

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ДЕФЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ТУРКМЕНИСТАНА

Мазуров Г.И., Дурдыбаев Р.А., Швец В.О.

Российский государственный гидрометеорологический университет

В статье перечисляются природные и техногенные факторы, определяющие возникновение пыльных бурь. Предлагается количественная оценка влияния на дефляцию мощных нисходящих и восходящих потоков воздуха, сопровождающих полет вертолета вблизи земной поверхности. Анализируются экологические последствия пылепереноса.

Роль пыльных бурь и смерчей природного происхождения в изменении (ухудшении) состояния подстилающей поверхности показано в монографии [14] почти 40 лет назад. В настоящее время подобные явления развиваются под влиянием деятельности практически всех видов транспорта. Поэтому эти явления следует отнести к техногенным факторам. Особенно в этом плане преуспевают вертолеты, выполняющие полеты вблизи необорудованной подстилающей поверхности, а также современный наземный транспорт [4] и тем более в будущем — высокоскоростной.

Пыльные и песчаные бури приводят к загрязнению воздуха. Концентрация пыли в них может достигать 13 г/м^3 [13]. Это вызывает затруднение дыхания и ориентирование на местности, приводит к ухудшению самочувствия людей, попаданию пыли в глаза, преждевременному износу техники и даже невозможности ее эксплуатации, а также массу других отрицательных последствий.

Возникновению пыльных бурь способствует 3 основных фактора: скорость ветра, отсутствие осадков или их малое количество и состояние подстилающей поверхности. Первые два фактора зависят от аэросиноптической обстановки и являются чисто циркуляционными. В статье [6] анализируется повторяемость пыльных бурь в Туркменистане за период с 1936 по 1996 год. Нами этот ряд продолжен на 10 лет до 2006 года.

На (рис. 1) четко прослеживается резкая изменчивость их повторяемости от года к году. Это можно объяснить чисто метеорологическими условиями, возникающими за счет изменения форм циркуляции. Она может приводить к резкому изменению количества выпадающих атмосферных осадков и изменению скорости ветра.

При скорости ветра 4-6 м/с и сухой, мелкозернистой подстилающей поверхности поднимаются в воздух небольшие очаги пыли. При дальнейшем увеличении скорости эти очаги объединяются в потоки шириной 3-5 км. Они, в свою очередь, расширяясь, сливаются в более мощные потоки пыли и песка. Вверх эти потоки распространяются до высоты от сотен метров до 8-10 км.

Так, при скорости ветра более 30 м/с отмечен случай, когда на каждый гектар земной поверхности выпало 20-30 т. пыли [13]. Она может засыпать сельскохозяйственные посевы, изменять состояние подстилающей поверхности и в целом ухудшать экологическую обстановку. Сильные пыльные бури («черные») отмечаются поздней весной в Краснодарском крае. При этом они наблюдаются в течение нескольких суток, ослабевая в ночные часы.

В итоге частицы пыли достигают уровня тропопавузы (10-12 км). Это ухудшает дальность видимости и затрудняет пилотирование летательных аппаратов (ЛА). Обычно суточный ход пыльных бурь совпадает с суточным ходом скорости ветра, который определяется изменением температуры воздуха и подстилающей поверхности в течение суток. Поэтому днем скорость усиливается и развиваются пыльные бури.

На графике (рис. 2А) показан суточный ход повторяемости пыльных бурь [6]. Он сравнивался с суточным ходом скорости ветра в некоторых пунктах Туркменистана (рис. 2Б). При этом прослеживается четкое совпадение: максимум названных явлений отмечается в полдень. Это совпадение интересно тем, что осреднение по пыльным бурям произведено за период 1936-1996 гг., а по скорости ветра за период с 1996 по 2006 год. При этом прослеживается совпадение в большинстве пунктов усиления скорости ветра с повышенной повторяемостью пыльных бурь.

