

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 911.2; 711.625

ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ И ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
АРИДНЫХ ГОРОДОВ ПРИАРАЛЬЯ

© 2024 г. И.С. Шукуров\*, Л.И. Шукурова\*, С.П. Маракулина\*\*

\*Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет  
Республика Узбекистан, 140400, г. Самарканд, ул. Лялязар, д. 70. E-mail: shukurov2007@yandex.ru

\*\*Государственный университет по землеустройству  
Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15. E-mail: s.marakulina@inbox.ru

Поступила в редакцию 04.02.2024. После доработки 30.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Одними из неблагоприятных метеорологических факторов для городов Приаралья являются пыльные бури и мгла. Среднегодовое число дней с мглой в городах Центральной Азии составляет от 10 до 20. Пыль ухудшает внешний вид территорий, но ее влияние на градостроительство малоизучено, а мониторинг содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздухе городов до настоящего времени не проводился.

Особенно выделяется ветер «афганец» (гармсилъ – огненный, горячий, сухой ветер с пылью) – внезапно начинающаяся пыльная буря в пустынях Афганистана и с высохшего дна Аральского моря, которое теперь называют Аралкумом (тюр. «кум» – песок). Это настоящая соляная пустыня, содержащая опасные для здоровья населения пестициды и химикаты, которые попадали в реки в виде удобрений, используемых людьми, а потом стекали в море. И теперь они наносят существенный ущерб городам и экономике стран Центральной Азии.

В статье рассматривается вопрос ветропереноса пыли от природных источников и, как следствие, запыленности городской среды, которая актуальна для большинства крупных городов Центральной Азии, но недостаточно изучена. Даже в районах с активной пылеветровой деятельностью, таких как Приаралье, обусловленной природно-климатическими условиями, недостаточно учитывается фактор запыленности при принятии градостроительных решений.

В настоящее время во многих городах уничтожается и переводится под застройку все больше прохладных сельскохозяйственных земель, что может очень сильно сказаться на качестве жизни уже в ближайшие несколько лет. Запыленность, ещё не так давно рассматриваемая всего лишь, как фактор, создающий дискомфортные условия, сегодня коррелирует с заболеваемостью и смертностью населения. Высокая запыленность воздуха вредит зеленым насаждениям, особенно вдоль автомагистралей и улиц.

Защита зданий от прямых солнечных лучей и запыленности состоит в использовании солнцезащитных устройств, панелей и вентилируемых фасадов. Одна из современных тенденций архитектуры – это внедрение технологии кинетических фасадов, которые формируются из элементов разных форм и материалов.

При практической реализации предлагаемых способов создается реальная возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.

*Ключевые слова:* пыльные бури, мгла, опустынивания, процессы аридизации, антропогенное воздействие, воздух, ветер, город, сердечно-сосудистые заболевания, дисперсность, озеленение, благоустройство.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-132-139

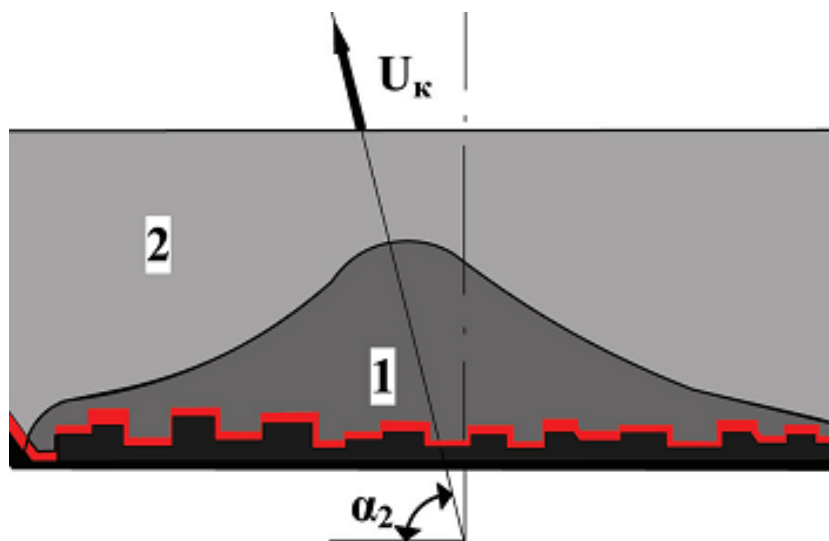
EDN: UBLIAC

Одними из неблагоприятных метеорологических факторов являются пыльные бури и мгла (Shukurov, Majorzadehzahiri, 2020). Среднегодовое число дней с мглой в городах Центральной Азии составляет от 10 до 20.

