



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Условия образования туманов в Арктике в теплый период»

Исполнитель Малькова Екатерина Витальевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Лаврова Ирина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«29» мая 2025г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
1. Особенности климата Арктики.....	4
2. Формирование баз данных по туманам.	7
3. Анализ распределения туманов по акватории морей по месяцам, суточного хода и интенсивности по судовым данным. Анализ годового хода повторяемости туманов, суточного хода, интенсивности туманов по береговым станциям.	12
4. Условия формирования туманов. Анализ розы ветров при туманах по метеорологическим станциям и районам. Анализ повторяемости туманов при разности температур «вода-воздух», относительной влажности.....	20
5. Анализ синоптических ситуаций при различных типах туманов.	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А	45
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	62

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность этой выпускной квалификационной работы заключается в необходимости исследования территорий и климата арктического региона и заполярья. Северные районы играют важную роль в экологических процессах, так как они являются индикаторами глобальных природных изменений, в частности, изменений климата. Эти зоны остаются недостаточно изученными, но содержат множество ценных ресурсов, что не может не вызывать интерес. Очевидно, для эффективного использования этих ресурсов необходимо обладать значительными знаниями о данных территориях. Кроме того, глобальные тенденции изменения климата и высокая чувствительность Арктики к изменениям различных параметров подчеркивают важность исследования климата и погоды в этом регионе.

Туманы в Арктике – частое явление, особенно в теплое время года. Одной из главных особенностей туманов в этот период является их высокая плотность и устойчивость, что может затруднять навигацию, т.е. туманы становятся опасны для судов и авиации. Также стоит отметить, что туманы могут замедлять таяние льда – туман отражает солнечные лучи, снижая температуру поверхности.

Предметом исследования являются условия и особенности образования туманов над территорией морей Российской Арктики в теплый период.

Цель работы: изучение условий образования туманов над акваторией морей Российской Арктики в теплый период по судовым и береговым данным наблюдений.

Задачи:

1. Проанализировать распределение туманов по сезонам по акватории морей Российской Арктики и их береговой линии;

2. Проанализировать условия образования туманов при различной скорости и направлениях ветра, температуре и влажности воздуха над акваторией Арктических морей и на береговых станциях;
3. Оценить повторяемость типов туманов для морей Российской Арктики;
4. Рассмотреть характерные синоптические ситуации при формировании туманов для рассматриваемого региона.

Данная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Во введении отражена актуальность, определены цели и задачи исследования. Первая глава посвящена особенностям климата Арктики в целом и для морей, относящихся к Российской Арктики, а именно: Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море. Во второй главе описано формирование базы данных туманов по судовым и береговым наблюдениям для акватории морей Российской Арктики. Третья глава выпускной квалификационной работы посвящена анализу особенностей и закономерностей образования туманов над акваторией Российской Арктики. В четвертой главе описаны условия формирования туманов в зависимости от скорости и направления ветра, а также в зависимости от разности температур вода-воздух, относительной влажности. В пятой главе анализируются синоптические ситуации при различных типах туманов. В заключении приведены итоги исследования и анализа всех рассмотренных условий образования туманов. С целью выявления характерных закономерностей в работе проведен расчет повторяемости туманов при различных метеорологических условиях в различные сезоны, проанализированы результаты и дана оценка. Для анализа в работе был использован массив данных Национального Климатического Центра Данных (NCDC) США и данные по береговым станциям базы данных с сайта ВНИИГИ-МЦД.

1. Особенности климата Арктики.

Арктика — обширный регион, расположенный вблизи Северного полюса. В его состав входят северные окраины Евразии и Северной Америки, а также значительная часть акватории Северного Ледовитого океана и некоторые территории Атлантического и Тихого океанов. Восемь стран мира имеют свои владения в Арктике: Россия, США, Канада, Дания, Норвегия, Исландия, Финляндия и Швеция. Российская часть Арктики занимает порядка 20 миллионов квадратных километров и простирается на девять субъектов Федерации. Южная граница региона обычно проходит по зоне тундры, хотя иногда его определяют по Северному полярному кругу. Для Арктики характерны суровые и своеобразные природные условия, при этом климат варьируется в зависимости от конкретной территории [1].

Арктика представляет собой уникальную климатическую зону, где экстремальные условия формируются под влиянием целого ряда факторов. Главной особенностью этого региона является крайне слабый солнечный прогрев, обусловленный специфическим углом падения солнечных лучей — из-за наклона земной оси они скользят по поверхности, не обеспечивая достаточного тепла. Кроме того, значительная часть солнечной энергии отражается обратно в атмосферу из-за высокого альбедо снежного и ледяного покрова, что ещё больше усиливает дефицит тепла.

Климат Арктики отличается резким сезонным контрастом: если в период полярного дня солнце не заходит за горизонт, то во время полярной ночи, длящейся от 50 суток в южных районах до 170 дней у полюса, регион погружается в темноту, и температуры достигают минимальных значений. Именно в это время столбики термометров опускаются до рекордно низких отметок, а небо часто озаряется полярными сияниями — результатом взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли.

Осадки здесь крайне незначительные (100-200 мм в год), что позволяет классифицировать Арктику как холодную пустыню.

Арктический климат России становится более холодным в восточном направлении. В районе Баренцева моря прибрежные воды не замерзают весь год. Здесь расположен мурманский морской порт, который принимает суда круглогодично, ледоколы требуются только в самые холодные годы. Зимняя температура редко опускается ниже -10°C , летом $+15+20^{\circ}\text{C}$. Количество осадков 500-550 мм/год [2].

Восточнее Новой Земли становится холоднее. Циркуляция воздуха похожа на муссонную. Зимние воздушные массы поступают из внутренних районов Сибири, поэтому температура опускается до $-25-35^{\circ}\text{C}$, минимальная - $-45-55^{\circ}\text{C}$. Летом преобладают ветры со стороны океана, температура колеблется от -3 до $+5^{\circ}\text{C}$, часты заморозки ($-5-8^{\circ}\text{C}$), сопровождающиеся снегопадами. Количество осадков 150-200 мм/год. Прибрежные воды освобождаются ото льда на 2-3 месяца, в остальное время для судов требуется помощь ледоколов.

Из-за активной антропогенной деятельности, загрязнения окружающей среды, в Арктике происходят глобальные климатические изменения. Специалисты отмечают, что за 600 последних лет климат этого региона поддавался резким изменениям. За этот период происходило несколько глобальных потеплений. Последний был в первой половине XX века. На изменения климата также влияет скорость вращения планеты и циркуляция воздушных масс. Изменение климата характеризуется повышением среднегодовой температуры, уменьшением площади ледников [3].

Особенности климата Арктики заключаются в низких температурах, недостаточном количестве тепла и света. В таких условиях деревья не растут, только травы и кустарники. На крайнем севере в арктической зоне жить очень сложно, поэтому здесь специфическая деятельность. Люди здесь занимаются научно-исследовательскими изысканиями, добычей полезных ископаемых,

ловлей рыбы. В целом, чтобы выжить в этом регионе, живым существам приходится приспосабливаться к суровому климату.

На море постоянны припайные и дрейфующие льды (около 14–16 млн. км² зимой и 4–8 млн. км² летом). Толщина однолетних льдов до 1,5 м, многолетних – до 3–4 м. Температура воды большей части арктических морей в течение года колеблется от –1,5°C до 1,8°C. В области дрейфующих льдов круглый год температура поверхностного слоя воды (толщиной 100–200 м) около –2 °C. Ледяной покров существенно затрудняет судоходство, навигация возможна (как правило, в сопровождении ледоколов) лишь в течение лета. Площадь дрейфующих льдов в конце летнего сезона (сентябрь) в последние десятилетия сокращается (в 2012 – 3,6 млн. км²) вследствие потепления. Общая площадь оледенения арктической суши около 2125 тыс. км², в российской Арктике 56 тыс. км².

2. Формирование баз данных по туманам.

Данные по береговым станциям были взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД[4]. Всего отобрано 29 станции, относящиеся к Российской Арктике. Список станций с координатами и периодом наблюдений представлен в таблице 2.1 ниже:

Таблица 2.1 – Список береговых станций, использованных в работе

Код станции	Название	Широта	Долгота	Период наблюдений		Море
20046	им. Э. Т. Кренкеля	80,37	58,03	1965	2022	Баренцево
20087	Голомянный	64,38	36,11	1965	2022	Баренцево
20107	Баренцбург	78,04	14,13	1965	2022	Баренцево
20289	Русский	77,11	96,28	1966	1998	Карское
20292	им. Е. К. Федорова	77,42	104,17	1965	2022	Лаптевых
20476	Стерлегова	75,24	88,54	1965	2022	Карское
20667	им. М. В. Попова	73,19	70,3	1965	2022	Карское
20744	Малые Кармакулы	72,37	52,71	1966	2022	Баренцево
20946	им. Е. К. Федорова	70,26	59,5	1966	2022	Карское
21432	Котельный	76	137,53	1965	2022	Лаптевых
21824	Тикси	71,63	128,57	1995	2022	Лаптевых
21931	Юбилейная	70,45	136,1	1995	2022	Лаптевых
21946	Чокурдах	70,37	147,53	1995	2022	Восточно-Сибирское
21982	Остров Врангеля	70,59	178,29	1965	2022	Восточно-Сибирское
22095	Колгуев Северный	69,28	49,23	1965	2022	Баренцево
22113	Мурманск	68,58	33,05	1965	2022	Баренцево
22165	Канин Нос	68,39	43,17	1965	2022	Баренцево
22292	Индига	67,41	48,41	1965	2022	Баренцево
22355	Сосновец	66,29	40,4	1965	2022	Баренцево
22422	Гридино	65,53	34,45	1965	2022	Баренцево
22438	Жижгин	65,12	36,49	1965	2022	Баренцево
22520	Кемь-Порт	64,59	34,47	1965	2022	Баренцево
22550	Архангельск	64,37	40,31	1966	2022	Баренцево
22641	Онега	64,54	38,06	1965	2022	Баренцево
23022	Амдерма	69,47	61,39	1965	2022	Карское
23032	Марресаля	69,42	66,48	1965	2022	Карское
23114	Мыс Константиновский	68,32	55,29	1965	2022	Баренцево
23242	Новый Порт	67,41	72,53	1965	2022	Карское
25034	Амбарчик бухта	69,37	162,18	1965	2022	Восточно-Сибирское

Все станции были разделены по четырем морям: Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море. Меньше всего станций для Восточно-Сибирского моря – три станции Чокурдах (21946), Остров Врангеля (21982) и Амбарчик бухта (25034). Для моря Лаптевых и Карского моря по 4 и 7 станций соответственно. Больше всего береговых станций приходится на Баренцево море, так как оно ближе из всех расположено к европейской части, а именно 15 станций.

Далее станции были нанесены на карту для визуализации их распределения по территории. Результат представлен на рисунке 2.1.

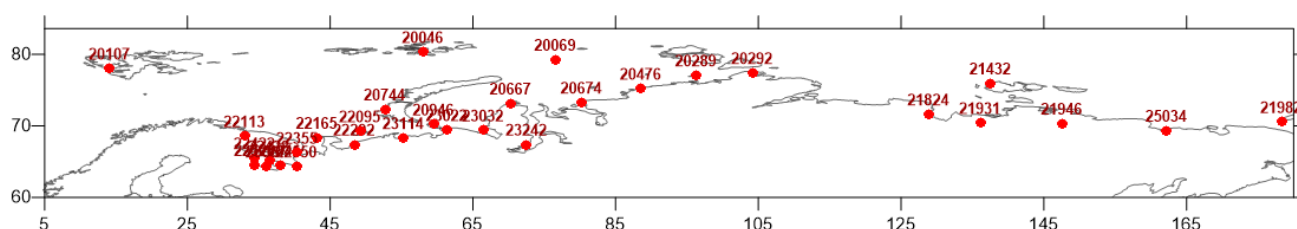


Рисунок 2.1 – Расположение береговых станций на карте

Данные представлены в формате txt и общий объем файлов составил 93,6Мб. В массиве присутствуют следующие параметры:

- Синоптический индекс станции
- Год по Гринвичу
- Месяц по Гринвичу
- День по Гринвичу
- Срок по Гринвичу
- Год по местному времени
- Месяц по местному времени
- День по местному времени
- Срок по местному времени
- Горизонтальная дальность видимости
- Общее количество облачности
- Слоистые и слоисто-кучевые облака

- Погода между сроками
- Погода в срок наблюдения
- Направление ветра
- Средняя скорость ветра
- Максимальная скорость ветра
- Температура воздуха по сухому термометру
- Температура воздуха по смоченному термометру
- Относительная влажность воздуха
- Температура точки росы
- Атмосферное давление на уровне станции
- Характеристика барической тенденции

Данные судовых наблюдений взяты из массива Национального Климатического Центра Данных (NCDC) США [5], который собой представляет архив фактических данных наблюдений с буёв, морских платформ и судов с 1662 года по настоящее время, представленный по 10-градусными квадратами по всей акватории Мирового океана. Данные отобраны за период с 1950 по 2023гг. На рисунке 2.2 представлено распределение количества наблюдений за туманами по акватории Российской Арктики. По этим данным видно, что большая их часть сконцентрирована в западной части в Баренцевом море и вдоль береговой линии, и небольшое количество наблюдений в северной и восточной части моря. Связано это с тем, что северная часть моря большую часть года покрыта льдом.

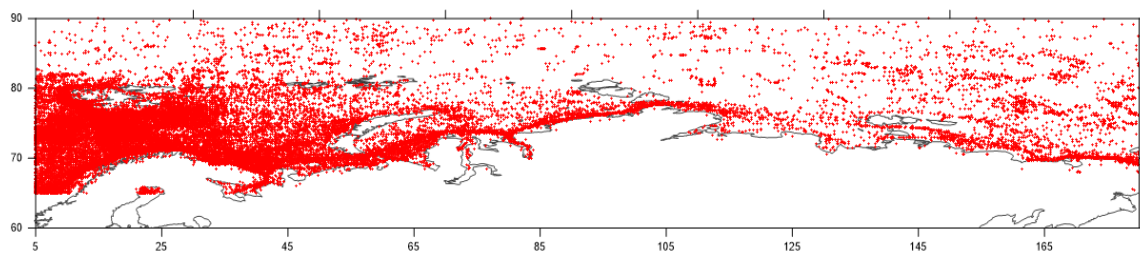


Рисунок 2.2 – Распределение данных судовых наблюдений за туманами по акватории Российской Арктики

Массив судовых данных содержит следующие гидрометеорологические параметры:

- температура сухого и смоченного термометра, точки росы;
- скорость и направление ветра;
- видимость;
- явления погоды;
- атмосферное давление;
- температура поверхности воды;
- количество общей и нижней облачности;
- высота нижней границы облачности;
- тип облачности нижнего, среднего и верхнего ярусов;
- направление, период и высота волнения и зыби;
- ледовые характеристики (тип, скорость роста).

А также дата наблюдения (год, месяц, день, срок), широта и долгота места наблюдения.

Данные представлены в формате txt и общий объем файлов составляет 2,57Гб. Обработка данных проводилась с помощью СУБД MicrosoftAccess и MicrosoftExcel.

3. Анализ распределения туманов по акватории морей по месяцам, суточного хода и интенсивности по судовым данным. Анализ годового хода повторяемости туманов, суточного хода, интенсивности туманов по береговым станциям.

Для анализа туманов над акваторией Российской Арктики в данной работе рассматриваются туманы в теплое полугодие, а именно: май, июнь, июль, август, сентябрь и октябрь. Анализ проводится на основе различных метеорологических параметров таких как, видимость, скорость и направление ветра, относительная влажность и температура воздуха, разница температуры воды и температуры воздуха.

В первую очередь проведен анализ распределения туманов по месяцам. На рисунках 3.1 – 3.4 представлены гистограммы повторяемости туманов по месяцам над акваторией четырех морей. Максимум повторяемости туманов над акваторией Восточно-Сибирского моря, моря Лаптевых и Карского моря приходится на август со значениями 36,2%, 43,6% и 33,9% соответственно. В то время как над акваторией Баренцева моря максимум приходится на июль со значением 32,3%. Такое распределение можно объяснить тем, что климат становится холоднее в восточном направлении, а также прибрежные воды Баренцева моря свободны ото льда в течение всего года, тогда как прибрежные воды восточнее Новой Земли освобождены ото льда только на 2-3 месяца. Минимум повторяемости туманов для трех морей приходится на май со значениями 2,9% для Восточно-Сибирского моря, 1% для моря Лаптевых и 3,5% для Карского моря. Минимум повторяемости туманов в Баренцевом море приходится на октябрь со значением 4%.

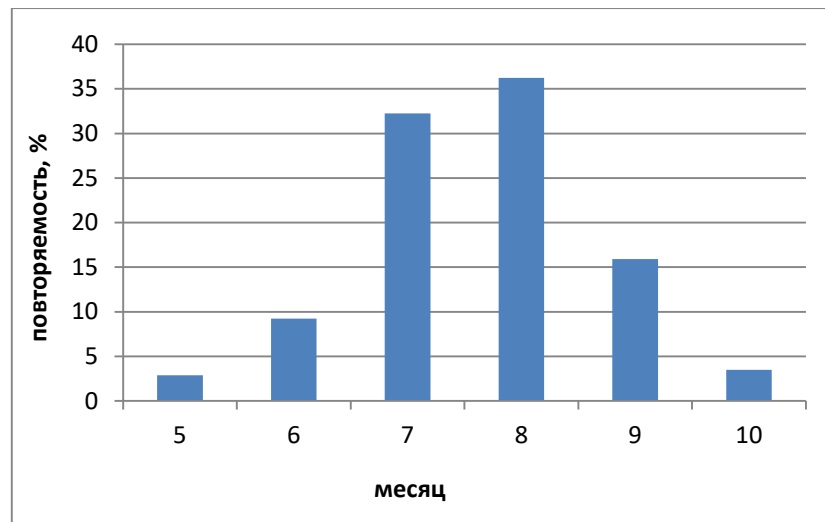


Рисунок 3.1 – Повторяемость туманов по месяцам над акваторией Восточно-Сибирского моря по данным судовых наблюдений

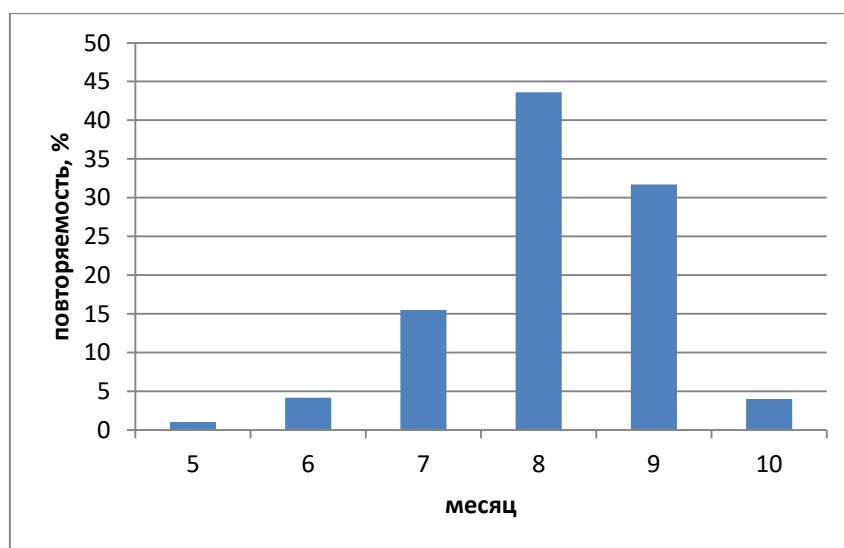


Рисунок 3.2 – Повторяемость туманов по месяцам над акваторией моря Лаптевых по данным судовых наблюдений