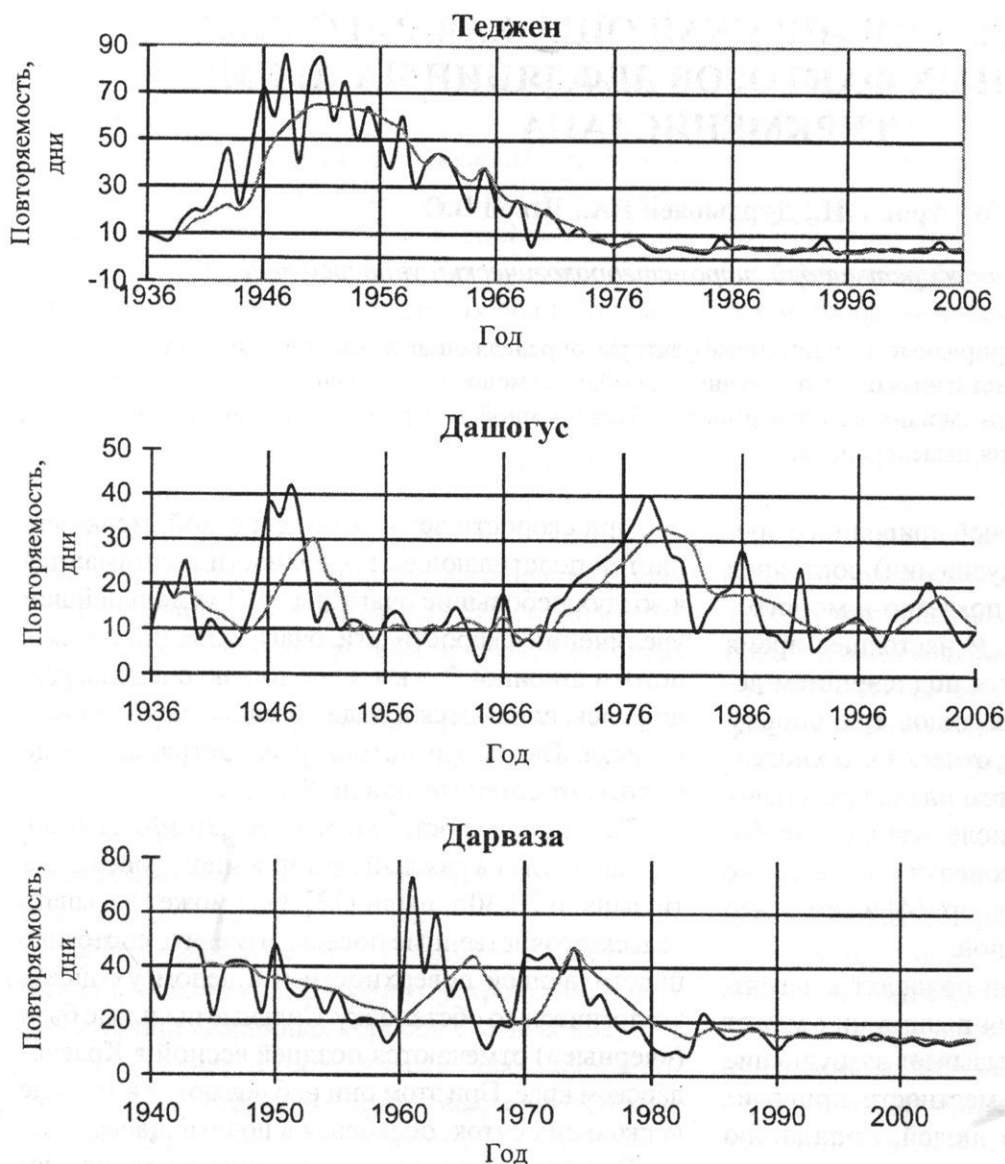


Рис. 1. Межгодовая изменчивость повторяемости числа дней с пыльными бурями: темная линия – годовое число дней, светлая линия – пятилетние скользящие средние.

Рассмотренные 2 фактора в настоящее время по существу не подвластны человеку. С целью уменьшения интенсивности и повторяемости пыльных бурь человечество может воздействовать

оценить роль нисходящих и отраженных от земли восходящих потоков у вертолетов в провоцировании пыльных бурь и смерчей над сухой песчаной и пыльной поверхностью без растительности [3].

Таблица

Изменение некоторых характеристик воздушных потоков в 3-х сечениях по высоте вблизи вертолета типа Ми-6 в режиме висения на высоте около 100 м.