Вопрос ветропереноса пыли от природных источников и, как следствие, запыленности городской

среды актуален для многих городов Центральной Азии, но является недостаточно изученным. Даже в районах с активной пылеветровой деятельностью, обусловленной природно-климатическими условиями, при принятии градостроительных решений недостаточно учитывается фактор запыленности.

В городах Приаралья часто наблюдается ветер «афганец» (гармсиль – горячий сухой ветер с пылью) – внезапно начинающаяся *пыльная буря* в пустынях Афганистана. Он представляет собой вихрь раскаленного воздуха, насыщенного пылью и песком, который сопровождается резкими изменениями атмосферного давления (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема распространения загрязнения и воздушного потока в городах: 1 – наиболее интенсивная часть, 2 – менее интенсивная часть.

Внезапные пыльные бури, представляющие серьёзную опасность для населения, угрозу здоровью и не только, наблюдались летом 2018-2021 гг. во всех городах Центральной Азии.

Пустыни наступают, отчего сейчас самым неочевидным образом могут пострадать многие города. Все основные города Узбекистана расположены в бассейнах рек, но многие реки, снабжающие их водой и прохладой, справляются с этим всё хуже и хуже из-за истощения ресурсов. В настоящее время агломерация городов уничтожается, а под застройку переводится все больше прохладных сельскохозяйственных земель, что может очень сильно сказаться на качестве жизни уже в ближайшие несколько лет. Высокая температура воздуха в жаркие дни и пониженная его влажность, все более интенсивная запыленность способствуют увеличению смертности городского населения. Запыленный воздух, висящий над городом разгорячённым куполом и сдерживающий поток ультрафиолетовых лучей, способствует развитию рака легких, бронхитов и эмфизем, а также многих инфекционных заболеваний.

Пыль ухудшает внешний вид территорий, но ее влияние на градостроительство малоизучено, а мониторинг содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздухе городов до настоящего времени не проводился.

### Материалы и методы

Пыль – это частицы твердых веществ, взвешенные в воздухе, которые наносят существенный ущерб экономике стран Центральной Азии. По происхождению пыль можно классифицировать как земную и космическую, естественную и искусственную, промышленную и бытовую, минеральную и органическую, растительную и животную и т.д. Физические и химические свойства пылевых частиц определяются величиной, весом, плотностью, формой, гигроскопичностью, растворимостью, величиной рН, электрическим зарядом, химическим составом, радиоактивностью и дисперсностью.

При гигиенической оценке пыли большое значение имеет размер ее частиц, дисперсность. Частицы диаметром 1-10 мкм легко проникают в легкие. Более крупная пыль задерживается

в верхних дыхательных путях (нос, трахея) и мерцательном эпителии бронхов. В носовой полости человека осаждаются в среднем около 50% вдыхаемой пыли (Константинова, 1981). Длительное вдыхание сильно запыленного воздуха раздражает слизистую оболочку носа. В легочных альвеолах специальные клетки (фагоциты) захватывают частицы пыли и растворяют их или переносят в бронхи или лимфатические пути, удаляя таким образом из легких. Значительная часть задержанной пыли выделяется при чихании и кашле. Для здоровья человека наибольшую опасность представляют частицы размером до 5 мкм. Они легко проникают в легкие и там оседают, вызывая бронхиты, астму и разрастание соединительной ткани, которая не способна передавать кислород из вдыхаемого воздуха гемоглобину крови и выделять углекислый газ.

Нормируют пыль в зависимости от ее природы и механизма воздействия на организм человека. Например, кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10 до 70% обладает преимущественно фиброгенным действием и нормируется следующим образом: ПДК максимально-разовая – 6 мг/м<sup>3</sup>, ПДК среднесменная – 2 мг/м<sup>3</sup>.