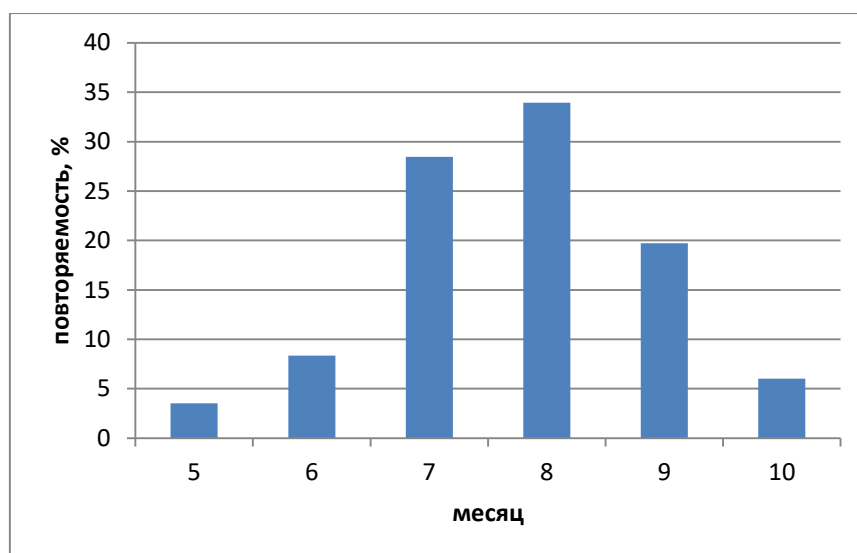


Рисунок 3.2 – Повторяемость туманов по месяцам над акваторией
Карского моря по данным судовых наблюдений

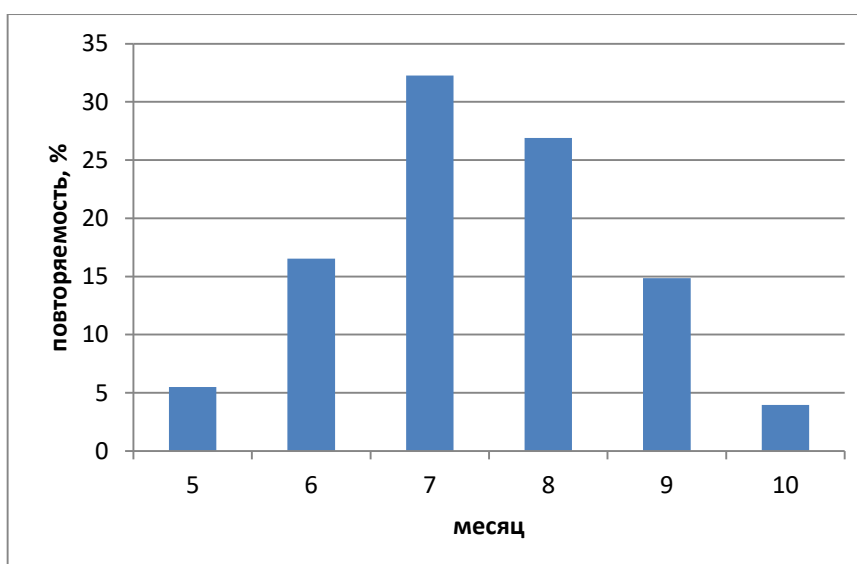


Рисунок 3.2 – Повторяемость туманов по месяцам над акваторией
Баренцева моря по данным судовых наблюдений

Рассматривая повторяемость туманов по сезонам по береговой линии можно отметить, что для большинства станций (19 станций из 29) максимум повторяемости приходится на июль. Однако стоит отметить, что для некоторых станций характерен не типичный ход распределения повторяемости туманов. Для станций 21946 Чокурдах, 22422 Гридино, 22550 Архангельск и 22641 Онега максимум повторяемости приходится на сентябрь. Для станций 20107

Баренцбург и 23242 Новый Порт максимум приходится на июнь, а для станций 20087 Голомянный и 21982 остров Врангеля максимум повторяемости туманов наблюдается в августе. А также на станции 21931 Юбилейная максимум в мае и на станции 22113 Мурманск максимум повторяемости в октябре. Минимум повторяемости туманов для 20 станций из 29 приходится на октябрь. Для станций 20046 им. Э. Т. Кренкеля, 20087 Голомянный и 22113 Мурманск минимум в мае. Для станций 21946 Чокурдах и 22641 Онега минимум приходится на июль, для станций 22422 Гридино и 22550 Архангельск минимум в июне. Для станций 23114 Мыс Константиновский и 23242 Новый Порт минимум приходится на сентябрь и август соответственно. Гистограммы повторяемости туманов по месяцам для каждой станции представлены в приложении А в таблице 1.

Для оценки интенсивности туманов над акваторией для всех месяцев по судовым наблюдениям была рассчитана повторяемость видимости при туманах по градациям (рисунки 3.5 – 3.8): менее 50 м, 50 м, 200 м, 500 м. В целом над всей акваторией Российской Арктики наиболее интенсивные туманы наблюдаются в летние месяцы, а менее интенсивные в мае, сентябре и октябре. Стоит отметить высокое значение повторяемости туманов при видимости <50 м для июля в Карском море, которое составляет 28%, а в Баренцевом море в июне – 12%. В Восточно-Сибирском море и море Лаптевых в течение всего года повторяемость таких туманов не превышает 8%.

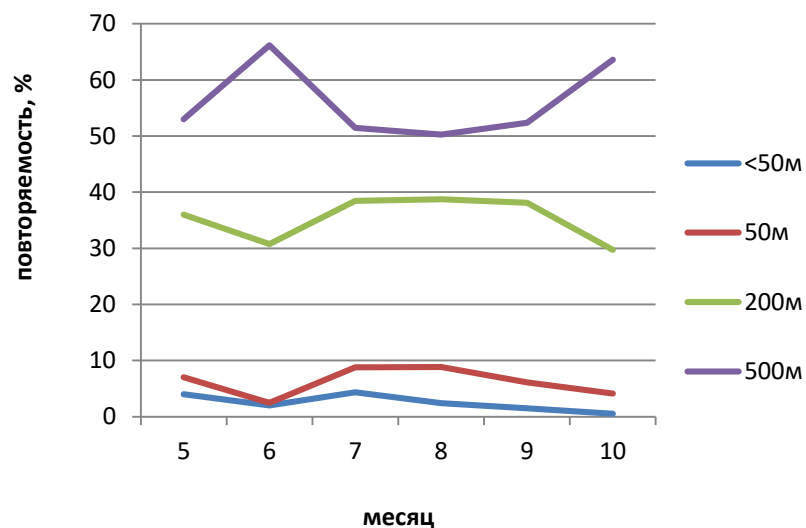


Рисунок 3.5 – Повторяемость туманов при различной видимости над акваторией Восточно-Сибирского моря по судовым наблюдениям, %

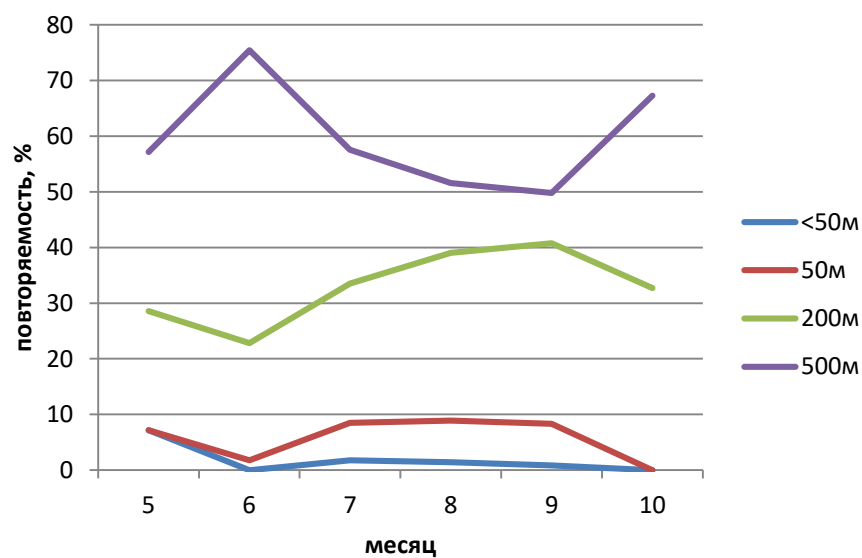


Рисунок 3.6 – Повторяемость туманов при различной видимости над акваторией моря Лаптевых по судовым наблюдениям, %

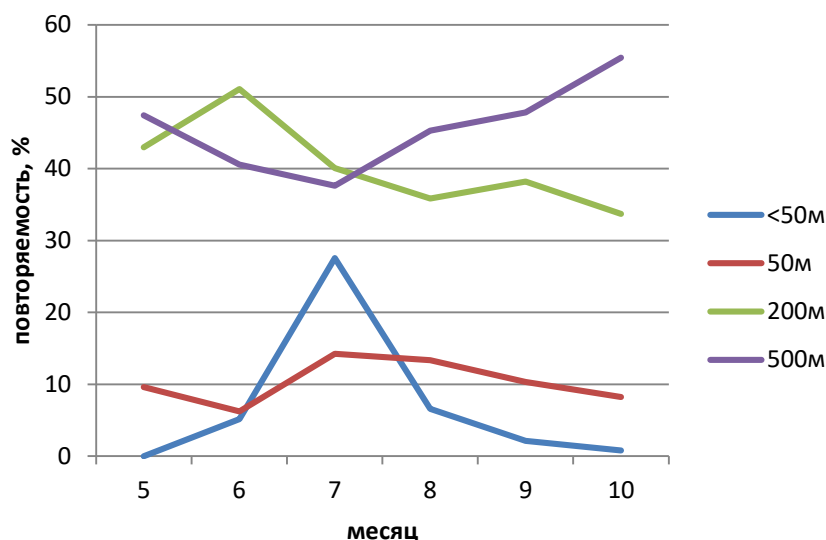


Рисунок 3.7 – Повторяемость туманов при различной видимости над акваторией Карского моря по судовым наблюдениям, %

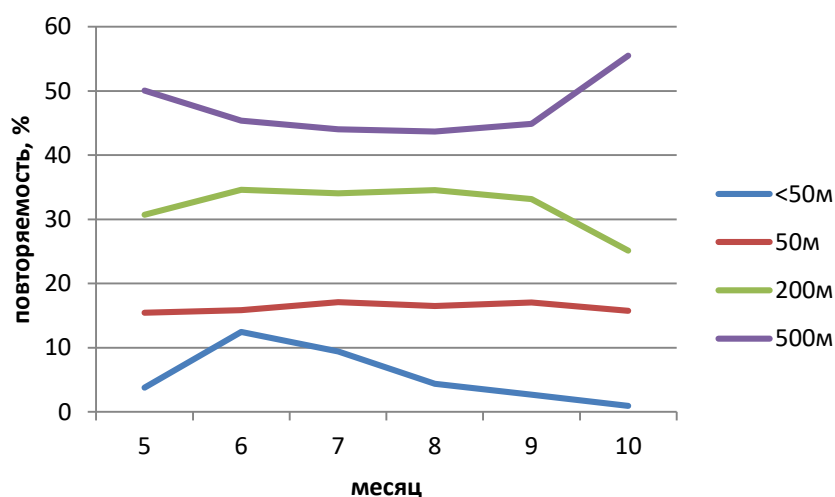


Рисунок 3.8 – Повторяемость туманов при различной видимости над акваторией Баренцева моря по судовым наблюдениям, %

Для оценки интенсивности туманов по береговым станциям также была рассчитана повторяемость видимости при туманах (приложение Б, таблица 2): менее 50 м, 50 м, 100-200 м, 300-500 м и 600-900 м. Анализируя графики видно, что наиболее интенсивные туманы наблюдаются в летний период, а менее интенсивные туманы - в осенние месяцы. На слабые туманы (видимость 500-100м) приходится 60% и выше и на умеренные туманы (видимость 200-500м)

приходится около 25% повторяемости и выше, а на сильные (видимость 50-200м) и очень сильные (видимость <50м) туманы приходится до 6% повторяемости в сумме. Для некоторых станций характерен не совсем типичный ход повторяемости. Так повторяемость туманов при видимости 50-200 м на станции 20107 Баренцбург в июне составляет 33%, на станции 22113 Мурманск в июле 16%. На станции 22165 Канин Нос на видимость 200-500 м приходится 60% повторяемости туманов, а на видимость 500-1000 м всего 20%. Похожая ситуация на станции 23114 Мыс Константиновский. На этой станции 65% повторяемости туманов при видимости 200-500 м и 30% при видимости 500-1000 м. По сравнению с другими станциями на станции 22644 Онега достаточно высокое значение повторяемости туманов при видимости меньше 50 м, а именно 12,5%.

Также было рассчитано количество случаев с туманами в зависимости от срока и месяца наблюдения по данным судовых наблюдений. Результаты для каждого моря представлены в таблицах 3.1 – 3.4. По этим таблицам видно, что повторяемость туманов по основным срокам наблюдения во все месяцы практически не изменяется. Важно отметить, что местное время отличается для каждого моря. У Восточно-Сибирского моря часовой пояс +12, у Карского моря часовой пояс +7, у моря Лаптевых +9.

Таблица 3.1 – Количество случаев с туманами по срокам и месяцам по судовым наблюдениям Восточно-Сибирского моря

месяц	срок наблюдения, UTC/по местному времени							
	0/12	3/15	6/18	9/21	12/0	15/3	18/6	21/9
5	23	2	10	2	28	4	27	4
6	65	11	54	16	85	17	57	17
7	238	31	199	42	277	41	240	41
8	291	30	242	43	326	29	269	24
9	105	17	126	24	139	19	107	14
10	37	7	29	6	13	8	15	6

Таблица 3.2 – Количество случаев с туманами по срокам и месяцам по судовым наблюдениям Карского моря

месяц	срок наблюдения, UTC/по местному времени							
	0/7	3/10	6/13	9/16	12/19	15/22	18/1	21/4
5	46		32		24		54	
6	98		92	2	72	2	103	1
7	299	2	336		311	1	309	5
8	341	6	405	11	368	12	346	14
9	198	8	223	13	213	5	204	7
10	50		86		82		49	

Таблица 3.3– Количество случаев с туманами по срокам и месяцам по судовым наблюдениям моря Лаптевых

месяц	срок наблюдения, UTCM/по местному времени							
	0/9	3/12	6/15	9/18	12/21	15/0	18/3	21/6
5	2		1		4	2	4	1
6	10	1	9	3	16	1	15	2
7	39	8	50	8	59	5	40	3
8	122	18	143	21	131	26	117	5
9	78	15	87	19	87	17	84	7
10	15	2	14	1	12	1	10	

Таблица 3.4 – Количество случаев с туманами по срокам и месяцам по судовым наблюдениям Баренцева моря

месяц	срок наблюдения, UTC							
	0	3	6	9	12	15	18	21
5	377	69	424	71	385	59	388	54
6	1224	127	1301	172	1152	161	1263	152
7	2421	310	2491	354	2271	300	2365	307
8	1822	307	2022	341	1860	318	1979	310
9	810	164	1224	224	1074	230	1122	197
10	231	30	356	40	353	47	254	24

4. Условия формирования туманов. Анализ розы ветров при туманах по метеорологическим станциям и районам. Анализ повторяемости туманов при разности температур «вода-воздух», относительной влажности.

Также одними из важных метеорологических параметров, при которых образуются туманы, являются скорость и направления ветра. В данной главе рассмотрены повторяемости направлений и скорости ветра при туманах в разные месяцы, как по судовым наблюдениям, так и по данным наблюдений для каждой станции. Кроме того, рассмотрены для случаев с туманами повторяемости разности температур «вода-воздух» и относительной влажности.

Были построены розы ветров для каждой станции и приведены в приложении В в таблицах 3 – 5. На графиках представлено по две розы, синяя показывает повторяемость ветра при туманах, а красная общую повторяемость направлений ветра за весь сезон на станции.

Весной преобладающими направлениями ветра при туманах в Восточно-Сибирском море становятся северное, северо-восточное и восточное. На эти направления приходится от 21,5% до 34% повторяемости. Для моря Лаптевых частые направления ветра при туманах весной это северное (значения от 23% до 49%) и восточное (значения от 23% до 36,5%). В Карском море туманы чаще наблюдаются при ветрах северного, южного, восточного и западного направления. На станции 20289 Остров Русский северное (25,3%) и восточное (19,2) направление ветра. На станции 20476 Стерлегова южное (25%) направление ветра. На станции 20667 им. М. В. Попова в целом по всем направлениям равномерное распределение с небольшим максимумом в северном (19,1%) направлении. На станции 23022 Амдерма восточное (22,2%) направление ветра. На станции 23242 Новый Порт северное (27,1%) и южное (19,5%) направление ветра. На станциях 20946 им. Е. К. Федорова и 23032 Марресаля западное направление со значениями 25,3% и 23,1% соответственно. В Баренцевом море для большинства станций преобладающим

направлением ветра при туманах становится северное направление со значением повторяемости от 17,4% до 62,3%.

В летние месяцы в Восточно-Сибирском море преобладающими направлениями ветра при туманах становятся восточное и северо-восточное со значениями 43,9% и от 39,9% до 43,7% соответственно. В моры Лаптевых летом туманы чаще образуются при северном, восточном и западном ветре. Значения повторяемости для этих направлений составляют от 26,7% до 36,6% для северного, от 23% до 42,4% для восточного и от 18% до 22,7% для западного. Для Карского моря при туманах характерны ветра северного (от 18,2% до 30,9%), западного (от 25,5% до 27,7%) и северо-восточного (от 20% до 24,8%) направления. В Баренцевом море наибольшая повторяемость туманов при северном (от 22% до 66,2%) и северо-восточном (от 20% до 36%) направлении ветра.

Осенью в Восточно-Сибирском море туманы чаще всего наблюдаются при направлении ветра от северного до восточного. На эти направления приходится от 25% и выше повторяемости туманов. В море Лаптевых на станции 20292 туманы чаще наблюдаются при восточном (28,7%) и западном (24,6%) направлении ветра. На станции 21432 при ветре западного (20,8%) и северного (18,8%) направления. На станции 21824 при северном направлении ветра со значением повторяемости 40,7%. На станции 21931 преобладают ветры северного (28,8%) и восточного (19,8%) направления. В Карском море осенью туманы чаще образуются при юго-западном и южном ветре, на эти направления ветра приходится от 20% до 30% повторяемости туманов. В Баренцевом море осенью наибольшая повторяемость туманов приходится на северное, южное и юго-восточное направление ветра. На большинстве станций на эти направления ветра приходится от 30% до 50% повторяемости туманов.

Далее проанализированы скорости ветра, при которых образуются туманы. Для этого были рассчитаны повторяемости скоростей ветра по градациям через 2м/с по данным судовых наблюдений и данным наблюдений

береговых станций. Графики повторяемости для судовых наблюдений представлены на рисунках 4.1 – 4.4. Над акваторией Восточно-Сибирского моря в мае, июне и октябре наибольшая повторяемость туманов при скорости ветра 2-4м/с со значениями 37,5%, 31% и 44,2% соответственно. В июле, августе и сентябре наибольшая повторяемость туманов при скорости ветра 4-6м/с со значениями 20,2%, 20,4% и 14,1% соответственно. В море Лаптевых наибольшая повторяемость туманов в мае, июле, сентябре и октябре приходится на скорость ветра 4-6м/с (60%, 29,4%, 25,2% и 44,4%), в июне на скорость чуть ниже 2-4м/с со значением 50%, а в августе наоборот чуть выше 6-8м/с со значением 24,8%. По графику для Карского моря видно, что наибольшая повторяемость туманов в июле, августе и октябре при скорости ветра 4-6м/с, а в мае, июне и сентябре при скорости ветра 6-8м/с. Над акваторией Баренцева моря весь теплый период года наибольшая повторяемость туманов при скорости ветра 4-6м/с со значениями от 22% до 25%. Стоит отметить, что именно в Баренцевом море есть случаи, когда туманы наблюдались при достаточно сильных ветрах от 10-12м/с до 22-24м/с, на этот диапазон приходится 9,4% в июле, по 11,1% и 11,6% в июне и августе, 12,9% в сентябре, 14,7% в мае и больше всего 17,9% в октябре.

