и др., 2013; Nikiforova et al., 2014].

При полевом изучении экранозёмов использовались различные вскрышные ямы и каналы, заложенные городскими службами. Опробовалась верхняя часть профиля почв мощностью от 10 до 70 см, находящаяся непосредственно под асфальтом. Слой асфальта и залегающая под ним дорожная «песчано-гравийная подушка» не опробовались. Всего на территории округа отобрана 71 проба экранозёмов из 32 разрезов. Карты загрязнения почв поллютантами в различных функциональных зонах ВАО Москвы составлены на основе данных почвенно-геохимической съёмки, проведённой в сентябре 2016 г.

Автоматизированное дешифрирование высокодетальных космических снимков

При эколого-геохимическом изучении городских почв большое внимание уделяется дешифрированию космических снимков. Их главная задача – сократить объём визуального дешифрирования городской территории, поэтому основными являются методы, позволяющие выделить различные объекты, достаточно уверенно распознающиеся в результате обработки многозональных снимков (водные участки, вегетирующая растительность, антропогенные сооружения) и затем рассчитать их соотношения. В результате обработки многозонального снимка сверхвысокого разрешения достаточно уверенно распознаются четыре

группы объектов: водные, древесная растительность, травянистая растительность и застройки, обладающие различными спектральными характеристиками [Лабутина, Хайбрахманов, 2012] (рисунок 1).

Благодаря своим свойствам изображение водных объектов имеет низкую яркость, особенно в ближнем инфракрасном участке спектра, поэтому поверхность воды – один из наиболее надежно дешифрируемых объектов на многозональных космических снимках. Достоверность распознавания этих объектов в городе снижается из-за того, что близкие спектральные свойства имеют плотные тени от высоких строений. В результате проведенных экспериментов [Хайбрахманов, 2014] установлено, что надёжные результаты дают неконтролируемая классификация и квантование яркостей на снимке в ближнем инфракрасном участке спектра.

Рисунок 1. Фрагмент классифицированного изображения со спутника QuickBird:
 1 – древесная растительность; 2 – травянистая растительность;
 3 – водные объекты; 4 – прочее
 (крыши зданий, асфальтовое покрытие, открытые грунты)

Figure 1. Fragment of the classified image from the QuickBird satellite:
 1 – woody vegetation; 2 – grassy vegetation; 3 – water objects; 4 – others
 (roofs of buildings, asphalt covering, open grounds)

Вегетирующая растительность наиболее достоверно распознаётся в результате классификации многозонального снимка, при этом вполне чётко разделяются древесные насаждения и травянистая растительность скверов. Надежный результат выделения зелёных насаждений даёт также вычисление вегетационного индекса NDVI, основанного на различиях яркости в ближнем инфракрасном и красном участках спектра.

Спектральные свойства большинства городских объектов в мегаполисах и крупных промышленных городах: асфальтовое покрытие улиц и площадей, бетонные крыши и стены зданий – очень схожи, поэтому даже на детальных снимках они классифицируются неуверенно. Еще одно обстоятельство, ухудшающее результаты, – наличие плотной падающей тени от высоких зданий, которая по спектральным характеристикам близка к водным объектам.

Чтобы получить более надежные результаты, предлагается применять такой приём: при контролируемой классификации в обучающую выборку включать несколько классов падающей тени, различных по яркости, и несколько классов объектов, закрытых тенью. Можно выделить, например, такие классы, как «тень на растительном покрове», «тень на антропогенных сооружениях» и т. п. Чтобы определить, какой объект перекрывает падающая тень, достаточно провести визуальный анализ изображения или привлечь дополнительные снимки, сделанные в другое время суток. В результате можно выделить жилую застройку и тем самым улучшить результаты классификации (рисунок 2).

Рисунок 2. Результат контролируемой классификации с включением в обучающую выборку падающих теней зданий

Figure 2. The result of the controlled classification with the inclusion of the falling shadows of buildings in the training sample

Многие интегральные показатели экологического благополучия города зависят от соотношения отдельных объектов и групп объектов на его территории [Курбатова и др., 2006]. Например, запечатанность участка городской территории характеризуется отношением площади под асфальтобетонными покрытиями, зданиями, сооружениями к общей площади исследуемого участка, а степень озеленения – отношением озеленённых территорий к общей площади участка.

