

Список использованных источников

1. Малхазова С.М. Медико-географический анализ территорий: картографирование, оценка, прогноз. М., 2001.
2. Мухина Л.И. и др. Системный подход к оценке последствий воздействия человека на окружающую среду. // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. М., 1978. Вып.5. С. 3-16.
3. Пашков П.М., Бурков А.И. Разработка методов и алгоритмов оценки качества окружающей среды // Сборник научных трудов «Алгоритмическое и информационное обеспечение систем экоинформации». Филиал СО АН СССР. Томск, 1989. С. 62-73.
4. Изучение и оценка воздействий человека на природу. АН СССР, Институт географии М., 1980.
5. Заиканов В.Г., Минакова Т. Б. Методические основы геоэкологической оценки урбанизированных территорий // Геоэкология. 1995. №5. С. 63-70.
6. Лис Л.С. Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов. Мн. 2004.
7. Андерсен Е. Статистический анализ временных рядов. Пер. с англ. М., 1976.

УДК 551. 583

В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, Ю.А. Бровка

Государственное научное учреждение «Институт природопользования НАН Беларуси», г. Минск

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Введение. Изменение температуры Земного шара за период инструментальных наблюдений (почти 170 лет) включают трендовую составляющую, на фоне которой заметны циклы, скачки и паузы. Под скачком температуры понимается быстрое изменение температуры по сравнению со средней величиной ее линейного тренда, а пауза или стабилизация в изменении температуры означает отсутствие или слабый рост температуры во времени. Продолжительность циклов, скачков и пауз изменяется в широких пределах от нескольких лет до десятилетий. Причина изменений температуры не может быть связана только с линейным или экспоненциальным увеличением содержания парниковых газов в атмосфере. В основе изменчивости глобальной температуры лежит влияние на климатическую систему различного рода внешних и внутренних факторов, а также автоколебания в климатической системе, которые могут формироваться и без внешних воздействий [1].

Обзор работ, посвященных исследованию пространственно-временных изменений климата, представлен в брошюре Логинова В.Ф. [2], а также в работах других авторов [3–5]. В работе рассмотрены пространственно-временные особенности изменений температуры в целом для Земного шара, а также в Северном и Южном полушариях их связь с содержанием водяного пара в атмосфере.

Нами выполнено детальное исследование трендов температуры Земного шара с использованием рядов данных нормированных на среднеквадратическое отклонение среднемесячных температур с 1850–2017 гг., предоставленных Национальным центром климатических данных США (NOAA National Climatic Data Center (NCDC)).

Результаты исследований. На основании рассчитанных трендов аномалий температуры приземного воздуха в среднем за год, а также в наиболее теплые (июль–август) и холодные (январь–февраль) месяцы года в Северном и Южном полушариях, а также в целом для Земного шара выявлены характерные периоды изменений температуры: скачки (1908–1945 и 1968–1998 гг.) и паузы (1850–1908, 1945–1968 и 1998–2014 гг.). В качестве примера на рис. 1 приведены изменения среднегодовых значений температуры.

