

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.И. Харук

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Геоинформационный анализ распространения загрязнений в атмосферном  
воздухе города Красноярска

09.04.01 Информатика и вычислительная техника  
09.04.01.07 Дистанционное зондирование и ГИС-технологии в мониторинге  
природных и антропогенных экосистем

Научный руководитель \_\_\_\_\_ доцент к.т.н А.А. Гостева

Выпускник \_\_\_\_\_ С.П. Ильина

Рецензент \_\_\_\_\_ доцент к.т.н. М.Г. Ерунова

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Е.В. Федотова

Красноярск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Объект исследования – атмосферный воздух города Красноярска.....	5
1.1 Красноярск – промышленный центр Сибири.....	5
1.2 Особенности рельефа Красноярска.....	9
1.3 Особенности розы ветров Красноярска.....	12
1.4 Обзор методов исследования.....	15
1.4.1 Тематическое картографирование .....	15
1.4.2 Построение статистических карт .....	16
1.4.3 Классификация .....	17
1.4.4 Алгебра карт .....	20
1.4.5 3D-моделирование .....	22
1.5 Обзор программного обеспечения .....	25
1.6 Обзор исходных данных.....	29
2 Системы мониторинга атмосферного воздуха.....	32
2.1 Системы мониторинга атмосферного воздуха в мире .....	32
2.2 Система мониторинга атмосферного воздуха в России .....	36
2.3 Системы мониторинга атмосферного воздуха в Красноярске .....	38
3 Подготовка геоданных к анализу .....	41
3.1 Сбор данных .....	41
3.2 Геокодирование.....	42
3.3 Формализация геоданных .....	43
3.4 Фильтрация геоданных.....	44
3.5 Расчет абсолютной и относительной высоты труб .....	44

3.6 3D-моделирование для визуализации геоданных.....	44
4 Геоинформационный анализ загрязнения атмосферного воздуха.....	47
4.1 Построение карт загрязнения по различным веществам.....	47
4.2 Построение тематических карт по метеорологическим условиям (температурные карты и карты розы ветров).....	50
4.3 Анализ влияния рельефа на распространение загрязнений в атмосферном воздухе.....	53
Заключение .....	58
Список использованных источников .....	59
Приложение А Тематические карты .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Тема магистерской диссертации – «Геоинформационный анализ распространения загрязнений в атмосферном воздухе города Красноярска».

Целью исследовательской работы является изучение влияния природно-климатических факторов на перераспределение загрязнений в приземном слое атмосферного воздуха города Красноярска.

Результатом работы является серия тематических карт, отражающих особенности рельефа, влияние рельефа на распространение загрязнений, температуру воздуха, розу ветров города Красноярска.

В Красноярске концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе превышает нормы в разы и с каждым годом она увеличивается. Информация о фоновых концентрациях веществ в атмосфере публикуется во многих открытых источниках. Так, по данным Росстата, в конце 2016 года краевой центр занимал 14 место в рейтинге самых грязных городов страны, а 5 февраля 2018 года вообще оказался на первом месте по уровню загрязнения атмосферы. Общий годовой объем выбросов за 2016 год в атмосферу Красноярска составил 127,3 тысяч тонн. Ежедневно проводятся проверки промышленных предприятий, выписываются штрафы. Предельно допустимые концентрации ядов превышены во всех районах города.

Информация, собранная на стационарных, автоматизированных постах наблюдений показывает уровень загрязнения только в отдельных точках и не может дать адекватной картины состояния воздуха на остальной территории города.

Актуальность проблемы связана с проблемами чистоты атмосферного воздуха. Антропогенные загрязнения атмосферы, в отличие от природных, концентрируются на сравнительно небольших участках земной поверхности (в промышленных районах, городских агломерациях).

# **1 Объект исследования – атмосферный воздух города Красноярска**

## **1.1 Красноярск – промышленный центр Сибири**

Город Красноярск – административный центр Красноярского края и городского округа, а также является самым восточным городом-миллионником и центром Восточно-Сибирского экономического района. Климат Красноярска характеризуется резко континентальной направленностью, которая незначительно смягчается за счёт больших водных масс Красноярского водохранилища, не замерзающего зимой Енисея и окружающих горных массивов [1].

Город Красноярск является промышленным центром. В городе сосредоточены крупнейшие предприятия теплоэнергетики, цветной и черной металлургии, машиностроения, лесоперерабатывающей, фармацевтической и химической промышленности.

По данным тома предельно допустимых выбросов наибольшие выбросы в атмосферу производит ОАО «РУСАЛ Красноярск». Его суммарные выбросы составляют 65771,179 тонны в год или 40,0% от общегородских промышленных выбросов в атмосферу.

Далее следуют Красноярская ТЭЦ-1 (21165,7 т/год), Красноярская ТЭЦ-2 (18218,3 т/год), Красноярская ТЭЦ-3 (12655,98 т/год), ОАО «Региональная тепловая компания» (6789,9), основная площадка ОАО «Красноярский цемент» (4437,8 т/год), ООО «КрамзЭнерго» (2709,6 т/год), котельная № 1, ОАО «КрасТЭК» (2270,1 т/год), ООО «ФармЭнерго» (2221,0 т/год), полигон ТБО МП «Автоспецбаза» (1856,9 т/год), котельная ВЭС ОАО «Красмашзавод» (1839,6 т/год), ОАО «ЭВРЗ» (1755,3 т/год), ООО «Енисейский ЦБК (1662,5 т/год), котельная № 2 (1590,2 т/год) и котельная № 5 по ул. Тотмина,24А (1523,9 т/год).

В диапазон выбросов по массе от 500 до 1000 т/год входит 9 предприятий (объектов), в том числе котельные ЗАО «Сибтяжмаш» (921,0 т/год), № 1 ООО

«КрасКом» по ул. Джамбульская, 4А (870,7 т/год), № 2 – ул. Metallургов, 3А (784,7 т/год), ООО «КРАМЗ» (834,3 т/год), ООО «Бытэнерго» (650,1 т/год), ОАО ПО «Красноярский завод комбайнов» (634,6 т/год), котельная ОП КФ ОАО «СибЭНТЦ» (579,1 т/год), ООО «ЗКПД» УСК «Сибиряк» (560,1 т/год), котельная № 12, ул. Норильская, 31 (539,1 т/год), ООО «КрасТЭК» (539,4 т/год) [2].

На рисунке 1 представлена карта классификации труб промышленных предприятий по количеству выбросов в атмосферу.

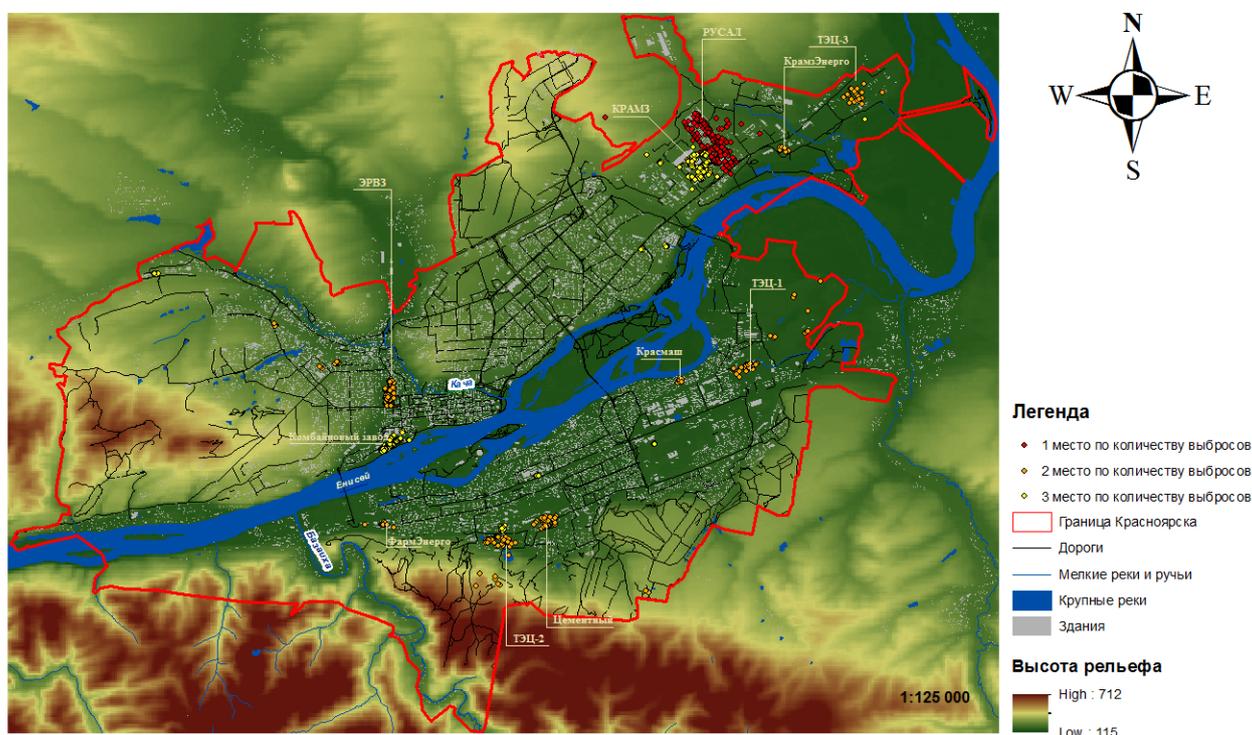


Рисунок 1 – Карта классификации труб промышленных предприятий по количеству выбросов в атмосферу

По данной карте можно выявить особенность красноярских промышленных предприятий – большая часть из них расположена в черте города.

Красноярск находится в зоне резко континентального климата с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Крупные отопительные котельные для создания условий по рассеиванию вредных веществ в атмосферном воздухе оборудованы высокими источниками выбросов

и эффективными газоочистными сооружениями (электрофильтры и др.). Высота дымовой трубы на Красноярском ЭВРЗ - 120 м. На ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-1 используются трубы высотой до 180 м. Вновь построенная труба Красноярской ТЭЦ-3 - 275 м. Это самая высокая труба в городе и вторая по высоте в крае. Высота трубы Назаровской ГРЭС - 250 м. Самая высокая труба в Красноярском крае на Березовской ГРЭС - 370 м.

В 2017 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Красноярска характеризовался как «очень высокий» (ИЗА<sub>5</sub> (количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы 5 приоритетными веществами, определяющими состояние загрязнения атмосферы в данном населенном пункте) > 14); стандартный индекс – 20,1 (по бенз(а)пирену), наибольшая повторяемость превышения предельно допустимых концентраций – 23,1% (по формальдегиду).

Основной вклад в уровень загрязнения атмосферы города внесли такие загрязняющие вещества как бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота, аммиак.

В атмосфере города в 2017 г. зафиксированы случаи превышений: 1, 3, 5 предельно допустимых концентраций по взвешенным веществам и формальдегиду; предельно допустимых концентраций по оксиду углерода, диоксиду азота, оксиду азота, фенолу, фториду водорода, хлориду водорода, бензолу, ксилолу; 1 и 3 предельно допустимых концентраций по этилбензолу.

В течение года зафиксировано 20 случаев «высокого» загрязнения бенз(а)пиреном. В декабре 2017 г. средние за месяц концентрации бенз(а)пирена превысили гигиенический норматив на всех постах более чем в 10 раз. Так же случаи превышения предельно допустимых концентраций отмечались в январе и феврале.

По сравнению с прошлым годом общегородской уровень загрязнения атмосферного воздуха не изменился.

Годовой ход загрязнения атмосферы. Из рисунка 2 видно, что наиболее высокие значения стандартного индекса были зафиксированы в январе

(стандартный индекс — 15,8), феврале (стандартный индекс — 18,6) и декабре (стандартный индекс — 20,1).

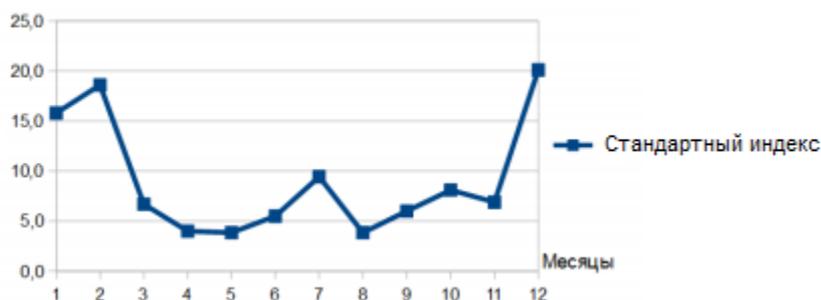


Рисунок 2 – Годовой ход стандартного индекса

Это связано с высокими концентрациями бенз(а)пирена в холодный период года. Большая повторяемость превышений предельно допустимых концентраций наблюдалась с июня по сентябрь по формальдегиду (48,0-52,9%) (рисунок 3).

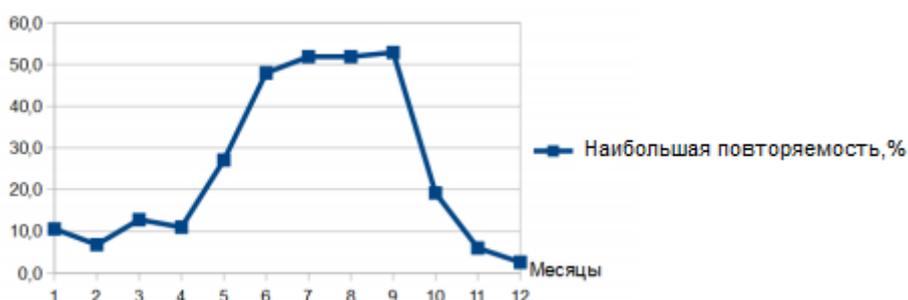


Рисунок 3 – Годовой ход наибольшей повторяемости

Тенденция изменений уровня загрязнения атмосферы. В пятилетнем ходе наибольшее значение стандартного индекса было зафиксировано в 2016 году, наибольшая повторяемость наблюдалась в 2013 и 2017 годах [3].

## 1.2 Особенности рельефа Красноярска

Высокий уровень загрязнения воздушного бассейна г. Красноярска вызван крайне неблагоприятными условиями для переноса и рассеяния вредных примесей.

Качество воздушного бассейна определяется не только объемами выбрасываемых в атмосферу загрязнителей, но и способностью атмосферы к их накоплению и рассеиванию. Основными перераспределителями загрязняющих веществ являются рельеф и роза ветров.

Локальные распределения воздушных потоков формируются вследствие наличия на исследуемой территории разного рода неоднородностей подстилающей поверхности, таких как сложный горный рельеф (орфографическая неоднородность), локализация на территории крупных водных объектов (озера, водохранилища, реки), не тающих летом наледей и не замерзающих зимой полыней и гидро- и теплоэлектростанций (температурные неоднородности).

Рельеф города Красноярска отличается разнообразием форм.

Город Красноярск и его зеленая зона расположены на стыке трех геоморфологических стран: Западно-Сибирской равнины, Средне-Сибирского плоскогорья и Алтае-Саянской горной страны. Северо-западная часть города Красноярска расположена в пределах Красноярской лесостепной предгорной равнины. Территория данного природного округа размещена на стыке Западно-Сибирской низменности и предгорной равнины Восточного Саяна. Хорошо выражен террасовый комплекс, в пределах которого и располагается большая часть города. По ее восточной окраине проходит долина реки Енисей, насчитывающая восемь террас различной сохранности, на которых расположена основная часть города. Выходя из гор, река течёт вдоль подножья Енисейского кряжа, на сопряжении его с Красноярско-Кемчугской равниной. Ширина речной долины здесь достигает 30 км на уровне высоких террас. На рисунке 4 представлена карта террас. I и II(8-18метров над уровнем Енисея), III (30 м.),

IV(45-55м), V(60-70м) , VI (100м), VII(130-140м), VIII(150-230м). Террасы представляют собой горизонтальные площадки, лишь иногда имеющие небольшой уклон (до 2,50) в сторону водотока, к бассейну которого принадлежат.