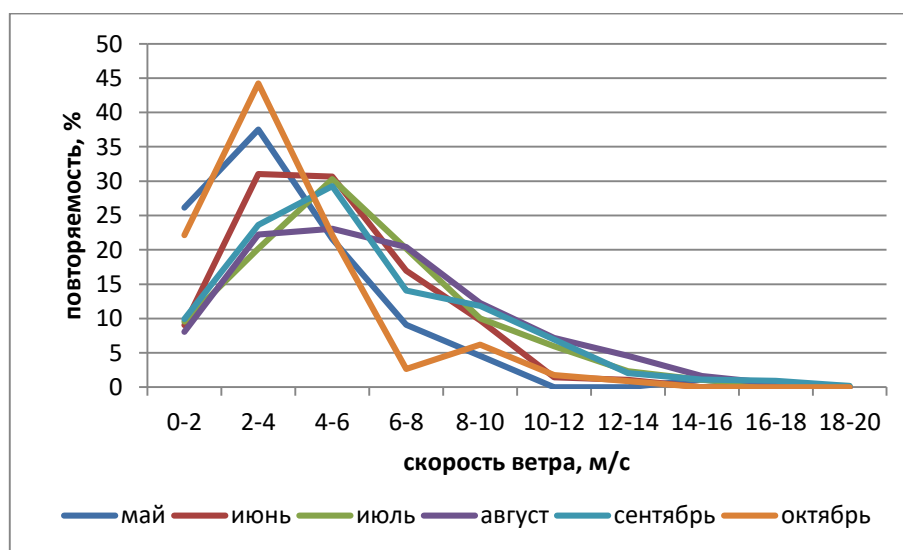


Рисунок 4.1 – Повторяемость скорости ветра по градациям при тумане над акваторией Восточно-Сибирского моря по данным судовых наблюдений

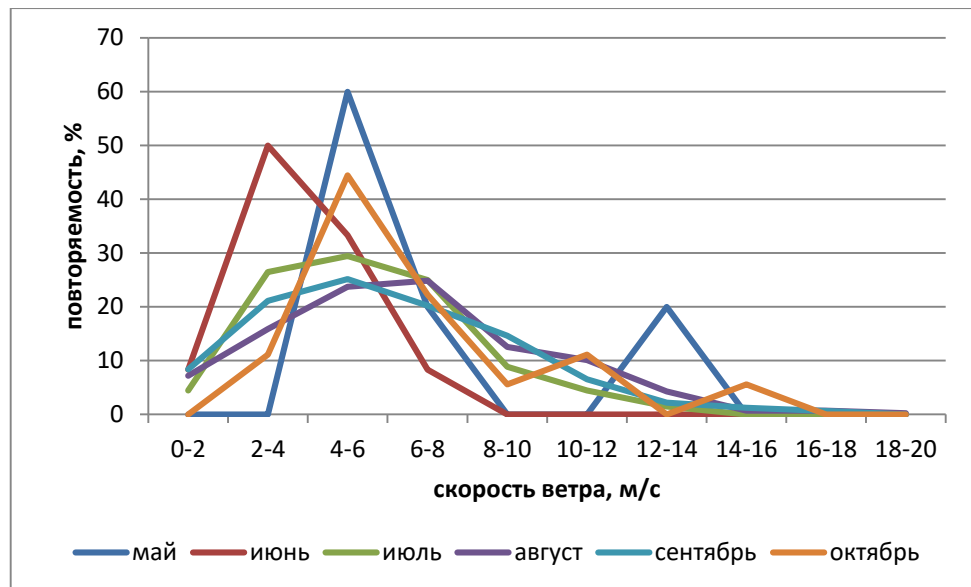


Рисунок 4.2 – Повторяемость скорости ветра по градациям при тумане над акваторией моря Лаптевых по данным судовых наблюдений

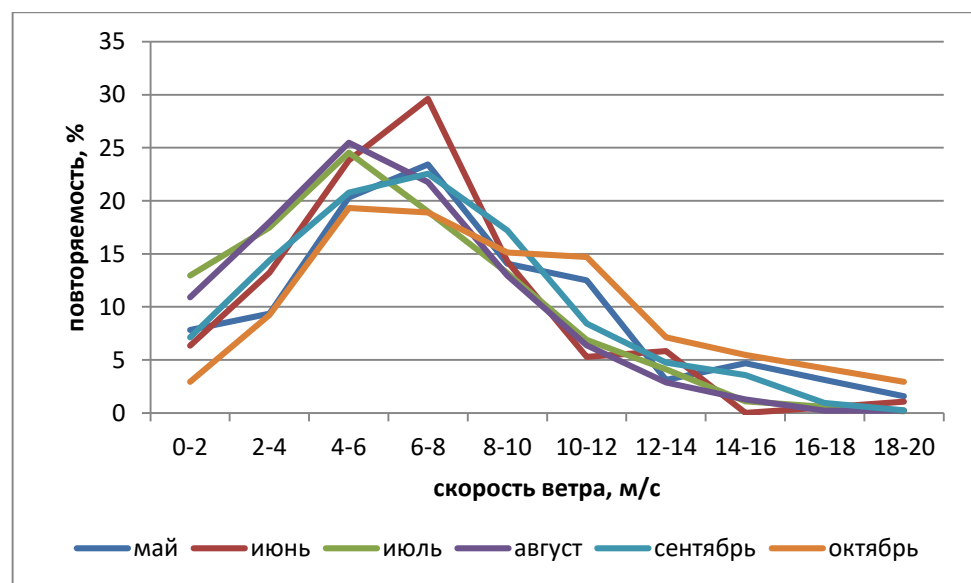


Рисунок 4.3 – Повторяемость скорости ветра по градациям при тумане над акваторией Карского моря по данным судовых наблюдений

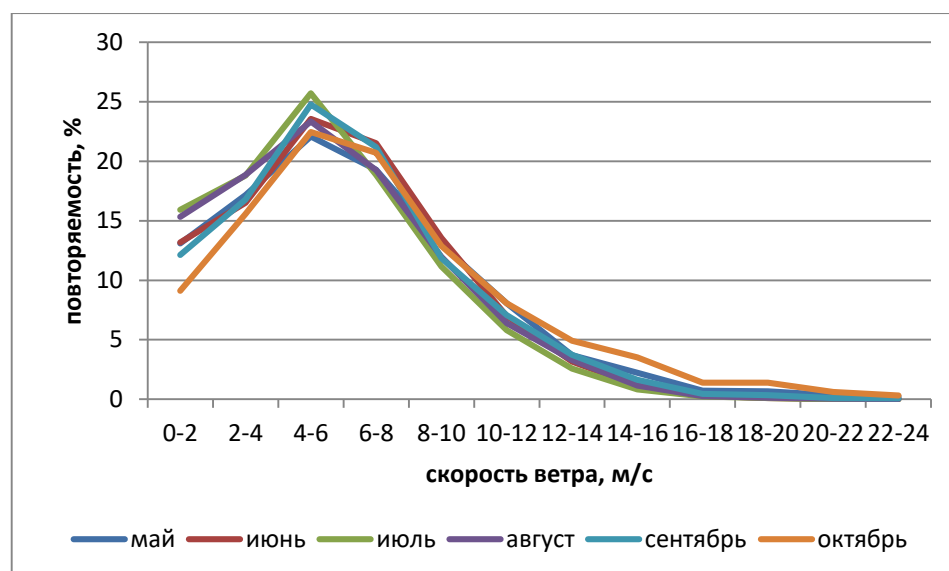


Рисунок 4.4 – Повторяемость скорости ветра по градациям при тумане над акваторией Баренцева моря по данным судовых наблюдений

Графики для каждой береговой станции приведены в приложении в таблице 6. В мае туманы чаще образуются при скорости ветра 3-4 м/с. Преобладающая скорость ветра для большинства станций в июне, июле и августе от 3-4 м/с до 5-6 м/с. Также на станции 20292 им. Е. К. Федорова, ГМО в июле преобладающая скорость ветра 7-8 м/с. В сентябре на станциях туманы чаще образуются при скорости ветра 3-4 м/с. В октябре диапазон преобладающих скоростей ветра чуть больше, а именно от 0-2 м/с до 3-4 м/с. Также для октября есть станции с экстремальными скоростями ветра, при которых образуются туманы. На станции 20946 им. Е. К. Федорова туманы чаще образуются при скорости ветра 9-10 м/с. На станции 22165 Канин нос туманы образуются при 11-12 м/с.

Для уточнения типа тумана можно использовать данные разницы температур «вода – воздух». При отрицательной разнице температур формируются адвективные туманы, при положительной разнице больше 10°C, – туманы испарения. На рисунке 4.5 представлена повторяемость разности температур «вода – воздух» по градациям через 2 градуса. На диаграмме видно, что большая часть туманов приходится на диапазон разницы температур от –

10°C до –8°C и от –8°C до –6°C. На эти градации приходится 34% и 31,7% соответственно, что в сумме составляет больше 60%. Чуть меньше приходится на диапазоны от –12°C до –10°C и от –6°C до –4°C. Все остальные градации составляют минимальные значения от 0,1% до 3%.

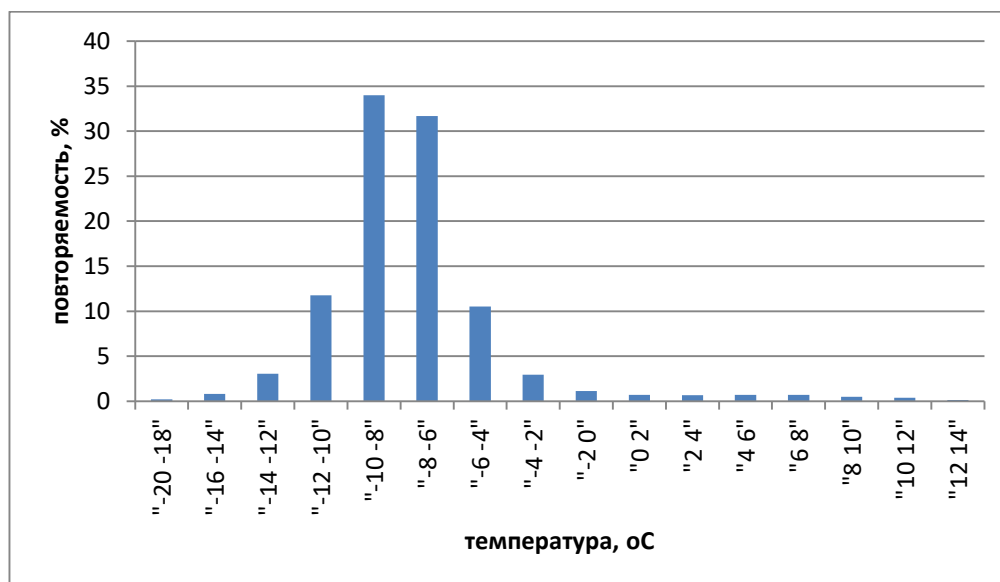


Рисунок 4.5 – Повторяемость разности температур «вода-воздух» по градациям

В таблицах 4.1 – 4.4 показано количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха. По таблице для Восточно-Сибирского моря видно, что чаще всего туманы над этой акваторией наблюдаются при относительной влажности от 85% и выше, а также при температурах воздуха от 0°C до +6°C. По данным для моря Лаптевых чаще туманы наблюдаются при относительной влажности 85-89% и температуре воздуха от 0°C до +2°C, а также при относительной влажности 95-100% и температуре воздуха от -2°C до 0°C. По таблице для Карского моря можно сделать вывод о том, что туманы над этой акваторией чаще образуются при относительной влажности от 80% и выше и температуре воздуха от 0°C до +4°C. Над этой акваторией туманы чаще наблюдаются при относительной влажности от 85% и выше и при температуре воздуха от +2°C до +10°C.

Таблица 4.1 – Количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха для Восточно-Сибирского моря

f, %	от -2	от 0	от +2	от +4	от +6	от +8	от +10	от +12
	до 0	до +2	до +4	до +6	до +8	до +10	до +12	до +14
50-54						3		1
55-59						2		
60-64				1		3	1	
65-69				6	4	2		
70-74				11	7	2	4	
75-79			9	8	5	2	1	
80-84		3	18	10	2	1		
85-89		13	26	16	2	1	2	
90-94	2	29	28	20	5	2		
95-100	7	47	17	12	4	2		

Таблица 4.2 – Количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха для моря Лаптевых

ff, %	от -2	от 0	от +2	от +4	от +6	от +8
	до 0	до +2	до +4	до +6	до +8	до +10
60-64				1	1	
65-69				1		
70-74			4	1		
75-79		1	3			
80-84		9		2		
85-89	1	20	9	4	3	
90-94	7	9	7	2	3	1
95-100	23	12	4		1	

Таблица 4.3 – Количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха для Карского моря

ff, %	от -2	от 0	от +2	от +4	от +6	от +8	от +10	от +12	от +14	от +16
	до 0	до +2	до +4	до +6	до +8	до +10	до +12	до +14	до +16	до +18
50-54					1	2	2	1	1	
55-59					8	2	2			
60-64				3	15	3	3	3		
65-69			5	20	16	3	3	2		
70-74			15	26	14	7		1	3	1
75-79		8	48	24	16	12	6	4		
80-84		56	66	40	21	14	6			
85-89	3	91	57	48	19	15	7			
90-94	16	81	52	43	27	4	3			
95-100	40	59	32	21	13	3	1			

Таблица 4.4 – Количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха для Баренцева моря

ff, %	от -2	от 0	от +2	от +4	от +6	от +8	от +10	от +12	от +14	от +16	от +18	от +20
	до 0	до +2	до +4	до +6	до +8	до +10	до +12	до +14	до +16	до +18	до +20	до +22
45-49							3	4	1	1		
50-54						1	12	6	8	2		
55-59					1	17	23	22	7	2		1
60-64				1	23	47	42	25	8	6	1	
65-69			1	15	67	99	75	24	13	4	2	
70-74			12	108	186	166	83	32	19	4	1	
75-79		5	56	260	312	256	128	52	9	5		
80-84		26	264	478	493	347	170	59	6	1	1	
85-89	3	147	546	871	655	354	210	48	9	3		
90-94	49	241	763	1075	864	541	214	58	9			
95-100	55	331	750	1031	831	534	142	24	3			

5. Анализ синоптических ситуаций при различных типах туманов.

Причинами образования туманов над Арктическими морями может быть несколько. Одна из таких это испарение с открытой воды, в момент, когда лед тает, холодный воздух над водой насыщается влагой и образуется туман. Туманы испарения (парения) могут образовываться и при перемещении холодного влажного воздуха над открытой водой, которая значительно теплее. Такая ситуация характерна для ранней осени, когда вода еще не замерзла, но воздух уже холодный. В арктической зоне туманы испарения могут формироваться при адвекции холодной воздушной массы с центральных районов Арктики или в зимний период с континента на незамерзающую поверхность воды в районе теплых течений. Также довольно часты и адвективные туманы. Например, в летний период при отступлении льда, над относительно теплыми открытыми водами перемещается влажный воздух с юга или с океана. Этот воздух охлаждается над холодной поверхностью моря или остаточными льдами, достигая точки росы. Встречаются и фронтальные туманы. Теплый фронт приносит влажный воздух в Арктику, который охлаждается у поверхности. Такой туман часто сочетается с адвективными процессами. Радиационные туманы редки, но возможны при сильном ночном выхолаживании прибрежных районов или льдов. Такие условия возможны в конце лета – начале осени и зимой над стабильным ледяным покровом (редко, так как воздух слишком сухой).

Для анализа синоптических ситуаций при туманах были проанализированы приземные карты погоды в соответствии с данными судовых наблюдений о наличии тумана в определенные дни и в конкретной точке. Всего было рассмотрено больше 80 случаев. Дальше более подробно будут рассмотрены несколько примеров различных синоптических ситуаций при разных типах туманов.

На рисунках 5.1 – 5.2 представлены синоптические и высотные карты погоды за 27 июля 2018 года. В этот день в море Лаптевых формируется туман под влиянием западной части антициклона с центром над Новосибирскими островами. Контраст между теплым воздухом с континента и холодной морской поверхностью способствует образованию адвективного тумана. В момент наблюдения тумана на судне ветер южного направления со скоростью 8 м/с, видимость 500 метров.

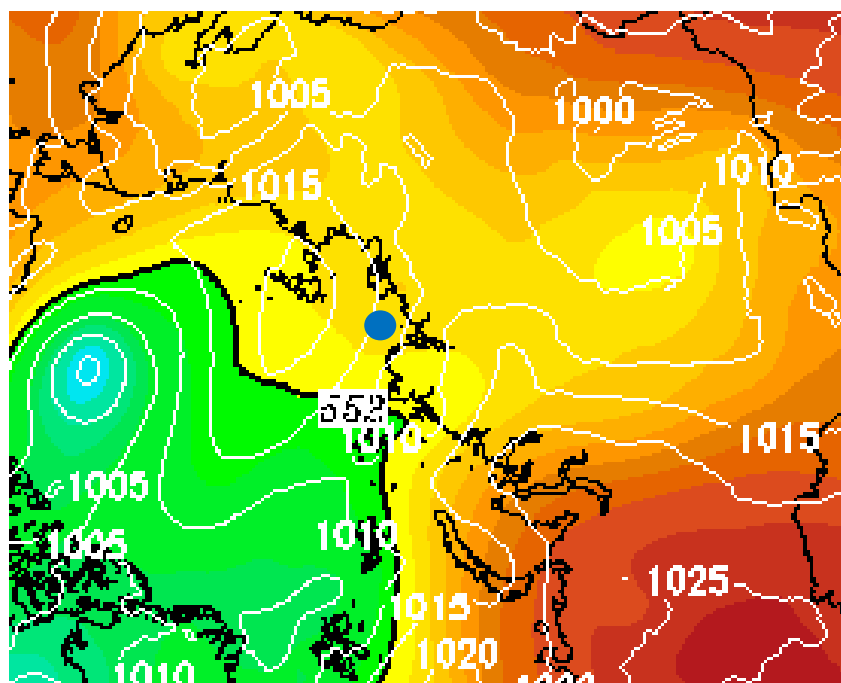


Рисунок 5.1 – Приземная карта (белые изолинии) и АТ500 (цветное поле) за 27 июля 2018 года 12 ВСВ, реанализ ERA (синяя точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

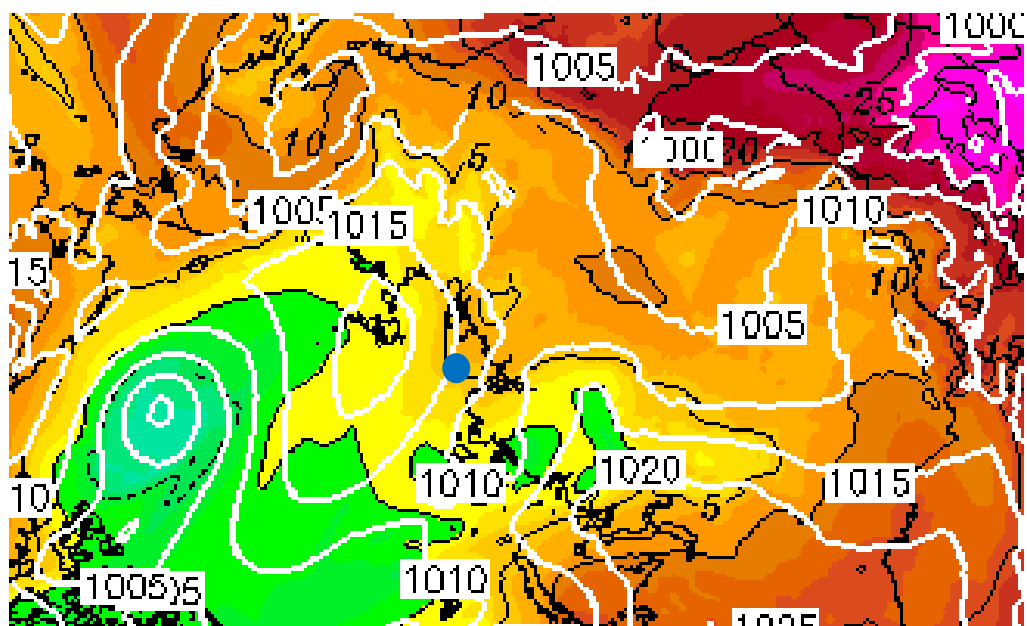


Рисунок 5.2 – Приземная карта (белые изолинии) и AT850 (цветное поле) за 27 июля 2018 года 12 ВСВ, реанализ ERA (синяя точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

Еще один пример адвективного тумана можно увидеть на рисунке 5.3. На карте для 21 июля 2017 года за 06 ВСВ мы видим, что место положения судна в момент наблюдения тумана находится в зоне действия северной периферии антициклона. Этот антициклон создает перенос относительно теплых воздушных масс с материка на относительно холодное море Лаптевых. Теплый влажный воздух с юго-запада охлаждается над холодной водой, что создает идеальные условия для образования тумана. В данной области слабый ветер, так как малый барический градиент, что также благоприятно влияет на образование тумана. В итоге в этой области умеренный туман с видимостью 200-500 метров.