Оторвав частицу от поверхности, ветровой поток способен транспортировать ее как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, при этом количественные показатели в обоих случаях зависят от размеров частиц. Частицы пыли в условиях поверхностного пылеобразования способны перемещаться тремя способами: а) сальтацией, б) перекачиванием, в) во взвешенном состоянии. Частицы размером 100 мкм и менее перемещаются во взвешенном состоянии; частицы размером 100-500 мкм передвигаются с помощью сальтации (наибольшее количество частиц перемещается сальтацией); частицы крупнее 500 мкм – перекачиванием (Стеценко, 2007).

*Внешние факторы, провоцирующие пыльные бури в Приаралье:*

- резкое сокращение количества осадков в соседних странах (Казахстане, Туркменистане и Афганистане) из-за глобального изменения климата (Карамышев, 1975);
- деградация орошаемых земель на фоне высыхания водоемов и особенно Аральского моря усиливает опустынивание в странах, сильные ветра поднимают и переносят на территорию городов песок и пыль;
- песок и пыль из пустынных районов Северного Афганистана (горячий и пыльный ветер «афганец») и частично с территории Туркменистана переносятся ветром на территории всех областей (Романов, 1970).

*Внутренние факторы, влияющие на появление пыльных бурь:*

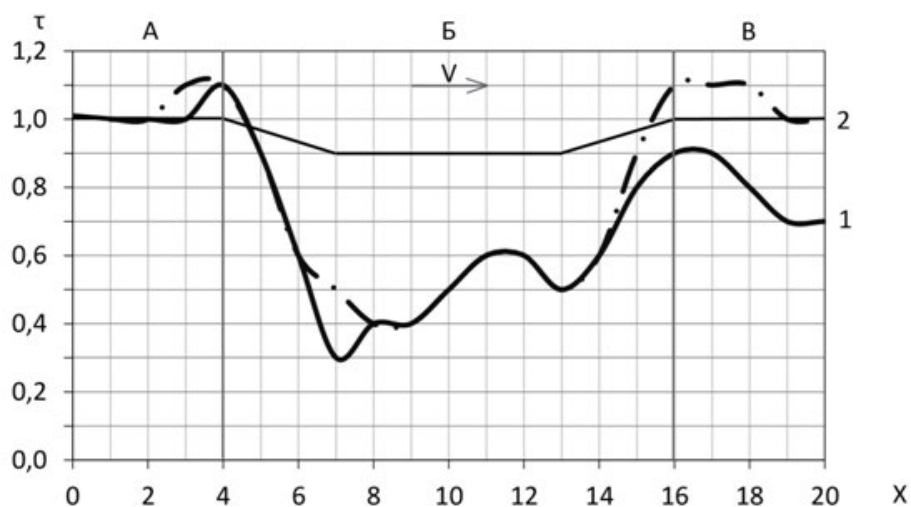
- рост масштабов опустынивания и деградации пастбищ внутри страны;
- увеличение количества строительных площадок приводит к тому, что с ветром в воздух поднимаются частицы пыли и песка;
- выбросы вредных испарений в атмосферу промышленными предприятиями и автомобилями;
- огромные массы почвы сдуваются ветрами, не встречая преград в лишенных естественной растительности и распаханых землях, и переносятся в виде черных облаков на большие расстояния вплоть до гор на востоке. В результате среди населения распространяется пыльная пневмония и многие вынуждены покинуть свои дома, чтобы выбраться из особо неблагоприятных территорий.

*Основные причины пылевых бурь:*

- применение глубокой вспашки в 60-70-е годы XX века; вырубание тугайных лесов и деревьев, саксаулов с глубокими корнями для новых сельхозугодий, где сажали много хлопчатника. Спустя 50 лет эксплуатации земля истощилась, а в 2020-е годы сюда пришли засуха и пылевые бури (рис. 1);
- колхозы и совхозы Приаралья многократно увеличили урожай, занимая все новые площади и хищнически эксплуатируя почву, что привело к ее эрозии.