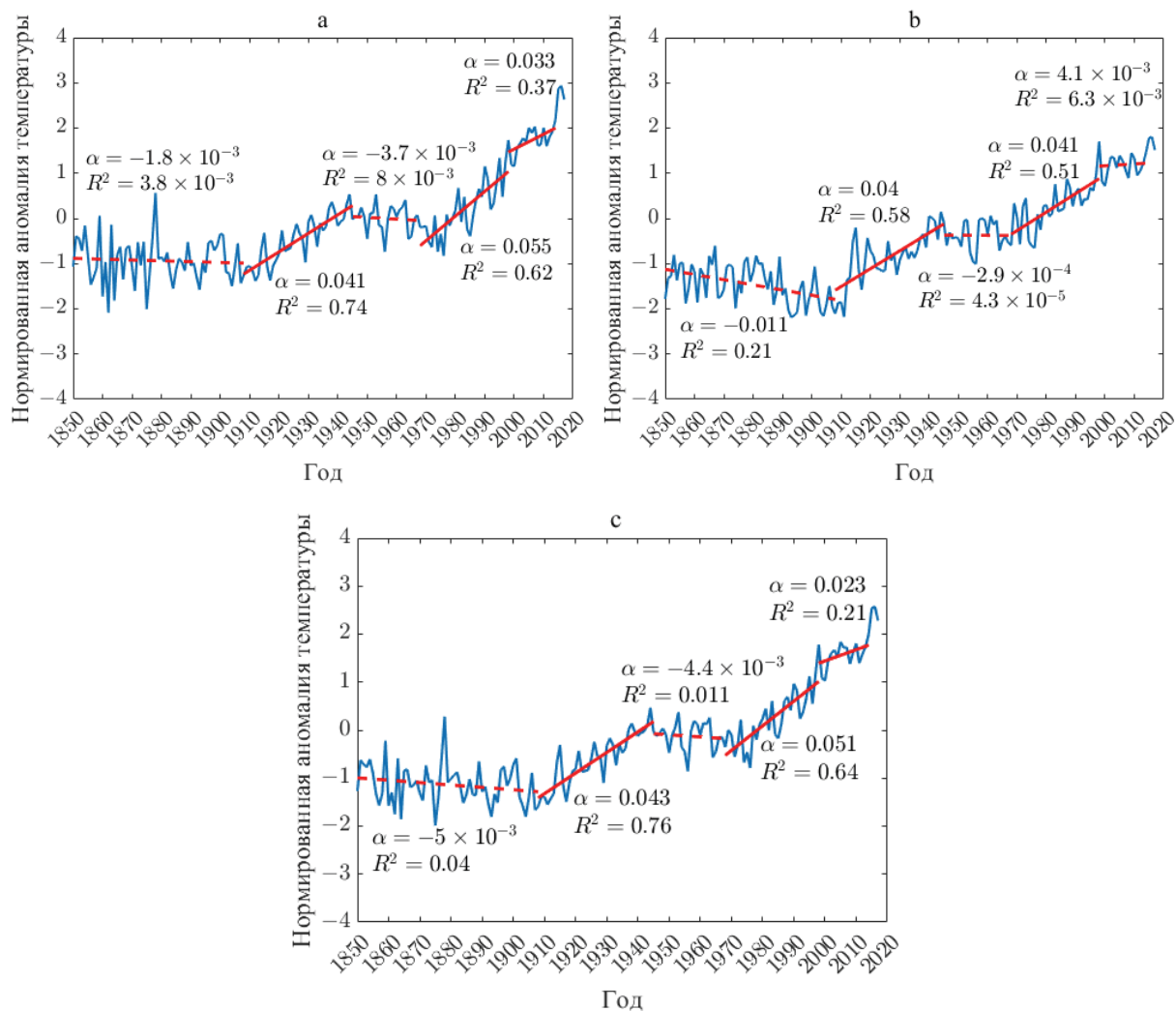


Рисунок 1 – Среднегодовые нормированные аномалии температуры Северного (а), Южного (б) полушарий (суша и океан) и Земного шара в целом(с)

Для первого периода ускоренного роста (1908–1945 гг.) температуры Земного шара и Северного полушария коэффициент линейного тренда в самые теплые месяцы года был соответственно в 1,5 и 1,9 раза больше, чем в самые холодные. В Южном (океаническом) полушарии коэффициенты линейного тренда для холодного и теплого полугодий были приблизительно одинаковыми. Для второго скачка в изменении температуры (1968–1998 гг.) различий в скорости роста температуры в самые холодные и теплые месяцы года не обнаружено (различия в величинах коэффициентов линейного тренда находятся в интервале $\pm 0,003$).

Установлено, что продолжительность и «глубина» пауз в изменении температуры уменьшается с ростом содержания парниковых газов в атмосфере. Продолжительность первой паузы (1850–1908 гг.) составляет около 60 лет, второй паузы (1945–1968 гг.) – около 23 лет, а последней (1998–2014 гг.) – только 16 лет. Для последней паузы средний форсинг парниковых газов вырос более чем в 17 раз, по сравнению его величиной в предыдущую паузу. Во время первой паузы среднегодовая нормированная аномалия температуры была почти на 1°C ниже нормы, во время второй паузы – примерно на $0,2^{\circ}\text{C}$ ниже нормы, а во время последней слабовыраженной паузы (1998–2014 гг.) средние годовые нормированные аномалии температуры превысили норму на 1°C .