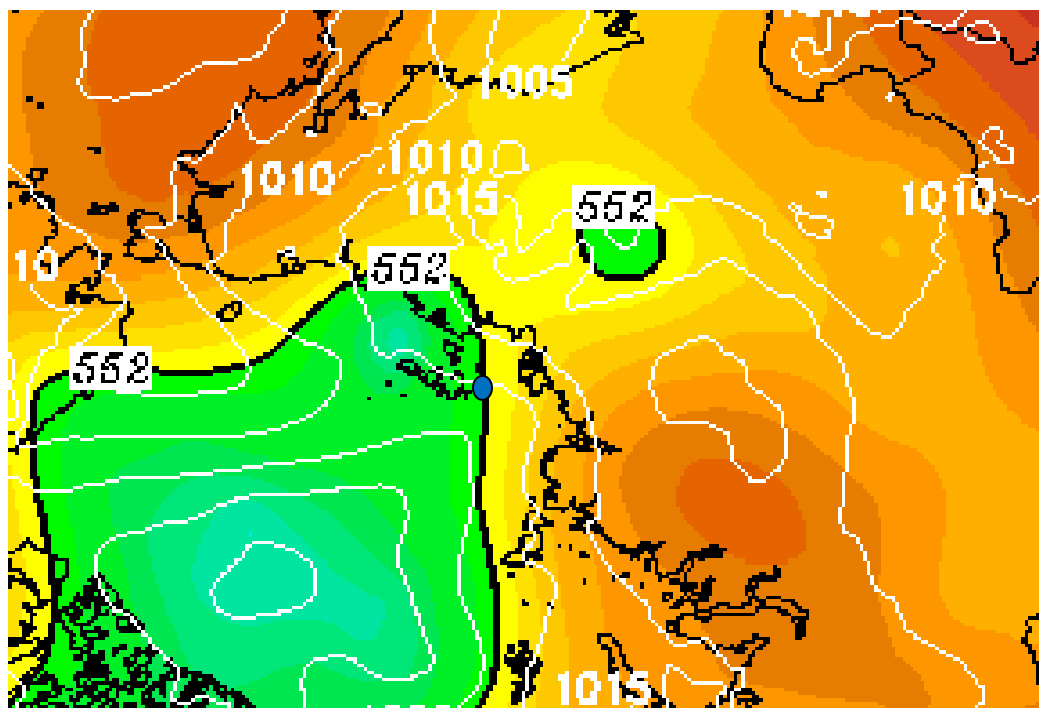


Рисунок 5.3 – Приземная карта (белые изолинии) и AT500 (цветное поле) за 21 июля 2017 года 06 ВСВ, реанализ ERA (синяя точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

Одним из частых условий образования тумана в Арктических морях становится южная часть циклона над морями летом. Пример такой ситуации представлен на рисунках 5.4 и 5.5. 17 июля 2023 года над Карским морем расположен циклон с давлением в центре 995гПа. По карте видно, что точка наблюдения тумана на судне расположена в южной части этого циклона. Адвекция с континента в сочетании с холодной поверхностью моря создают классическую ситуацию для образования адвективного тумана. В начале наблюдения тумана на судне в 00 ВСВ ветер южный со скоростью 2м/с, видимость 500 метров. Далее в 06 ВСВ ветер усиливается до 8м/с и поворачивает на юго-восток. К 12 ВСВ ветер становится восточным со скоростью 14м/с, после чего туман рассеивается.

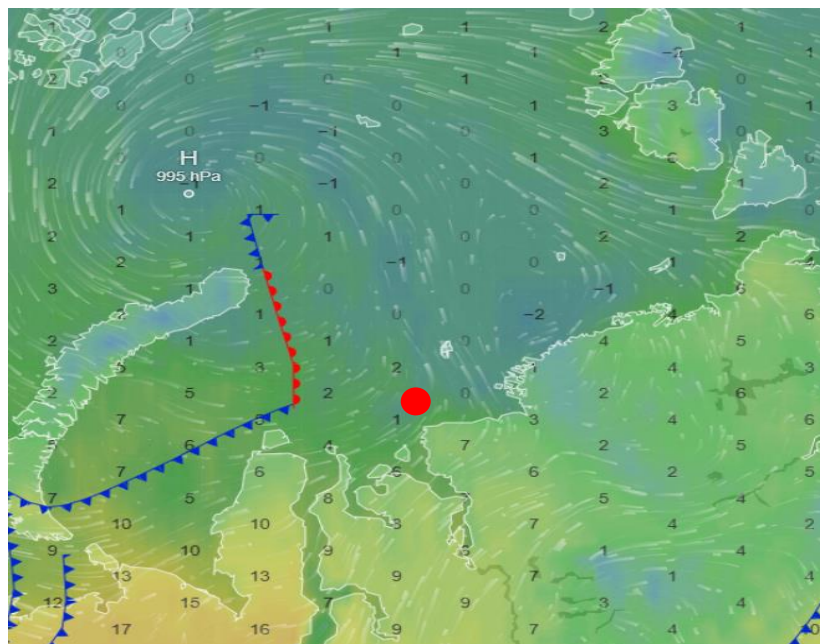


Рисунок 5.4 – Приземная карта температуры за 17 июля 2023 года 00 ВСВ, реанализ ICON (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

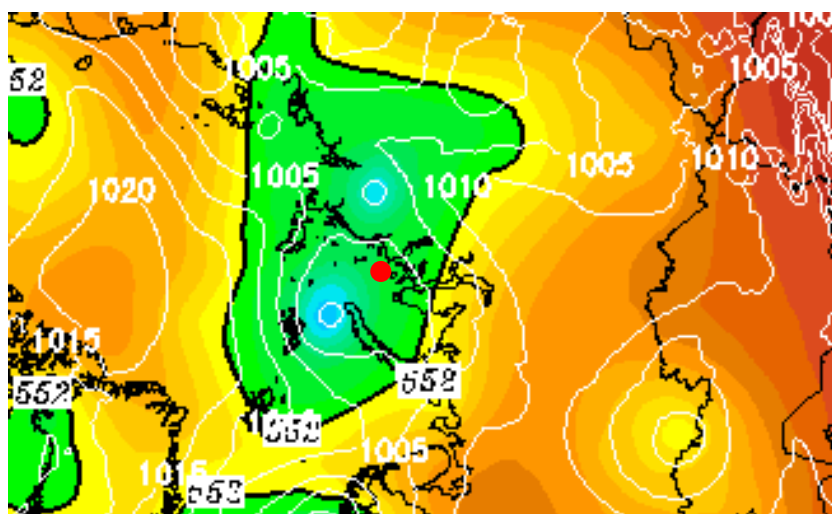


Рисунок 5.5 – Приземная карта (белые изолинии) и AT500 (цветное поле) за 17 июля 2023 года 00 ВСВ, реанализ ERA (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

Рассмотрим еще один пример адвективного тумана. С 30 по 31 июля 2023 года над акваторией Новосибирских островов наблюдался стационарный антициклон с давлением в центре 1023гПа (Рисунок 5.6 – 5.7). В центре этого антициклона, где находится судно в момент наблюдения тумана, преобладают

слабые ветры, что способствует устойчивой стратификации и температурной инверсии – охлаждению у поверхности при более теплом воздухе выше. В летний период происходит активное таяние морского льда, что создает дополнительный приток водяного пара в нижние слои атмосферы. Далее за счет радиационного выхолаживания в ночные часы туманообразование усилилось. Видимость в точке наблюдения тумана на судне 200 метров. Возможно увеличение интенсивности туманов в прибрежных районах, бухтах и заливах в зависимости от орографических особенностей.

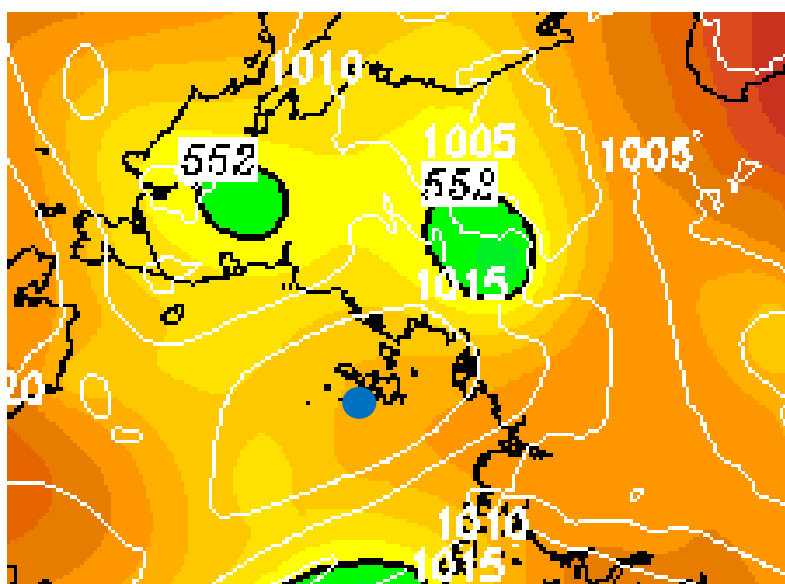


Рисунок 5.6 – Приземная карта (белые изолинии) и AT500 (цветное поле) за 30 июля 2023 года 18 ВСВ, реанализ ERA (синяя точка – положение тумана в срок, когда наблюдался туман)

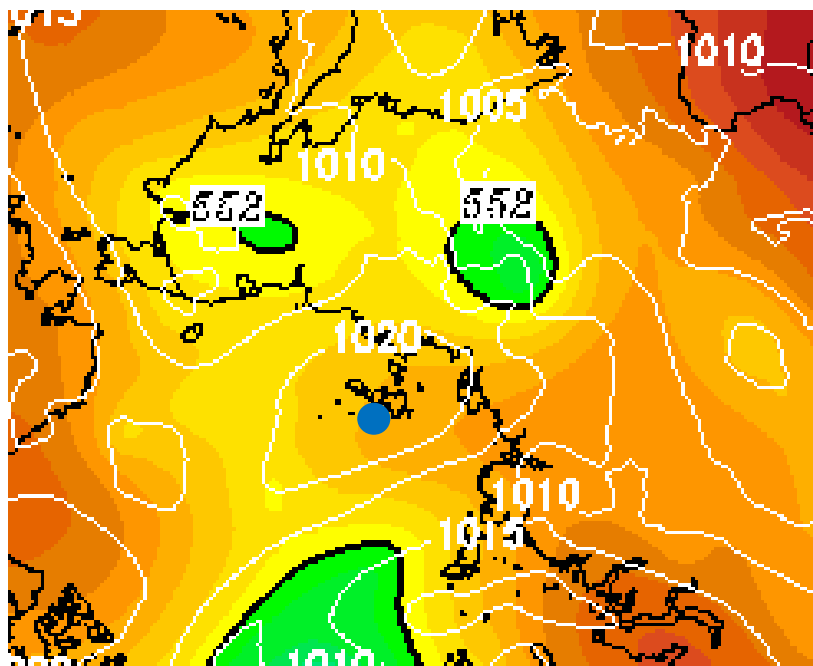


Рисунок 5.7 – Приземная карта (белые изолинии) и AT500 (цветное поле) за 31 июля 2023 года 00 ВСВ, реанализ ERA (синяя точка – положение тумана в срок, когда наблюдался туман)

Также одним из частых видов туманов над Арктическими морями являются туманы испарения, когда разность температуры «вода – воздух» больше 10°C . Пример такой ситуации можно увидеть на рисунке 5.8. Синоптические условия 26 октября 2011 года в 00 ВСВ в районе острова Большой Роутан были благоприятны для образования тумана испарения. С центром севернее Новосибирских островов находится обширный антициклон, он оказывает влияние на всю акваторию моря Лаптевых и Восточно-Сибирское. Судно находилось на юго-восточной периферии антициклона. Основным механизмом образования послужил температурный контраст: температура воды $2,9^{\circ}\text{C}$ и температура воздуха $-8,2^{\circ}\text{C}$, а также высокая влажность при слабом ветре 2-4 м/с северо-восточного направления. Конец октября – период активного ледообразования, что дополнительно благоприятно сказывается на образовании туманов испарения над полынями. Плотность тумана умеренная с видимостью от 200 до 500 метров с максимальной интенсивностью в

предзвездные часы. Ближе к утру ветер усиливается до 7м/с и туман постепенно рассеивается.

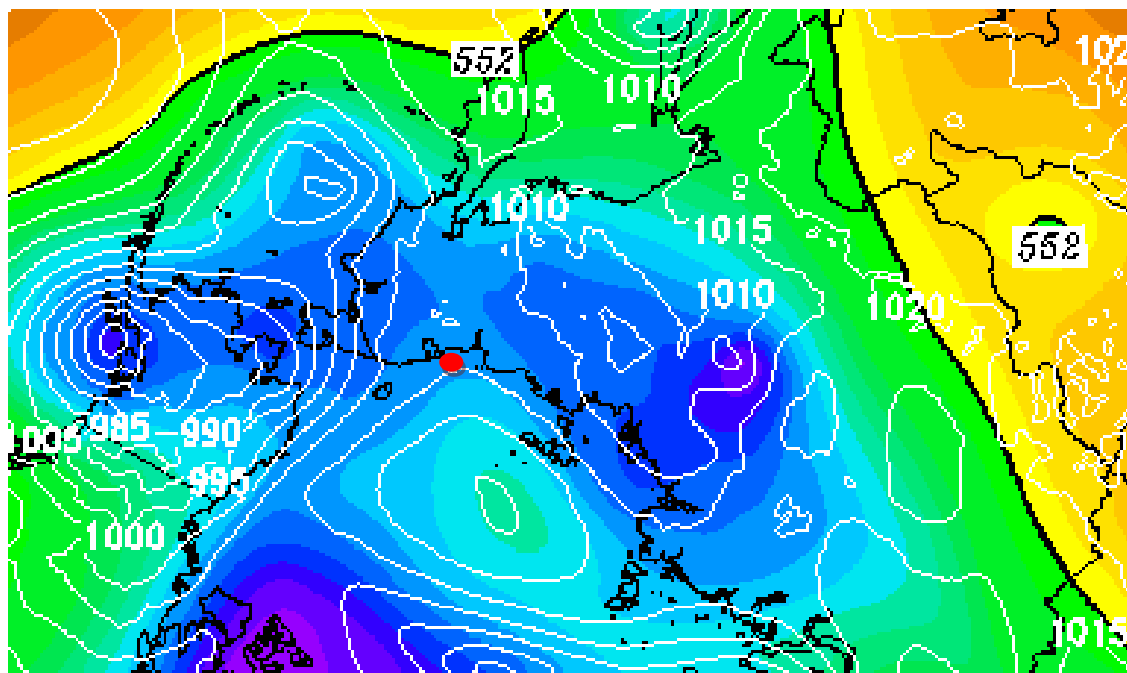


Рисунок 5.8 – Приземная карта (белые изолинии) и АТ500 (цветное поле) за 26 октября 2011 года 00 ВСВ, реанализ ERA (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

Еще один пример тумана испарения представлен на рисунке 5.9. Аналогичная синоптическая ситуация для 24 октября 2013 года. Вдоль береговой линии Чукотки в Восточно-Сибирском море наблюдается туман испарения. Именно в октябре процесс образования таких туманов усиливается из-за резкого похолодания воздуха и еще сохраняющейся положительной температуры воды. В этой области образовалась значительная разница температур «вода – воздух»: температура воды $+1,9^{\circ}\text{C}$, температура воздуха – $15,5^{\circ}\text{C}$. Над Чукоткой наблюдается барический гребень, который создает перенос холодных воздушных масс с материка на относительно теплое море. В точке наблюдения тумана на судне ветер южного направления со скоростью 5м/с, видимость 500 метров.

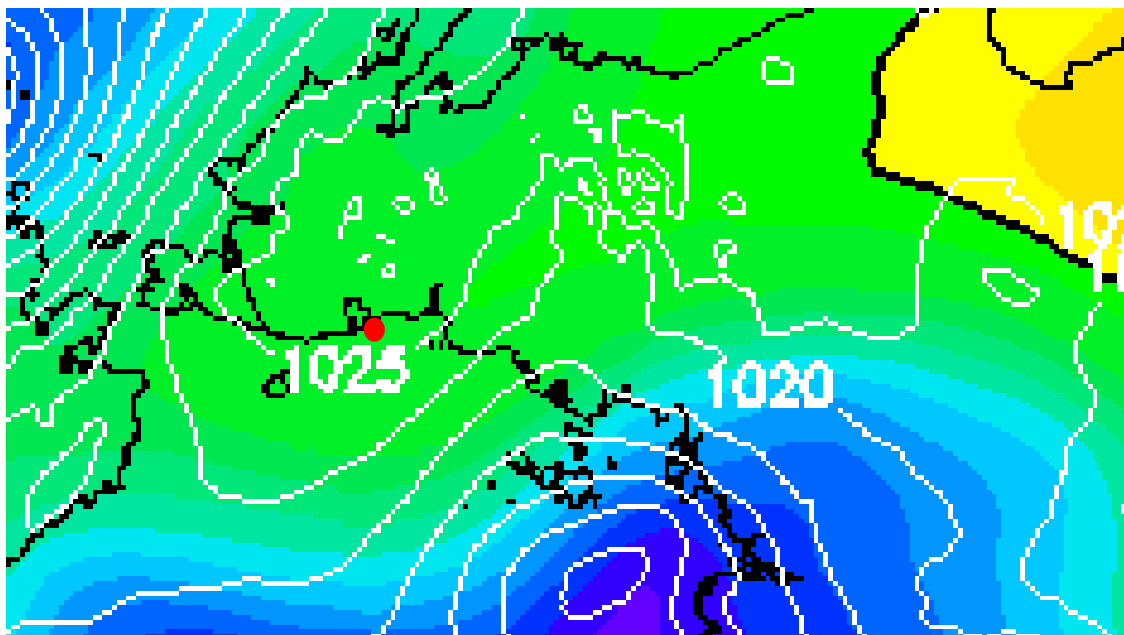


Рисунок 5.9 – Приземная карта (белые изолинии) и AT500 (цветное поле) за 24 октября 2013 года 00 ВСВ, реанализ ERA (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

31 августа 2023 года в 12 ВСВ в районе о. Врангеля сложились идеальные условия для фронтального тумана. На востоке Восточно-Сибирского моря наблюдается циклон с давлением в центре 985гПа (рисунок 5.10–5.11). Этот циклон смещается к северо-востоку, "вытягивая" за собой фронтальную систему. В районе Острова Врангеля прослеживается фронт окклюзии, на котором образуется умеренный туман с видимостью 200 метров. В зоне фронта зона слабого ветра дополнительно благоприятно влияет на образование тумана. Туман наблюдается до 6 часов до момента смещения фронта.