Предлагаемый способ расчёта таких показателей по результатам классификации снимка рассмотрим на примере определения запечатанности городской территории. Поскольку такого рода показатели являются относительными величинами, то первый шаг – связать ре-

зультат классификации отдельных объектов городской территории (рисунок 1) с единицей картографирования, например с сеткой кварталов, выполнив операцию оверлея. Следующий шаг – определение отношения числа пикселей классов антропогенных объектов в каждом квартале к общему числу пикселей квартала, т. е. вычисление отношения их площадей, что позволяет оценить величину запечатанности $Z = N_{антр}/N$, где $N_{антр}$ – число пикселей антропогенных объектов в пределах территориальной единицы (квартала, функциональной зоны и т. п.), N – общее число пикселей снимка внутри этой единицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методика картографирования запечатанности городских территорий

При изучении состояния и уровня загрязнения городской территории важно учитывать факторы, усложняющие структуру почвенного покрова – наличие фундаментов зданий, линий метрополитена и запечатывание дневной поверхности [Прокофьева, 1998]. Запечатанные под асфальтобетонные покрытия городские территории способствуют изменению микроклимата и гидрологического режима, что сказывается на незапечатанных городских почвах [Почва ..., 1997]. Увеличение запечатанности территории (уменьшение поверхности продуктивного почвенного покрова) приводит к опосредованному снижению озеленения.

Следовательно, в качестве одного из показателей экологического благополучия городских территорий может выступать соотношение открытых пространств и застроенных территорий. Для этого необходимы карты запечатанности городских территорий. Подобные карты важны для контроля процессов запечатывания дневной поверхности, выработки рекомендаций по восстановлению и уходу за почвенным покровом, обоснования необходимости рекультиваций почв, выявления геохимических аномалий с загрязнением почвенного покрова, выбора точек опробования и т. п. [Курбатова и др., 2006].

Рисунок 3. Схема методики составления карты запечатанности городской территории

Figure 3. Scheme of a technique for compiling a map of the sealed urban area

Запечатанность городской территории несложно вычислить на основе результатов компьютерной классификации космического изображения сверхвысокого пространственного разрешения. Для этого следует рассчитать долю пикселей каждого класса к общему количеству, т. е. долю площади, занимаемой антропогенными объектами (асфальтовые покрытия, здания и т. п.), к общей площади квартала, что было подробно освещено выше. Согласно методике, разработанной в Институте экологии города [Экология ..., 2004], выделяют три степени запечатанности городских территорий: низкая, средняя и высокая. При этом процент запечатанности каждой из степеней различается для функциональных зон, поэтому они были использованы в качестве единицы картографирования.

Методика составления карты запечатанности городских почв (экранозёмов) была разработана на примере территории ВАО г. Москвы и включала этапы, показанные на схеме (рисунок 3). С помощью операции зональной статистики ГИС-пакетов, программ или аналогичных процедур, в нашем случае ArcGIS, подготовленный классифицированный космический снимок с набором классов: водные объекты, растительность, антропогенные объекты –

был отнесён к полигонам слоя основной карты функциональных зон с тем, чтобы для отдельных выделов получить количество пикселей того или иного класса внутри него. В результате был образован новый полигональный слой, содержащий в своих атрибутах значения количества пикселей всех трёх классов. В отдельной колонке эти значения были просуммированы, и найдено их общее количество для выдела, пропорциональное его общей площади. Далее было рассчитано отношение количества пикселей каждого класса к их сумме внутри выдела, т. е. рассчитаны доли классов в общей площади выдела.

Таким образом, доля антропогенных объектов внутри функциональной зоны равна её запечатанности, а доля растительности – степени её озеленения.

Рисунок 4. Запечатанность городского почвенного покрова в различных функциональных зонах ВАО Москвы (изображение уменьшено в два раза)

Figure 4. Sealed urban soil cover in various land-use zones of Eastern District of Moscow (the image was reduced by half)

Апробация разработанной методики

Полученный векторный файл был графически оформлен согласно классификации, разработанной в Институте экологии города [Курбатова и др., 2006], и составлена карта запечатанности почвенного покрова на территории ВАО Москвы в масштабе 1:50 000 (рисунок 4). Согласно функциональному зонированию округа, цвет выдела соответствует функциональной зоне, а насыщенность цвета – степени запечатанности по принципу: чем темнее, тем более запечатана территория.

Степень запечатанности почвенного покрова изменяется от менее 10 % до более 70 %. Наиболее запечатанные почвы характерны преимущественно для старых районов Восточного округа, это территория промышленных и жилых зон района Перово, отличающаяся плотной застройкой смешанной и периметральной структуры. Высокая степень запечатанности

характерна для районов нового многоэтажного строительства Новокосино и Косино-Ухтомского района. Низкая степень запечатанности соответствует жилым кварталам с высокой и средней степенью озеленения в районах Вешняки, Ивановское и Новогиреево.