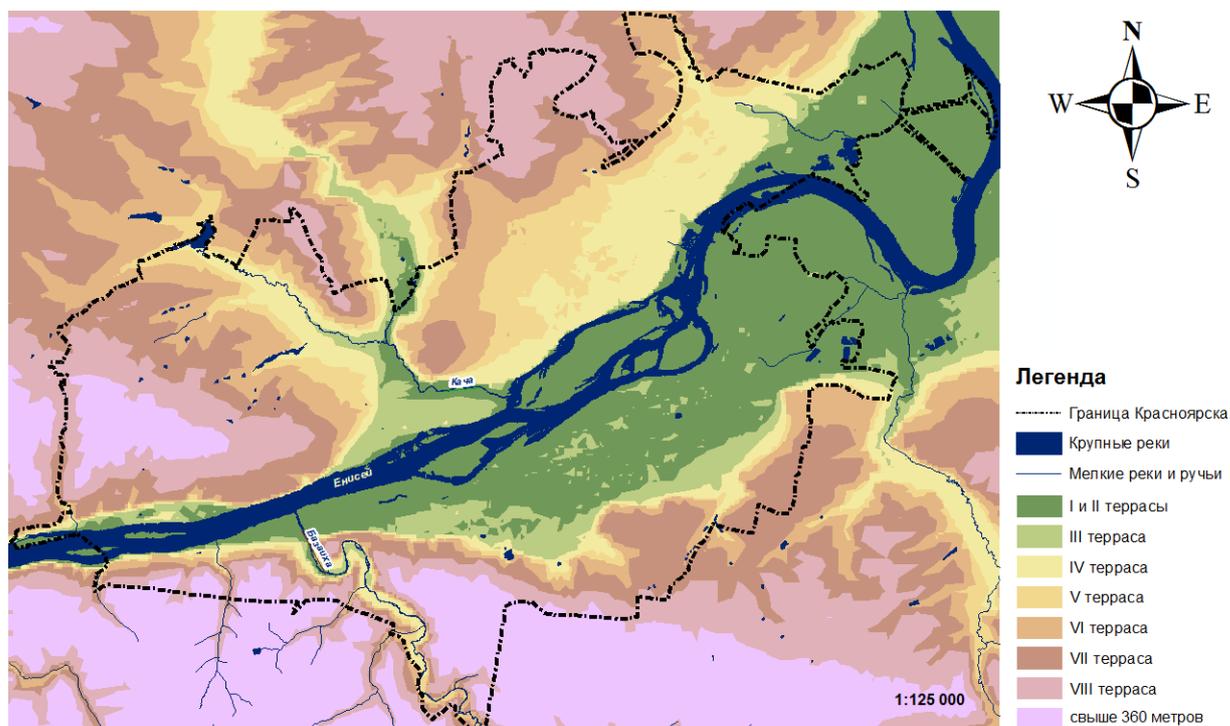


Рисунок 4 – Карта расположения террас на территории города Красноярска

По карте хорошо видно, что террасы расположены в порядке высотного удаления от реки Енисей.

Образование первой группы террас началось, очевидно, в конце третичного периода. К ней относится девятая терраса. Данная терраса в окрестностях города не сохранилась. Состав ее, по В.И. Громову, снизу вверх: галечники, переслаивание аллювиальных песков или супесей, выше – палевосерые супеси и суглинки делювия и почвенный горизонт, или же – лессовидные суглинки или лёсс. Высота ее 10-20 м. Различие высот определяется материалом делювиальных накоплений. Ко второй группе террас относится скульптурно-аккумулятивные, а к третьей – аккумулятивные. К самым молодым

образованиям относятся верхняя и нижняя поймы, которые представлены островами в долине реки Енисея и его притоков.

Особенно отчетливо мы видим восьмую террасу, поднимающуюся над современным руслом реки на 160-180 м. Она хорошо заметна от станции Юннатов до Гремячей сопки. На высоте 130-140 метров находится седьмая терраса. На ней расположены Студенческий и Академический городки, а в правобережье широкой лентой она протянулась вдоль северного склона Торгашинского хребта. Шестая терраса около поселка Базаиха имеет высоту 100-120 м. эти три террасы являются древними. Они образовались больше миллиона лет тому назад. Пятая терраса (60-80 м) занимает обширную территорию от Мединститута до Зеленой рощи, а четвертая (40-60 м) – около поселков Солонцы, Базаиха и в некоторых других местах. На высоте 30-36 метров над современным уровнем русла Енисея находится третья терраса. Она хорошо выражена по долинам рек Качи и Бугача. Большая часть право- и левобережья города находится на второй террасе (15-25 м). Третья и вторая террасы относятся к тому времени, когда в окрестностях города уже жил человек каменного века, более семи тысяч лет назад, а ландшафт представлял собой нечто вроде холодной лесостепи или редколесья. Лучше всего эта терраса выражена в районе Красноярска, почему она и носит название Красноярской. Средние горизонты этой террасы содержат кости постплиоценовых животных. Галечники и пески основания этой террасы представлены уже прочно сцементированными породами – песчаниками и конгломератами.

Рельеф территории, расположенной на Средне-Сибирском плоскогорье, отличается сглаженностью широких водораздельных пространств. Южная часть города входит в состав природной провинции Саянских гор и межгорных котловин Алтае-Саянской горной страны, которая состоит из плосковершинных нагорий и хребтов.

Красноярск расположен на обоих берегах реки Енисей в ее среднем течении. Важную роль в формировании ландшафтных особенностей города Красноярска играет долина реки. Она является полосой переходных ландшафтов

между крупными природными зонами и занимает преобладающую часть города. Ее ширина на разных берегах неодинакова: на правом – она изменяется от одного километра у ручья Лалетина до 8 км при впадении реки Березовки. Левобережная долина при впадении реки Кача и в северной части города значительно расширяется (до 6-8 км). В целом она представляет собой ступенчатую эрозионно-аккумулятивную равнину, имеет сложную морфологию. Разнообразие форма рельефа и геологического строения, наличие водных акваторий и растительности, т.е. природно-генетических признаков местности, определяют выделение различных типов природных ландшафтов, на фоне которых сложилась и развивается территория города и пригородной зоны [4].

### **1.3 Особенности розы ветров Красноярска**

Для Красноярска характерно постоянство режима ветра в течение всего года, что объясняется условиями орографии. При этом направление долины Енисея совпадает с преобладающим направлением ветра. Ширина долины Енисея в пределах города резко изменяется, что влияет на скорость ветрового потока и, как следствие, на интенсивность проветриваемости территории. В месте выхода реки с гор Восточного Саяна долина в значительной степени расширяется, уменьшая средние скорости ветров

В повторяемости направлений ветра и штилей по 16 румбам, очевидно, что в течение года преобладают ветры трех румбов: западный-юго-западный; западный; западный-северо-западный.

В зимние месяцы их суммарная повторяемость составляет 51-63%, в переходные периоды – 48-62%. Летом повторяемость ветра этих направлений также преобладает над остальными румбами, но в сумме составляет 35-38%. Летом прослеживается второй максимум - ветер восточных румбов. Суммарная повторяемость восточно-северо-восточного, восточного и восточно-юго-восточного румбов в летние месяцы – 21-24%. Появление второго максимума связано с тем, что летом уменьшаются температурные контрасты между

северными и южными широтами, над северными морями активизируется антициклональная деятельность, а город Красноярск оказывается под влиянием Монгольского антициклона, находясь на его северной, северо-западной периферии. Застройка города оказывает значительное влияние на перераспределение воздушных потоков. В большом городе ветер отклоняется от своего естественного направления. При сомкнутой застройке он дует вдоль длинных и прямых уличных магистралей.

На ветер оказывает влияние и тепло большого города. Вследствие наличия разности температур между центральными районами города и его периферией, возникает система воздушных течений циклонического характера – поднимающийся вверх более теплый воздух центральных районов города заменяется более холодным с периферии. Такое влияние города проявляется в основном при слабых ветрах, не превышающих 3 м/с. Иногда при безоблачной тихой погоде мелкие местные завихрения, вызванные термическими различиями, могут образовываться на улицах и даже во дворах.

Скорость ветра определяется структурой барического поля. Наименьшая скорость ветра наблюдается в безградиентных барических полях.

Среднегодовая скорость ветра в городе Красноярске составляет по многолетним данным – 3,7 м/с. В годовом ходе средней скорости ветра наблюдается максимум – 4,9 м/с - в апреле, в рассматриваемый 10-летний период максимум отмечался также в апреле, но средняя скорость составила 2,6 м/с. Наибольшие скорости приходятся на месяцы с усиленной циклонической деятельностью, преимущественно апрель, май, октябрь, ноябрь.

Среднее значение скорости ветра для северо-восточных районов города 4-5 м/с, в северо-западной части города – 2-3 м/с.

Минимум скорости ветра в годовом ходе приходится на лето, когда преобладают процессы трансформации воздушных масс, ослабевает циклоническая деятельность. Минимальных значений скорость ветра достигает в июле и августе – 2,5-2,7 м/с. В эти месяцы наиболее часто (10-11%) наблюдаются слабые ветры, скорость которых – 0-1 м/с.

Распределение вредных примесей в атмосфере заметно зависит от характера суточного и годового хода слабых ветров. Повторяемость слабых ветров в городе Красноярске существенна в течение всего года и составляет в среднем 41-50% по многолетним данным.

В зависимости от скорости ветра наблюдаются два максимума загрязнения воздуха примесями. При скоростях ветра 0-1 м/с, когда горизонтальный перенос ослаблен, а конвективного переноса оказывается недостаточно для выноса примесей, наблюдается рост концентраций загрязняющих веществ, поступающих от низких источников.

В суточном ходе скорости ветра минимум приходится на утренние и ночные часы на протяжении всего года, в эти же сроки наблюдается наибольшая повторяемость штилей.

При ослаблении ветра до штиля происходит накопление примесей, но в это время значительно увеличивается подъем перегретых выбросов в верхние слои атмосферы, где они рассеиваются. Если при этих условиях наблюдается инверсия, то может образоваться «потолок», препятствующий подъему выбросов. Тогда концентрация примесей у земли резко возрастает.

В годовом ходе повторяемости штилей первый максимум приходится на летние месяцы и сентябрь – 29-38%, второй максимум отмечается с декабря по февраль – 22-25%. Минимальная повторяемость приходится на апрель – 10% .

Районы города Красноярска, расположенные с неветренной стороны, считаются самыми чистыми. Это – Ветлужанка, Северо-Западный, Академгородок. Наиболее загрязнены территории правобережной части города – улица Свердловская, Черемушки, поселок Шинников. От пыли Красноярска страдают не только горожане, но и жители близлежащих районов. Ветер, как правило, выносит городскую пыль к Кузнецовскому плато, в сторону села Атаманово и города Железногорска. Горы, примыкающие с восточной стороны, образуют здесь естественный барьер, поэтому вся пыль оседает в основном в этом районе. Ореол распространения пылевого облака от краевого центра достигает 10856 км<sup>2</sup>, тогда как сам Красноярск занимает только 300 км<sup>2</sup> [2].

## **1.4 Обзор методов исследования**

### **1.4.1 Тематическое картографирование**

Тематическая картография - это мощный инструмент для анализа и визуализации пространственных данных. Тематические (или специальные) карты и картограммы отображают какое-либо явление или группу явлений физико-географического или социально-экономического характера. Некоторые явления и тенденции практически невозможно увидеть в табличной форме, но они замечательно проявляются на тематической карте. Серия в картографии определяется как группа однородных географических карт или обладающих какими-то общими, объединяющими свойствами.

Кроме того, на карте, посвященной отображению конкретного явления, можно показывать отдельные его аспекты, используя при этом различные способы картографического изображения.

Тематическими называются карты (слои), объекты на которых выделены графическими средствами в зависимости от сопоставленных им значений. К графическим средствам наряду с раскраской относятся - штриховки, виды символов и такие методы представления, как графики и круговые диаграммы [5].

Тематическое картографирование как одно из направлений географического картографирования имеет своей целью выявить закономерности пространственного распределения атрибутивных (тематических) признаков объектов [6].

Карты городов определяются как географические карты, изображающие планировку города, его ландшафты, достопримечательности, население, функции, городское хозяйство, процессы урбанизации, экологическое состояние. Карты городов могут иметь самое разное содержание (природные условия, социально-экономические особенности, экология) и различное назначение – справочное, историко-культурное, туристское [7].

Тематическое картографирование охватывает все основные сферы городской жизни. Создаются как отдельные тематические карты, так и серии карт эколого-географической или социально-экономической тематик.

#### **1.4.2 Построение статистических карт**

Карты статистики представляют собой вид графических изображений статистических данных на схематичной географической карте, характеризующих уровень или степень распространения того или иного явления на определенной территории [8].

Поверхности – это объекты, которые чаще всего представляются значениями высоты  $Z$ , распределенными по области, определенной координатами  $X$  и  $Y$ . Параметр  $Z$  чаще всего ассоциируется с высотой рельефа местности, но не всегда. На самом деле, любые измеримые величины, которые могут встречаться на определенной территории, могут рассматриваться как образующие поверхность. Обычно используется термин «статистическая поверхность», поскольку значения параметра  $Z$  часто можно трактовать как статистическое представление величины рассматриваемых явлений или объектов.

За статистическими поверхностями стоит идея о том, что  $Z$ -величина либо непрерывна на интересующей нас области, либо может считаться непрерывной в целях моделирования и картографирования. Статистические поверхности, образованные величиной, определенной во всех точках изучаемой области, называются непрерывными.

Говорят, что непрерывные данные присутствуют в каждой возможной точке области. То есть, существует возможность получения отсчета этой величины на сколь угодно малой площади и где угодно в рассматриваемой области.

Определение статистической поверхности как непрерывной означает, что имеется бесконечное количество точек, в каждой из которых может быть свое

значение. Однако, провести измерения в бесконечном числе точек – физически невозможно, также как невозможно хранить бесконечный объем данных. Поэтому определение непрерывной поверхности с помощью бесконечного числа точек должно быть заменено моделью, которая использует существенно важные отсчеты рассматриваемой величины. Эти отсчеты представляют наиболее важные изменения поверхности как упрощенное представление.

Поскольку для непрерывных поверхностей, – топографических, экономических, демографических или климатических мы используем выборку, – нам нужна возможность изображать с приемлемой точностью наблюдаемые объекты [9].

Нам нужна возможность определения уклонов, экспозиций склонов и распространения загрязнений на определенной территории Красноярска.

Интерполяция обеспечивает многое из того, что нужно для выполнения этих операций.

Интерполяция – восстановление функции на заданном интервале по известным ее значениям в конечном множестве точек, принадлежащих этому интервалу [10].

В данной исследовательской работе для построения серии карт используется метод обратно взвешенных расстояний.

Метод обратно взвешенных расстояний исходит из предложения, что чем ближе друг к другу находятся точки данных, тем ближе их значения [9].

### **1.4.3 Классификация**

Благодаря сегодняшним ГИС мы можем хранить исходные данные, не подвергнутые классификации, и обрабатывать их в соответствии с нашими потребностями. Это наиболее ценная сторона классификации средствами ГИС: чем более точно классификация настраивается на нужды пользователей, тем более полезной она становится. ГИС обеспечивает широкие возможности классификации и переклассификации атрибутивных данных для достижения

этого результата. На самом деле, их работу можно отнести прежде всего к переклассификации, так как данные, вводимые в ГИС, часто уже классифицированы. Оператор ГИС либо использует существующую классификацию, либо перерабатывает имеющиеся атрибуты для создания классификации, лучше соответствующей поставленным вопросам или принимаемым решениям.

Переклассификация растров является специальной формой запроса, в результате которого формируется новое изображение, содержащее классификационные коды различных объектов [11].

Точки и линии могут переклассифицироваться простым перекодированием атрибутов в их таблицах или перекодированием значений ячеек растра для создания новых точечных или линейных покрытий. В этом простом процессе пользователь меняет сами атрибуты и не более того. Процесс – практически такой же при работе с площадными объектами в растровых системах. Выбрав атрибуты нужных областей, просто изменяются числа кодов или имена атрибутов для этих ячеек растра. В простых растровых системах, где нет привязанных к растру таблиц атрибутов, необходимо также изменять и легенду нового покрытия для отражения изменившейся ситуации.

Хотя изменение кодов атрибутов в простых растровых системах – процесс достаточно прямолинейный, он может представлять некоторые интересные проблемы, главным образом вследствие порядка, в котором изменяются числа.

Хотя многие более совершенные растровые ГИС, отслеживая атрибуты, могут устранять проблемы, подобные упомянутой, в простых системах нужно проявлять осмотрительность при выполнении переклассификации. Здесь можно предпринять две вещи. Первое, можно выбрать новые коды атрибутов, не совпадающие с уже имеющимися в покрытии. Этот прием полезен и в устранении путаницы в процессе первичной классификации. Второй способ, посложнее, состоит в прослеживании, как перенумерация воздействует на результат. Если обнаружено, что порядок перенумерации создает новые

величины, которые будут изменены на следующем шаге, то, возможно, избежать проблем, выполняя процесс в обратном порядке.