Отдельно нами выполнен анализ летних и зимних температур в Северном и Южном полушариях за последний период времени с 1948 по 2017 гг. (рис. 2, 3), который характеризуется наличием более полных и достоверных климатических данных; а также большей выраженностью форсинга парниковых газов антропогенного происхождения.

Для обеих полушарий наблюдалась пауза в изменении летних и зимних температур в 1948–1968 гг. и значительный ее рост (скачок) в последующий период (1968–1998 гг.). В последние годы (1998–2014 гг.) постоянный рост температуры сохранился только в летнее время в Северном полушарии; зимой рост температуры в обоих полушариях Земли сменился ее небольшим снижением. Величины коэффициентов линейных трендов температуры в периоды ее роста в Северном полушарии мало отличались в зимние и летние месяцы года. Тогда как в Южном полушарии более значительный скачок температуры в 1968–1998 гг. наблюдался летом. Более выраженная пауза и даже падение температуры в летнее время наблюдались в период с 1945 по 1968 гг.

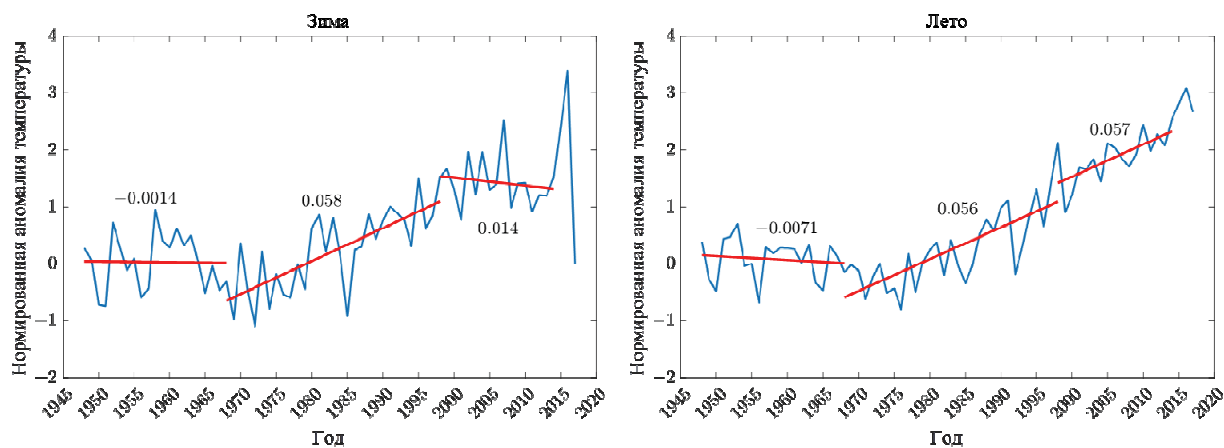


Рисунок 2 – Тренды аномалий температуры в Северном полушарии, нормированные на среднеквадратическое отклонение (Тренды относятся к следующим периодам: 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014 гг.)

Рассмотрим связь изменений температуры Земного шара с представленным на рис. 4. изменением удельной влажности в атмосфере на высоте 400 мбар за период с 1948 по 2017 гг. (данные реанализа NCEP/NCAR). Изменение удельной влажности на уровне 400 мбар коррелирует с общим содержанием водяного пара в столбе атмосферы ($r = 0,47$, $R_{\text{случ.}} < 5\%$), что позволяет использовать ряд удельной влажности как показатель общего содержания водяного пара в атмосфере.

Из рисунка следует, что изменения удельной влажности (в г/кг) за указанный период, можно разделить на три подпериода, в которые скорость изменения удельной влажности существенно различается:

1-й период – 1948–1968 гг. – в изменении удельной влажности заметен ярко выраженный отрицательный тренд; удельная влажность уменьшается приблизительно на 0,05 г/кг. Коэффициент линейного тренда равен $-0,0026$.

2-й период – 1968–1992 гг. – в изменении удельной влажности практически не наблюдается тренда, хотя короткопериодные флюктуации имеют приблизительно такую же мощность, как и для всего доступного ряда. Коэффициент линейного тренда равен $-0,00009$.