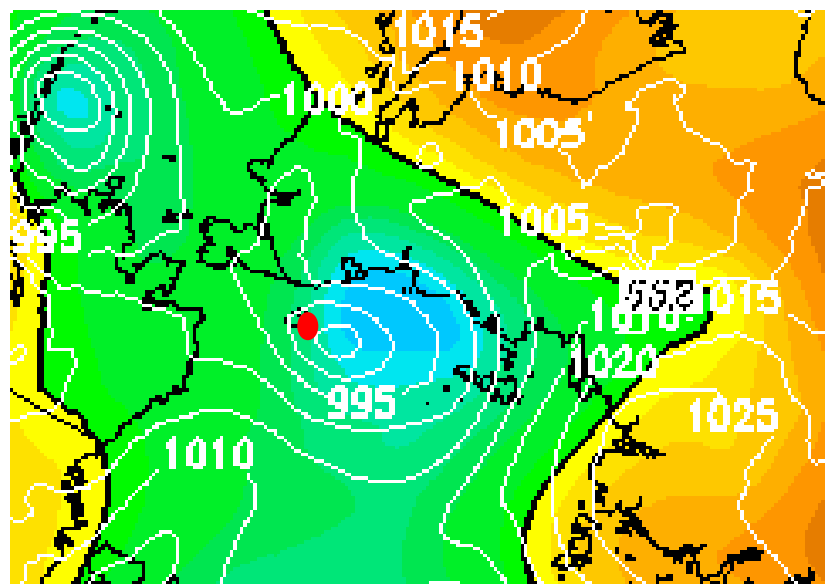


Рисунок 5.10 – Приземная карта (белые изолинии) и АТ500 (цветное поле) за 31 августа 2023 года 12 ВСВ, реанализ ERA (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

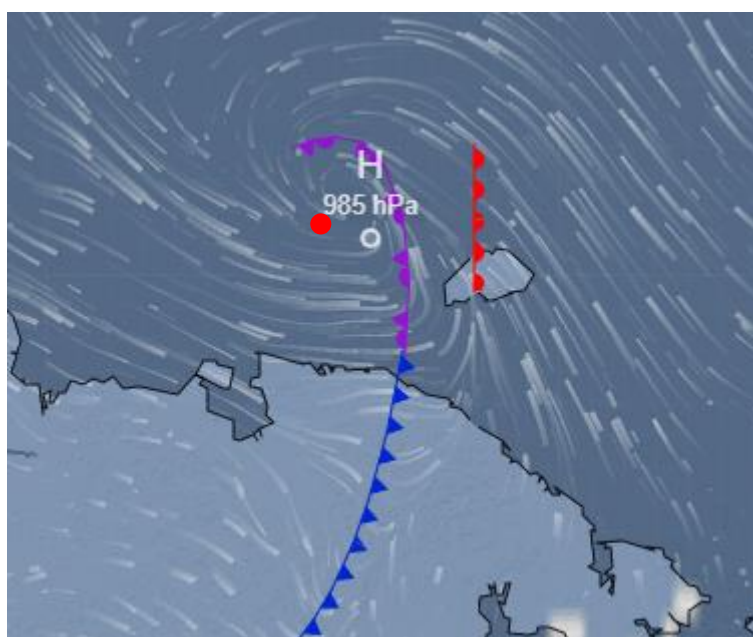


Рисунок 5.11 – Приземная карта за 31 августа 2023 года 12 ВСВ, реанализ ICON (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

Рассмотрим еще один пример фронтального тумана. На рисунках 5.12 - 5.13 представлена карта за 14 августа 2023 года 00 ВСВ. На этой карте в северной части Баренцева моря в районе Новой Земли наблюдается циклон с давлением в центре 997гПа. Под влиянием этого циклона образуется фронт

окклюзии. В зоне этого фронта образуется обширная область тумана. Видимость при тумане от 200 до 500 метров в разные сроки наблюдения. Туман сохраняется до 12 часов до момента смещения фронта.

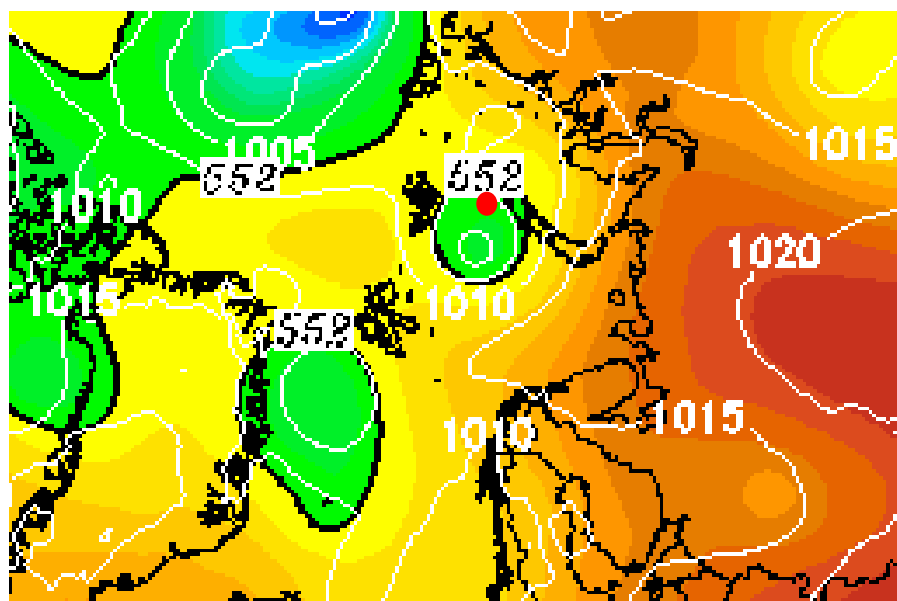


Рисунок 5.12 – Приземная карта (белые изолинии) и АТ500 (цветное поле) за 14 августа 2023 года 00 ВСВ, реанализ ERA (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

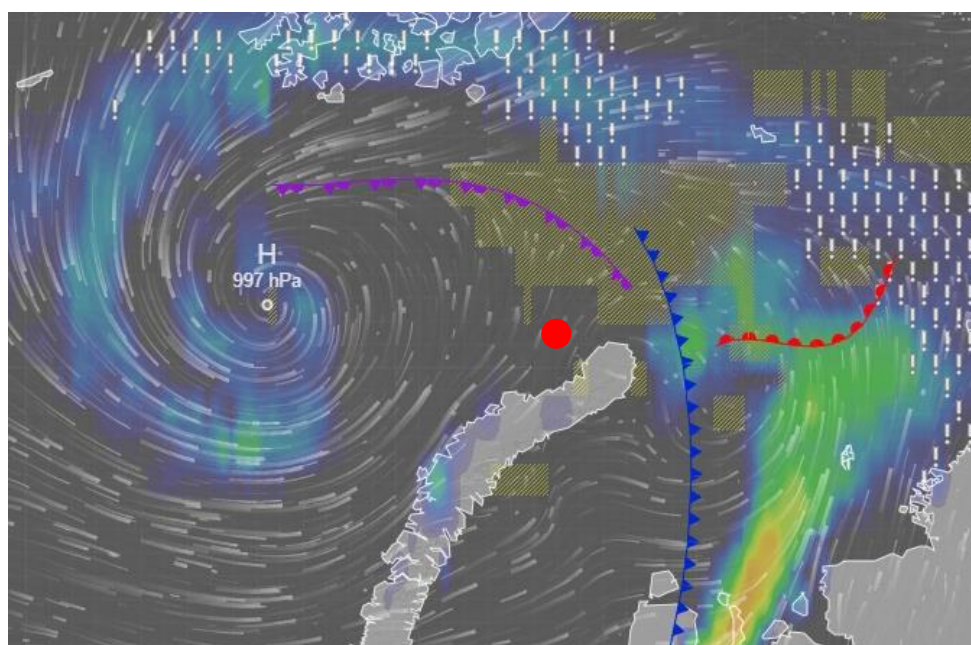


Рисунок 5.13 – Приземная карта за 14 августа 2023 года 00 ВСВ, реанализ ICON (красная точка – положение судна в срок, когда наблюдался туман)

По итогам анализа синоптических ситуаций для акватории Российской Арктики из всех рассмотренных 80 случаев с туманами можно выделить несколько характерных типов тумана: адвективные туманы (62%), туманы испарения (19%) и фронтальные туманы (19%) (Рисунок 5.14).

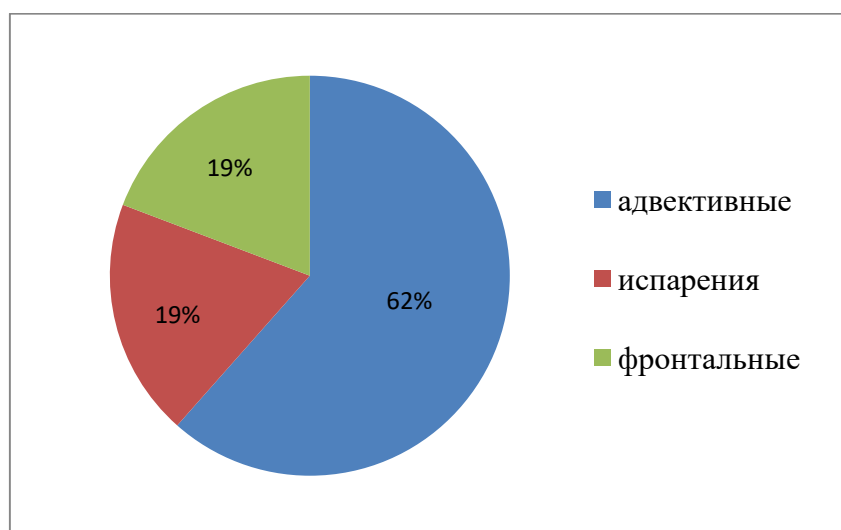


Рисунок 5.14 – Круговая диаграмма процентного соотношения разных типов туманов над акваторией Российской Арктики

Адвективные туманы наиболее частые для всей акватории Арктики особенно в летние месяцы. При этом типе туманов типовыми синоптическими ситуациями становятся:

- Западная часть малоподвижных антициклонов над Арктическими морями;
- Зона взаимодействия циклона над районами центральной Арктики и антициклона над материком;
- Южная часть циклона над морями летом;
- Южная или западная периферия антициклона с центром над материком.

Адвективные туманы чаще всего возникают при ветрах южных, юго-восточных и юго-западных направлений, скоростью ветра 3-8м/с, так как при ветре меньше 3м/с недостаточный перенос влаги, а при ветре больше 8-10м/с

турбулентность разрушает туман. Температура воздуха при туманах от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+12^{\circ}\text{C}$, температура воды от -1°C до $+3^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 85-100%. Источником теплого воздуха становится материк, а именно Якутия и Западная Сибирь. Для Восточно-Сибирского заток теплого воздуха возможен через Берингов пролив.

Туманы испарения образуются чаще весной и ранней осенью, когда вода еще не замерзла, но воздух уже холодный. Характерные синоптические ситуации в теплый период года для этого типа туманов:

- Восточная периферия антициклона с арктическим воздухом при слабом ветре северного или северо-восточного направления;
- Центр стационарного антициклона при слабом ветре;
- При малоградиентном поле;

Такой тип туманов регулярен для моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря – регионы, подверженные как влиянию льда, так и южным потокам.

Фронтальные туманы чаще всего наблюдаются на фронтах западных циклонов, а именно на теплом фронте. При теплом фронте благоприятными условиями для образования туманов становятся слоистая область и влажность 95-100% в зоне фронта. Ветер слабый и умеренный 2-7м/с, направление южное или юго-восточное. Туманы этого типа чаще встречаются в конце августа и осенью. В зоне окклюзии тоже возможно формирования тумана, особенно если окклюзия по типу теплого. При слиянии двух фронтов вблизи холодной поверхности часто возникает насыщенный слой с конденсацией. Такие туманы могут быть длительными, плотными и малоподвижными, особенно в прибрежных районах.

Вблизи береговой линии также можно встретить радиационные туманы при ночном выхолаживании. Они образуются при антициклональной погоде при ясном небе и слабом ветре ночью или ранним утром.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования изучены условия образования туманов над акваторией Российской Арктики в теплое полугодие. Как показало проведенное исследование наиболее частые и плотные туманы в Арктике возникают летом, поздней весной и ранней осенью – из-за адвекции теплого влажного воздуха, в зонах крошки льда и над открытой водой при циклонической активности.

Построены графики повторяемости туманов над акваторией и по береговой линии по месяцам, наибольшее число туманов отмечается в летний период, а именно август и июль (значения повторяемости от 30% до 45%), наименьшее на май и октябрь (значения от 1% до 4%). Рассматривая повторяемость туманов по основным срокам наблюдения можно отметить то, что эти значения во все месяцы практически не изменяется. По данным береговых станций можно отметить слабо выраженный суточный ход с максимумом в ночные часы в летний период.

Рассмотрены случаи с туманами при различной видимости. Наиболее интенсивные туманы наблюдаются летом, менее интенсивные – весной и осенью.

Проанализирована повторяемость туманов по направлениям ветра и градациям скорости. Максимум приходится на градацию ветра летом – 4-6 м/с, в мае, сентябре и октябре 2-4 м/с. Направление ветра во многом зависит от сезона и района формирования.

Туманы чаще образуются при высокой влажности воздуха от 80% и выше и при положительной температуре воздуха от 0°C до +8°C.

Большая часть туманов приходится на диапазон разницы температур «вода – воздух» от –10°C до –8°C 34% повторяемости и от –8°C до –6°C 31,7% повторяемости.

Определены типы часто повторяющихся туманов, это адвективные туманы 62%, туманы испарения 19% и туманы на фронтах 19%. Рассмотрены синоптические ситуации по каждому типу на конкретных примерах.

Полученные результаты могут быть использованы для улучшения прогнозирования погодных условий в регионе, что особенно важно для судоходства и других видов деятельности. Исследование туманов в Арктике может быть продолжено с применением спутниковых наблюдений. Облачность и зоны туманов можно определить с помощью инфракрасного канала.

Цель достигнута, задачи выполнены в полном объеме.

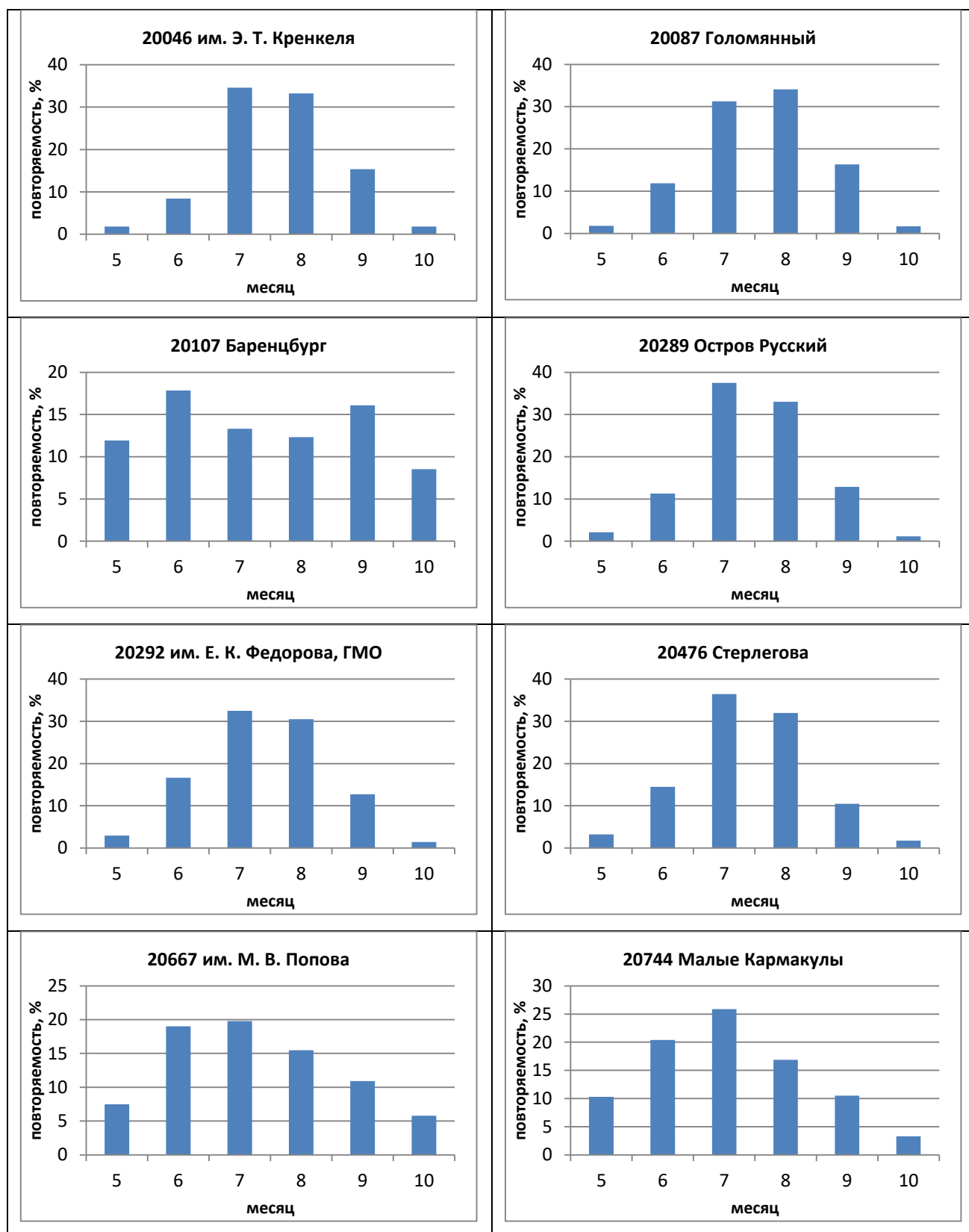
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

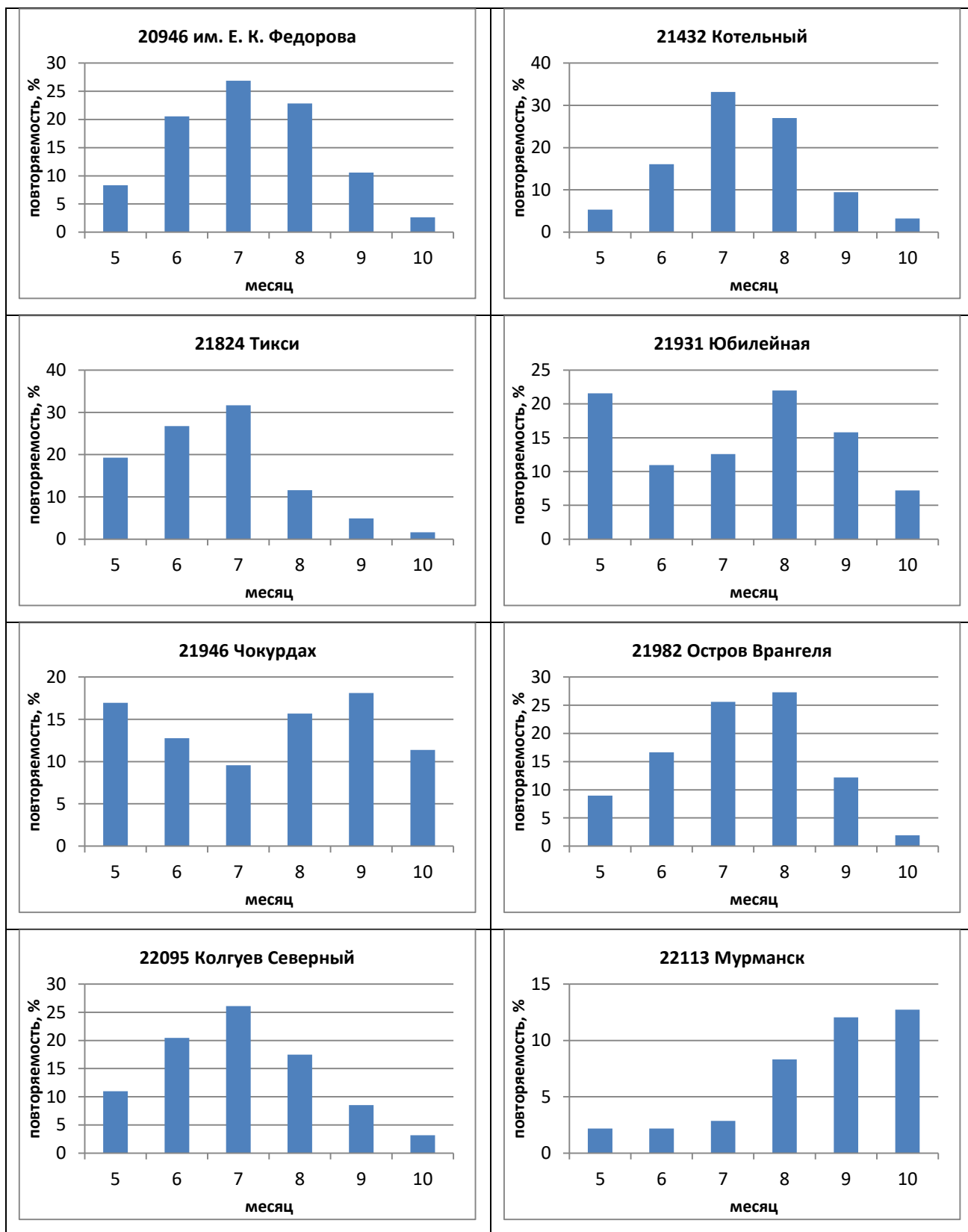
1. Котляков В. М., Хаин В. Е. и др. АРКТИКА // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2020); <https://old.bigenc.ru/geography/text/3452274> Дата обращения: 11.12.2023
2. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. / [Г. В. Алексеев, И. А. Подгорный, П. Н. Священников и др.]; Под ред. Б. А. Крутских; Аркт. и Антаркт. НИИ. - СПб. : Гидрометеиздат, 1991. - 199 с.
3. Климат Арктики: процессы и изменения / [И. И. Мохов, В. А. Семенов, М. Г. Акперов и др.] ; под редакцией И. И. Мохова, В. А. Семенова. - Москва : Физматкнига, 2022. - 360 с.
4. ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». Основные параметры климата по территории России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters>
5. Национальные центры экологической информации. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.ncei.noaa.gov/data/marine/icoads3.0/enhanced-trim>
6. «Ветер и волны в океанах и морях»: справочные данные, сост.: д-р геогр. наук, проф. И. Н. Давидан, кандидаты физ.-мат. наук Л. И. Лопатухин, В. А. Рожков и др., Ленинград: Транспорт, 1974. - 359 с.
7. Реанализ CFSR. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.wetterzentrale.de/>
8. Реанализ ICON. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.ventusky.com/?p=77;124;2&l=temperature-2m&t=20180726/2100&m=icon>
9. Матвеев А.Т. Курс общей метеорологии. Физика Атмосферы – Л.: Гидрометеиздат, 1984 г. – 738 с.
10. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1994. — 305 с.