В случае векторов процесс переклассификации требует изменения как атрибутов, так и графики. Во-первых, надо удалить все линии, которые разделяют два класса, которые должны быть объединены. Эта операция называется растворением границ. Затем атрибуты этих двух полигонов переписываются для нового покрытия как единый новый атрибут для обоих.

И в растровой, и в векторной переклассификации полигонов имеется интересная особенность. В обоих случаях по окончании получается меньшее число категорий, чем имели вначале. Этот результат, называемый агрегированием данных – полезный и распространенный вид переклассификации.

Выше рассматривается переклассификация данных лишь номинальной шкалы измерений. Легко представить, как можно было бы переклассифицировать данные других шкал. В картографических методах это делается созданием диапазонов категорий данных, что часто называется ранжированными классификациями. Такой сценарий требует от нас всего лишь перекодировать эти данные на основе классовых интервалов, в которые они попадают. И, как и в случае данных номинальной шкалы, необходимо просто перекодировать ячейки растра или выполнить замену атрибутов и растворение границ. Одновременно мы можем также выполнить их инверсию или использовать иные преобразования, включающие математические операции над значениями полигонов с участием других переменных. При этом процесс по сути такой же, как и в случае с данными номинальной шкалы.

Все перечисленные до сих пор методы имеют одну общую черту. Процесс переклассификации направлен на переименовывание полигонов на основе значений атрибутов на их собственном месте. Это своего рода приземленный взгляд, в котором каждый набор ячеек растра или каждый полигон рассматривается как отчетливо индивидуальная сущность, а классификация ограничена целевой областью, как в использовании начальных значений, так и в

самой переклассификации. Переклассификация на основе атрибутивной информации – только один из четырех основных методов, остальные основаны на информации о положении, размере и форме. Впрочем, эти представления не выделяются как отдельные методы: все они часто комбинируются друг с другом для создания широкого разнообразия методов переклассификации [9].

#### **1.4.4 Алгебра карт**

Алгебра карт – в ГИС растрового типа: логико-арифметическая обработка растрового слоя как единого целого, подобная матричным операциям в математике [10].

Совместное использование картографических и математических моделей в процессе анализа-синтеза сложной и разнородной пространственно-временной информации существенно повышает географическую точность и достоверность данных, а также приводит к оптимальному виду результаты математических расчетов. Формализованное картографическое изображение (особенно ярко это проявляется при пространственно-позиционном представлении) по своей сути приспособлено для математического анализа. Каждой точке карты с координатами  $X$  и  $Y$  поставлено в соответствие одно значение картографируемого явления  $Z$ , а это позволяет рассматривать изображение данного явления как функцию  $Z = F(X, Y)$ .

Многие пространственно-распределенные явления реально связаны между собой функциональными или статистическими зависимостями, другие могут быть условно представлены как функции пространства и времени при помощи абстрагирования от несущественных деталей, постановки определенных ограничений, аппроксимации сложных и неизвестных функций более простыми и известными. В настоящее время почти все разделы современной математики применимы для обработки картографических изображений, но не все они однозначно обоснованы и не все результаты, получаемые в результате математического анализа, имеют надежную содержательную интерпретацию.

Наиболее широко распространенные алгоритмы анализа реализованы во многих оболочках ГИС в виде готовых аналитических модулей, однако пользователи должны иметь возможность самим строить аналитические алгоритмы с минимальным расходом времени на создание пользовательского интерфейса. Реализацией такого подхода к наращиванию аналитических возможностей в некоторых оболочках ГИС стала разработка макроязыка программирования, построенного на макрофункциях пространственного анализа растровых данных и задаваемых пользователем значениях обрабатываемых параметров.

Функции картографической алгебры:

- локальные функции работают с индивидуальным местоположением ячеек, вычисляя их значения в одном или нескольких картографических слоях;

- фокальные функции анализируют окружение каждой отдельно взятой ячейки растровой карты и вычисляют для нее новое значение в зависимости от значений этого окружения, направления и радиуса поиска, типа математической операции. Например, такие функции используются при решении задач районирования, расчета стоимости пути или анализа зон видимости;

- инкрементальные функции, как и фокальные, также работают с анализом окружения каждой отдельно взятой ячейки, но они вычисляют это значение как приращение одно-, двух - или трехмерных картографических форм. Размер и форма этого приращения определяется отношением значения каждой ячейки к значениям прилегающих ячеек на одном или нескольких картографических слоях.

- зональные функции работают с ранее определенными группами ячеек (зонами), вычисляя их новые значения на одном картографическом слое относительно значений зон на других картографических слоях.

В разные системы в зависимости от их назначения может быть включен различный набор аналитических функций. Различными могут быть и конкретная программная реализация этих функций, перечень и способ задания параметров функции, форма представления расчетов, интерфейс каждой функции. Базовой

формой, при помощи которой задаются параметры и представляются результаты, является картографический тематический слой (обычно представленный в виде отдельного растрового файла). Основной формат командного языка функций картографической алгебры имеет следующий вид: имя файла выходного слоя = операция + имя файла основного слоя + значения параметров или имя файла (файлов) слоя (слоев) параметров + добавочные параметры [12].

### **1.4.5 3D-моделирование**

На традиционных картах все объекты реального мира описываются в плоской (двухмерной) системе координат. Третья пространственная координата площадных объектов – высота  $H$  – отображается цветом или изолиниями.

На векторных картах современных ГИС различного назначения (градостроительных, инженерных, кадастровых) возникает необходимость для наглядности отображать плоские объекты объемными моделями.

Исходными данными для создания трёхмерных моделей местности (трехмерных карт) являются детальные планы городов и топографические карты, данные классической аэрофотосъемки и лазерного сканирования, а также данные дистанционного зондирования земли сверхвысокого пространственного разрешения.

Данные пространственных объектов отличаются от данных поверхности тем, что отображают отдельные объекты, а не непрерывные явления. Пространственные объекты обычно имеют форму (геометрию) и атрибуты.

Геометрия пространственных объектов может быть точечной, линейной или полигональной:

– точечные пространственные объекты могут отображать горные вершины, телеграфные столбы или города;

– линейные объекты используются для отображения дорог, рек или горных хребтов;

– полигоны могут отображать строения, океаны или административные округа.

Атрибуты пространственных объектов могут содержать значения, которые определяют их высоту. Некоторые пространственные объекты ГИС хранят значения высот внутри геометрии объекта. Можно использовать Z-значения, хранящиеся в геометрии, или атрибуты пространственных объектов для отображения объектов в трехмерном виде.

Иногда у пространственных объектов отсутствуют значения высот. Тем не менее, вы можете отображать и такие объекты в трехмерном режиме, используя драпировку или вертикальное вытягивание.

Если для данной области имеется модель поверхности, значения модели можно использовать в качестве Z-значений пространственных объектов. Эта называется драпировкой пространственных объектов. Также этот метод можно использовать для визуализации данных изображений в трехмерном режиме.

Актуальность применения трехмерного моделирования в области ГИС объясняется, прежде всего, тем, что оно обеспечивает большую наглядность и интерпретируемость данных, предоставляет возможность наиболее полно передавать информацию об изменениях объектов и исследуемой среды с течением времени, а также позволяет реализовать ряд прикладных задач недоступных для решения с использованием двумерных данных.

Использование трехмерных моделей позволяет:

- точно определять пространственные, географические координаты объектов;
- получать информацию о высоте строения;
- комбинировать тематические слои цифровой карты, а также данные снимка с внедренными трехмерными объектами;
- осуществлять реалистичное отображение территории и виртуальное передвижение по модели;
- проводить анализ зон видимости и определение линии взгляда;

– проводить интерполяцию по точкам высот.

Кроме того, по таким моделям легко можно производить расчеты площадных и объемных характеристик поверхностей и уклонов, экспозиций и отмывки рельефа, а также выполнять построение профилей и изолиний рельефной поверхности.

Это очень удобно для тех, кому важно наиболее полное представление о пространственном распределении векторных и растровых данных. 3D-моделирование ситуаций обеспечивает возможность визуальной оценки влияния различных факторов друг на друга и составления последующего прогноза развития ситуации. Совместное использование функций растрово-векторного и интерактивного трехмерного анализа и визуализации, позволяет получать актуальную и полезную информацию: от анализа трехмерных поверхностей загрязнения воздуха до выявления демографических закономерностей на определенной территории [13].

## 1.5 Обзор программного обеспечения

В качестве основного программного обеспечения была использована ГИС ESRI ArcGIS.

ГИС ArcGIS – семейство геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. ArcGIS представляет собой полную систему, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять пространственную информацию, также система предназначена для отображения, редактирования, пространственного анализа, поиска и управления пространственными данными. Предусмотренные в системе возможности по созданию тематических карт позволяют формировать запросы к базам данных и получать отображение результатов на карте.

ArcGIS – ГИС, предоставляющая пользователю средства выбора и просмотра наборов разнообразных геоданных (информация о географическом местоположении, хранящаяся в формате, который может быть использован в географических информационных системах), их редактирования, создания макетов карт с легендами, графиками и диаграммами, связывания объектов карты с атрибутивной информацией, адресного геокодирования (косвенное (неявное) позиционирование объекта, его наделение координатным описанием (описанием местоположения) путем соотнесения с адресными данными (географическим названием, почтовым адресом, почтовым кодом и другими идентификационными и адресными характеристиками) позиционированного объекта), использования растровых изображений, распечатки картографических материалов [10, 15].

Ключевые особенности технических и функциональных возможностей ArcGIS: мощные средства визуализации карт, развитая среда редактирования, исключительные возможности анализа.

Картирование и создание компактных карт: создание полноцветных визуальных изображений с заданными цветовыми схемами, использование различных методов классификации карт (равноплощадной, равноинтервальной,

естественных границ, стандартного отклонения, нормализации данных и т.д.); отображение символов в различных форматах (плотность точек, масштабируемый размер, уникальные цвета, изменяющиеся цвета, диаграммы); построение компонок, содержащих карты, табличные данные, диаграммы и другие графические элементы; отображение карт в одной из множества поддерживаемых картографических проекций; создание координатных и других сеток, а также легенда для компонок; импорт и экспорт стандартных форматов, таких как TIFF, WMF, BMP, PICT, EPS, JPEG.

Пространственный анализ: выполнение пространственных запросов; выбор объектов на одной карте в зависимости от объектов в другой; соединение табличных данных, основываясь на местоположении объектов на карте.

Модуль Spatial Analyst.

Дополнительный модуль ArcGIS Spatial Analyst содержит множество инструментов пространственного анализа и моделирования для работы с растровыми данными (на основе ячеек) и объектами (векторными данными). В данной исследовательской работе модуль Spatial Analyst используется для построения статистических поверхностей.

Инструменты, реализующие возможности дополнительного модуля Spatial Analyst, разбиты на категории или группы по функциональности.

В магистерской диссертации применяются инструменты доступные в модуле Spatial Analyst. Для разработки серии тематических карт используются инструменты интерполяции, которые создают непрерывную (статистическую или прогнозируемую) поверхность по значениям, измеренным в опорных точках.

Непрерывное представление поверхности для набора растровых данных отражает некоторые измерения, например, высоты, концентрации или количества чего-либо (например, высоты поверхности, загрязнения или уровня шума). Инструменты интерполяции поверхности на основании измерений в опорных точках прогнозируют значения для всех местоположений в выходном наборе растровых данных, в независимости от того, выполнялось в этой точке измерение или нет.

Основные форматы представления данных: карты изолиний, трёхмерное изображение поверхности, каркасное представление, теневые карты рельефа, поле векторов, растровые и векторные карты-подложки, отображение точечных объектов, надписей и графических примитивов [14].

ArcMap является центральным приложением, используемым в ArcGIS. ArcMap применяется для отображения и исследования наборов геоданных, с его помощью можно задавать условные обозначения, готовить карту к печати и публикации. ArcMap также является приложением, используемым для создания и редактирования наборов данных.

ArcMap представляет географическую информацию как набор слоёв и прочих элементов карты. На карте обычно присутствуют фреймы данных, включающие слои карты для данного экстенда, масштабная линейка, стрелка севера, заголовок, поясняющий текст, легенда и т.д.

Типичные задачи, решаемые с помощью ArcMap. ArcMap - основное приложение ArcGIS, которое используется для решения различных ГИС-задач, как общего профиля, так и узкоспециализированных. Ниже приведен список типичных задач.

Работа с картами — возможность открытия документов ArcMap и работы с ними, чтобы изучать информацию, рассматривать карты, включать и выключать слои, создавать запросы к атрибутам данных, представленным на карте, визуализировать географическую информацию.

Печать карт — с помощью ArcMap возможно распечатывать карты различного уровня сложности.

Компиляция и редактирование наборов геоданных — ArcMap предлагает основные возможности автоматизации работ с наборами данных базы геоданных. ArcMap поддерживает полное функциональное масштабируемое редактирование. Вы можете выбрать слои для редактирования в документе карты, новые или обновленные объекты сохраняются в наборе данных слоя.

Использование геообработки для автоматизации работы и выполнения анализа — ГИС используется не только для визуализации, но и для анализа. ArcMap дает возможность запуска моделей или скриптов геообработки, а также просмотра и работы с результатами в виде карты. Геообработку можно использовать для анализа, а также для автоматизации множества типовых задач, например, создания многолистных карт, восстановления поврежденных ссылок на данные в наборе документов карты, выполнения различных операций над геоданными.

Организация баз геоданных и документов ArcGIS и управление ими — В ArcMap имеется окно Каталог (Catalog), которое позволяет организовать все наборы ГИС-данных и базы геоданных, документы карты и другие файлы ArcGIS, инструменты геообработки и множество других элементов ГИС. Вы также можете настроить и организовать схему базы геоданных в окне Каталога.

Публикация документов карт в качестве картографических сервисов с помощью ArcGIS for Server — содержимое ArcGIS можно поместить в веб-среду путем публикации географической информации в виде серии картографических сервисов. ArcMap предоставляет возможность обычному пользователю публиковать документы карт в качестве картографического сервиса.

Совместная работа с картами, слоями, моделями геообработки и базами геоданных с другими пользователями — ArcMap содержит инструменты, упрощающие процессы упаковки и совместной работы над наборами геоданных с другими пользователями. Кроме того, имеется возможность размещать созданные карты и данные в общем доступе с помощью ArcGIS Online.

Документирование географической информации — Ключевой задачей многих ГИС-сообществ является описание наборов географической информации для облегчения документирования проектов, а также для более эффективного поиска и совместной работы с данными. С помощью окна Каталога можно задокументировать любые ГИС-данные. Для организаций, использующих готовые стандартизированные метаданные, имеется встроенный редактор

метаданных в ArcGIS, который также можно использовать для документирования наборов данных.

Пользовательская настройка — ArcMap содержит множество инструментов для пользовательской настройки. В частности имеются возможности для написания программных надстроек, расширяющих функциональность, изменения пользовательской информации под свои нужды, автоматизации задач с помощью геообработки [15].

В исследовательской работе для создания трехмерных моделей рельефа города Красноярска использовался дополнительный модуль ArcGIS - ArcScene.

ArcScene является приложением трехмерной визуализации, которое позволяет просматривать ГИС данные в трехмерном изображении.

ArcScene позволяет совмещать множество слоев данных в трехмерной среде. Для размещения пространственных объектов приложение использует данные о высоте объекта, полученные из его геометрии, атрибуты объекта, свойства слоя или заданную трехмерную поверхность. Каждый слой 3D изображения может обрабатываться отдельно от других. Данные, имеющие различную пространственную привязку, будут перепроецированы, или отображены с использованием только относительных координат. ArcScene полностью интегрирован в среду геообработки, что дает возможность использовать многочисленные аналитические инструменты и функции [15].

## **1.6 Обзор исходных данных**

В качестве исходных данных для проведения исследования были использованы материалы из открытых метеорологических и картографических источников.

Основным источником о количестве выбросов для проведения геоинформационного анализа является регламентирующий документ от Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского

края «Корректировка сводного тома предельно допустимых выбросов для города Красноярска» за 2012 год [2].

Объектом разработки Тома предельно допустимых выбросов являются стационарные и передвижные источники промышленных предприятий, котельных, АЗС, объектов коммунального хозяйства и сферы обслуживания и автотранспорта города Красноярска.

Цель создания Тома предельно допустимых выбросов – разработка предложений по установлению нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для промышленных предприятий города Красноярска, при достижении которых в зоне проживания населения качество атмосферного воздуха города будет соответствовать гигиеническим критериям.