Высота, сечения	Направление потоков	W, м/с	R, м	ρ , кг/м ³	P, кВт
100 м	Нисходящие	30	17,5	1,2	1,5 x 10 ⁴
10 м	Нисходящие	15	60	1,2	1,4 x 10 ⁴
10 м	Восходящие Отраженные	10	125-90	1,2	1,3 x 10 ⁴

Примечание к таблице:

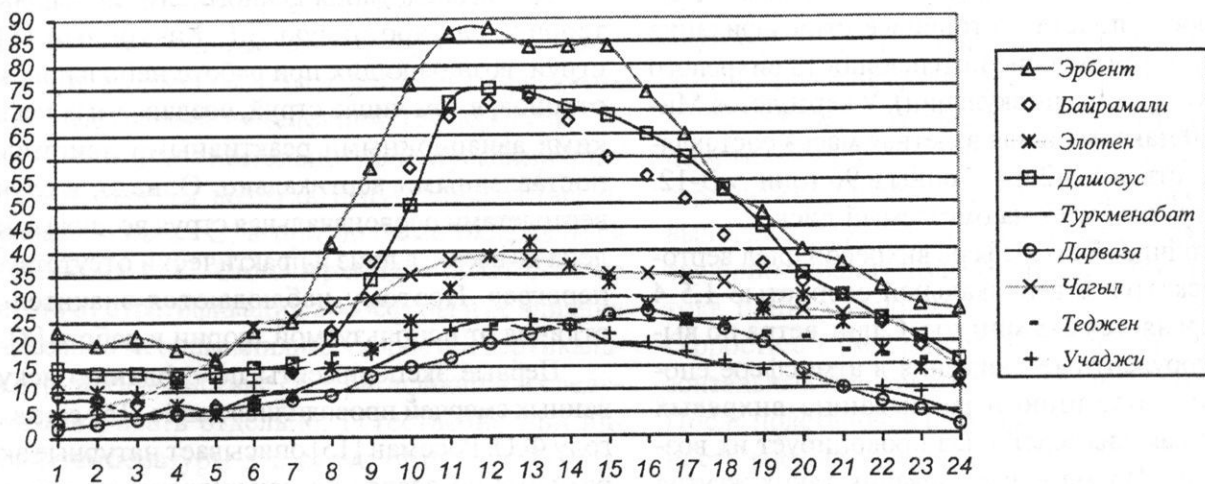
На рис. 3а на площади, ограниченной разностью радиусов (90-60 м) при зависании вертолета на высоте около 100 м наблюдаются горизонтальные движения ветра, обладающие метательным действием (сальтация). При других высотах зависания размеры зон изменяться. При горизонтальном полете все зоны деформируются (рис. 3б).

только на третий фактор (состояние подстилающей поверхности). Это может выражаться в увеличении количества насаждений деревьев и увеличении растительного покрова и в увлажнение почвы путем мелиорации (на рис. 1 в Теджене за счет этого прослеживается уменьшение повторяемости пыльных бурь с 1960-х годов), а также асфальтирования и бетонирования поверхности. Последние относятся к взлетно-посадочным полосам ЛА тяжелее воздуха типа самолетов и ракет. Вертолеты во многих случаях выполняют взлет и посадку на неподготовленную поверхность, а также выполняют полеты около земной поверхности. Поэтому сопровождающие их мощные потоки могут приводить к подъему пыли и песка.

У вертолетов нисходящие и восходящие потоки в режиме висения напоминают картину аналогичных потоков в зоне смерча и торнадо [2.11].

Считаем актуальным

А)



Б)

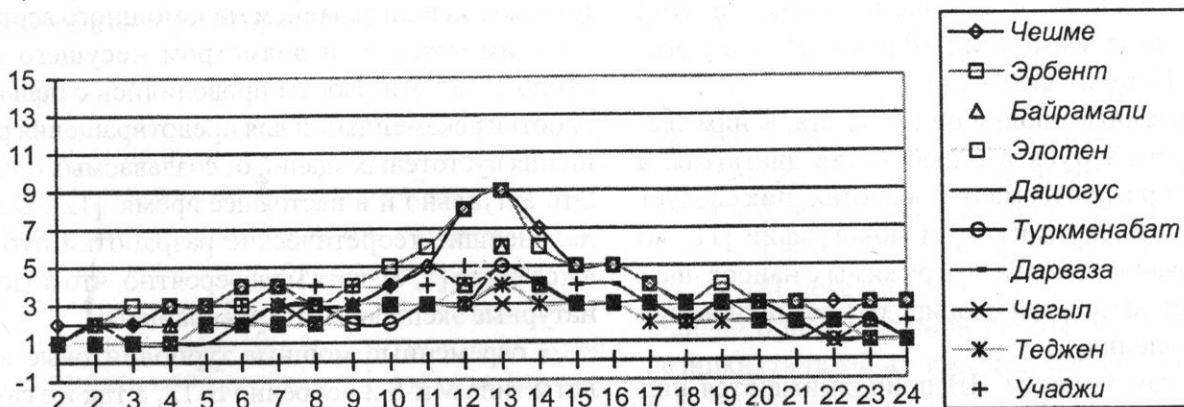


Рис. 2. Сравнение суточных ходов пыльных бурь (А) и скорости ветра (Б) в некоторых пунктах Туркменистана.