Городская среда изменила отдельные свойства воздуха, прежде всего понизив его влажность. Температура воздуха на городских площадях и улицах в летний солнечный день на 2.0-2.5°C выше, чем в зеленом пригороде, а относительная влажность воздуха на 10-35% ниже. На разных уровнях улиц и крыш городской застройки образуются большие площади твердых, сухих, водонепроницаемых поверхностей. Кирпич и асфальт, подобно гигантским батареям, аккумулируют тепло днем и отдают его ночью. Отчетливо прослеживается влияние запыленности воздуха в верхних слоях атмосферы на аккумуляцию тепла. Купол пыли над городом способствует созданию так называемого эффекта горячих островов. Степень проявления этого эффекта зависит от плотности

населения и размеров города, а также от дней недели. С эффектом горячих островов связано локальное увеличение интенсивности циркуляции конвекционных потоков воздуха, одновременно значительно (на 30-50% по сравнению с пригородом) уменьшается горизонтальное движение воздушных масс (рис. 2).



**Рис. 2.** График трансформации коэффициентов конвекционных потоков воздуха. *Условные обозначения:* 1) составлен по результатам исследования модели в Solidworks 2015 Simulations, 2) составлен по результатам исследования модели в аэродинамической трубе (исходный).

Прямая солнечная радиация в крупных городах летом уменьшается на 20, зимой – до 50%. Запылённость воздуха может снижать видимость в горизонтальном направлении на 80-90%. Критическая (пороговая) скорость ветра в пределах от 1 до 20 м/с приводит к движению и отрыву частиц от поверхности земли в зависимости от сил сцепления грунта, определяемых его влажностью, в результате чего начинается процесс пылепереноса (Махенько, 1968).

Скорость осаждения пыли также зависит от размеров ее частиц и плотности. Крупные частицы оседают быстрее. На частицы размером 0.1-1 мкм оказывают влияние воздушные тепловые потоки и броуновское движение, они гораздо дольше находятся во взвешенном состоянии. При движении частиц в воздухе возможно их столкновение, в результате чего отдельные частицы мелкодисперсной пыли соединяются (коагулируют) в более крупные (Янин, 2003).

Исследованиями установлено, что процесс переноса природной пыли начинается с движения частиц диаметром 100-500 мкм. Так как давление внутри воздушного потока уменьшается с высотой, то вследствие разности аэродинамического давления частица почти вертикально подбрасывается вверх и попадает в турбулентные потоки воздуха (Евгеньев, 1980). Отрыв частицы происходит в тот момент, когда аэродинамическая сила, действующая на частицу, превышает ее массу, поэтому чем меньше размеры и масса, тем вероятнее отрыв частицы от поверхности. Под действием силы тяжести и давления воздуха частица возвращается к поверхности почвы под углом 6-12° либо снова подпрыгивает, либо тратит свою энергию на выбивание из поверхности новых частиц. Упавшая частица может остаться на поверхности или продолжать движение. Движущаяся далее крупная частица, ударяясь о поверхность почвы, поднимает в воздух частицы меньших размеров (100 мкм и менее), которые затем подхватываются ветром и переносятся в виде пыли на большие расстояния (Кратцер, 1958).

Для изучения запыленности, связанной с аэродинамикой воздуха городов Центральной Азии, мы провели натурные наблюдения. Целью таких наблюдений является определение типа возникновения пыли и ее аэродинамическая характеристика (пылеперенос) в зависимости от скорости и направления ветра в жилой застройке. Проведен анализ гранулометрического состава дорожного смёта, установлено содержание в нем пылеватых и глинистых частиц от 15 до 30% (в зависимости от городов), способных под воздействием ветровых потоков подниматься в воздух и оставаться там от нескольких часов до нескольких суток.

В натуральных наблюдениях измерения содержания мелкодисперсной пыли, осуществлялись в атмосферном воздухе городской среды при помощи электроаспираторов ПУ-3Э/12. Для вычисления коэффициентов уравнения регрессии использован модуль «Нелинейное оценивание» пакета программ статистического анализа «БТАИЗИСА 6.0». Значимость коэффициентов проверяли, сопоставляя табличные значения критерия Стьюдента с расчетными при доверительной вероятности  $p = 95\%$ . Проверка адекватности уравнений, проводилась по критерию Фишера.

### Результаты и обсуждение

Проведенные исследование аэродинамики (пылепереноса) среды позволили выделить три основных типа возникновения и распространения пыли: внешний – макро, внутригородской – мезо, локальный – микро.