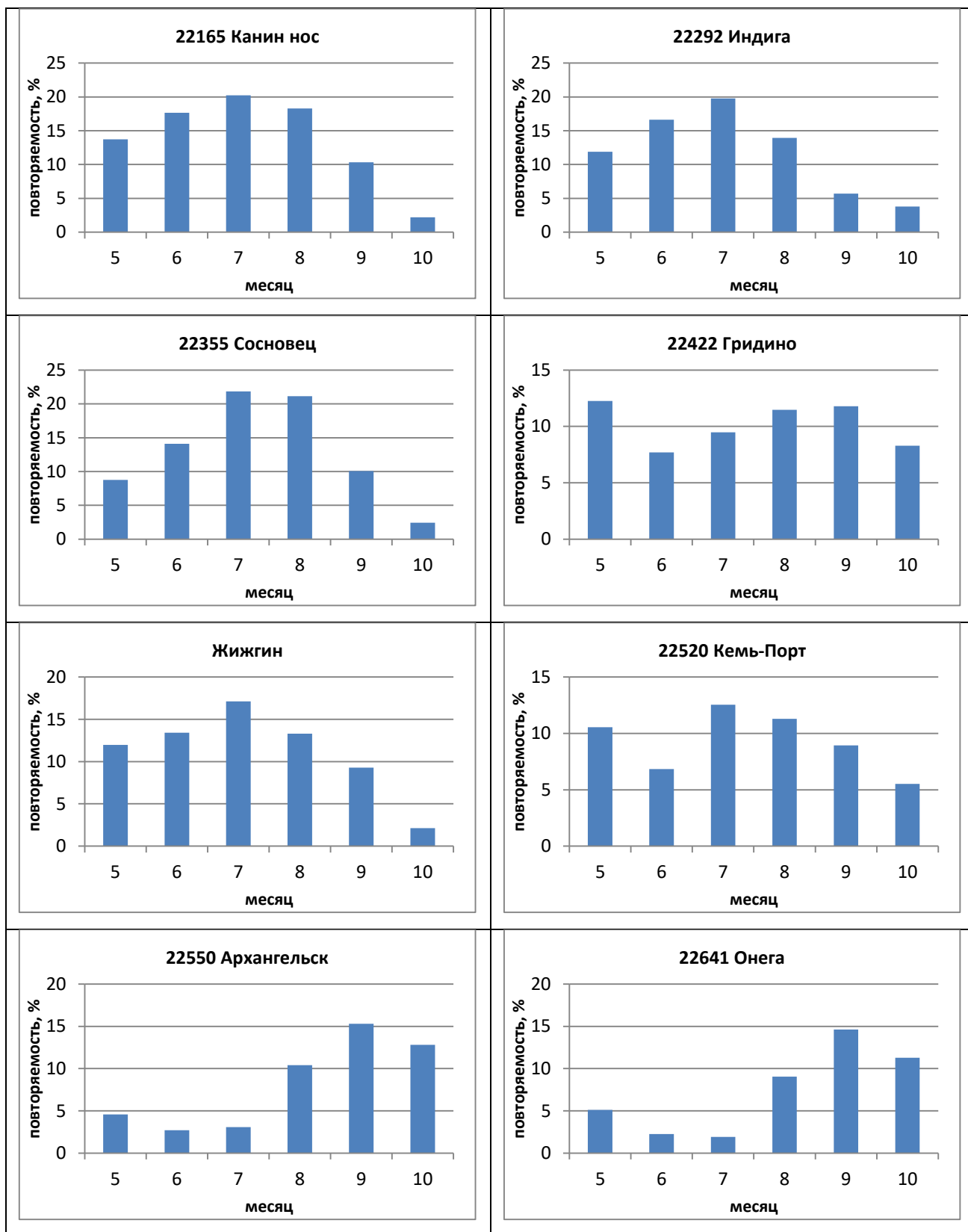
11. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей/ Глав. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Науч.-исслед. ин-т аэроклиматологии; Под ред. А. И. Сачковой. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 251 с.
12. Walden, V. P., Solomon, A., Hudson, S. R., Shupe, M. D., Uttal, T., Rydell, L. A., ... & Wendricks, S. Meteorological and cloud conditions during the Arctic Ocean 2018 expedition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.readkong.com/page/meteorological-and-cloud-conditions-during-the-arctic-ocean-7634820>

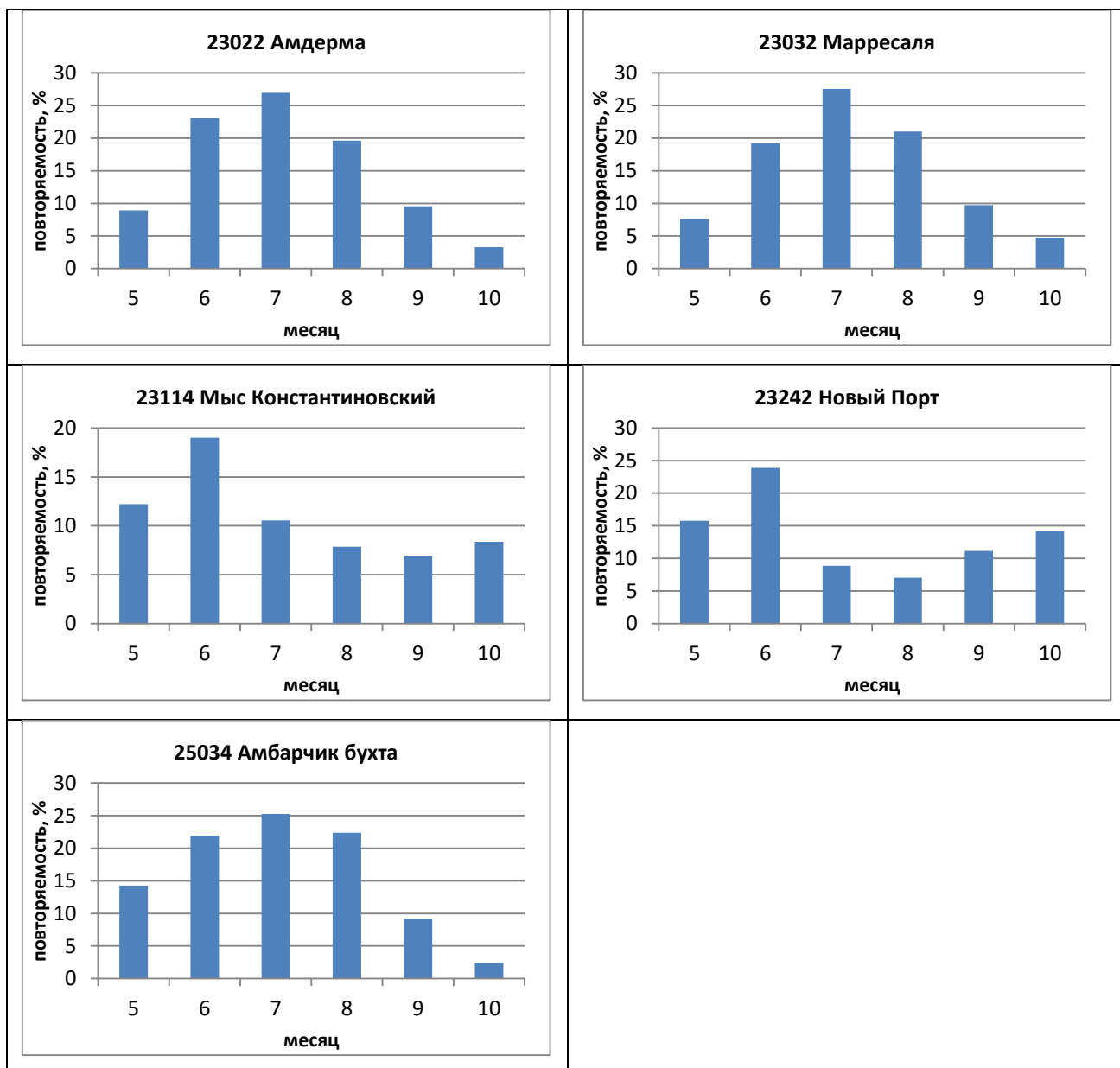
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Повторяемость туманов по месяцам для каждой станции