Для достижения указанной цели создан банк данных стационарных и передвижных источников выбросов в атмосферу.

Данные предоставляются в таблице в формате «doc». Для удобного восприятия данных и дальнейшего применения данных в геоинформационном анализе в 2017 году была сформирована геоинформационная база данных по источникам загрязнения атмосферы города Красноярска студентом Павловым А.А.

Метеорологические данные Краевой ведомственной информационно-аналитической системы данных о состоянии окружающей среды Красноярского края (КВИАС).

Метеорологические данные Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

В качестве исходных данных для геоинформационного анализа морфометрических показателей рельефа территории города Красноярска использованы данные радарной топографической съемки SRTM

Данные SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) представляют собой обработанные результаты радарной топографической съемки поверхности Земного шара, произведенной методом радарной интерферометрии с борта

американского космического корабля «Shuttle» в феврале 2000 г. Данная съемка проведена почти на всей территории и акватории Земли между 60 градусами северной широты и 54 градусами южной широты с помощью радиолокационных сенсоров SIR-C и X-SAR, установленных на борту корабля. Результатом съемки стала цифровая модель рельефа, охватывающая 85% поверхности Земли.

Данные распространяются в нескольких вариантах – сетка с размером ячейки 1 угловая секунда ( $\approx 30$  м) и 3 угловая секунда ( $\approx 90$  м). Доступные данные SRTM имеют вид растрового файла цифровой модели рельефа в формате GeoTIFF, в котором значение пиксела является высотой над уровнем моря в данной точке. Математической основой данных является референц-эллипсоид (датум) WGS-84 и проекция GCS\_WGS\_1984.

В качестве топоосновы для построения обзорной карты на город Красноярск являются открытые векторные данные проекта «Open street map».

## **2 Системы мониторинга атмосферного воздуха**

Впервые термин мониторинг (от лат. monitor – предостерегающий) появился перед проведением международной конференции в Стокгольме (1972 г.). Под мониторингом было решено понимать систему непрерывного наблюдения, измерения и оценки состояния окружающей среды. Позднее система мониторинга была расширена – в неё был включён этап принятия управленческого решения.

В настоящее время под экологическим мониторингом понимается информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

Глобальная система экологического мониторинга позволяет получать колоссальный объём данных любого масштаба. Это данные метеорологических станций, систем дистанционного зондирования (космические снимки, сейсмосьёмка, электромагниторазведка и т.п.). Результаты мониторинга указывают на сложность и неоднозначность воздействия антропогенной деятельности на окружающую среду. Для анализа полученных данных, а также для прогнозирования на основе обработки этих данных выделяются колоссальные вычислительные мощности. И это не удивительно. Ведь грамотная оценка ситуации даёт нам информацию о качестве окружающей среды, существующих резервах системы и позволяет реализовать экологически целесообразные управленческие решения [16].

### **2.1 Системы мониторинга атмосферного воздуха в мире**

В различных странах мира используются разные подходы для определения состояния качества воздушного бассейна. При этом основной целью применения комплексного показателя является оценка качества атмосферного воздуха по содержанию приоритетных загрязнителей и донесение данной информации до

общественности, через отчеты и доклады, представляемые органами государственной власти.

В разных странах используются разные показатели для расчета комплексного индекса, разные методы усреднения, а также отличен и подход в наименовании индексов. По формальному наименованию страны условно делятся на те, которые используют понятие «качество» и понятие «загрязнение» применительно к комплексному показателю.

В качестве сравнения систем нормирования были выбраны страны и регионы принципиально отличающиеся по физико-географическим характеристикам, экономической развитости, а также страны принципиально отличающиеся по подходу в оценке уровня качества атмосферного воздуха.

В качестве комплексного показателя в Канаде используется индекс The Air Quality Health Index (AQHI). Наиболее точный и полный перевод данного термина: индекс здоровья по качеству атмосферного воздуха. Данный индекс используется прежде всего, чтобы дать ответ на вопрос о риске пребывания людей чувствительных к загрязнению воздуха в те или иные часы на улице.

Данный индекс используется сравнительно недавно для страны. Изначально в качестве комплексного показателя применялся Индекс качества воздуха, используемый в США. Применение нового индекса началось в качестве пилотного проекта в Британской Колумбии и Новой Шотландии в 2005 году, в настоящее время сеть мониторинга включает 79 постов, покрывающих всю территорию страны.

Показатель рассчитывается на основе трех загрязняющих веществ: озона, взвешенных частиц, оксида азота.

Рассматриваемый индекс принимает значения от 1 до 10 и далее ранжируется согласно таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость уровня риска для здоровья от значения индекса AQHI

Значение индекса здоровья	Оценка уровня риска для здоровья
От 1 до 3	Низкий
От 4 до 6	Умеренный
От 7 до 10	Высокий
Более 10	Очень высокий

В качестве комплексного показателя в США используется индекс качества атмосферного воздуха (Air Quality Index – AQI). Индекс качества атмосферного воздуха рассчитывается на основе индексов концентрации пяти загрязняющих веществ: озона, взвешенных частиц, углерода, оксида серы, оксида азота.

Таблица 2 – Шкала индексов AQI

Уровень воздействия на здоровье	Числовое значение
хороший	0-50
умеренный	51-100
вредный для чувствительных групп	101-150
вредный	151-200
очень вредный	201-300
опасный	301-500

EPA (Environment Protection authority) использует сводный индекс качества воздуха (AQI), чтобы дать общую оценку качества воздуха на каждом участке мониторинга воздуха. Для этого выполняются следующие шаги:

1) Расчет средних значений вредных веществ. Для разных веществ расчет ведется разными методами:

- а) Озон – рассчитывается среднее значение за каждый час;
- б) Оксид азота – рассчитывается среднее значение за каждый час;
- в) Оксид серы – рассчитывается среднее значение за каждый час;

г) Оксид углерода – рассчитывается среднее значение за последние 8 часов;  
д) Взвешенные частицы – рассчитывается среднее значение за последние 24 часа.

2) Расчет индекса загрязнения проходит по формуле  $I_p = (C_p/C_{ps}) * 100\%$ , где  $I_p$  – индекс загрязнения;  $C_p$  – концентрация загрязнителя;  $C_{ps}$  – стандартная концентрация загрязнителя.

Индексом загрязнителя является его концентрация, выраженная в процентах от соответствующего стандарта воздуха.

3) Вычисление значения (AQI) для станции мониторинга.

Выделяют пять категорий качества атмосферного воздуха по AQI. Категории качества воздуха приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение категории качества воздуха

Категория	Числовое значение
Очень хорошее качество воздуха (VG)	0-33
Хорошее качество воздуха (G)	34-66
Нормальное качество воздуха (F)	67-99
Плохое качество воздуха (P)	100-149
Очень плохое качество воздуха (VP)	150<

В Канаде и США к результатам индекса прилагаются рекомендации для населения. С данными об изменении загрязнения атмосферного воздуха в Канаде, США, Австралии можно ознакомиться каждый час. В отличие от зарубежных стран, комплекс ИЗА является годовым показателем.

Усовершенствование и создание новых комплексных показателей на основе лучших качеств уже существующих является очень важной задачей, лучшие системы будут способствовать улучшению качества атмосферного воздуха, созданию более удобной системы информирования, расширению спектра анализируемых загрязнителей [17].

## **2.2 Система мониторинга атмосферного воздуха в России**

В целях наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния, а также обеспечения органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения текущей и экстренной информацией о загрязнении атмосферного воздуха уполномоченные органы публичной власти организуют государственный мониторинг атмосферного воздуха.

Государственный мониторинг атмосферного воздуха является самостоятельным видом государственного экологического мониторинга, который направлен на обеспечение соблюдения условий, установленных разрешениями на выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и на вредные физические воздействия на него; стандартов, нормативов, правил и иных требований охраны атмосферного воздуха, в том числе проведения производственного контроля за охраной атмосферного воздуха; режима санитарно-защитных зон объектов, имеющих стационарные источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух; выполнения федеральных целевых программ охраны атмосферного воздуха, программ субъектов РФ охраны атмосферного воздуха и выполнения мероприятий по его охране; иных требований законодательства РФ в области охраны атмосферного воздуха.

Государственный мониторинг атмосферного воздуха осуществляет Росгидромет.

Другим инструментом, направленным на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны атмосферного воздуха, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны атмосферного воздуха является государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха.

Государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха осуществляют должностные лица органов государственного надзора, которые имеют право:

- запрашивать и получать на основании мотивированных письменных запросов от юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и граждан информацию и документы, необходимые в ходе проведения проверки;

- беспрепятственно по предъявлении служебного удостоверения и копии приказа (распоряжения) руководителя (заместителя руководителя) органа государственного надзора о назначении проверки посещать объекты хозяйственной деятельности (в том числе объекты оборонного значения), на которых имеются источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и источники вредных физических воздействий на атмосферный воздух, проводить обследования используемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями при осуществлении своей деятельности зданий, помещений, сооружений, технических устройств, оборудования и материалов, а также проводить необходимые исследования, испытания, измерения, экспертизы, расследования и другие мероприятия по контролю;

- проверять соблюдение установленных нормативов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на атмосферный воздух, работу очистных сооружений, средств контроля за такими выбросами;

- определять размеры вреда, причиненного окружающей среде в результате загрязнения атмосферного воздуха;

- аннулировать разрешения на выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и разрешения на вредные физические воздействия на атмосферный воздух или приостанавливать действие таких разрешений на определенный срок, если условия таких разрешений не соблюдаются;

- вносить предложения о проведении экологического аудита объектов хозяйственной и иной деятельности;

– выдавать юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям и гражданам предписания об устранении выявленных нарушений обязательных требований, о проведении мероприятий по обеспечению предотвращения вреда жизни и здоровью людей, животным, растениям, окружающей среде, предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера;

– составлять протоколы об административных правонарушениях, связанных с нарушениями обязательных требований, рассматривать дела об указанных административных правонарушениях и принимать меры по предотвращению таких нарушений;

– предъявлять в установленном законодательством РФ порядке иски о возмещении вреда, причиненного окружающей среде и ее компонентам в результате нарушений обязательных требований;

– направлять в уполномоченные органы материалы, связанные с нарушениями обязательных требований, для решения вопросов о возбуждении уголовных дел по признакам преступлений.

Государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха осуществляет Росприроднадзор.

Помимо государственного надзора в области охраны атмосферного воздуха в Российской Федерации проводятся также производственный и общественный контроль за охраной атмосферного воздуха. Производственный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляют юридические лица и индивидуальные предприниматели, которые имеют источники вредных химических, биологических и физических воздействий на атмосферный воздух и которые назначают лиц, ответственных за проведение производственного контроля за охраной атмосферного воздуха, и (или) организуют экологические службы. Общественный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляется общественными объединениями [19].

### **2.3 Системы мониторинга атмосферного воздуха в Красноярске**

Город Красноярск является промышленным центром России с развивающейся инфраструктурой, высоким научным потенциалом и миллионным населением, оставаясь при этом городом с низким уровнем контроля за загрязнением окружающей природной среды. Существует огромное количество проблем с оценкой степени загрязненности воздушного бассейна, водной среды и почвы, связанных как с промышленным загрязнением, так и с уровнем бытовых отходов жизнедеятельности.

Наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха на территории города Красноярска проводятся на 6 автоматизированных постах наблюдений, которые принадлежат главному полномочному органу в системе экологического мониторинга нашего региона — ФГБУ «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» («Среднесибирское УГМС»). Именно эта федеральная структура отслеживает, когда погодные условия способствуют накоплению загрязняющих веществ в атмосфере и инициирует ввод режима «неблагоприятных метеоусловий» (НМУ).

В городе с рельефом и численностью населения, как в Красноярске автоматизированные посты наблюдений должны быть установлены каждые 5 – 10 километров, но автоматизированные посты территориально разрозненны. Вышеперечисленные посты расположены в северных и восточных районах Красноярска или же за его пределами. Естественно, что результаты мониторинга характеризуют только состояние атмосферы территорий, расположенных вблизи постов. Это является причиной не до конца корректных сведений, полученных на автоматизированных постах наблюдений, о количествах выбросов на территории отдельных районов города Красноярска.

В следствии вышеизложенных причин была создана частная сеть мониторинга атмосферного воздуха «Красноярск.Небо».

Также в 2017 году было запущено мобильное приложение для мониторинга уровня загрязнения атмосферы «Эковизор». Данные для

отображения в приложении также поступают с государственной сети «Среднесибирское УГМС».

В городе Красноярске все чаще стали водить режимы, так называемого, «черного неба» или режима неблагоприятного для рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе (НМУ), связанный с превышением предельных концентраций вредных веществ в атмосфере.

В период режима НМУ оповещаются все предприятия, обязанные снижать выбросы в атмосферу. В настоящее время на особом контроле министерства находятся 33 организации, список можно посмотреть на сайте краевого Министерства природных ресурсов и экологии. Каждое из них в период НМУ обязано действовать по согласованному плану мероприятий, включающему, в том числе, снижение выбросов и ежедневный замер загрязненности атмосферы в своей санитарно-защитной зоне. Данные замеров предприятия передают в Минприроды и Росприроднадзор — там они анализируются на предмет превышения допустимых показателей. Если они окажутся превышены — это повод для надзорных органов провести внеплановую проверку предприятия.

Основной целью мониторинга является обеспечение потребностей государства, физических и юридических лиц информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии атмосферного воздуха [20].

### **3 Подготовка геоданных к анализу**

Для проведения геоинформационного анализа необходимо подготовить геоданные к анализу. Для визуального геоинформационного анализа необходимо построить серию тематических карт по полученным геоданным из различных открытых источников.

Подготовку геоданных к анализу можно разбить на несколько основных этапов:

- 1) Сбор данных;
- 2) Геокодирование;
- 3) Формализация данных;
- 4) Фильтрация данных;

Каждый этап включает в себя подэтапы и дополнительные требования которые подробнее будут рассмотрены ниже.

#### **3.1 Сбор данных**

Сбор данных — накопление информации с целью обеспечения достаточной полноты для принятия решения.

Перед началом сбора данных необходимо определить задачу, для которой будут собираться данные.

В нашем случае это построение серии тематических карт на территорию города Красноярска для проведения геоинформационного анализа.

Для построения серии тематических карт нам было необходимо собрать следующие данные:

- данные о рельефе;
- данные о розе ветров;
- температурные данные;
- топооснова для ГИС — проекта,
- данные о расположении загрязнителей.

После постановки задачи и определения необходимых данных определяем перечень источников, которыми необходимо воспользоваться для получения данных. В нашем случае это открытые источники:

а) Геопортал Института Вычислительного Моделирования Сибирского отделения Российской Академии наук (скачивались температурные данные, данные о розе ветров, данные о расположении автоматизированных постов наблюдения);

б) Сайт Консультативной группы по международным исследованиям в области сельского хозяйства (скачивались данные о рельефе — данные SRTM);

в) Сайт «Open Street Map» (скачивались файлы топоосновы);

г) Сайт Краевого государственного бюджетного учреждения «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (скачивались данные Тома предельно допустимых выбросов).

Все исходные данные предоставляются в разных форматах. Информация о рельефе распространяется в формате «GeoTIFF», данные о розе ветров и температурные данные изначально скачивались в формате «xlsx», у файлов топоосновы проекта формат «shp», информация о расположении загрязнителей изначально представлена в томе предельно допустимых выбросов в формате «doc», но в 2017 году была переработана студентом Павловым и мы для нашего проекта ее уже получили в векторном формате географических данных «shp».

### **3.2 Геокодирование**

Геокодирование — косвенное (неявное) позиционирование объекта, его наделение координатным описанием (описанием местоположения путем соотнесения с адресными данными (географическим названием, почтовым адресом, почтовым кодом и другими идентификационными и адресными характеристиками) позиционированного объекта [10].

Для проведения операции геокодирования была создана таблица в формате «xlsx», столбцы которой содержали информацию о пространственном расположении постов автоматизированного наблюдения в десятичных градусах. По этим данным с помощью встроенного инструмента ArcGIS был создан точечный слой с расположением автоматизированных постов наблюдения. Проекция полученного точечного слоя — WGS 84, далее слой перепроецировали в проекцию Гаусса-Крюгера.

### **3.3 Формализация геоданных**

Формализация данных — приведение данных, поступающих из разных источников, к одинаковой форме.

На этапе формализации геоданных был разработан шаблон тематической карты и определена математическая основа тематических карт.