1. Внешний или макропылеперенос возникает в результате интенсивного перемещения воздушных масс. В этом случае пыль очень мелких фракций на большой высоте транспортируется на дальние расстояния и в период устойчивых штилевых погод оседает (Киялбаев и др., 2006). Градостроительные мероприятия по макропылепереносу рекомендуется выполнять на больших пригородных территориях.

2. Внутригородской или мезопылеперенос происходит как при прорыве на территорию города внешних запыленных ветровых потоков, так и в результате подъема в воздух пыли, находящейся на территории самого города. Пыль при этом содержит фракции более крупные, чем при макропылепереносе. Мезопылеперенос природной пыли зарождается далеко от города, на участках с нарушенным почвенно-растительным покровом (например, в пустыне). Градостроительные мероприятия по мезопылепереносу рекомендуется организовывать в ближней пригородной зоне (Евгеньев, 1980).

3. Локальный или микропылеперенос возникает под действием локальных ветров и происходит в основном в приземном слое атмосферы. Пыль может переноситься местными пыльными бурями, пыльными суховеями и пыльными поземками и оседать при снижении скорости ветра ниже пороговой (менее 1 м/с).

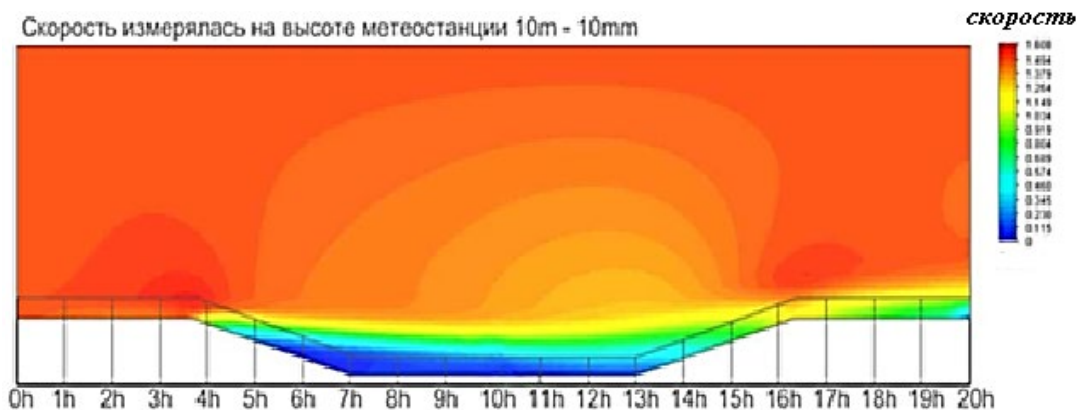
Результаты наблюдения показали, что пробы пыли, взятые из городского воздуха, состоят большей частью из почвенных первичных частиц. Этот факт позволил сделать вывод, что даже при больших площадях поверхностей с искусственным покрытием современных городов регулировать внутригородской пылеперенос в режиме поверхностного пылеобразования можно, определив его пороговую скорость. Для этого необходимо иметь данные пороговых скоростей пылепереноса наиболее типичных местных почв (Реттер, 1969).

В исследованиях также были применены технологии компьютерного моделирования, которые позволяют значительно упростить анализ запыленности и ветрового режима. Цель состояла в сравнении результатов натуральных наблюдений микропылепереноса с применением программы SolidWorks 2015, с дополнением Flow Simulation. Испытания моделей в данной программе позволили установить качественную и количественную картину обтекания моделей воздушным потоком в зависимости от формы модели, параметров поперечного сечения модели, в т.ч. относительной высоты застройки.

Для первой серии экспериментальных исследований были приняты две модели застройки с различной длиной ( $L = 6h$ ,  $L = 10h$ ). Общие настройки, заданные перед проведением исследования в программе SolidWorks: тип задачи – внешняя; текучая среда – Air (газы); тип течения – только турбулентное; интенсивность турбулентности – 2%; масштаб турбулентности – 0.0001; влажность – отсутствует; измерения скорости воздушного потока проводились на высоте  $H = 10$  м от поверхности земли (или 10 мм на модели), что соответствует высоте расположения флюгера метеостанции. Все измерения проводились в масштабе 1 : 4000. Во всех вариантах размеры моделируемой территории застройки составляют  $740 \times 740$  м, т.е. 51.84 га, количество расчетной точки – 20.