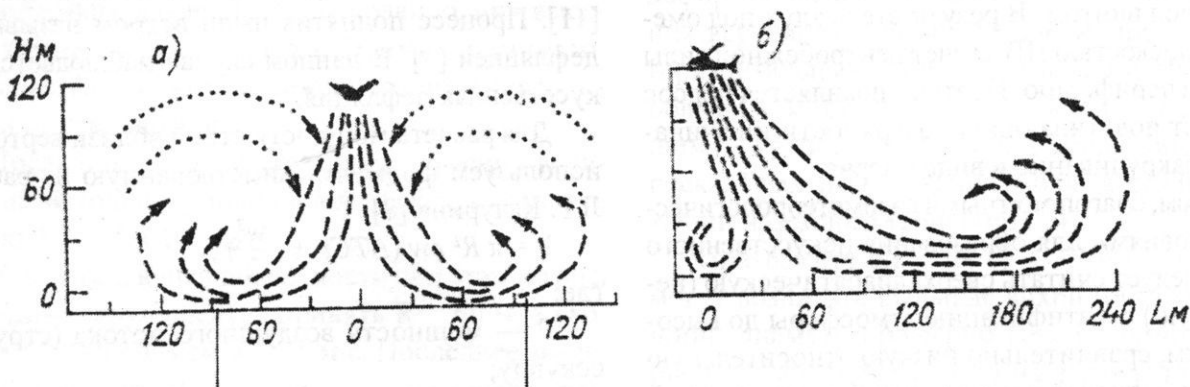


Рис. 3. Схема циркуляции воздуха вблизи тяжелого вертолета в режиме висения (а) и при скорости полета $V=10$ км/ч на высоте около 100 метров (б).

Такие потоки возникают вблизи тяжелых вертолетов и загрязняют воздух пылью особенно при эволюциях на предельно малых высотах (рис. 3).

В целом следует рассматривать три режима работы вертолетов:

1. Режим косоугольного обтекания, то есть установившийся горизонтальный полет. В этом случае вряд ли возникающий аэродинамический спутный след

[9,10] будет оказывать влияние на существующую пыльную бурю, тем более на ее возникновение. Эшелон полета можно выбрать выше нее, по крайней мере на удалении от подстилающей поверхности, хотя пространственное ориентирование будет затруднено.

Из аэродинамики известно, что интенсивность вихревого следа зависит от нагрузки на ометаемый

диск несущего винта (НВ), воздушной скорости полета вертолета [1] и стратификации атмосферы. Чем больше нагрузка на диск НВ, меньше воздушная скорость полета, устойчивее стратификация атмосферы, тем больше интенсивность вихревого следа (размер зоны циркуляции). У вертолетов Ми-6 и Ми-10 максимальная взлетная масса составляет соответственно 42 и 43 тонны и 96 тонн у В-12. Такая нагрузка будет на ометаемый диск.

В устойчивой атмосфере вихревой след вертолета опускается с вертикальной скоростью 1,5-4 м/с и сохраняется 2-3 минуты. Сдвиг ветра по высоте и турбулентные движения в атмосфере способствуют затуханию и размыванию вихревых жгутов, а сам вихревой след провоцирует их возникновение. Время существования таких жгутов значительно увеличивается, когда вертолет выполняет полет на высоте 2-3 диаметра НВ. Диаметр НВ вертолетов Ми-6 и Ми-10 равен 35 м, а у вертолета В-12 таких винта два.

2. Приземные эволюции вертолета. К ним следует отнести запуск и опробование двигателя, а также его прогрев на малых оборотах. Как следует из работ Н.Е. Жуковского и монографии [11] по моделированию смерча, эти режимы с наибольшей вероятностью могут провоцировать возникновение данного явления.