Для геоинформационной обработки слоя необходимо перепроецировать к одной спроецированной картографической проекции. Для построения статистических карт использовали именно спроецированную картографическую проекцию, потому что выполнять операции интерполяции в неспроецированных картографических проекциях нельзя.

Для построения тематических карт на территорию города Красноярска целесообразно использовать проекцию Гаусса-Крюгера 16 зону, так как оптимально подобраны математические параметры отображения земли на плоскость.

Проекция Гаусса-Крюгера — поперечная цилиндрическая равноугольная картографическая проекция.

Для удобного чтения карты масштаб установили равный 1:125 000.

### **3.4 Фильтрация геоданных**

Для построения карт, отражающих розу ветров на территории города Красноярка, нам нужно было определить для каждого автоматизированного поста наблюдения преобладающее направления по полученным данным на этих постах.

Фильтрация геоданных – это способ поиска подмножества данных в списке в соответствии с заданными условиями.

В исследовательской работе фильтрация осуществляется при помощи SQL-запросов. SQL-запросы использовались для определения преобладающего ветра. Румб был разбит на 8 направлений, для каждого направления был определен градусный интервал и затем каждое значение, полученное на постах проверялось, какому интервалу оно принадлежит.

### **3.5 Расчет абсолютной и относительной высоты труб**

Абсолютная высота – высота любой точки над уровнем моря.

Относительная высота – это превышение одной точки земной поверхности относительно другой.

Для геоинформационного анализа распространения загрязнений по данным SRTM и данным о расположении источников загрязнений была рассчитана абсолютная и относительная высота труб. Полученную характеристику высоты труб можно будет применять в дальнейших исследованиях в целях геоинформационного моделирования.

### **3.6 3D-моделирование для визуализации геоданных**

Одним из наиболее популярных применений трехмерного моделирования является создание 3D-моделей городов.

Трёхмерное моделирование — это процесс создания трёхмерной модели объекта. Задача трёхмерного моделирования — разработать визуальный объёмный образ желаемого объекта. При этом модель может как соответствовать объектам из реального мира, так и быть полностью абстрактной.

Технологическая цепочка создания трёхмерной модели города Красноярска включает следующие этапы:

- 1) Сбор и оценка исходных данных;
- 2) Сборка слоев в проект (данные SRTM, слой рек, слой застройки, слой с трубами);
- 3) Создание трёхмерной модели рельефа;
- 4) Редактирование слоев с реками;
- 5) Редактирование слоев со зданиями и трубами, чтобы визуализировать их высоту.

При создании 3D-модели территории города Красноярска появилась возможность более наглядно проиллюстрировать расположение труб на территории города Красноярска. На рисунке пять видна особенность расположения промышленных предприятий в черте города.



Рисунок 5 – Расположение промышленных предприятий в черте города

На рисунке 6 хорошо видно, что несмотря на то, что трубы «ТЭЦ-2» расположены в низине их высота достаточная для рассеивания выбросов.



Рисунок 6 – Трубы ТЭЦ-2

Также в 3D модели хорошо видны трубы расположенные в плотной городской застройке по высоте сравнимые с жилыми домами вокруг.

## **4 Геоинформационный анализ загрязнения атмосферного воздуха**

### **4.1 Построение карт загрязнения по различным веществам**

Для геоинформационного анализа распространения загрязнений в атмосферном воздухе города Красноярска были построены статистические карты по основным выбросам с промышленных предприятий, иллюстрирующих распространение загрязнений в атмосфере.

По карте распространения аммиака в атмосферном воздухе на территории города Красноярска (приложение А.11) можно определить, что наибольшие выбросы приходятся на юго-восточную часть города, а именно районы рядом с «ТЭЦ-1».

По карте распространения бензола в атмосферном воздухе города Красноярска (приложение А.13) невозможно выделить район с наибольшей концентрацией и промышленной предприятие, которое производит наибольший выброс.

По карте распространения свинца и его неорганических соединений (в пересчете на свинец) (приложение А.14) можно выявить, что наибольшие концентрации приходятся на северо-восточную часть города, а именно на «РУСАЛ». Можно предположить, что при неблагоприятных метеорологических условиях концентрация превышает нормы предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе на территории города Красноярска.

По карте распространения сероводорода в атмосферном воздухе на территории города Красноярска (приложение А.16) можно определить, что наибольшие выбросы приходятся на восточную часть города, а именно на районы, прилегающие к территории «ТЭЦ-3» и «ТЭЦ-1».

По карте распространения диоксида серы (приложение А.15) можно определить, что наибольшие выбросы делают «ТЭЦ-1», «ТЭЦ-2» и «ТЭЦ-3». Наибольшие концентрации выбросов приходятся на юго – западную часть города, северо – восточную и юго –восточную.

По карте распространения оксида углерода (приложение А.17) видно, что концентрация оксида углерода в атмосферном воздухе достаточно высокая на всей территории города, но самая высокая концентрация в районах, прилегающих к территории «РУСАЛА».

Для анализа распространения диоксида азота в атмосферном воздухе города Красноярска для наглядности были построена тематическая карта не только по данным тома предельно допустимых концентраций, но еще и по данным, полученным на автоматизированных постах наблюдений.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Наименование	ПДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Аммиак	0,2	0,04	4
Бензол	0,3	0,1	2
Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0,001	0,0003	2
Диоксид серы	0,5	0,05	3
Сероводород	0,008	-	2
Диоксид азота	0,2	0,04	3
Оксид углерода	5	3	4

По данным картам можно установить зависимость, как загрязнения рассеиваются после влияния на них различных природно-климатических или антропогенных факторов.

По карте, построенной по данным Тома предельно допустимых выбросов (рисунок 7), можно выявить, что самая большая концентрация диоксида азота в атмосферном воздухе была в юго-западной части города, а на карте, построенной по данным с автоматизированных постов наблюдения (рисунок 8), можно определить, что самые высокие концентрации были зафиксированы в

центральной части. Следовательно, есть влияние природно-климатических или антропогенных факторов на перераспределение загрязнений в приземном слое атмосферы.

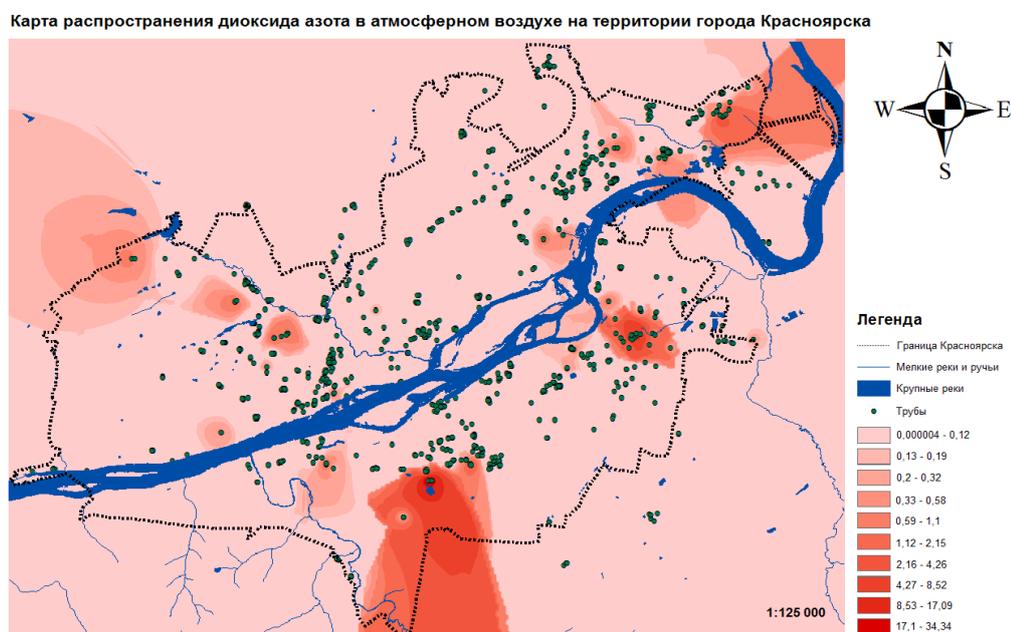


Рисунок 7 – Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярск по данным Тома предельно допустимых выбросов

Также анализ карт распространения загрязнений можно производить в соответствии с нормами предельно допустимых концентраций. В таблице 1 представлены данные нормы.

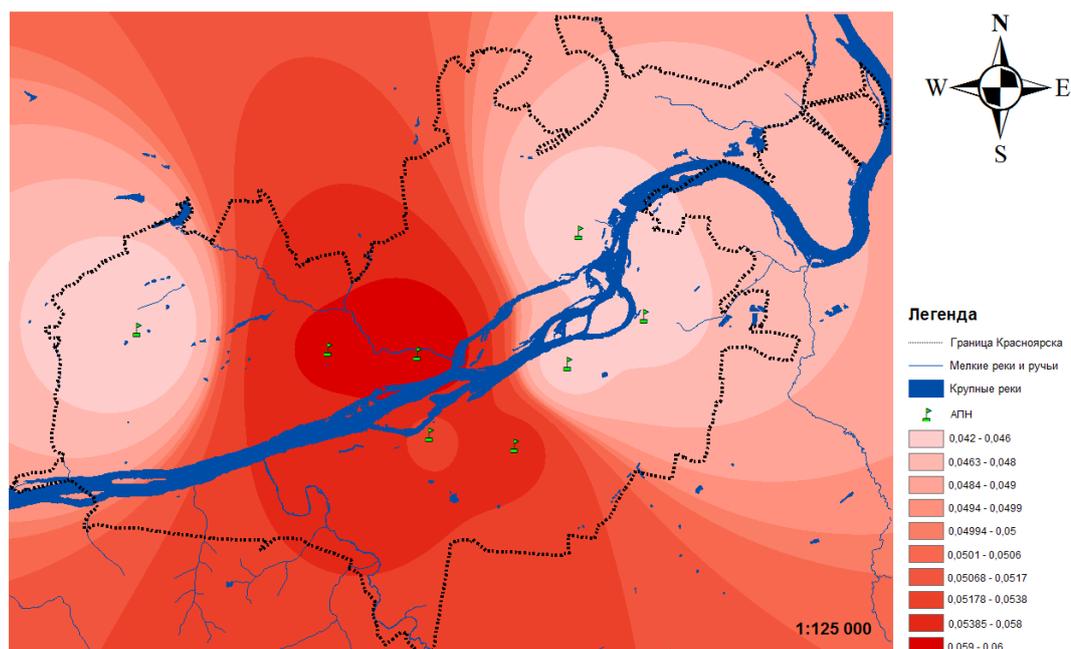


Рисунок 8 – Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярска по данным автоматизированных постов наблюдения

Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярска по данным автоматизированных постов наблюдения хорошо иллюстрирует территориальную разрозненность постов.

#### 4.2 Построение тематических карт по метеорологическим условиям (температурные карты и карты розы ветров)

Для геоинформационного анализа распространения загрязнений необходимо построить тематические карты, иллюстрирующие природно-климатическими факторы, влияющие на перераспределение загрязнений.

По температурным картам за июль 2012 года (рисунок 9) и июль 2017 (рисунок 10) можно определить, что особенности рельефа и расположение крупнейшего промышленного предприятия (РУСАЛ) влияют на температурный режим в городе Красноярске. В июле 2012 года перепады температуры

достигают 4 градуса Цельсия. В июле 2017 перепады температуры достигают 2 градуса Цельсия. По картам за июль 2012 года (рисунок 9), июль 2017 (рисунок 10) года и январь 2012 (рисунок 11) можно отследить зависимость высоты рельефа и температуры. Чем выше точка над уровнем моря, тем в этой точке холоднее.

В повторяемости направлений ветра и штилей по 16 румбам, очевидно, что в течение года преобладают ветры трех румбов: западный – юго-западный, западный; западный – северо-западный [2]. Направление ветра на температурных картах это подтверждает.

Также по картам с розой ветров можно отследить, как рельеф влияет на перераспределение воздушных потоков.