Карта запечатанности городских почв в различных функциональных зонах ВАО Москвы послужила основой для составления серии эколого-геохимических карт загрязнения почв различными приоритетными токсикантами: нефтепродуктами, бензопиреном, легкорастворимыми солями и др. В качестве примера приводится одна из таких карт (рисунок 5). Она отражает пространственную структуру загрязнения нефтепродуктами (НП) поверхностных горизонтов экранозёмов по данным геохимической съёмки 2016 г. Изоконцентраты НП построены методом сплайнов.

Рисунок 5. Техногенные аномалии нефтепродуктов в верхних горизонтах экранозёмов ВАО Москвы, в мг/кг (данные 2016 г.)

Figure 5. Manmade anomalies of oil products in the upper horizons of ekranozems of Eastern District of Moscow, in mg/kg (data of 2016)

На карте видны четыре хорошо выраженные крупные техногенные аномалии НП в экранозёмах с содержанием более 1000 мг/кг, которые занимают практически всю площадь округа. Незагрязненными почвами с допустимым содержанием НП (< 300 мг/кг) остаются только участки Триозерья вокруг местных водоёмов в юго-восточной части округа. Наиболее контрастными (до 50000–60000 мг/кг, что составляет 167–200 ПДК) являются техногенные аномалии НП, образованные под влиянием выбросов и стоков предприятий крупных промышленных зон и автозаправочных станций на северо-западе и в центре ВАО. Большая и контрастная аномалия НП на востоке территории (до 70000 мг/кг) возникла недавно после строительства в 2003 г. в Руднево мусоросжигательного завода № 4, который отделен от жилых кварталов Салтыковским лесом, но его негативное влияние ощущается в районе Ново-

косино и пос. Ухтомский. Экранозёмы селитебной и рекреационной зон также имеют очень высокие концентрации НП – до 30000–40000 мг/кг с превышением допустимой нормы в 100–133 раза.

Четвертая – небольшая, но контрастная техногенная аномалия НП, сформировавшаяся на юге, вдоль МКАД, захватывает территорию округа только краем, но содержит в экранозёмах западной части пос. Ухтомского до 5000 мг/кг, что превышает норматив в 17 раз. На остальной территории ВАО содержание поллютанта невысокое и колеблется в пределах 300 мг/кг и менее (ниже ПДК), о чём свидетельствуют изоконцентраты в краевых частях техногенных аномалий.

ВЫВОДЫ

Разработана методика геоинформационного картографирования запечатанности почвенного покрова на городских территориях. Она предполагает автоматизированное дешифрирование космических многозональных снимков высокого разрешения для оценки соотношения площадей открытых и заасфальтированных (застроенных) участков, которое является одним из показателей эколого-геохимического состояния городской среды. Методика апробирована на примере Восточного округа г. Москвы, для которого составлена карта масштаба 1:50 000. Степень запечатанности почвенного покрова в различных зонах округа изменяется в широких пределах. Наиболее сильно запечатаны почвы промышленных и жилых зон района Перово, отличающиеся плотной застройкой смешанной и периметральной структуры, наименее – почвы рекреационной зоны (10–20 %).

Карта запечатанности городских почв в различных функциональных зонах ВАО г. Москвы послужила основой для составления серии эколого-геохимических карт, различающихся по уровням загрязнения почв различными токсикантами. Представленная карта загрязнения экранозёмов нефтепродуктами отражает пространственную структуру загрязнения нефтепродуктами поверхностных горизонтов экранозёмов и характеризует локализацию техногенных аномалий высокой контрастности и протяжённости.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С.* Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). Ландшафтно-геохимическая карта // Геоинформатика. – 2013. – № 1. – С. 28–32.
2. *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. – М.: АПР, – 2016. – 276 с.
3. *Курбатова А.С., Баранникова Ю.А., Комедчиков Н.Н.* Экологическое картографирование в градостроительном проектировании. – М.: Маджента, 2006. – 191 с.
4. *Лабутина И.А., Хайбрахманов Т.С.* Функциональное зонирование территории ВАО г. Москвы для целей экологического мониторинга // Мат-лы междун. науч. конф. ИнтерКарто-ИнтерГИС-16: Теория ГИС и практический опыт. Ростов-на-Дону (Россия), Зальцбург (Австрия), 3–4 июля 2010 г. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010. – С. 234–236.
5. *Лабутина И.А., Хайбрахманов Т.С.* Структура и содержание системы карт для обеспечения ландшафтно-геохимических исследований // Геодезия и картография. – 2012. – № 3. – С. 27–32.
6. *Почва, город, экология / Под ред. Г.В. Добровольского.* – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.

7. Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные асфальтобетонными дорожными покрытиями (на примере г. Москвы): Автореферат дисс. ... канд. биол. наук. – М.: факультет почвоведения МГУ, 1998. – 25 с.
8. Хайбрахманов Т.С. Картографическая база данных для обеспечения эколого-геохимических исследований городской территории: Автореферат дисс. ... канд. геогр. наук. – М.: географ. ф-т МГУ, 2014. – 24 с.
9. Экологические функции городских почв / Отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин. – М. – Смоленск: Маджента, 2004. – 232 с.
10. Экология города. Под ред. Н.С. Касимова, А.С. Курбатовой. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
11. Demetriades A., Birke M. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting. – EuroGeoSurveys, Brussels, 2015. – 162 p.
12. Mapping the chemical environment of urban areas / Ed. by C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. – 616 p.
13. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Labutina I.A., Khaybrakhmanov T.S. Geoinformation landscape-geochemical mapping of city territories (the case study of Eastern District of Moscow) // Journal of Civil Engineering and Science. – 2014. – Vol. 3. – Iss. 3. – Pp. 142–151.
14. Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw. – IUSS Working Group SUITMA, 2017. – 253 p.

Timur S. Haibrakhmanov¹, Elena M. Nikiforova², Natalia E. Kosheleva³

CARTOGRAPHIC SUPPORT OF ENVIRONMENTAL AND GEOCHEMICAL EVALUATION OF SEALED SOILS ON URBANIZED TERRITORIES

ABSTRACT

A technique for geoinformation mapping of sealed soils in urban areas has been developed. It assumes automated interpretation of space multiband images to determine the ratio of areas of open and asphalted (built-up) areas, which is one of the indicators of the ecological and geochemical state of the urban environment. Land-use zones are used as a unit of mapping, in each zone it is recommended to allocate three degrees of sealed urban soils: low, medium, high; the percentage of sealed soils of each degree in different zones can vary. According to the land-use zoning of the territory, the color of the unit on the map corresponds to a specific land-use area, and the color saturation – to the degree of sealedness. The technique was tested on the example of the Eastern District of Moscow, for which a map with a scale of 1:50 000 has been compiled. Its analysis has shown that the degree of sealed soil cover varies from < 10 % to > 70 %. The most heavily sealed soils are typical for industrial and residential areas in the central part of the study area, a low degree of sealedness corresponds to residential areas in some other wards. The map of sealed soils in various land-use zones of the Eastern District in Moscow served as the basis for compiling a series of environmental and geochemical maps. One of these maps, which was compiled from the soil-geochemical survey

¹ Group of companies “SCANEX”; Kievskoe highway, 1, Business Park “Rumyantsevo”, building A, office 732, Moscow, 108811, Russia; *e-mail*: t.s.kh@yandex.ru

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography; Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; *e-mail*: nikiforova-geo@mail.ru

³ M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography; Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; *e-mail*: natala@mail.ru

data of 2016 and reflects the spatial structure of pollution with oil products of the surface horizons of ekranozems, is given as an example.

KEYWORDS:

sealed soils, urban land-use zones, space multiband images, pollution, geoinformation mapping