3-й период – 1992–2014 гг. – в изменении удельной влажности содержится отрицательный тренд, но удельная влажность изменяется почти в два раза меньше, чем в первом периоде. Именно с 1992 года и произошло увеличение скорости Тихоокеанских пассатов, что оказало существенное влияние на изменение содержания влаги в атмосфере. Коэффициент линейного тренда составляет $-0,0005$.

Если сопоставить ряд удельной влажности в атмосфере с рядом изменения температуры Земного шара, то можно выявить важные особенности в изменении этих характеристик:

1. Величина аномалий температуры Земного шара интенсивно увеличивалась в период паузы в изменении содержания водяного пара в атмосфере (1968–1992 гг.). В это время трендовая составляющая суммарного радиационного форсинга водяного пара и оптической толщины облаков, вероятно, практически оставалась постоянной, что позволило радиаци-

онному форсингу парниковых газов обеспечивать непрерывный рост аномалий температуры Земного шара.

2. В периоды уменьшения водяного пара в атмосфере и, как следствие, уменьшение оптической толщи облаков их суммарный радиационный форсинг затушевывает радиационный форсинг парниковых газов. Это приводит либо к стабилизации в изменении аномалий температуры (уменьшению роста аномалий температуры) при небольших изменениях содержания водяного пара в атмосфере (как это было в 2001–2014 гг.), либо даже к падению температуры, как это было при существенно больших изменениях водяного пара в атмосфере (1948–1968 гг.), когда радиационный форсинг парниковых газов существенно уступал радиационному форсингу водяного пара и оптической толщине облачности.

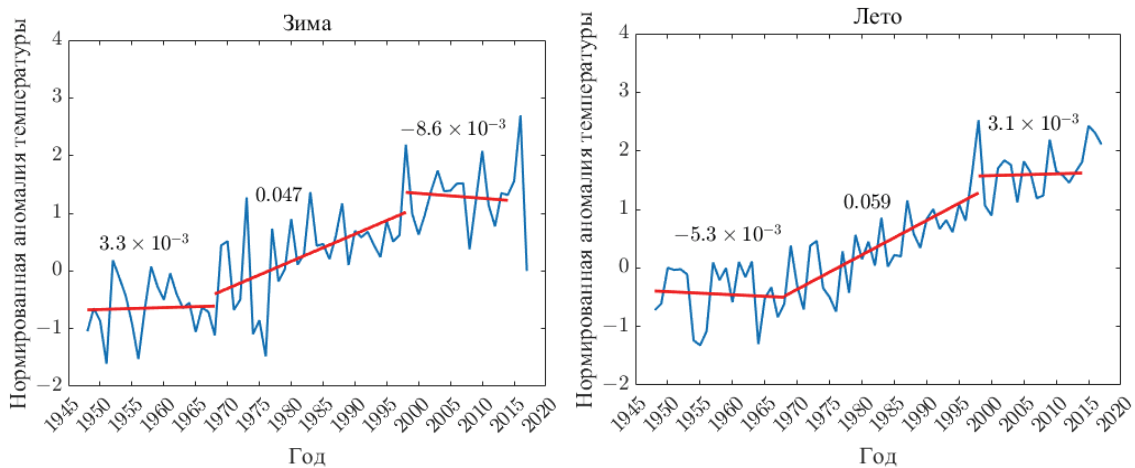


Рисунок 3 – Тренды аномалий температуры в Южном полушарии, нормированные на средноквадратическое отклонение (тренды относятся к следующим периодам: 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014 гг.)

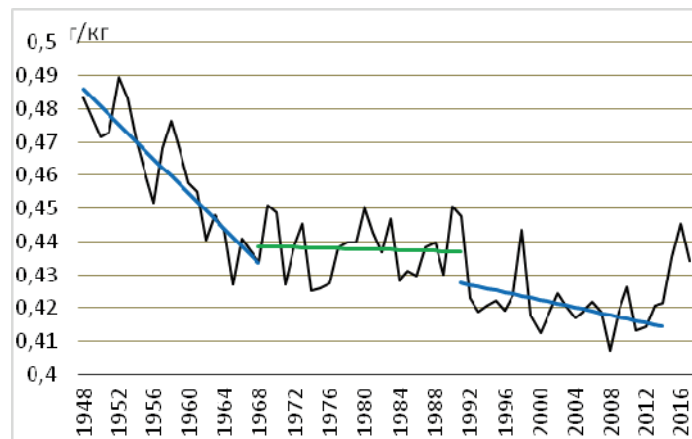


Рисунок 4 – Изменение удельной влажности в слое атмосферы на уровне 400 мбар за период с 1948 по 2017 гг.