При запуске исследования были получены эпюры распространения воздушного потока с учетом заданных условий. Скорости потока на различных участках обозначены характерным цветом. Далее с помощью эпюр рассчитывались значения коэффициента трансформации для каждой точки по формуле  $\tau = U_i/U$ , где  $U$  – скорость невозмущенного потока, заданная во входных данных,  $U_i$  – скорость на модели в выбранной точке. Полученные результаты были оформлены графически.

На основе полученных данных построены эпюры и графики, совмещающие результаты исходных и проведенных исследований (рис. 3).



**Рис. 3.** Эпюра зависимости значений коэффициента трансформации от  $x$  (различной длины застройки) для  $L = 6h$ .

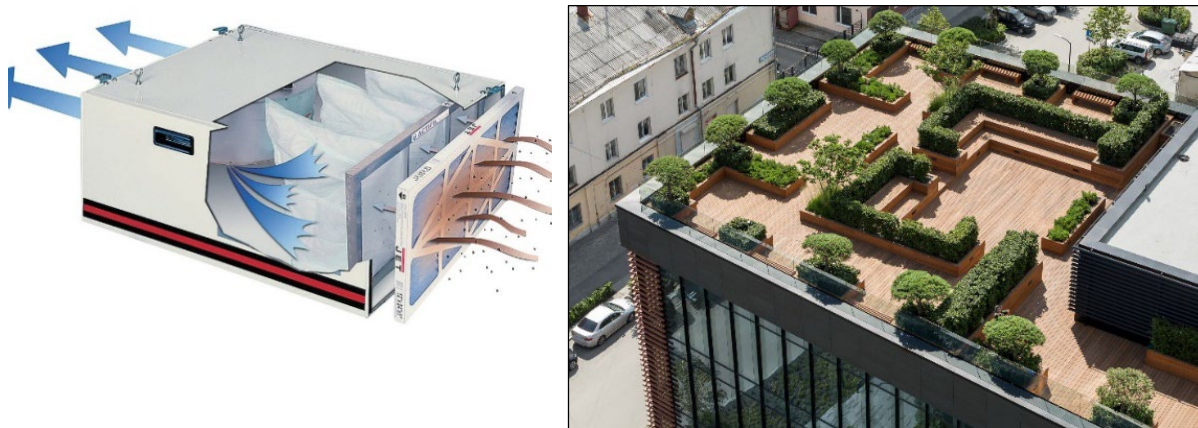
Коэффициенты трансформации набегающего воздушного потока в каждой из точек обрабатывались при помощи линий одинаковой скорости, которые проводились через каждые 0.2 значения коэффициента, т.е. соединялись точки с показателями 0.6, 0.8, 1.0 и т.д. (рис. 2).

Результаты для исследования с  $L = 6h$ ,  $h/a = 15/12$ , где  $a$  – крутизна склона:

а) участок Б – исходный (2) и полученный (1) графики повторяют друг друга, отклонение экспериментальной зависимости в точке  $x = 7h$  составляет 14.2%;

б) участок В – графики (1) и (2) имеют одинаковый контур, но график (1) опущен относительно графика (2): скорость в полученной зависимости (1) возрастает медленнее. Максимальное отклонение в точке  $x = 19h$  составляет 21.4%.

При наличии высотных и протяженных домов на территории города эти случаи могут возникать непосредственно и в самой застройке города.



**Рис. 4.** Установка системы сбора фильтрации воздуха и систему сбора пыли для растений на крыше.

При проектировании генплана интеграции жилой застройки (блочные дома, отдельно стоящие дома) необходимо учитывать рельеф местности, ориентацию улиц, преобладающий ветер, высоту застройки; обеспечить максимально возможную плотность застройки, озеленение, дающее густую тень (горизонтальное и вертикальное озеленение), для создания микроклимата и фильтрации воздуха, а также размещение малых архитектурных форм (беседки, галереи, навесы), которые создают затенение от солнца; учитывать организацию небольших общественных площадей внутри жилого квартала для местных жителей.

Система озеленения территории города является необходимым условием формирования

полноценной среды города. Во многих городах Центральной Азии на 1 человека приходится от 0.8 до 2.0 м<sup>2</sup> площади озелененных территорий общего пользования, т.е. от 11 до 33% от нормативного показателя по ШНК 2.07.01-03 (2009).