REFERENCES

1. Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakhmanov T.S. Geoinformatsionnoye landshaftno-geokhimicheskoye kartografirovaniye gorodskikh territoriy (na primere VAO Moskvyy). Landshaftno-geokhimicheskaya karta [Geoinformation landscape-geochemical mapping of urban areas (on the example of the VAO of Moscow). Landscape-geochemical map], *Geoinformatika*, 2013, No 1, pp. 28–32 (in Russian).
2. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geokhimiya landshaftov Vostochnoy Moskvyy [Geochemistry of the landscapes of the Eastern Moscow], Moscow: APR, 2016, 276 p.
3. Kurbatova A.S., Barannikova Yu.A., Komedchikov N.N. Ekologicheskoye kartografirovaniye v gradostroitel'nom proyektirovanii [Ecological mapping in urban planning], Moscow: Madzhenta, 2006, 191 p. (in Russian).
4. Labutina I.A., Khaybrakhmanov T.S. Funktsional'noye zonirovaniye territorii VAO g. Moskvyy dlya tseley ekologicheskogo monitoringa [Land-use zoning of the territory of the Eastern District of Moscow for the purposes of environmental monitoring], *Mat-ly mezhdun. nauch. konf. InterKarto-InterGIS-16: Teoriya GIS i prakticheskiy opyt. Rostov-na-Donu (Rossiya), Zal'tsburg (Avstriya), 3–4 iyulya 2010 g.* Rostov-na-Donu: UNC RAN, 2010, p. 234–236 (in Russian).
5. Labutina I.A., Khaybrakhmanov T.S. Struktura i sodержaniye sistemy kart dlya obespecheniya landshaftno-geokhimicheskikh issledovaniy [Structure and content of the map system for landscape and geochemical research], *Geodeziya i kartografiya*, No 3, 2012, p. 27–32 (in Russian).
6. Pochva, gorod, ekologiya [Soil, city, ecology], Ed. G.V. Dobrovol'sky, Fond "Za ekonomicheskuyu gramotnost'", Moscow, 1997, 320 p. (in Russian).
7. Prokof'yeva T.V. Gorodskiye pochvy, zapechatannyye asfal'tobetonnyimi dorozhnyimi pokrytiyami (na primere g. Moskvyy) [Urban soil sealed with asphalt concrete pavements (on the example of the city of Moscow)], avtoref. diss. ... kand. biol. nauk., fakul'tet pochvovedeniya MGU, Moscow, 1998, 25 p. (in Russian).
8. Khaybrakhmanov T.S. Kartograficheskaya baza dannykh dlya obespecheniya ekologo-geokhimicheskikh issledovaniy gorodskoy territorii [The cartographic database for providing environmental and geochemical research of urban territory], avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk., geograf. f-t MGU, Moscow, 2014, 24 p. (in Russian).
9. Ekologicheskiye funktsii gorodskikh pochv [Ecological functions of urban soils], eds. A.S. Kurbatova, V.N. Bashkin, Moscow – Smolensk: Madzhenta, 2004, 232 p. (in Russian).
10. Ekologiya goroda [Ecology of the city], eds. N.S. Kasimov, A.S. Kurbatova, Moscow: 2004, 624 p. (in Russian).
11. Demetriades A., Birke M. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting, EuroGeoSurveys, Brussels, 2015, 162 p.
12. Mapping the chemical environment of urban areas, ed. by C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011, 616 p.
13. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Labutina I.A., Khaybrakhmanov T.S. Geoinformation landscape-geochemical mapping of city territories (the case study of Eastern District of Moscow), *Journal of Civil Engineering and Science*, 2014, Vol. 3, Iss. 3, pp. 142–151.

14. Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw, IUSS Working Group SUITMA, 2017, 253 p.

УДК 528.8

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-266-276

О.С. Аникеева¹, Т.Г. Тибилов²

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

АННОТАЦИЯ

Ухудшение состояния лесных массивов и проведение незаконных вырубок лесов являются глобальной проблемой нашего времени. Регион Кавказских Минеральных вод обладает малым количеством лесных массивов, поэтому необходимость внедрения новых методов анализа состояния лесных массивов является важной задачей на пути сохранения лесов в этом районе. Одним из таких методов является геоинформационный анализ. Для проведения исследования использовались геоинформационные системы ScanEx Image Processor 4.0, Mapinfo Professional 12, QGIS 2.8.

В работе рассмотрен видовой состав крупнейших лесных массивов Кавказских Минеральных Вод. Определены основные причины изменения границ лесных массивов. Проведён геоинформационный анализ изменения границ лесных массивов региона с помощью данных дистанционного зондирования за период с 1987 года по 2014 год. Для проведения анализа использовались космические снимки системы Landsat 5 и 8 за период с 1987 по 2014 год.

Проведена классификация многовременных оптических изображений, позволившая получить значения площадей лесных массивов в разные годы и рассчитать их процент лесистости. В 1987 году площадь лесных массивов региона составляла 35,2 тыс. га. В 1998 году – 41,99 тыс. га, а к 2014 году сократилась до 33,16 тыс. га.

На основании полученных данных построена серия карт, характеризующих лесные массивы Кавказских Минеральных Вод в разные годы.

Проведённое исследование позволило сделать вывод о том, что основные изменения границ лесов произошли в районе гор Машук, Лысой, Железной, Бештау, Верблюд и Бык. Связано это в первую очередь с близостью к самым густонаселённым городам региона: г. Пятигорску, г. Железноводску, г. Ессентуки и г. Минеральные Воды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геоинформационный анализ, лесные массивы, данные дистанционного зондирования, Кавказские Минеральные Воды, дешифрирование

ВВЕДЕНИЕ

Вырубка лесов и ухудшение состояния лесных ресурсов является глобальной проблемой нашего времени. Проблемы незаконной рубки лесов стоят перед каждым государством весьма остро. Ведь если одно незаконно срубленное дерево почти не наносит особого ущер-

¹ Северо-Кавказский федеральный университет; Россия, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;
e-mail: stepanova-olga@mail.ru.

² Северо-Кавказский федеральный университет; Россия, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;
e-mail: delis77793@mail.ru.