При этом лопасти НВ приподнимаются под влиянием центробежной силы и принимают горизонтальное положение. В итоге подъемная сила еще мала, т. е. практически еще нет нисходящих потоков под винтом. В результате воздух под ометаемой плоскостью НВ за счет центробежной силы уходит на периферию. Поэтому появляется подсос воздуха от подстилающей поверхности и начинается его закручивание в виде смерча.

В целом, благоприятными аэрометеорологическими условиями для образования искусственного смерча следует считать сверхадиабатическую (неустойчивую) стратификацию атмосферы до высоты 3—5 км, сравнительно низкую относительную влажность, сильный перегрев сухой подстилающей поверхности, а часто и наличие мезоструй ветра в нижней тропосфере. Околоземные и наземные эволюции вертолета в таких условиях в малоградиентном барическом поле могут стимулировать возникновение смерча.

3. Режим руления, подлетов, зависания, взлеты и посадки на неподготовленные площадки без растительного покрова как по вертолетному (вертикально), так и по самолетному (с разбегом или

пробегом). Это происходит непосредственно вблизи земной поверхности.

Для исследования данного случая используем теорию, разработанную Л.Г. Качуриным [8] для струй, возникающих при работе небольших метеотронов, в том числе струй, создаваемых несколькими авиационными реактивными двигателями, поставленными вертикально. Однако, в случае с вертолетами первоначальная струя воздуха направлена не вверх, а вниз и практически отсутствует ее перегрев. Поэтому наблюдаются значительные отличия от используемой теории в работе [8].

Первые эксперименты по созданию искусственных смерчей проводились давно. Так еще в 1957 году Ф.О. Россман [15] описывает натурные эксперименты по созданию искусственных смерчей и пыльных бурь над пустынями и песчаной поверхностью с использованием маломощного вертолета с одним мотором и диаметром несущего винта около 10 м. Эти работы проводились с целью выработки рекомендаций для предотвращения разрушения пустотелых зданий от создаваемых смерчей. Это актуально и в настоящее время. [12]. Однако, дальнейшие теоретические разработки публикуются редко [5, 7], хотя маловероятно, что подобные натурные эксперименты прекращены.

Современные мощные турбовинтовые вертолеты типа Ми-6 и особенно В-12, а так же самолеты с вертикальным взлетом, элементарно поднимают не только пыль и песок вверх при сухой подстилающей поверхности, но и мелкие камни [11]. Процесс поднятия пыли ветром называется дефляцией [3]. В данном случае наблюдается искусственная дефляция.

Для расчета мощности струй вблизи вертолета используем формулу, заимствованную из работы Л.Г. Качурина [8]

$$P = \pi R^2 \rho w (\Delta T C_p + \frac{w^2}{2}), \quad (1)$$

где:

P — мощность воздушного потока (струй) в секунду;

R — радиус потока;

w — вертикальная скорость потока;

ρ — плотность воздуха;

ΔT — перегрев потока (струи);

$C_p = 1005$ Дж/(кг К) — удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении.

Поскольку вероятность возникновения пыльных бурь увеличивается с увеличением мощности двигателей и уменьшением высоты висения, то используем наиболее мощные вертолеты с радиу-

сом несущего винта $R_0 = 17,5$ м. Высоту висения по рис. 3 примем $H \approx 100$ м.

В связи с тем, что перемещение потоков воздуха происходит в пределах 100 м, а в некоторых случаях и того меньше, то для простоты расчетов можно пренебречь изменением температуры, то есть $\Delta T \rightarrow 0$. Действительно, при опускании вниз на 100 м объемы воздуха будут адиабатически нагреваться на 1°C , а при подъеме охлаждаться примерно на 1°C . Силы Архимеда будет больше зависеть от стратификации атмосферы и ее влияния значительно меньше влияния скоростей вертикальных струй. Воздействие со стратификацией следует рассматривать отдельно. Естественно при инверсии температуры эти струи будут ослабевать, но она может разрушаться под их влиянием. В итоге получается после пренебрежения первым слагаемого в формуле (1) в скобке следующая формула:

$$P = \pi R^2 \rho \frac{w^2}{2}, \quad (2)$$

где обозначения букв те же.

В примерах, рассмотренных в работе [8] наоборот производится пренебрежение вторым слагаемым, так как скорость потока принимается в 1 м/с, а контраст температур в 100°C .