Результаты анализа пространственно-временных изменений удельной влажности в Северном полушарии за период с 1949 по 2014 гг. сведены в таблицу. Величины линейных трендов удельной влажности рассчитаны для трех периодов: 1949–1968, 1968–1992, 1992–2014 гг. отдельно для зимы, лета и года в целом. Из таблицы следует, что наибольшая скорость падения удельной влажности в Северном полушарии отмечается в 1949–1968 гг., а наименьшая – в 1968–1992 гг. В последний период скорость падения удельной влажности в Северном полушарии отличалась от скорости ее падения в другие периоды времени (1949–1968 и 1992–2014 гг.), как для сезонов года, так и года в целом в 3–28 раз. Это говорит о существенном замедлении скорости падения удельной влажности (паузе) в период с 1968 по 1992 гг. и несколько меньшем замедлении скорости в 1992–2014 гг.

Таблица – Коэффициенты линейного тренда (α) удельной влажности в Северном полушарии в разные периоды времени

Средние значения α для Северного полушария	Период времени, гг.	Сезонные и среднегодовые значения α		
		Зима	Лето	Год
	1949–1968	–0,0017	–0,0071	–0,00395
	1968–1992	–0,00006	–0,00038	–0,00029
	1992–2014	–0,00056	–0,00026	–0,00047

Сравнительный анализ связи изменений температуры и удельной влажности в Северном полушарии позволяет сделать следующие выводы.

1. Интенсивная скорость падения удельной влажности в Северном полушарии с 1948 по 1968 гг. согласуется со значительным падением температуры, составившим около $0,2^{\circ}\text{C}$ по сравнению с предыдущим 20-летним периодом.

2. В период с 1992 по 2014 гг. произошло более слабое по сравнению с первым периодом падение удельной влажности в Северном полушарии, а также замедление скорости роста температуры по сравнению с предыдущим 20-летием.

3. Максимальный рост температуры Северного полушария за всю историю инструментальных наблюдений отмечался с конца 60-х до 1998 года. В большую часть этого периода не отмечалось сколько-нибудь заметной трендовой составляющей в изменении удельной влажности, что позволяет говорить о наступившей паузе в ее изменении для Северного полушария. Радиационный форсинг главного парникового газа – водяного пара – в этот период не претерпевал существенных изменений (кроме короткопериодных), а форсинг других парниковых газов антропогенного происхождения возрос приблизительно на 1 Вт/м^2 по сравнению с периодом с 1908 по 1945 гг., обеспечив тем самым рост температуры на несколько десятых градуса.

В изменении удельной влажности атмосферы зимой и летом обнаружены некоторые различия. Скорость падения удельной влажности в Северном полушарии с 1968 по 1992 гг. существенно замедлилась, однако летом оказалась в 6,3 раза больше, чем зимой. Это могло привести к более быстрому повышению зимней температуры за счет общего форсинга парниковых газов, по сравнению с ростом летней температуры. Действительно, скорость роста температуры в Северном полушарии зимой в это время была больше, чем летом, и неслучайно потепление 70–90-х годов прошлого столетия называют «зимним потеплением». В период с 1998 по 2014 гг., наоборот, удельная влажность атмосферы летом снижалась медленнее, чем зимой, что должно было привести к более быстрому потеплению летом, по сравнению с зимой. Анализ изменений нормированных аномалий температуры в Северном полушарии показал, что скорость роста летней температуры в текущем столетии действительно стала выше, чем зимней: зимняя температура в Северном полушарии за 1998–2014 гг. даже понизилась на величину около $0,1^{\circ}\text{C}$.