Для успешного проведения работ по озеленению необходимо:

- вводить адаптированный к местным условиям ассортимент деревьев и кустарников (Миронов, Евгеньев, 1986);
- учитывать архитектурно-планировочную и ландшафтную организацию территории парков, скверов;
- осуществлять регулярный уход.

Парки, сады, скверы и бульвары должны быть оборудованы водопроводом, обводнением, канализацией, освещением, а также хозяйственными помещениями, т.к. зеленые насаждения в городе улучшают микроклимат городской территории, создавая хорошие условия для отдыха на открытом воздухе, и предохраняют от чрезмерного перегрева территории, почву, стены зданий и тротуары.

Парки и скверы, привязанные при строительстве к рельефу, могут быть активными проводниками чистого воздуха в центральные районы города. Качество воздушных масс значительно улучшается, если они проходят над парками и скверами. При этом количество взвешенных примесей снижается на 10-40%. Практика показала, что это является достаточно эффективным средством борьбы с вредными выбросами автомобильного транспорта, эффективность которых может варьироваться в довольно широких пределах – 7-35% (Шукуров, Ахмед Эламин, 2016).

Защита от микропылепереноса должна обеспечиваться на территории жилой застройки города, а на крышах каждого здания следует установить систему сбора фильтрации воздуха и систему сбора пыли для растений, расположенных на этих крышах (рис. 4).

Приспособление зданий к защите от прямых солнечных лучей и запыленности состоит в использовании солнцезащитных устройств, панелей и вентилируемых фасадов. Сегодня современной тенденцией архитектуры является технология кинетических фасадов, которые формируются из металлических или деревянных элементов (панелей) разных форм и материалов. Панели фасада открываются и закрываются в зависимости от движения солнца, защищая здание от жары, бликов и пыли, снижают перегрев помещений и запыленность на 70%, уменьшают потребность энергии кондиционирования, вентиляции и снижают температуру внутри здания (рис. 5).

Кинетические фасады могут быть мощным инструментом для подхода к вековым вопросам архитектуры – красоте, устойчивости, комфорту, – а также смелым, новым и технологически ориентированным способом. Применение кинетических технологий фасадов способствует оптимальной адаптации жилища к жарким и запыленным климатическим условиям и является перспективным и эффективным подходом для развития застройки городов Приаралья.

Таким образом, при практической реализации предлагаемых способов создается реальная возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, в летнее время, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.