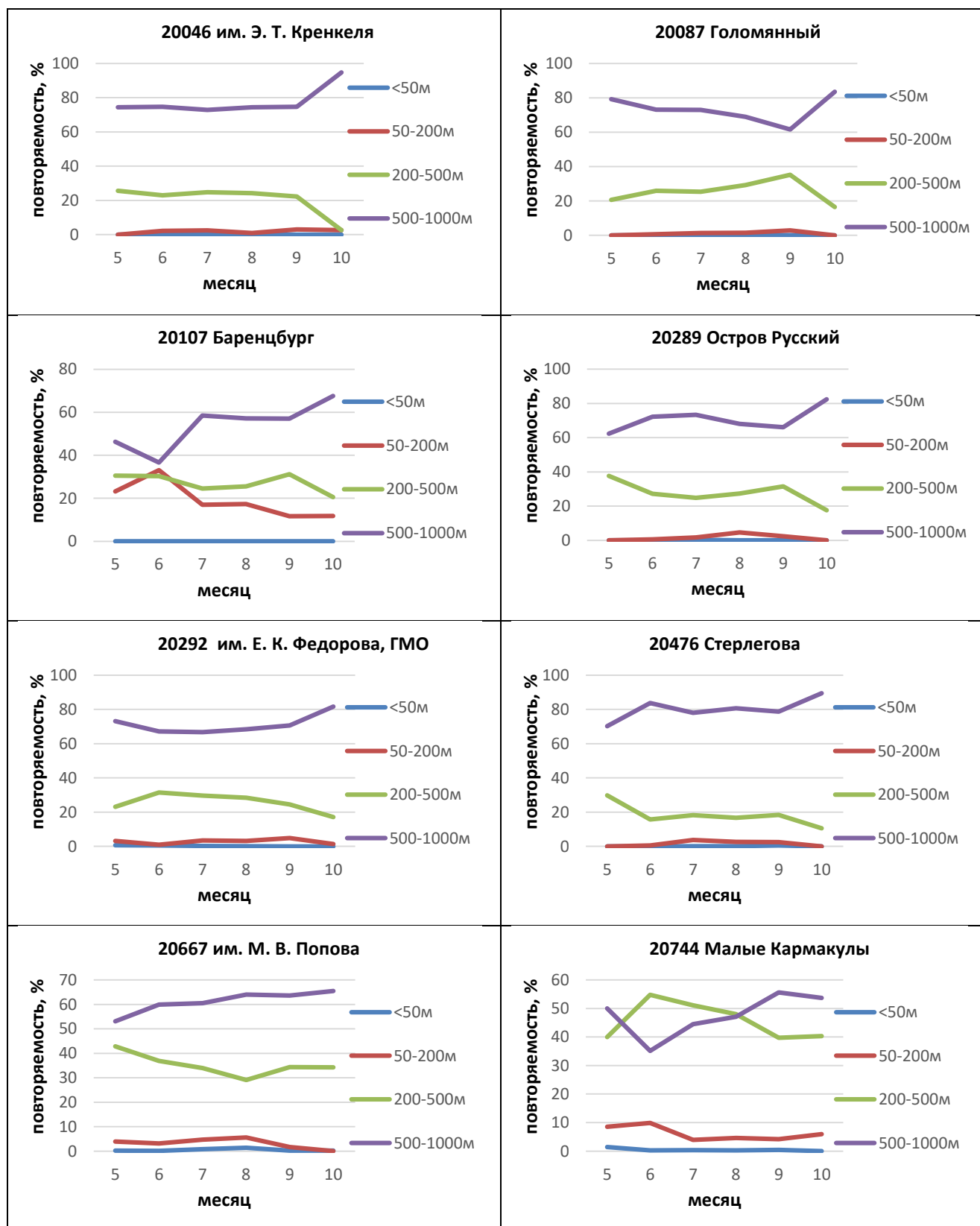


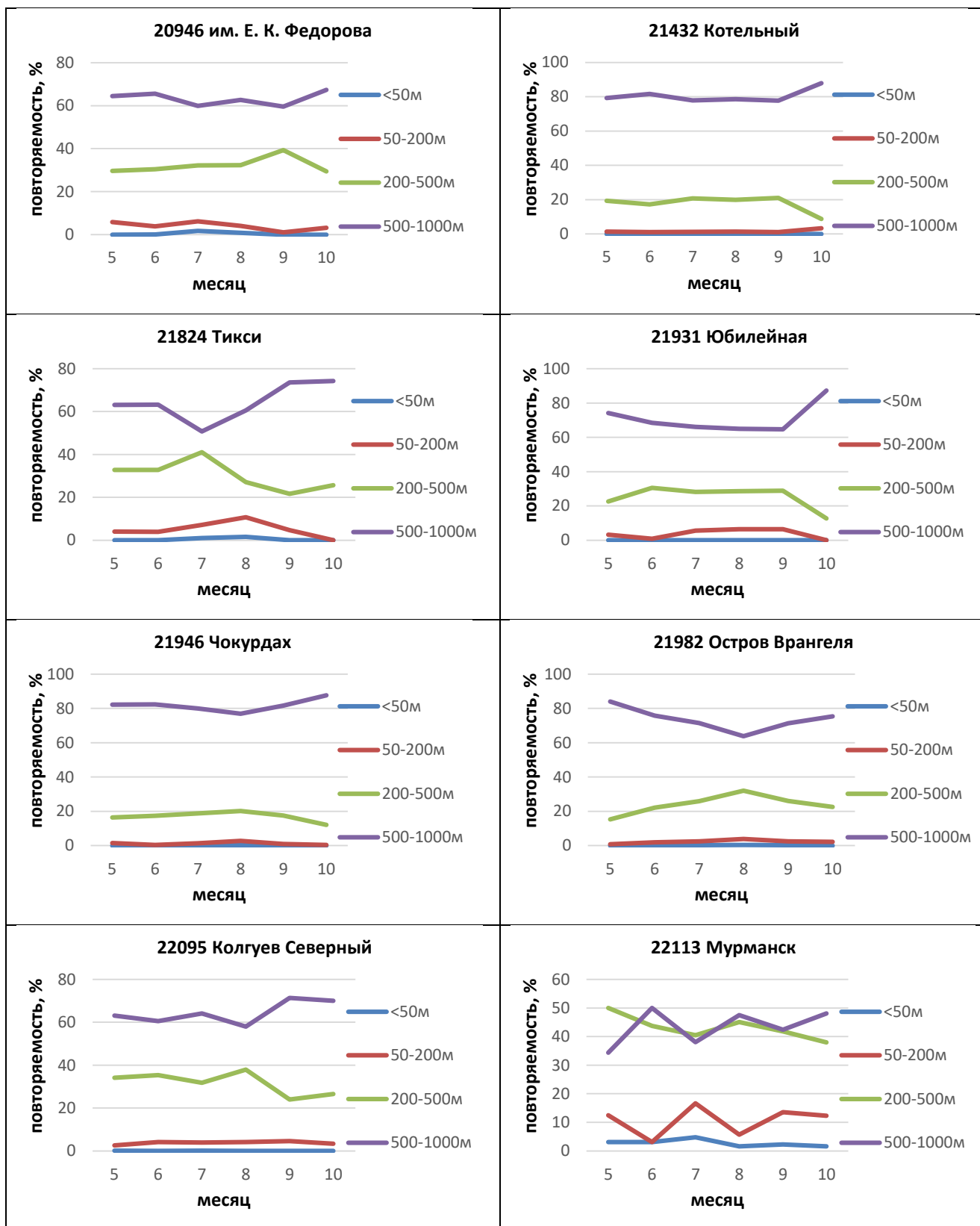


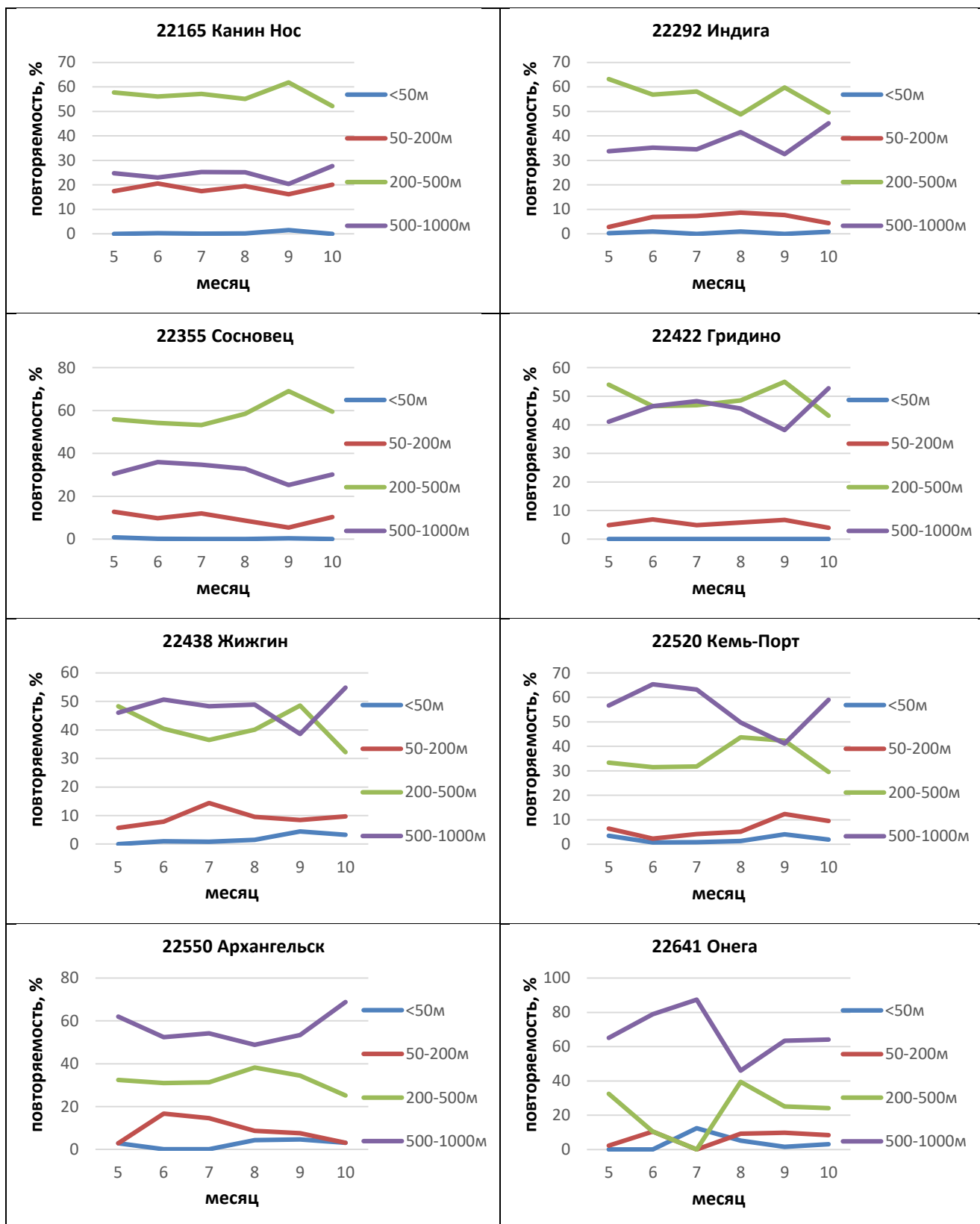


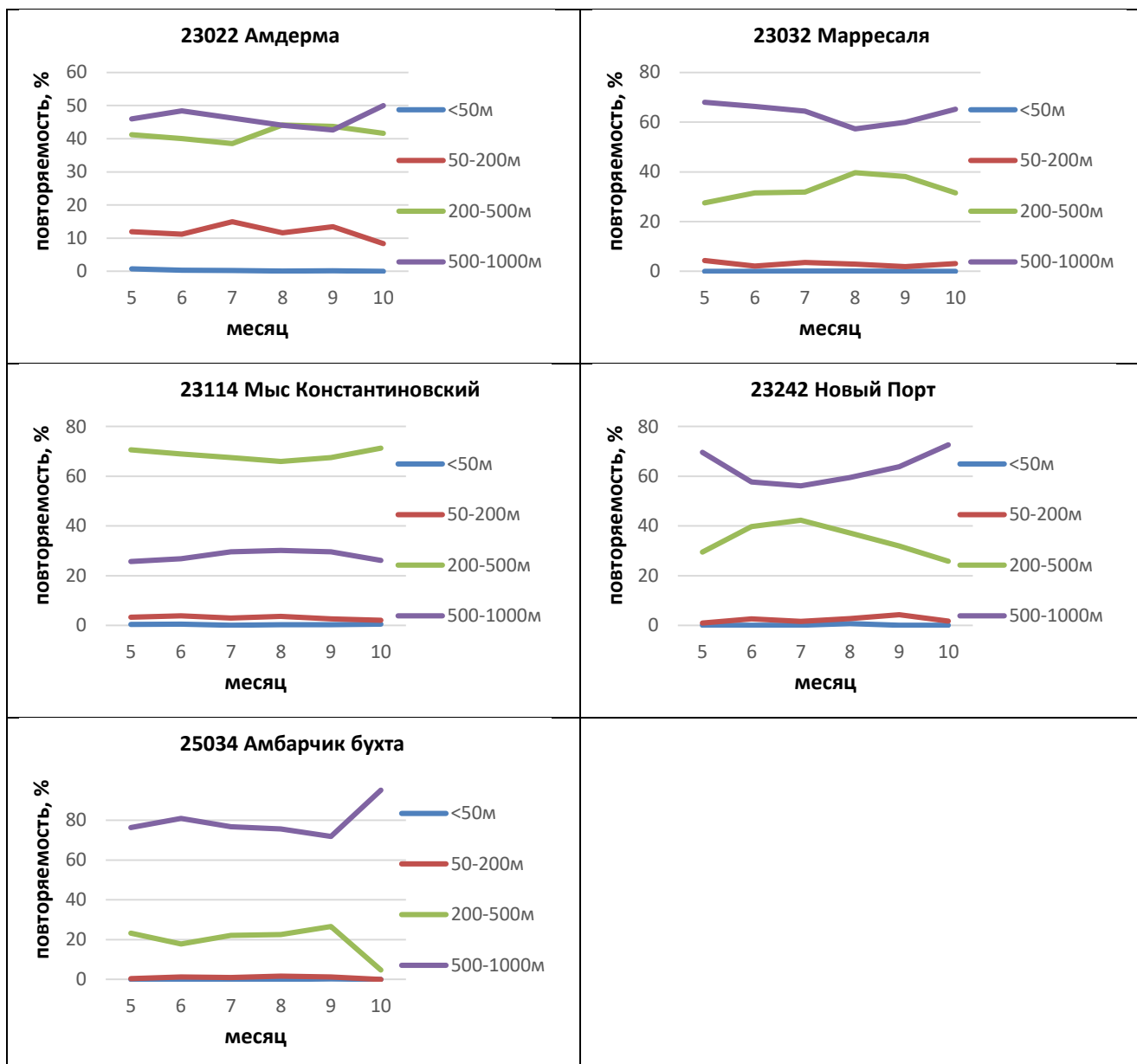
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 2 – Повторяемость видимости при туманах для каждой станции



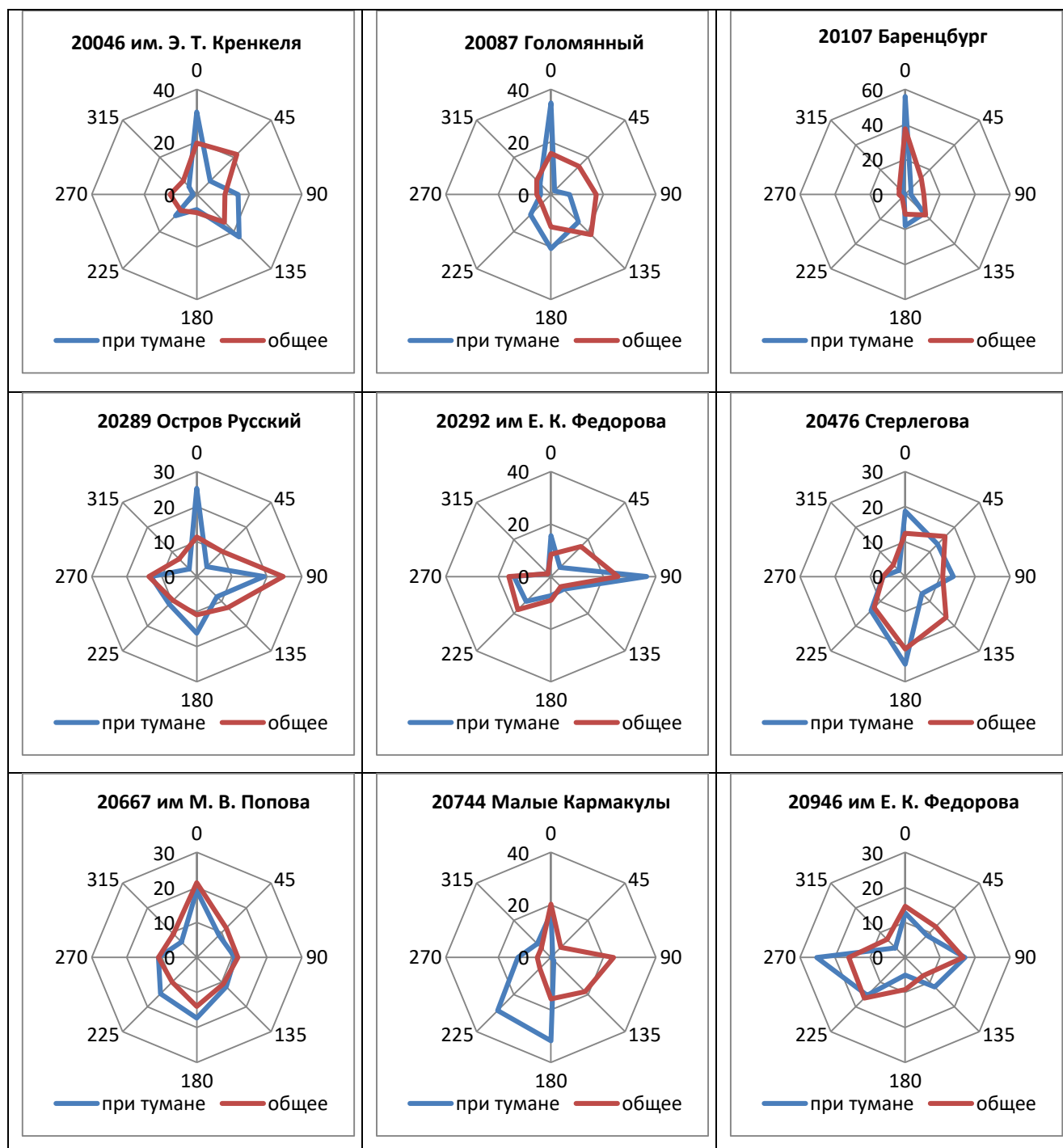


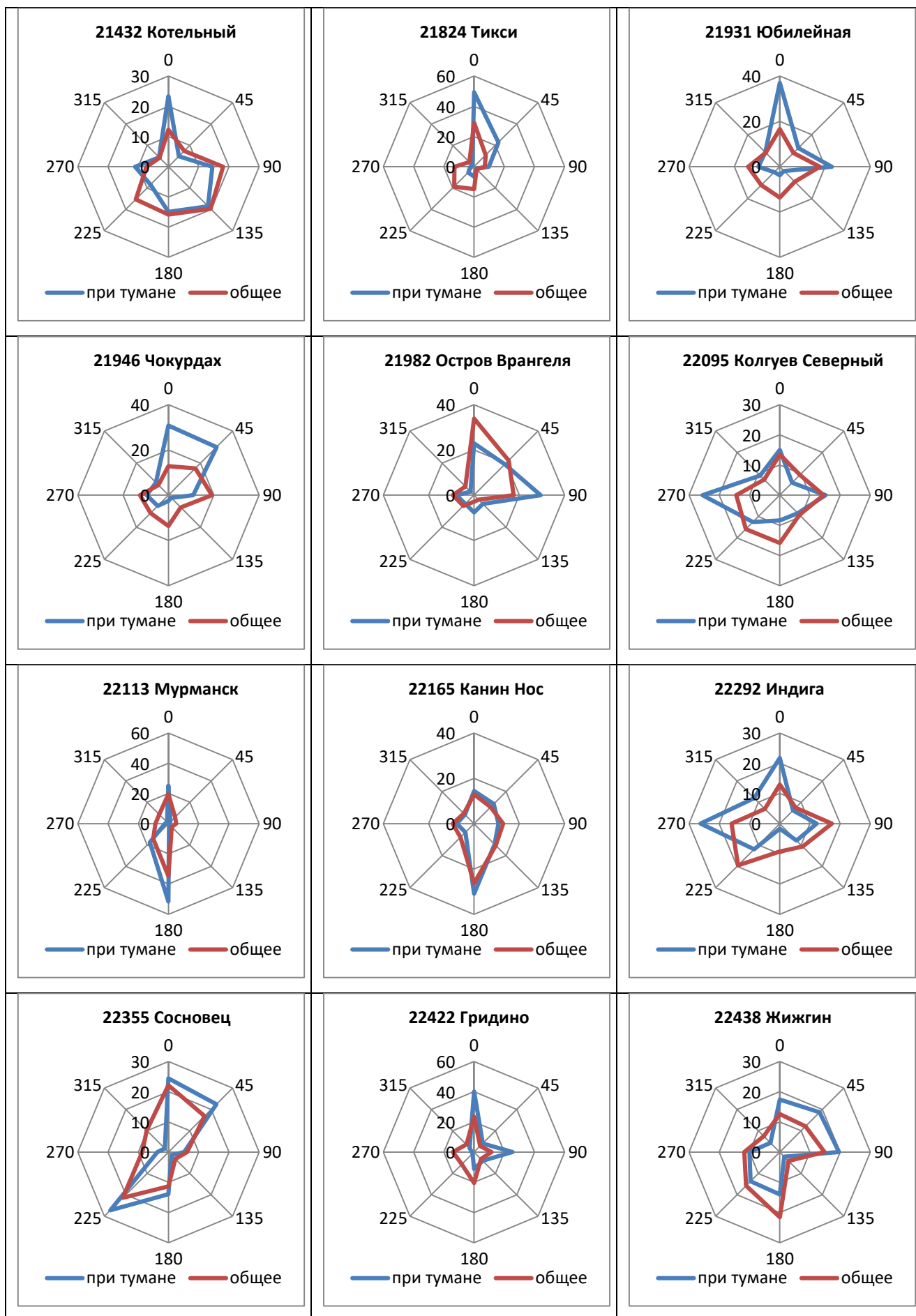




ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 3 – Розы ветров для весны по станциям





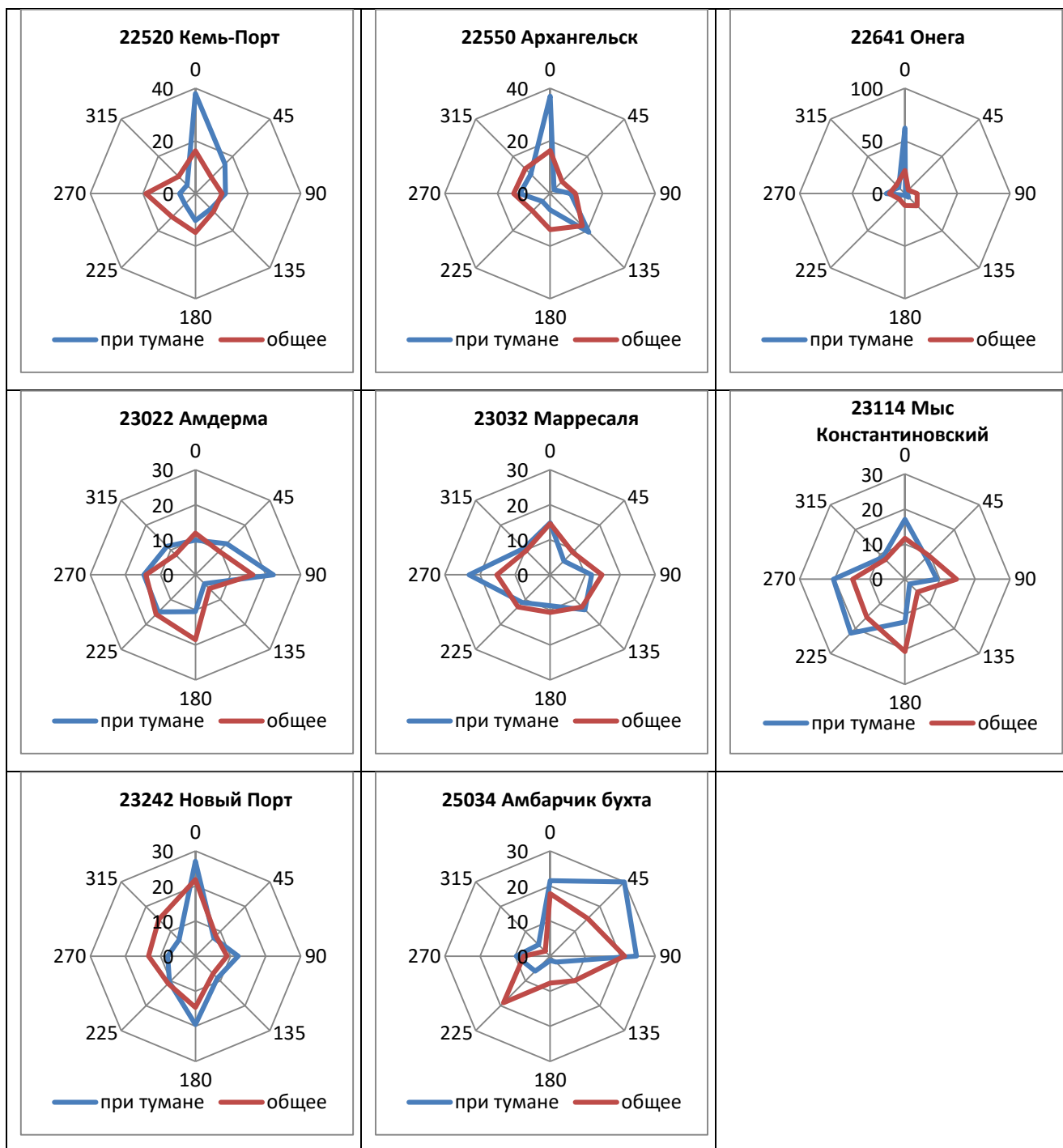
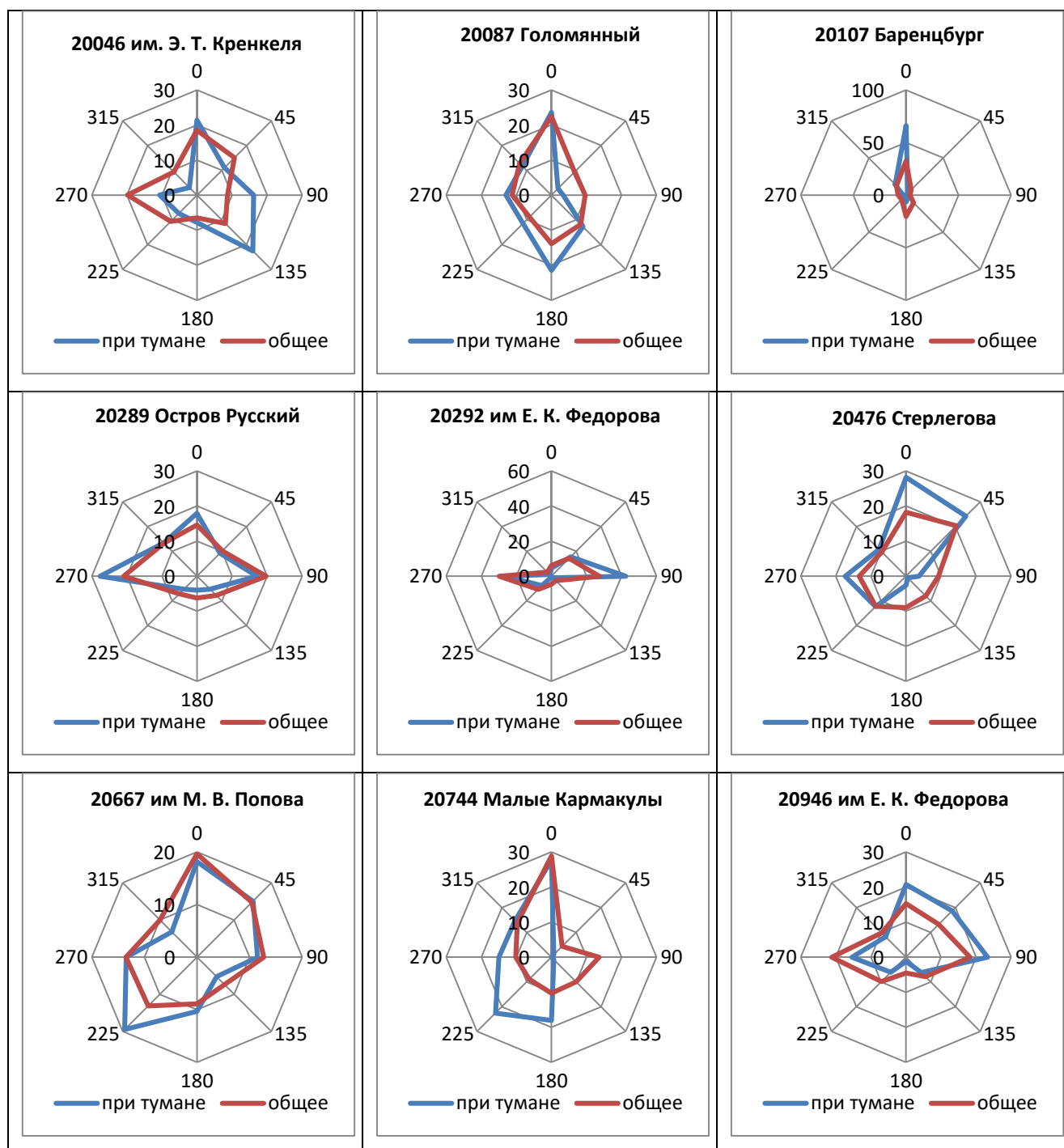
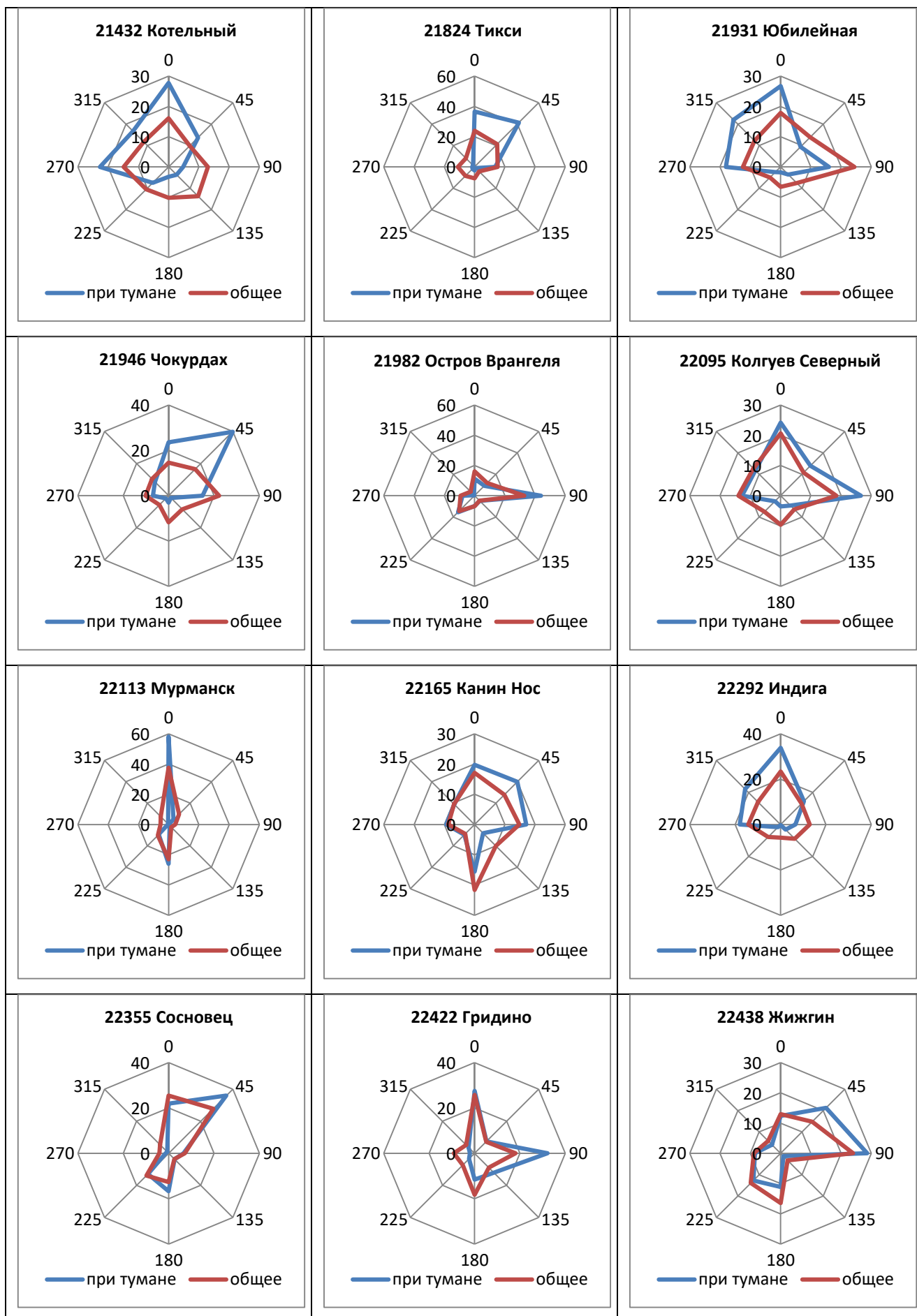