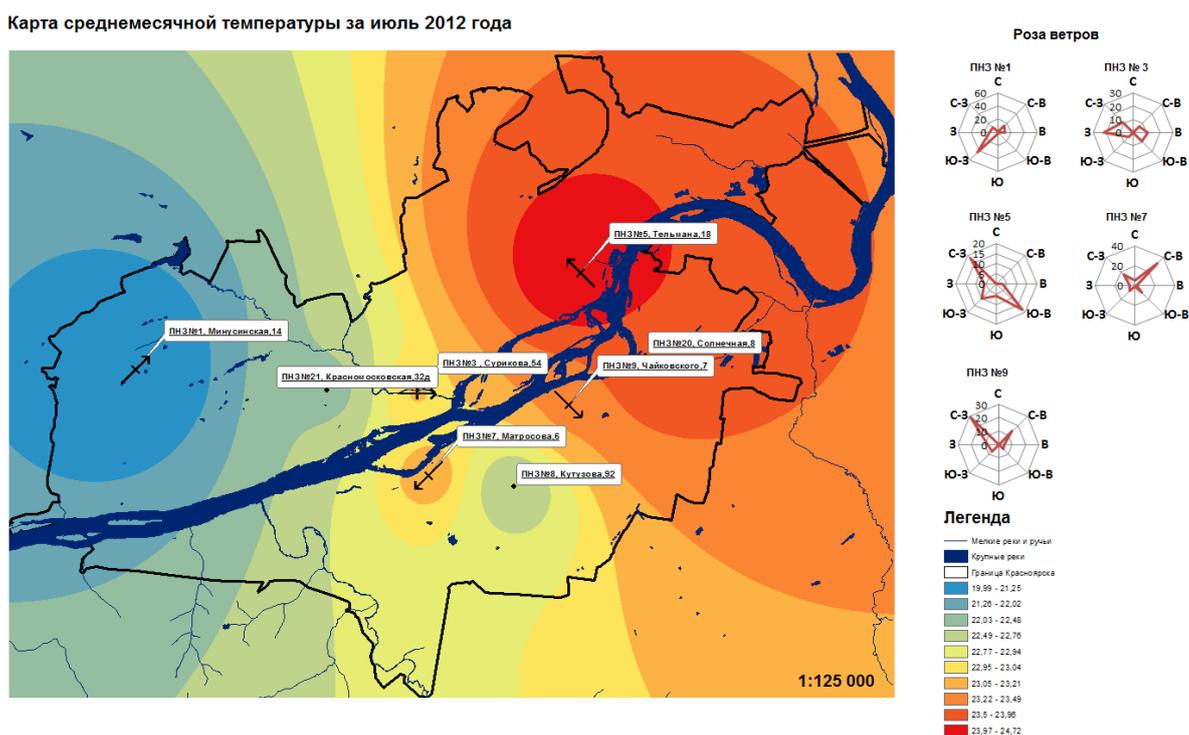


Рисунок 9 – Карта среднемесячной температуры за июль 2012 года

Карта среднемесячной температуры за июль 2017 года

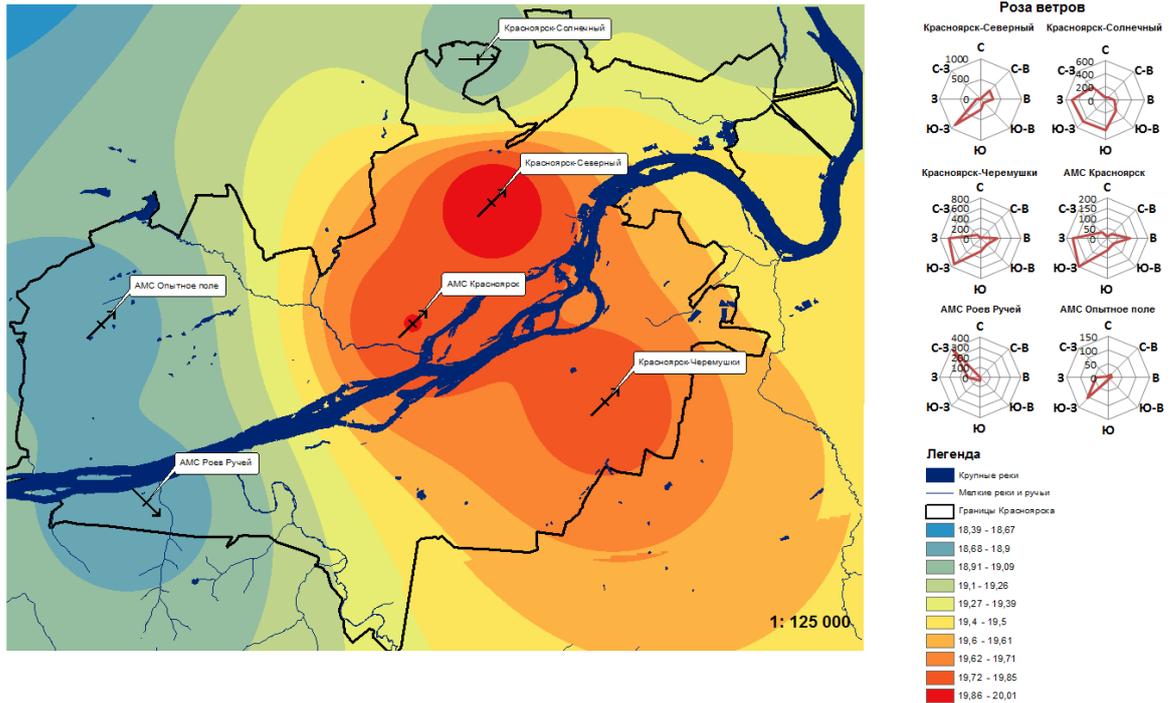


Рисунок 10 – Карта среднемесячной температуры за июль 2017 года

Карта среднемесячной температуры за январь 2012 года

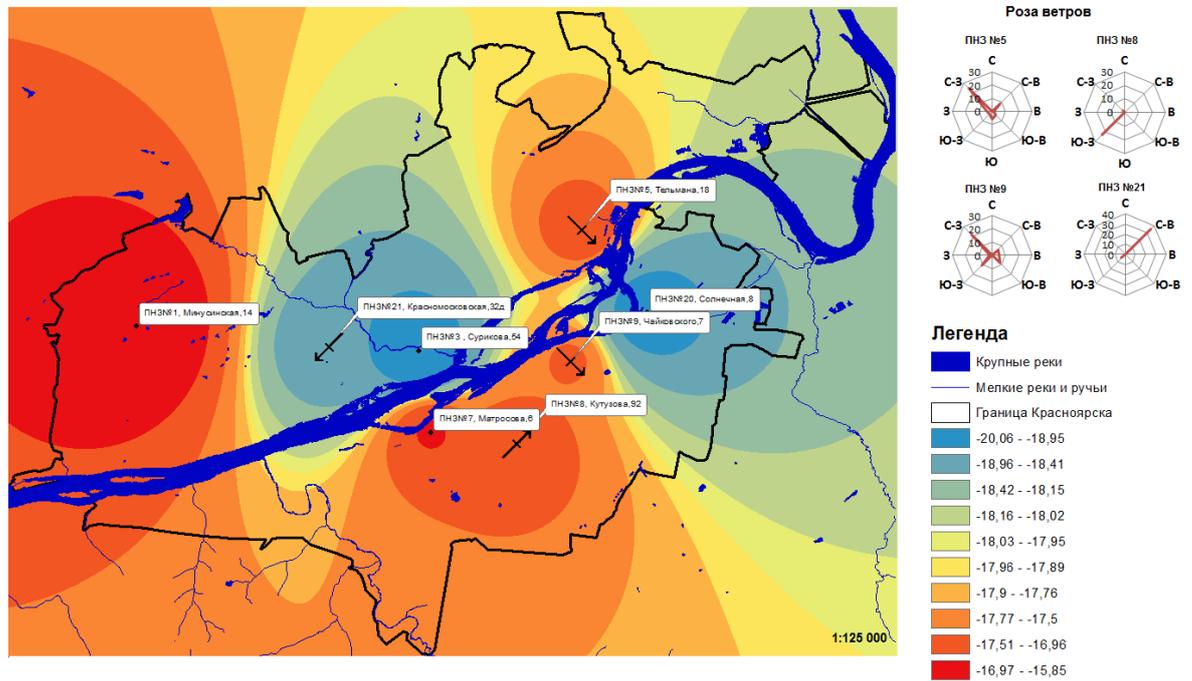


Рисунок 11 – Карта среднемесячной температуры за январь 2012 года

Карта среднемесячной температуры за январь 2017 года

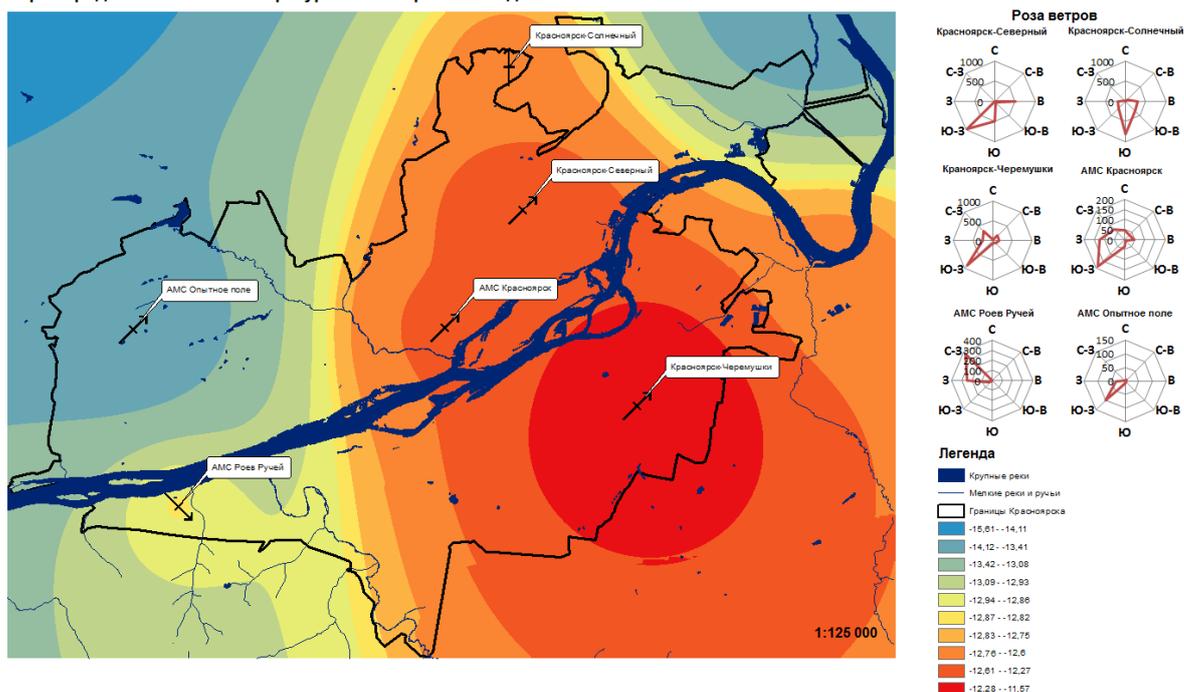


Рисунок 12 – Карта среднемесячной температуры за январь 2017 года

Преобладающий ветер на poste наблюдения, который расположен рядом с Роевом Ручьем, отличается от преобладающего ветра на остальных постах (рисунок 10, рисунок 12).

### 4.3 Анализ влияния рельефа на распространение загрязнений в атмосферном воздухе

Для проведения геоинформационного анализа рельефа необходимо учитывать две морфометрические характеристики рельефа: направление экспозиции склона и величину уклона склона.

На рисунке 13 представлена карта уклона рельефа на территорию города Красноярска. Рельеф был классифицирован в соответствии со шкалой, предложенной Раменским Л.Г.: 0,5-2° – отлогости и наклонные равнины; 0,5-1° – слабо наклонные равнины, 1-2° – выраженные отлогости; 2-7° – пологие склоны; 2-3° – очень пологие склоны, 3-5° – средне пологие склоны, 5-7° –

довольно пологие склоны; 7-15° – покатые склоны: 7-11° – умеренно покатые склоны, 12-15° – сильно покатые склоны; 15-40° – крутые склоны: 15-25° – умеренно крутые склоны, 25-40° – сильно крутые склоны; свыше 40° – обрывистые склоны: 40-50° – умеренно обрывистые склоны, 50-60° – сильно обрывистые склоны, свыше 60° – обрывы [21].

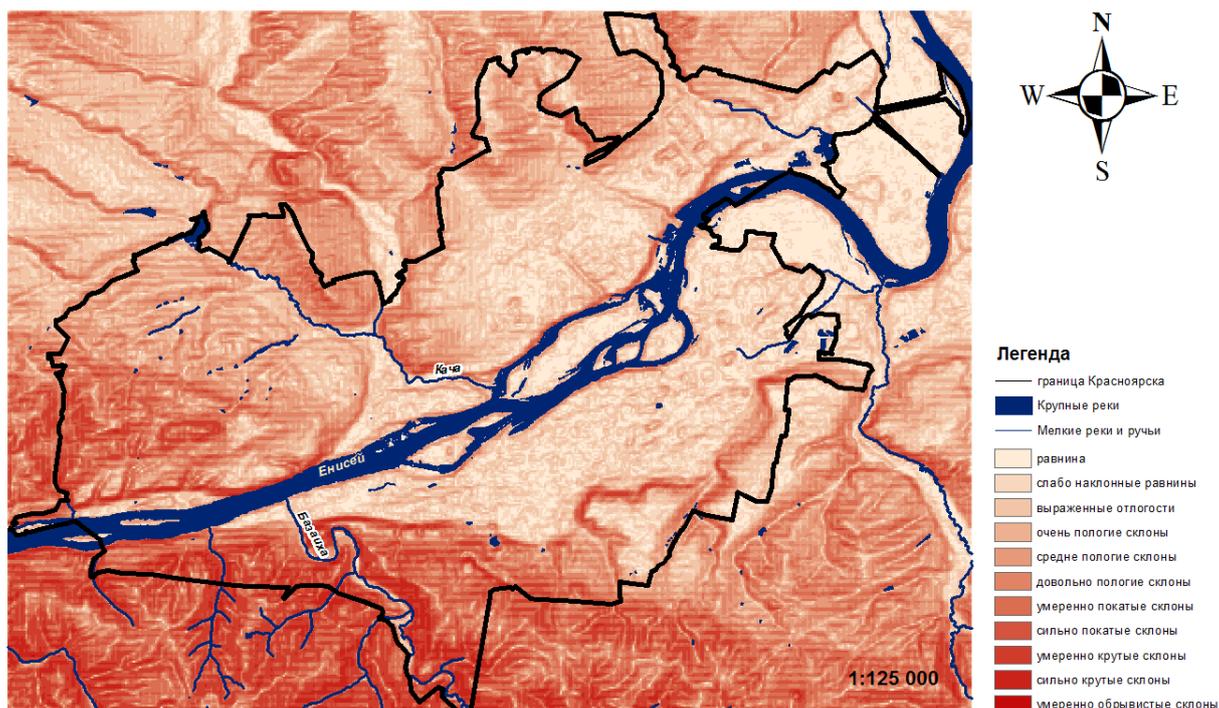


Рисунок 13 – карта уклона рельефа на территорию города Красноярска

Далее необходимо построить еще одну карту, отражающую экспозицию склонов на территории города Красноярска (смотри рисунок 14).

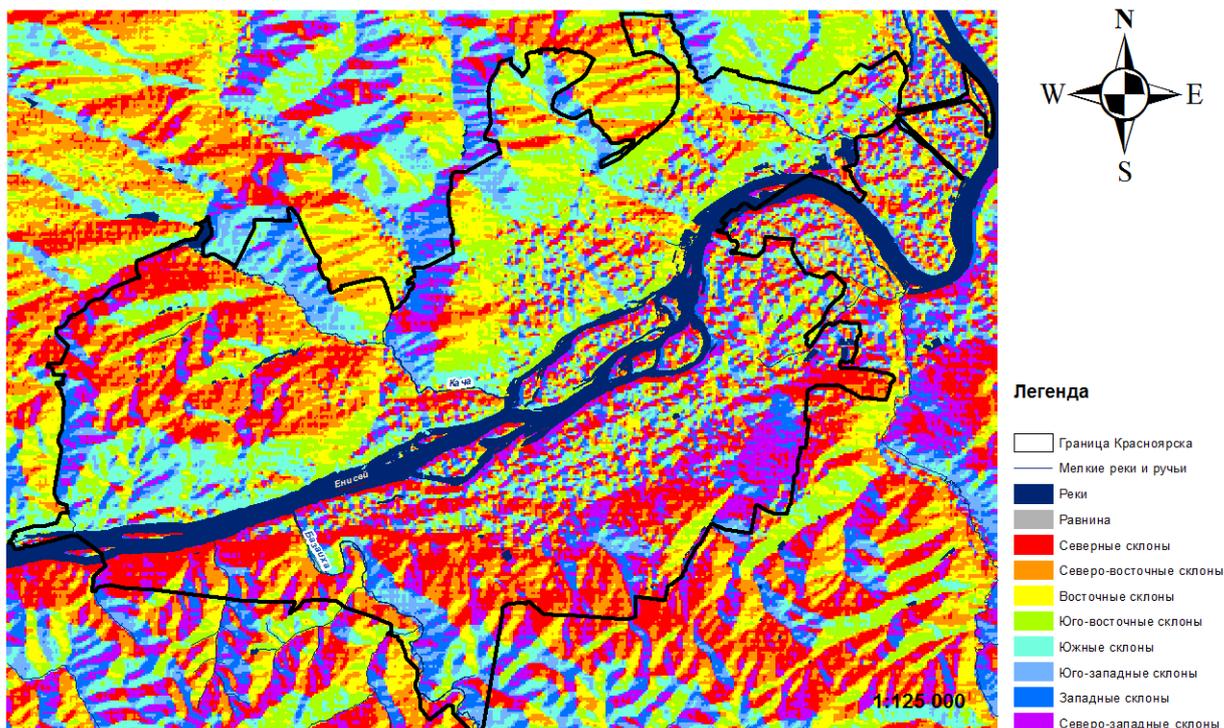


Рисунок 14 – карта экспозиции склонов на территории города Красноярска

Для выявления барьеров, влияющих на перераспределение воздушных потоков необходимо оценить комплексное влияние направления экспозиции и величину уклонов.

Для анализа влияния экспозиции и уклонов склонов на распространение загрязняющих веществ в атмосфере используем встроенный инструмент ArcGIS «алгебра карт». Растры необходимо разбить на два класса в зависимости от того, какое направление и крутизна склона нам необходимы для анализа. Для определения какие склоны влияют на перераспределение распространения загрязнений при неблагоприятном ветре (северо-восточный, восточный) входные растры экспозиций и уклонов необходимо переклассифицировать. Склонам, которые направлены на северо-восток и восток, присвоим значение 0, остальным значение 1, так как эти склоны будут задерживать загрязнения. Далее переклассифицируем значения крутизны склонов, первым пяти классам присвоим значение 0, так как влияние этих склонов на задержку загрязнений незначительно, остальным значениям присвоим 1. Далее при помощи

инструмента «алгебра карт» складываем эти значения. В результате у нас получится карта, отражающая неблагоприятные и благоприятные места для рассеивания загрязнений при северном и северо – восточном направлениях ветра (рисунок 15).

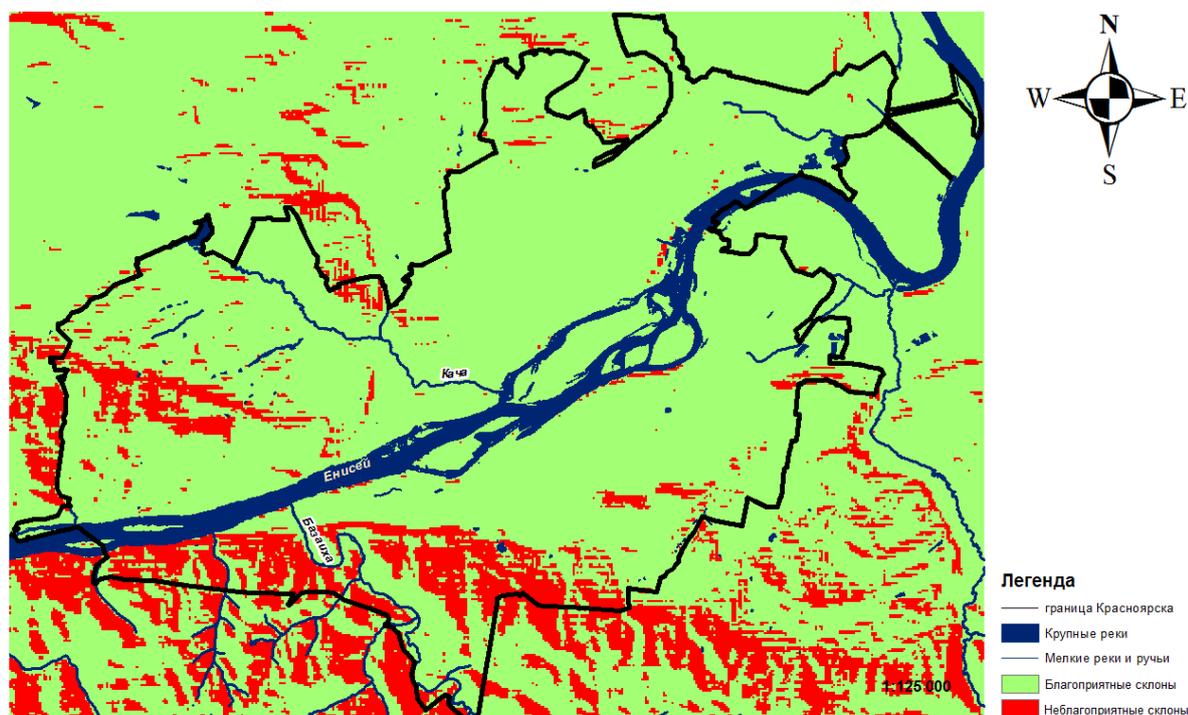


Рисунок 15 – Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов при северном и северо-восточном направлениях ветра

Карта наглядно иллюстрирует, что Торгашинский хребет является барьером для продувания города неблагоприятным северо-восточным ветром.