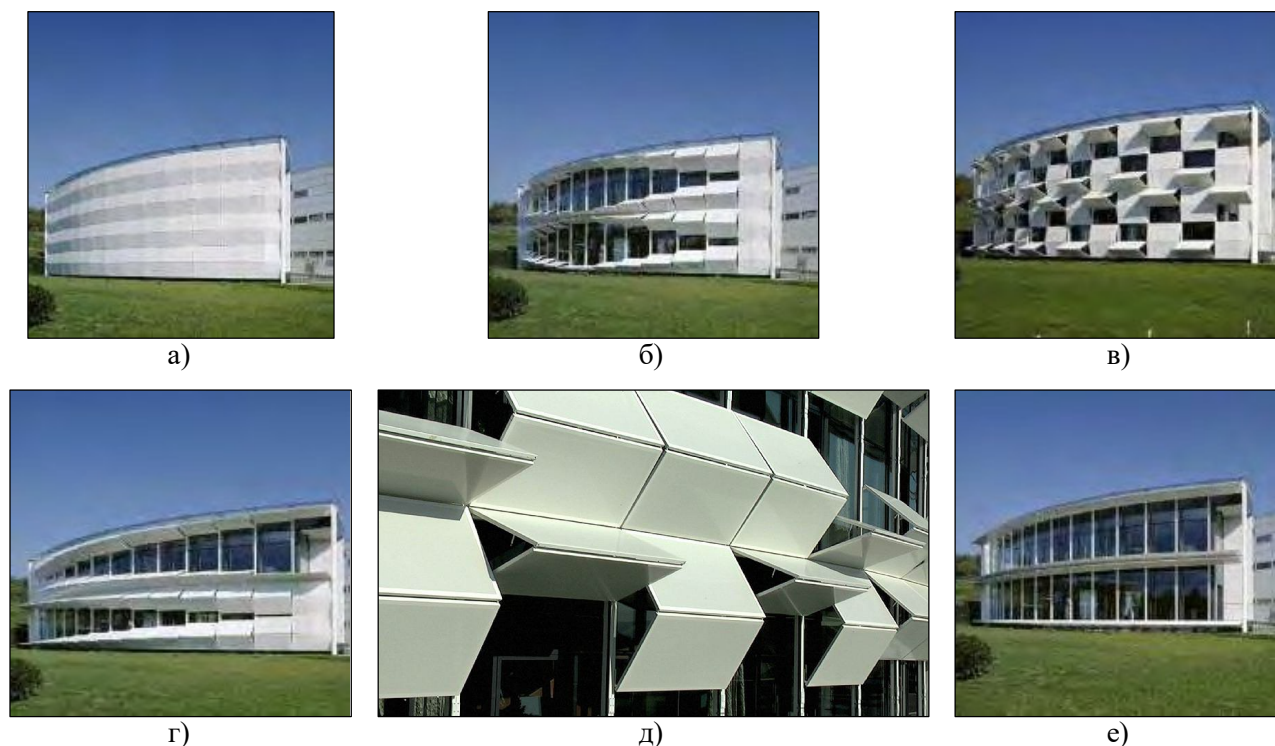
### Выводы

1. Запыленность жилой застройки определяется прежде всего внутригородским пылепереносом, обусловленным проникновением на территорию города внешних запыленных ветровых потоков или подъемом в воздух пыли, находящейся на территории самой застройки;

2. Полученные закономерности изменения скорости вблизи обтекаемой жилой застройки позволяют перейти к изучению давления и определения аэродинамических коэффициентов пылепереноса;

3. Защита от микропылепереноса должна обеспечиваться на территории жилой застройки города и на крышах зданий. Применение кинетических технологий фасадов способствует оптимальной адаптации жилища к жарким и запыленным климатическим условиям.

4. Предлагаемый способ создает реальную возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.



**Рис. 5.** Варианты трансформации кинетического фасада здания Kiefer Technic (архитектурная студия Ernst Giselbrecht + Partner, Австрия).

*Финансирование.* Работа выполнена за счет собственных средств авторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Стеценко С.Е. 2007. Учет фактора запыленности в формировании городской застройки. Автореферат дисс. канд. тех. наук. М. 223 с.
- Евгеньев И.Е. 1980. Защита окружающей среды при строительстве автомобильных дорог // Обзорная информация ВПТИТрансстроя Минтрансстроя СССР. Вып. 1. М. 45 с.
- Карамышев В.А. 1975. Город строится в пустыне. Алма-Ата: Казахстан. 128 с.
- Киялбаев А.К., Рахатов С.З., Джакешиов К.С. 2006. Теоретические предпосылки образования запыленности воздуха в городах и притрассовых зонах населенных пунктов // Вестник КаздорНИИ Алматы. № 3-4 (12). С. 68-72.
- Константинова З.И. 1981. Защита воздушного бассейна от промышленных выбросов. М.: Стройиздат. 104 с.
- Кратцер П.А. 1958. Климат города. М.: Изд-во иностранной литературы. 239 с.
- Махонько К.П. 1968. Возникновение ветрового переноса пыли над подстилающей поверхностью. Обнинск: Изд-во ГМЦ СССР. 60 с.
- Миронов А.А., Евгеньев И.Е. 1986. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды. Томск: Изд-во Томского университета. 284 с.
- Реттер Э.В. 1969. Моделирование при изучении микроклимата зданий и их комплексов // Климатическое районирование для проектирования жилищ. М. 113 с.
- Романов Н.Н. 1970. Пыльные бури в Средней Азии. Ташкент. 345 с.
- ШНК 2.07.01-03. 2009. Градостроительство. Планирование развития застройки территорий городских и сельских населенных пунктов.
- Шукуров И.С., Ахмед Эламин М.А. 2016. Влияние Голубого и Белого Нила на градоэкологию прибрежных урбанизированных территорий Хартума // ПГС. № 3. С. 15-19.
- Янин Е.П. 2003. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ. 82 с.
- Shukurov I.S., Majorzadehzahiri A. 2020. Dustiness and Aerodynamics of Air in Central Asian Cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 753. Ch. 3. P. 042013.