В пределах слоя 100 м, плотность воздуха можно принять постоянной $\rho = 1,2$ м³, так как при дозвуковых скоростях воздух принимается за несжимаемую жидкость. Кроме того, пыльные бури обычно возникают при пониженных значениях атмосферного давления и, как правило, при высоких температурах воздуха. Этими причинами объясняется принятие пониженного значения плотности от стандартного.

После подстановки указанных значений величин на исходном уровне около 100 м мощность потока $P = 1,5 \times 10^4$ кВт.

У подстилающей поверхности при этом по рис. 3а радиус струи следует принять $R = 60$ м, а скорость потока примем $w = 15$ м/с. Последнее значение зависит от высоты висения вертолета: чем высота меньше, тем скорость потока будет больше. Однако уменьшится радиус струи. После подстановки указанных значений величин у подстилающей поверхности получаем мощность струи $P = 1,4 \times 10^4$ кВт. Такое уменьшение мощности струи на нижнем уровне естественно за счет внутреннего трения воздушных потоков и вязкости воздуха.

Отраженный восходящий поток от подстилающей поверхности будет иметь площадь ограниченную радиусами R (внешний) и r (внутренний). По

рис. 3а их можно оценить так: $R \approx 125$ м и $r \approx 90$ м. Между этими радиусами на расстоянии 60 и 90 м наблюдаются горизонтальные потоки. Они обладают метательными действиями, то есть переносом по горизонтали (сальтация [3]). Чем ниже будет висеть вертолет, тем меньше будут эти радиусы. У подстилающей поверхности их разность будет стремиться к нулю. Площадь «бублика» (кольца) вычислялась как разность площадей со соответствующими радиусами. Скорость восходящего потока принималась $w \approx 10$ м/с. Это уменьшение скорости с 15 м/с можно объяснить трением горизонтальных потоков о подстилающую поверхность. После подстановки перечисленных значений мощность восходящего потока $P = 1,3 \times 10^4$ кВт. Такое уменьшение допустимо за счет различных потерь и приближенности оценки. По рис. 3а видно, что отраженные потоки при зависании на высоте $H = 100$ м практически достигают уровня висения вертолета. Результаты расчета для 3-х сечений сведены в таблицу.

Сравнение полученных значений мощности потоков от вертолета, с мощностью струи, рассчитанной для нескольких двигателей самолетов в работе [8] показывает, что они в 10 раз меньше. Однако при длительной работе вертолета может возникнуть такой же эффект, как при одновременной работе нескольких авиационных двигателей современных самолетов.

На рис. 3б рассмотрены потоки, несколько деформированные за счет горизонтального движения вертолета, однако увеличена протяженность горизонтальных потоков с 60 до 180 м. Именно они обладают метательным действием, способствующему горизонтальному перемещению пыли и песка. Такое перемещение наблюдается и при движении наземного транспорта [4].

При высоте висения $H < 35$ м (диаметр НВ) могут возникать пыльные вихри (рис. 4). Их внешний диаметр примерно равен диаметру НВ, а пыль может быть поднята на высоту до 70 м. На этих высотах, как правило, наблюдаются повышенные скорости ветра, чем у земли и они могут подхватывать приподнятую пыль, создавая местную пыльную бурю в более раннее время. Поэтому ее следует отнести к антропогенному происхождению. Кроме того, продолжительное висение вертолета приводит к разрушению тонких приземных (100 и даже 200 м) и низких приподнятых инверсий температуры той же мощности. В итоге стратификация всего пограничного слоя атмосферы может