Для определения какие склоны влияют на перераспределение распространения загрязнений при благоприятном ветре (южный, юго-западный) точно также растры экспозиций и уклонов необходимо переклассифицировать. Склонам, направленным на юго-запад и запад присвоим значение 0, остальным значение 1, так как эти склоны будут задерживать загрязнения. Далее переклассифицируем значения крутизны склонов, первым пяти классам присвоим значение 0, так как влияние этих склонов на задержку загрязнений незначительно, остальным значениям присвоим 1. Далее при помощи инструмента «алгебра карт» складываем эти значения. В результате у нас

получиться карта, отражающая неблагоприятные и благоприятные места для рассеивания загрязнений при южном и юго-западном направлениях ветра (рисунок 16).

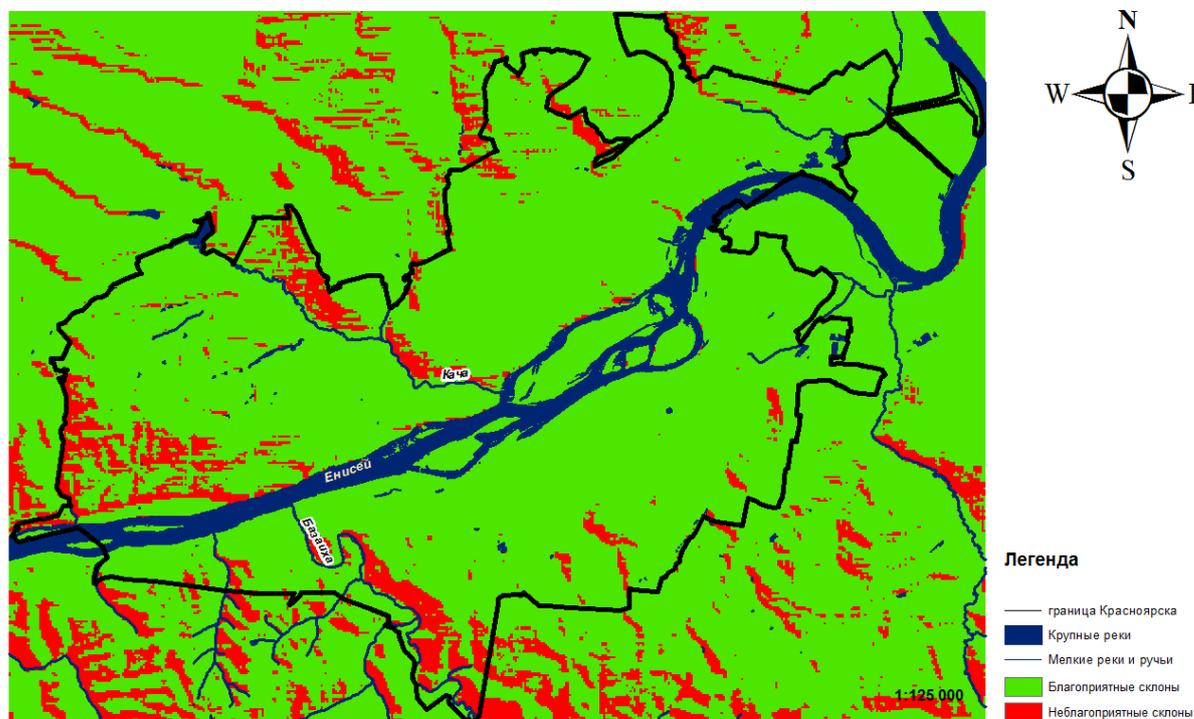


Рисунок 16 – Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов при южном и юго-западном направлениях ветра

На рисунке 16 представлена карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов для южного и юго-западного ветра. По карте можно выявить, что явных барьеров для продувания города южным и юго-западным ветром нет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой, сложившейся в ходе эволюции Земли, деятельности человека и находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений. Результаты экологических исследований, как в России, так и за рубежом, однозначно свидетельствуют о том, что загрязнение приземной атмосферы – самый мощный, постоянно действующий фактор воздействия на человека, пищевую цепь и окружающую среду.

В результате выполнения магистерской диссертации был проведен геоинформационный анализ распространения загрязнений в приземной атмосфере города Красноярска, были изучены природно-климатические факторы, влияющие на распространение загрязнений в атмосфере города Красноярска, проведен обзор предметной области, изучены регламентирующие документы в области экологии.

В результате проведенного исследования были разработаны шаблоны тематических карт для мониторинга загрязнения атмосферы. Построены тематические карты, отражающие особенности рельефа и климата города Красноярска, загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха. Также была разработана обзорная карта по данным проекта «Open Street Map», построена трехмерная модель города.

Результаты были опубликованы на конференции «Перспектив Свободный 2018» тема доклада «Исследование процессов атмосферного загрязнения города Красноярска на основе гидродинамических моделей и данных наблюдений».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красноярск: миллионный город нуждается в миллионах на экологию [Электронный ресурс] : // Интернет-портал «Greenologia.ru». – Режим доступа: <http://greenologia.ru/eko-problemy/goroda/krasnoyarsk.html>.
2. Корректировка свободного тома предельно допустимых выбросов для г.Красноярска [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://krasecology.ru/About/PDV>.
3. Состояние загрязнения окружающей среды на территории Красноярского края за 2017 год. Краткий обзор. Красноярск: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2018. – 34 с.
4. Антоненко О.В., Безруких В.А., Авдеева Е.В., Назарова Э.И., Кисленко А.М. Особенности ландшафтов города Красноярска как геолого-геоморфологическая основа для градостроительства // Хвойные бореальной зоны. – 2017. – № 35. – С. 15–20.
5. Геоинформационные системы: методическое пособие / Тагиров Р.Р., Шаймухаметов Р.Р. – Казань: Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, 2010. – 51.
6. Тематическое картографирование [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://sovzond.ru/services/thematic-projects/thematic\\_mapping](http://sovzond.ru/services/thematic-projects/thematic_mapping).
7. Социально-экономические карты [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://bookonline.ru/lecture/glava-6-kartografirovanie-gorodov>.
8. Щербинина Л.В. Общая теория статистики / Л.В. Щербинина. – Москва: Эксмо, 2008. – 32 с.
9. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / М.Н. ДеМерс. – Москва: Дата, 1999. – 491с.
10. Геоинформатика : учеб. пособие / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов, М.О. Говоров, А.В. Заварзин, И.К. Лурье, И.А. Рыльский, Б.Б. Серапинас, А.М. Трофимов, М.Э. Флейс, В.Б Яровых. – Москва: Академия, 2010. – 400 с.

11. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы : учеб. пособие / А.М. Чандра, С.К. Гош. – Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
12. Картографическая алгебра [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://kadastrua.ru/gis-tekhnologii/213-kartograficheskaya-algebra.html>.
13. Трехмерное моделирование поверхностей [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.ngeoscomp.ru/?id=11>.
14. Ткачева Е.В. Исследование природной радиоактивности геологических формаций города Красноярска : дипломная работа : 15.06.2006 / Ткачева Елена Владимировна. – Красноярск, 2006. – 109 с.
15. Что такое ArcMap [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>.
16. Научные основы экологического мониторинга [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://knigi.link/ekologicheskij-monitoring-teoriya/razdel-nauchnyie-osnovyi-ekologicheskogo-55117.html>.
17. Электронный научно-практический журнал «Гуманитарные научные исследования» [Электронный ресурс] : Комплексные показатели качества (загрязнения) атмосферного воздуха. // Интернет – портал. – Режим доступа: [human.snauka.ru/2016/08/16158](http://human.snauka.ru/2016/08/16158)
18. Большая юридическая энциклопедия. – 2-е издание, переработанная и дополненная – Москва, 2010. – 293 с.
19. Общая экология [Электронный ресурс] : Мониторинг атмосферного воздуха. Организация мониторинга атмосферного воздуха // Интернет – портал. – Режим доступа: <https://all-ecology.ru/index.php?request=full&id=323>
20. Сайт министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края. Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» // Интернет – портал. – Режим доступа: <https://all-ecology.ru/index.php?request=full&id=323>

21. С.В. Осипов Шкалы уклонов земной поверхности и способы их разработки // Тихоокеанский институт географии ДВО РАН – 2014. – С. 45–50.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Тематические карты

Карта расположения террас на территории города Красноярск

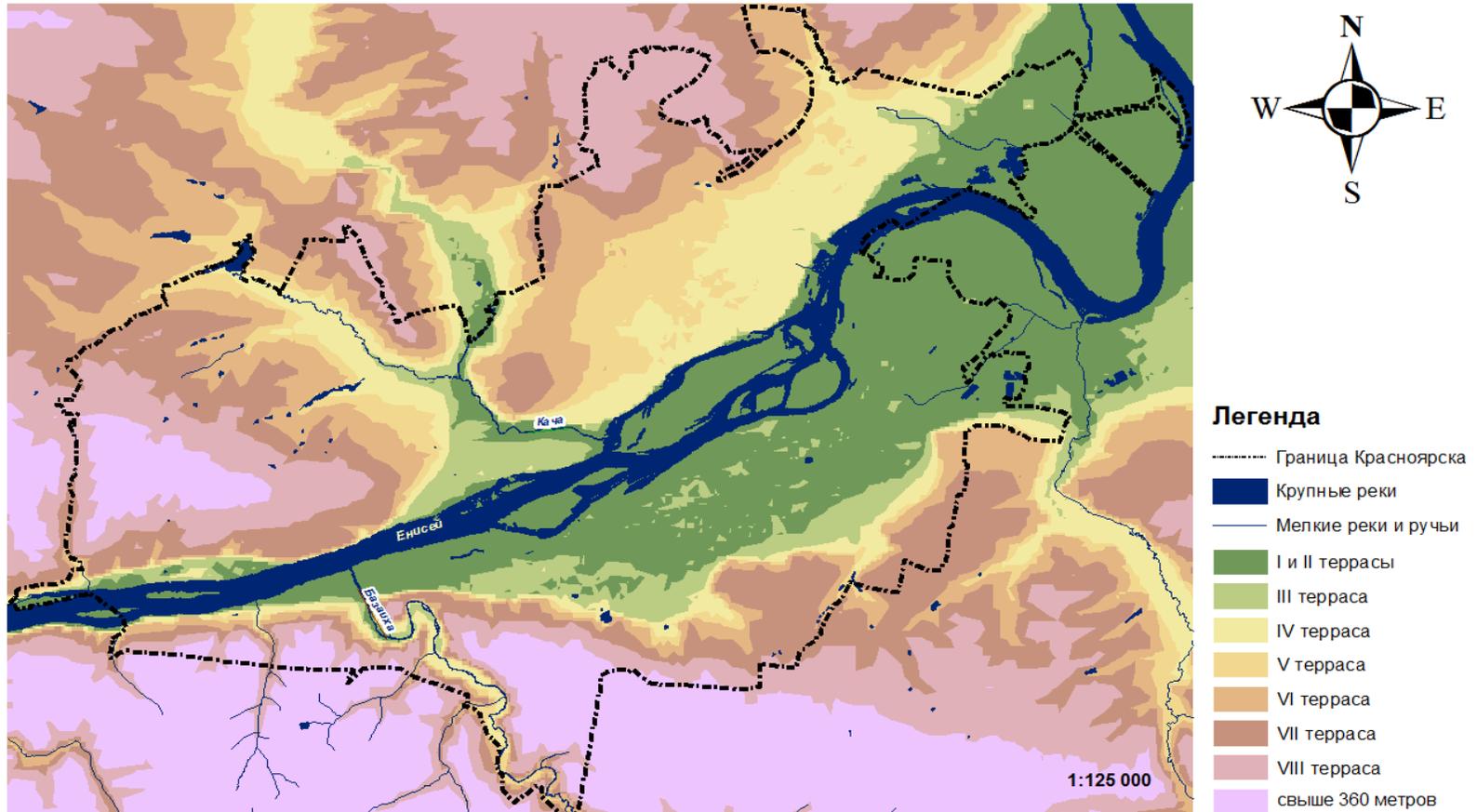


Рисунок А.1 – Карта расположения террас на территории города Красноярск

Карта классификации труб промышленных предприятий по количеству выбросов в атмосферу

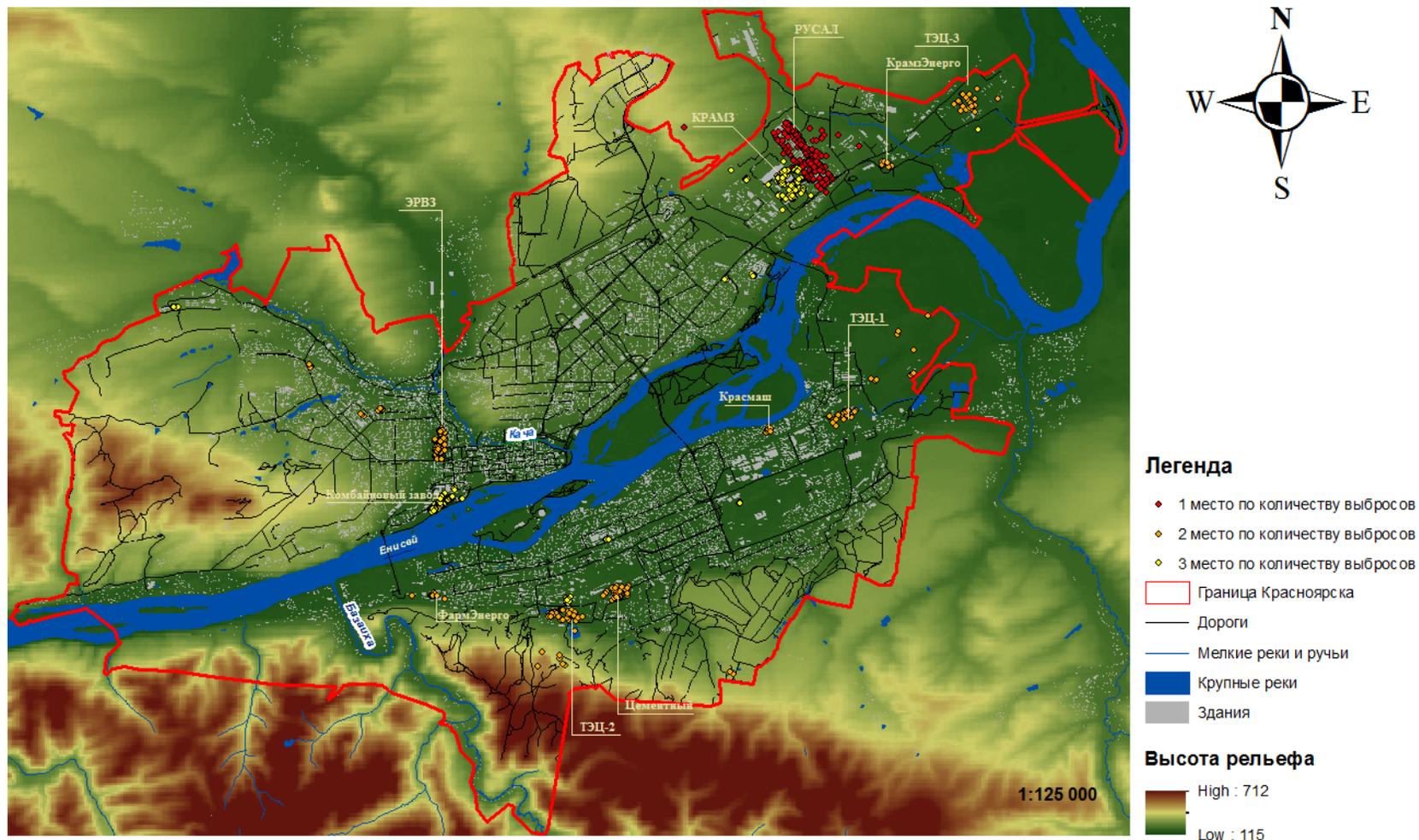


Рисунок А.2 – Карта классификации труб промышленных предприятий по количеству выбросов в атмосферу