Изменения содержания водяного пара и оптической толщины облаков, а также аэрозолей естественного и антропогенного происхождения рассматриваются в работе как главные причины изменений глобальной температуры, происходящих на фоне трендовой ее составляющей, которая определяется ростом антропогенных парниковых газов. Так, интенсивный рост аномалий температуры Земного шара отмечался в период паузы в изменении содержания водяного пара в атмосфере и оптической толщины облаков (1968–1992 гг.) за счет радиационного форсинга антропогенных парниковых газов. В периоды уменьшения водяного пара в атмосфере и, как следствие, уменьшения оптической толщины облаков наблюдается замедление роста аномалий температуры либо даже небольшое падение температуры, особенно в зимнее время года (1948–1968 гг.). В указанный период радиационный форсинг антропогенных парниковых газов существенно уступал уменьшающемуся радиационному форсингу водяного пара и оптической толщине облаков. Последние собственно и обеспечили незначительное падение глобальной температуры. Подобная тенденция в изменении температуры наблюдалась и в период с 1998 по 2014 гг., когда содержание водяного пара в атмосфере также несколько уменьшилось.

Выводы. В изменении температуры Земного шара и отдельно Северного и Южного полушарий содержится трендовая составляющая, на фоне которой обнаружены периоды быстрого роста температуры (скачки) и периоды, когда скорость роста температуры понижалась (паузы). В течение рассмотренного интервала времени выявлены два периода с наибольшим ростом температуры: 1908–1945 и 1968–1998 гг. В последнем периоде скорость роста температуры была в 1,2 раза больше, чем в предыдущем. Наибольшее замедление роста температуры (отрицательный линейный тренд) пришлось на период с 1945 по 1968 гг.; меньшее замедление роста температуры наблюдалось с 1998 по 2014 гг. Изменения глобальной температуры согласуются с изменениями удельной влажности атмосферы: уменьшение скорости роста температуры примерно совпадает по времени с уменьшением содержания водяного пара в атмосфере (1948–1968 гг. и 1998–2014 гг.).

В период с 1968 по 1998 г, когда трендовая составляющая удельной влажности атмосферы была минимальной, форсинг парниковых газов обеспечил самый интенсивный рост глобальной температуры (около 0,5°C за тридцатилетний период).

Пространственные особенности в изменении удельной влажности атмосферы в Северном полушарии проявились и в пространственных изменениях температуры. Скорость роста летней температуры Северного полушария в последние десятилетия оказалась больше зимней, что невозможно интерпретировать, оставаясь в рамках теории парникового потепления климата. В качестве основных факторов, способных обеспечить более быстрый рост летних температур, по сравнению с зимними, можно выделить снижение аэрозольного загрязнения атмосферы и уменьшение оптической толщины облаков.

Список использованных источников

1. Iwashima, T. Time-spaced spectral general circulation model, I-time-space spectral model of low-order barotropic system with periodic forcing / T. Iwashima, R. Yamamoto // *J. Met. Soc. Japan.* – 1986. – Vol. 64. – P. 183–196.
2. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и международные соглашения по защите климата / В. Ф. Логинов. НАН Беларуси, Институт природопользования – Минск, 2018. – 101 с.
3. Лысенко, С. А. Роль океана в изменениях глобального и регионального климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Доклады БГУИР. – 2018. – № 8 (118). – С. 58–63.
4. Yao, S.-L. The global warming hiatus – a natural product of interactions of a secular warming trend and a multi-decadal oscillation / S.-L. Yao, G. Huang, R.-G. Wu, and X. Qu // *Theoretical and Applied Climatology.* – 2016. – Vol. 123, No. 1–2. – P. 349–360.
5. Kosaka, Yu. Recent globale-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling / Yu. Kosaka, Shang Ping Xie. Doi: 10.1038 / *Nature* 12534.

УДК 528.9

М.Е. Захарова, Н.Б. Тупицына

Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Ведение городского хозяйства сопряжено с решением многоплановых и многоотраслевых задач. В частности, необходимо создавать условия для бесперебойного функционирования городских магистральных систем, относящихся к различным ведомствам, рационально использовать городскую территорию под промышленную, жилую и транспортную инфраструктуру, обеспечивать комфортные условия проживания граждан. Создание и поддержание комфортных условий в городской среде невозможно без системы озеленения.