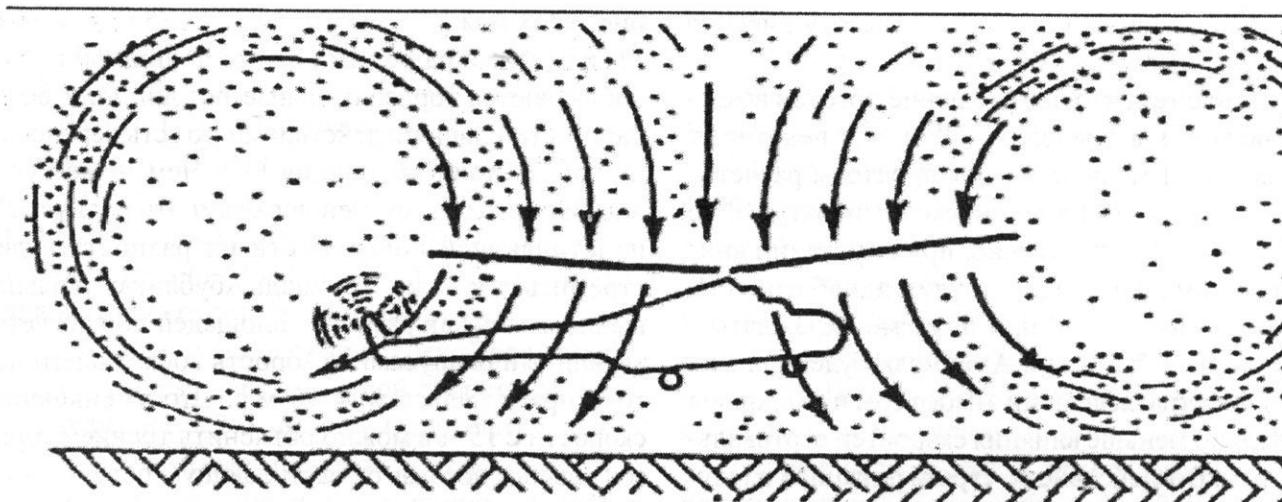


Рис. 4. Схема образования пыльного вихря в режиме висения ($V_y=0$)

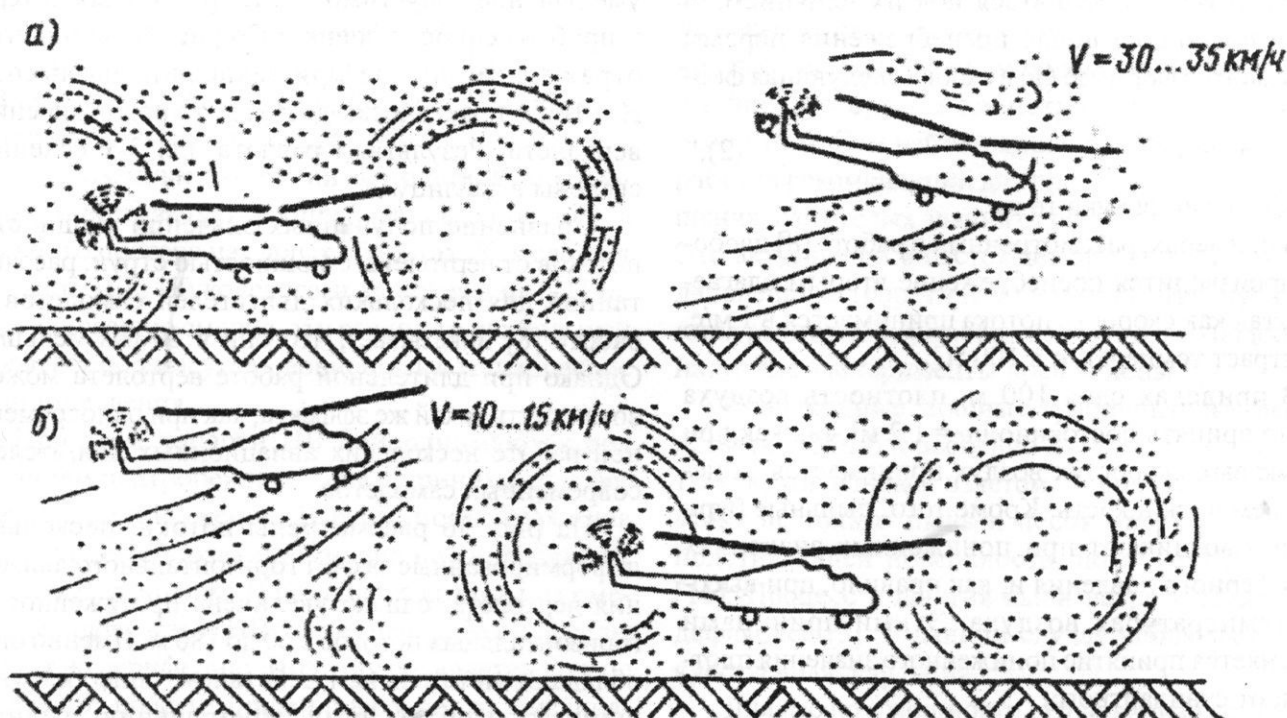


Рис. 5. Эволюция пыльного вихря в динамике при взлете (а) и при посадке (б) вертолета

стать неустойчивой. Это будет способствовать более раннему возникновению бурь.