Таблица 4 – Розы ветров для лета по станциям





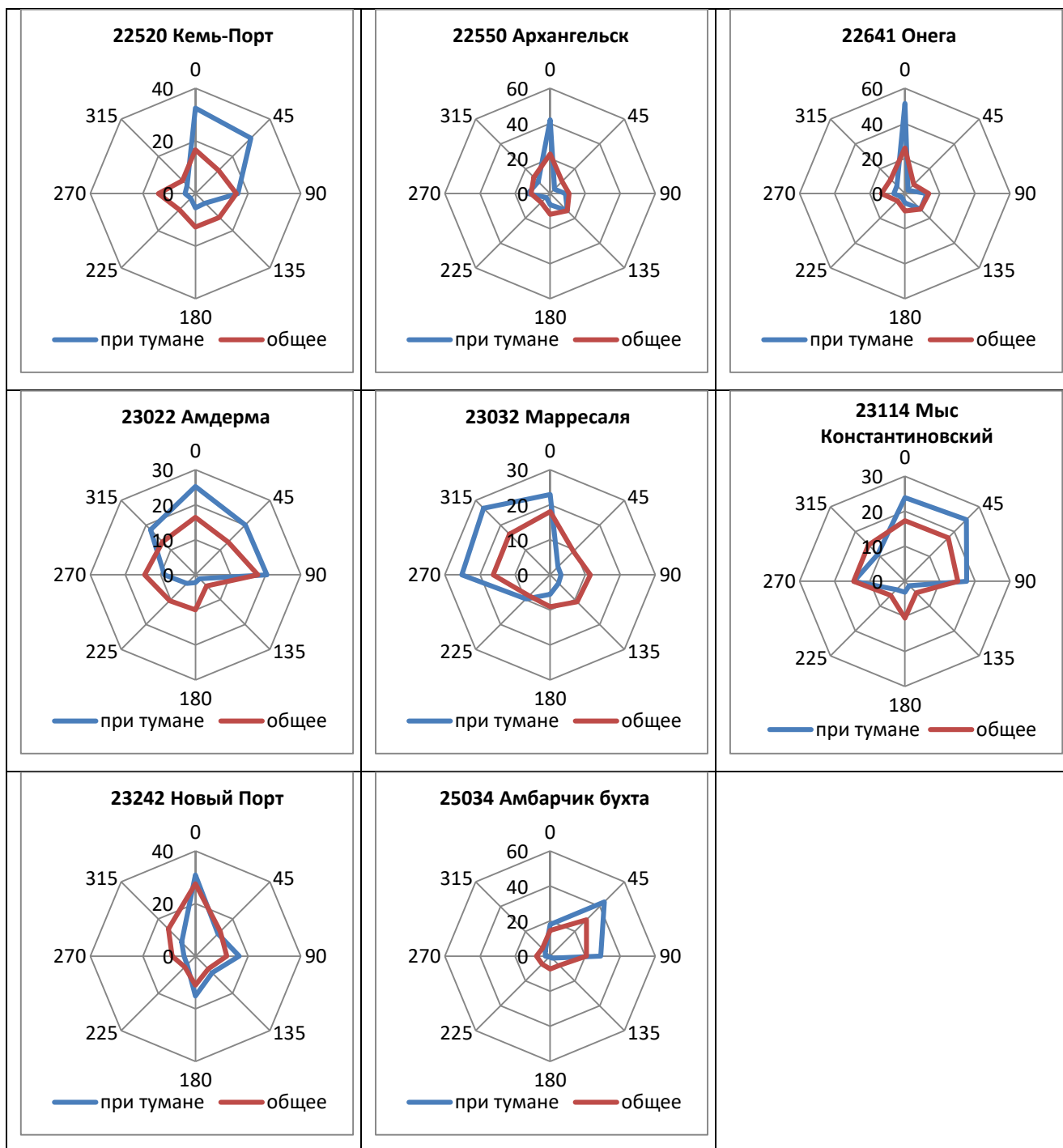
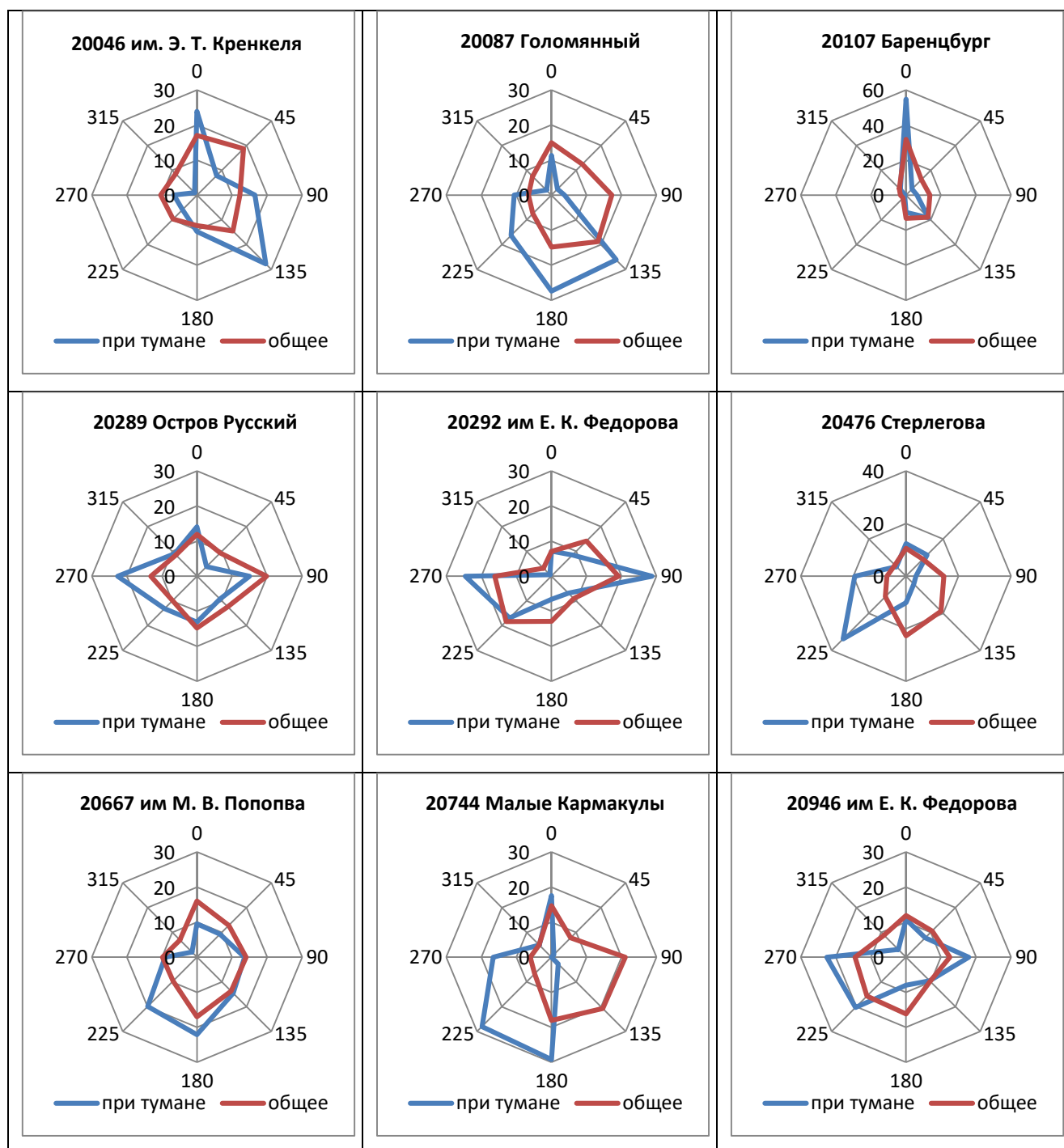
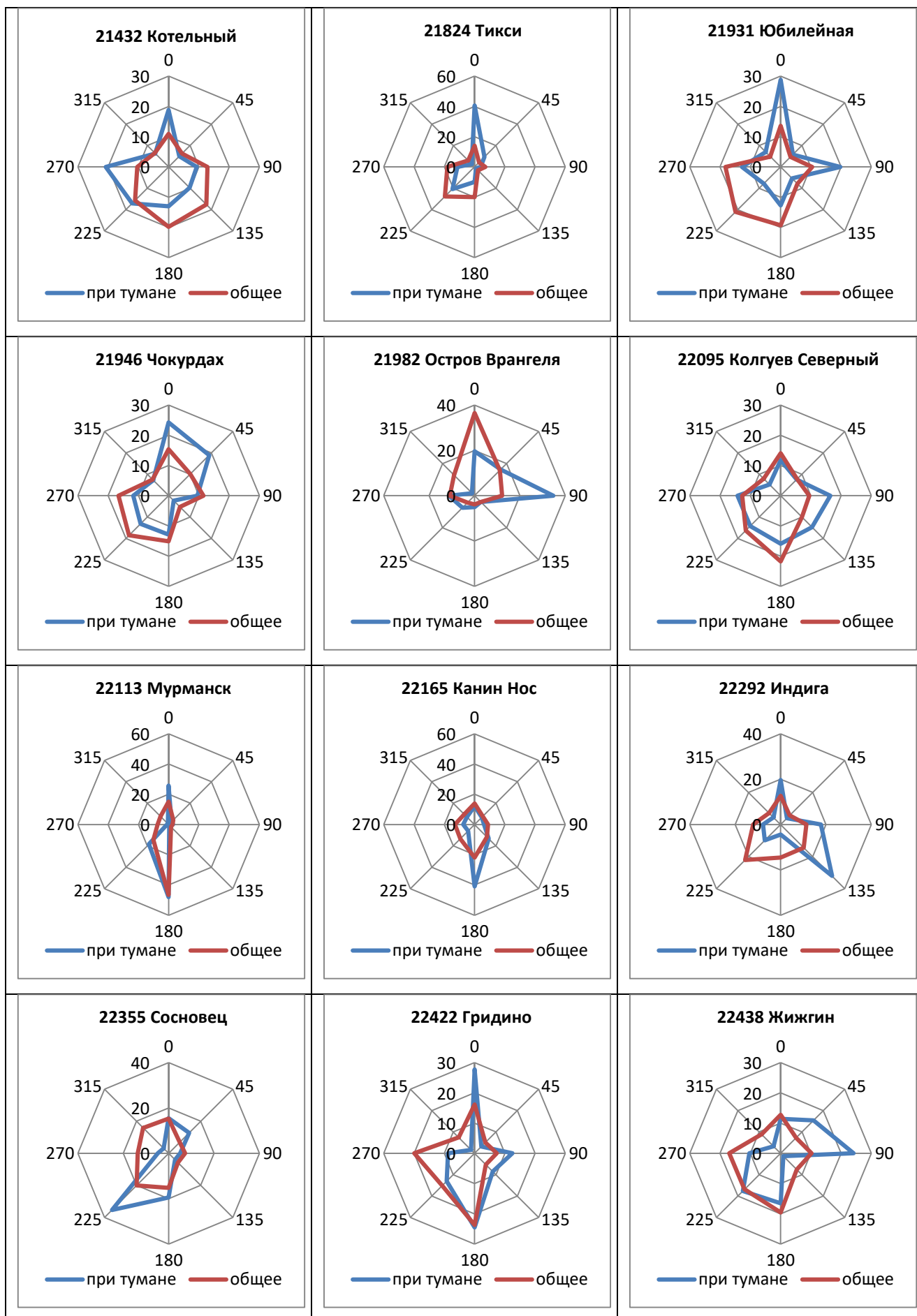
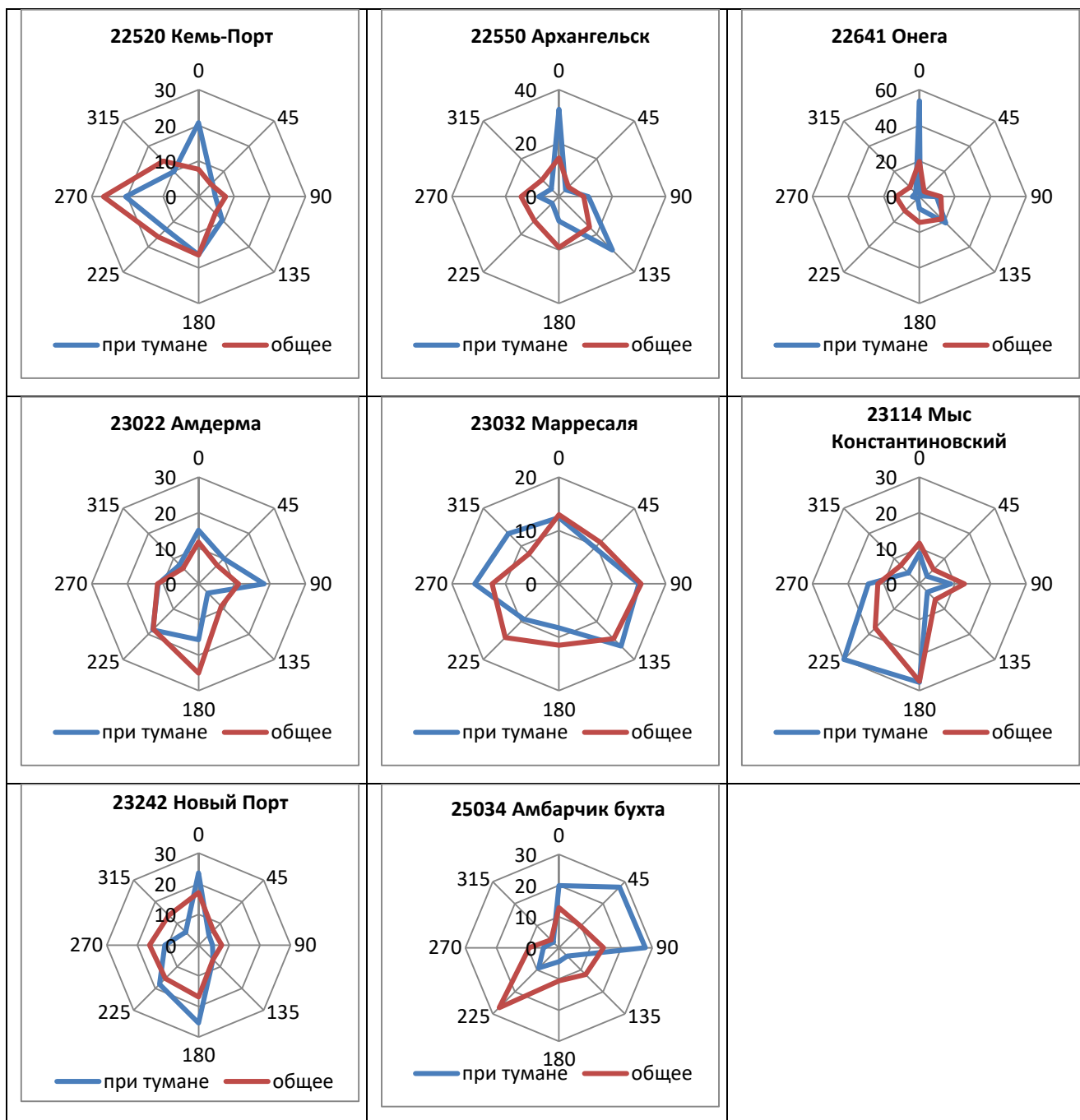


Таблица 5 – Розы ветров для осени по станциям







ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица 6 – Повторяемость скорости ветра по градациям при тумане для каждой станции