На рис. 5 показана схема эволюции пыльного вихря при взлете и посадке. Из рис. 4 и 5 видно, что циркуляция пыли происходит по замкнутому кольцу до высоты двух диаметров НВ (70 м), где скорости ветра больше, чем у земли.

В заключение можно сделать некоторые выводы:

1. Дефляционные процессы в Туркменистане, а также возникновение пыльных бурь значительно ухудшают экологическую обстановку по крайней мере локальную.

2. Тяжелые вертолеты своими мощными потоками при совершении околоземных эволюций

могут способствовать более раннему развитию неустойчивости пограничного слоя атмосферы, а следовательно более раннему возникновению пыльных бурь и смерчей. Для развития последних наиболее опасен режим опробывания и запуска двигателей вертолета. В размытом барическом поле, то есть при слабом ветре развитие названных явлений будет протекать более неожиданно и интенсивно. При этом они разрушают приземные и приподнятые инверсии и способствуют более раннему развитию неустойчивости пограничного слоя атмосферы. Смерчи относятся к катастрофическим процессам, способным переносить значительное количество твердого вещества с дальнейшим его перетолжением.

3. При посадке и взлете вертолетов в условиях проведения военных действий возможно перемещение загрязняющих веществ в пылевой форме, что может стать причиной формирования патогенных геохимических аномалий в проповерхностных отложениях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Алаян О.М.* Аэродинамика и динамика полета вертолета / О.М. Алаян, В.Ф. Ромашевич, В.С. Совчиненко; под ред. А.М. Загордана. — М.: Воениздат, 1973. — 446 с.

2. *Борисенко М.М.* Торнадо, смерчи, тромбы: ж. Человек и стихия. — Л.: Гидрометиздат, 1986. — С. 56-61.

3. *Бютнер Э.К.* Динамика приповерхностного слоя воздуха / Э.К. Бютнер — Л.: Гидрометиздат, 1978. — 158 с.

4. *Горохольская В.З.* Синоптические процессы и явления погоды, влияющие на деятельность наземного транспорта в республике Башкортостан / В.З. Горохольская // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. — М., 2007. — 22 с.

5. *Госсард Э.Э.* Волны в атмосфере. Э.Э. Госсард, У.Х. Хук; под ред. Г.С. Голицина. Перевод с английского. — М.: Мир, 1978. — 301 с.

6. *Дурдыев А.М.* О пыльных бурях в Туркменестане / А.М. Дурдыев, Н.С. Орловский, Л.Г. Орловская // Материалы межд. науч. конф. — «Проблемы освоения

пустынь» — Ашхабад: Изд-во Туркменской АН. — №4. — 2002. — С. 45-49.

7. Интенсивные атмосферные вихри. / под ред. Л. Бенгтссона, Дж. Лайтхилла. Перевод с англ. Е.М. Добрышмана. — М.: Мир, 1985. — 291 с.

8. *Качурин Л.Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы: уч. для вузов / Л.Г. Качурин Л.: Гидрометеиздат. 1990. — 464 с.

9. *Кибардин Ю.Н.* Физика спутного следа / Ю.Н. Кибардин, И.А. Киселев.: ж. Авиация и космонавтика. — №3. — М.: Воениздат, 1978. — С. 26-27.

10. *Ларин А.В.* Вихревой след за вертолетом. — Ларин А.В.: ж. Авиация и космонавтика. — №4. — М.: Воениздат, 1976. — С.

11. *Мазуров Г.И.* Метеорологические условия и полеты вертолетов / Г.И. Мазуров, В.Н. Нестерук СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 256 с.

12. *Мазуров Г.И.* Анализ возможных причин разрушения аквапарка «Трансвааль-парк» / Г.И. Мазуров, О.Г. Мазурова // Новые исследования в материаловедении и экологии. — Вып. 5. Сб. научных статей Петербургского гос. университета путей сообщения. СПб.: — 2005. — 65-70 с.

13. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы: учеб. для вузов / Л.Т. Матвеев. — СПб.: Гидрометиздат, 2000. — 778 с.

14. *Наливкин Д.В.* Ураганы, бури и смерчи / Д.В. Наливкин. — Л.: Наука. — 1969. — 488 с.

15. *Россман Ф.О.* Некоторые вопросы перехвата торнадо и предохранения зданий от разрушений Ф. О. Россман // Динамика кучевых облаков / под ред. Ч.Э. Андерсона. — М.: Мир, 1964. — С. 290-292.