Карта уклона рельефа на территорию города Красноярск

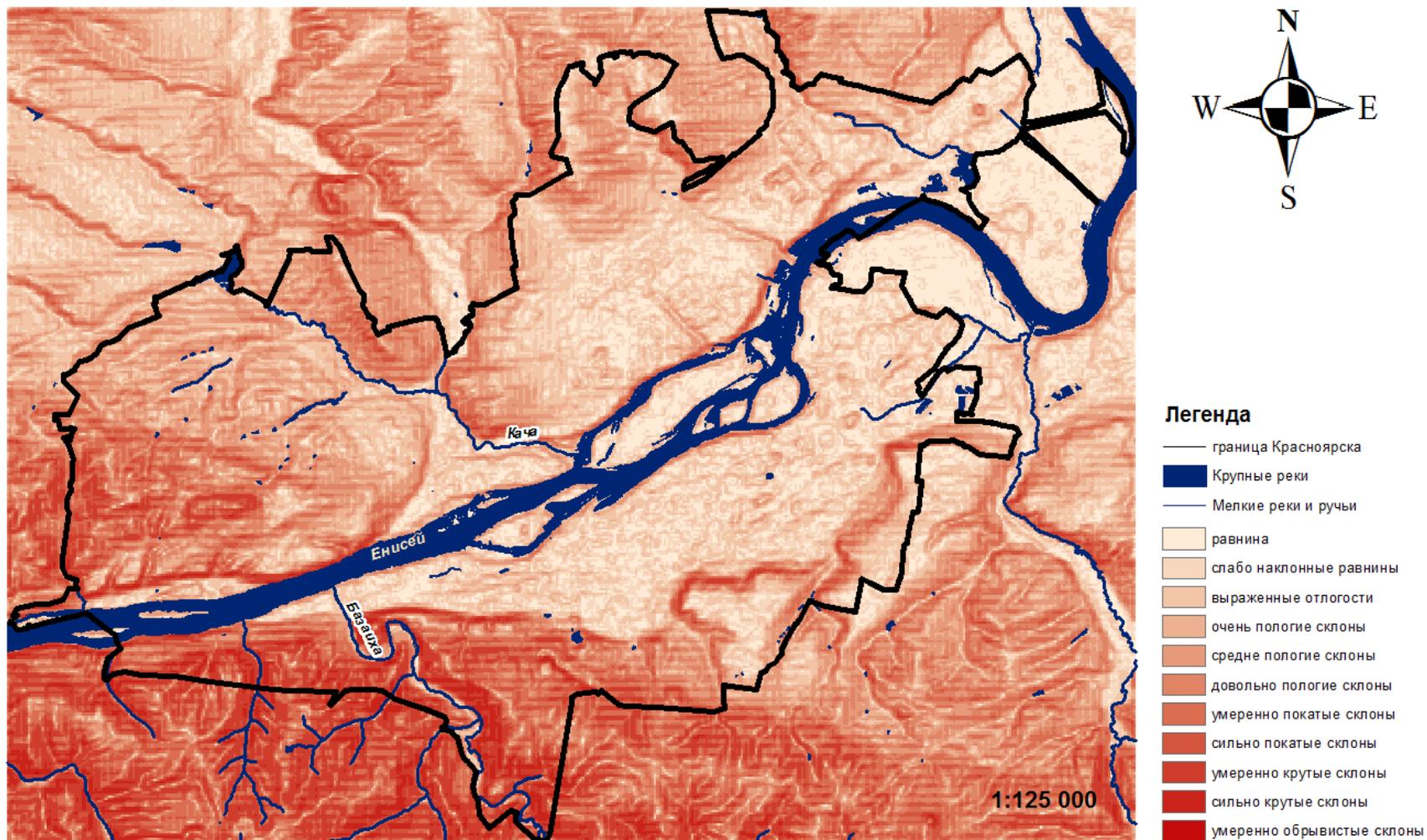


Рисунок А.3 – Карта уклона рельефа на территорию города Красноярск

Карта экспозиции склонов на территорию города Красноярск

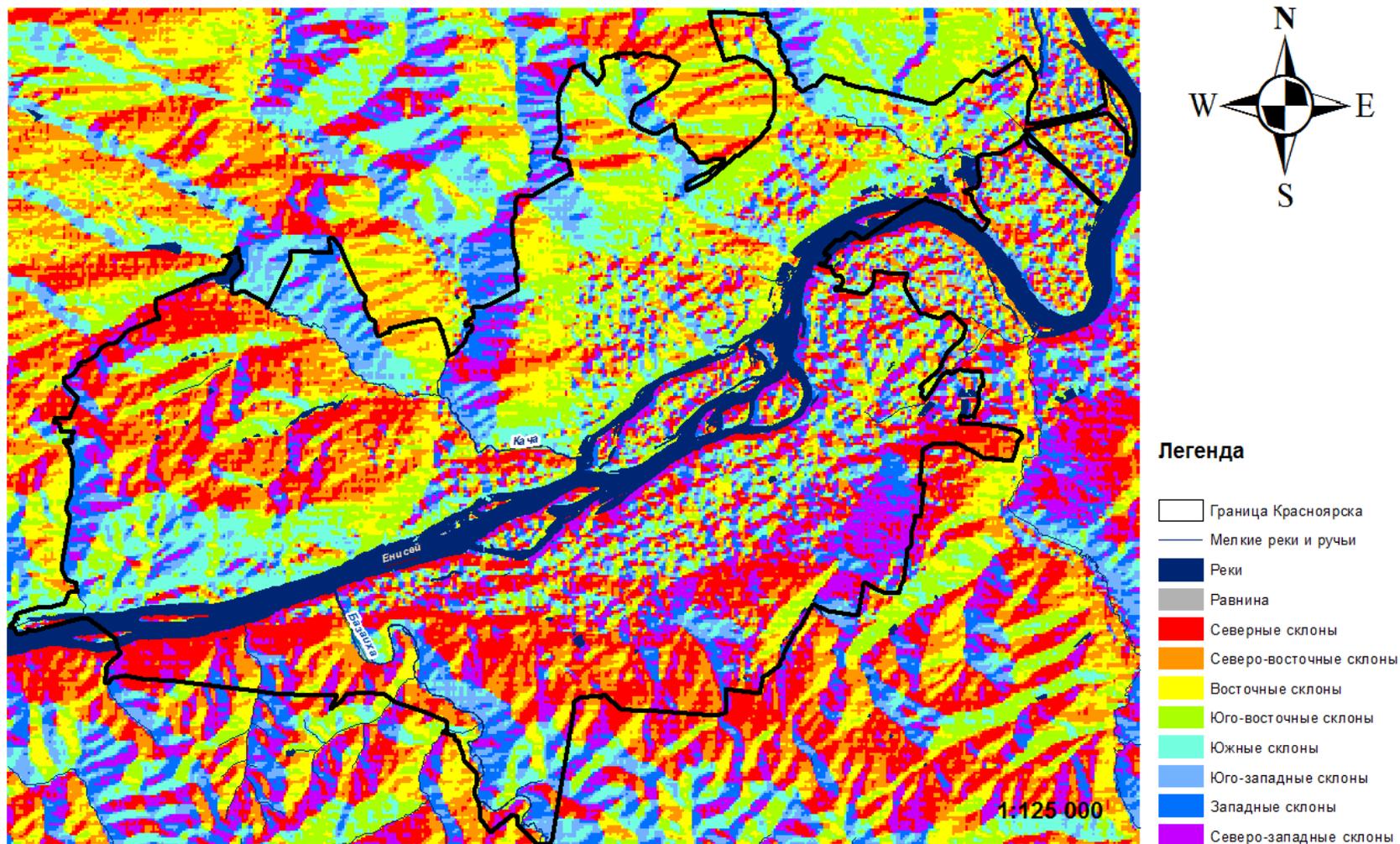


Рисунок А.4 – Карта экспозиции склонов на территорию города Красноярск

Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов для рассеивания загрязнений при южном и юго - западном направлениях ветра

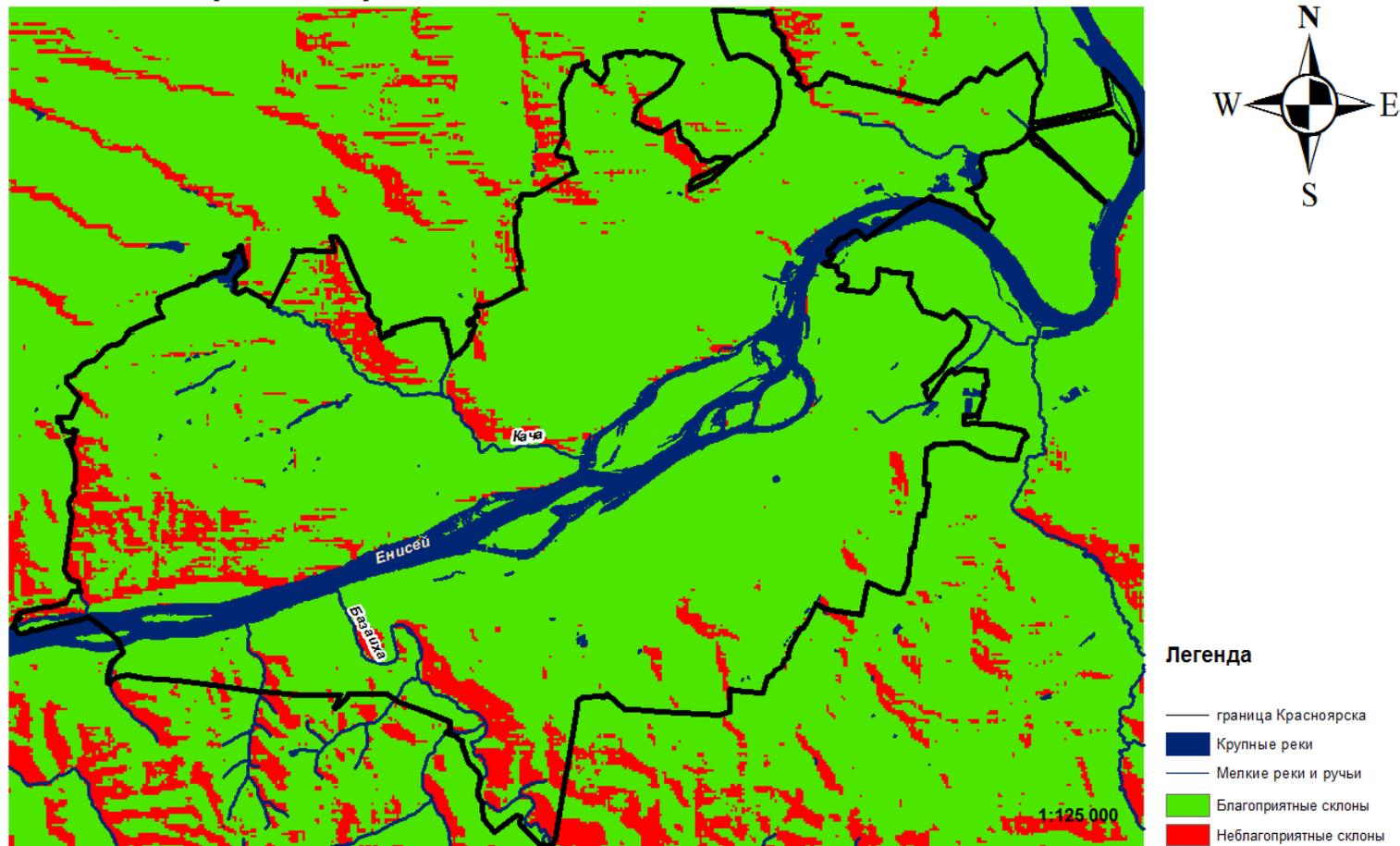


Рисунок А.5 – Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов для рассеивания загрязнений при южном и юго-западного направлениях ветра

Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов для рассеивания загрязнений при северном и северо-восточном направлениях ветра

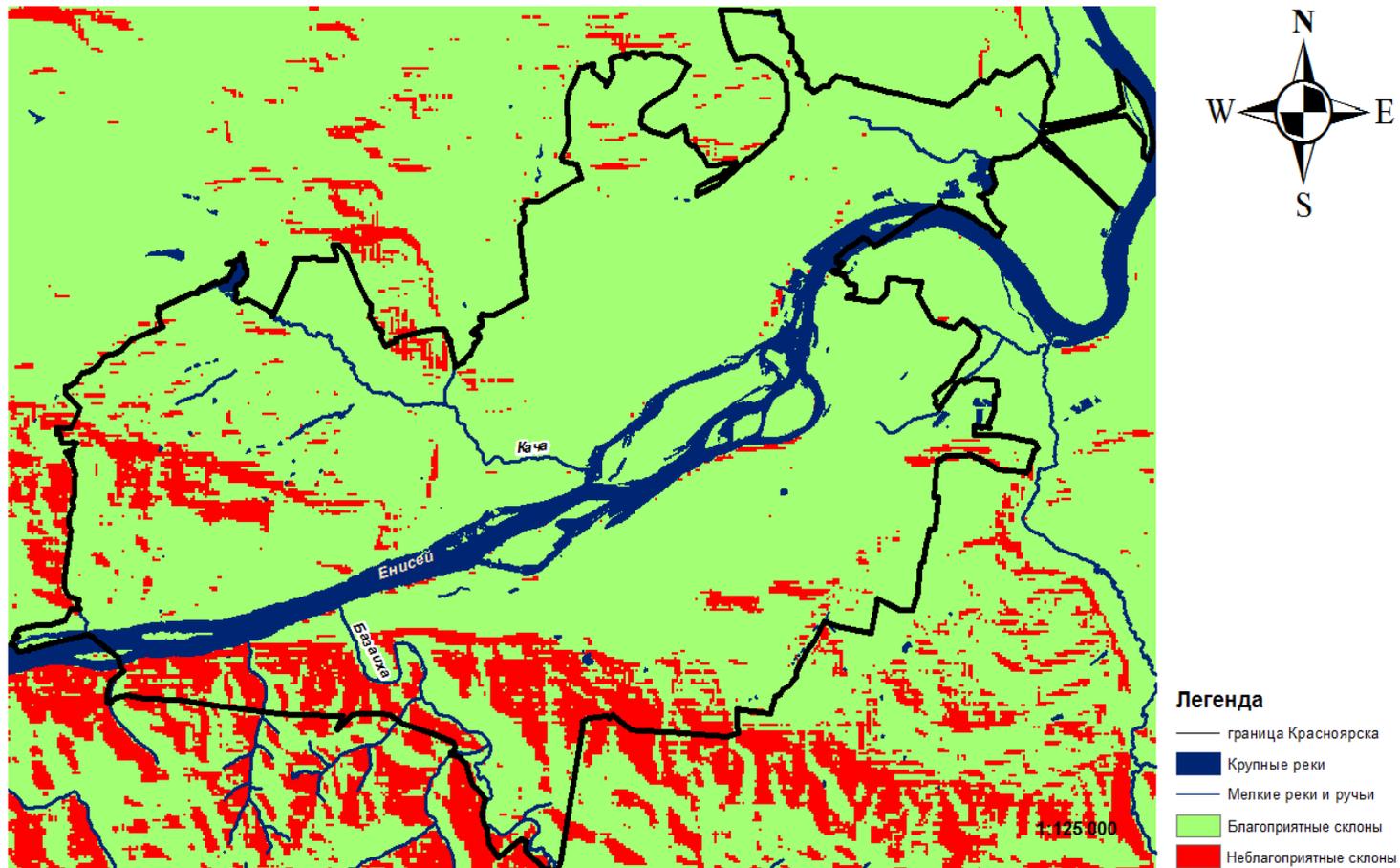


Рисунок А.6 – Карта расположения благоприятных и неблагоприятных склонов для рассеивания загрязнений при северном и северо-восточном направлениях ветра

Карта среднемесячной температуры за июль 2012 года

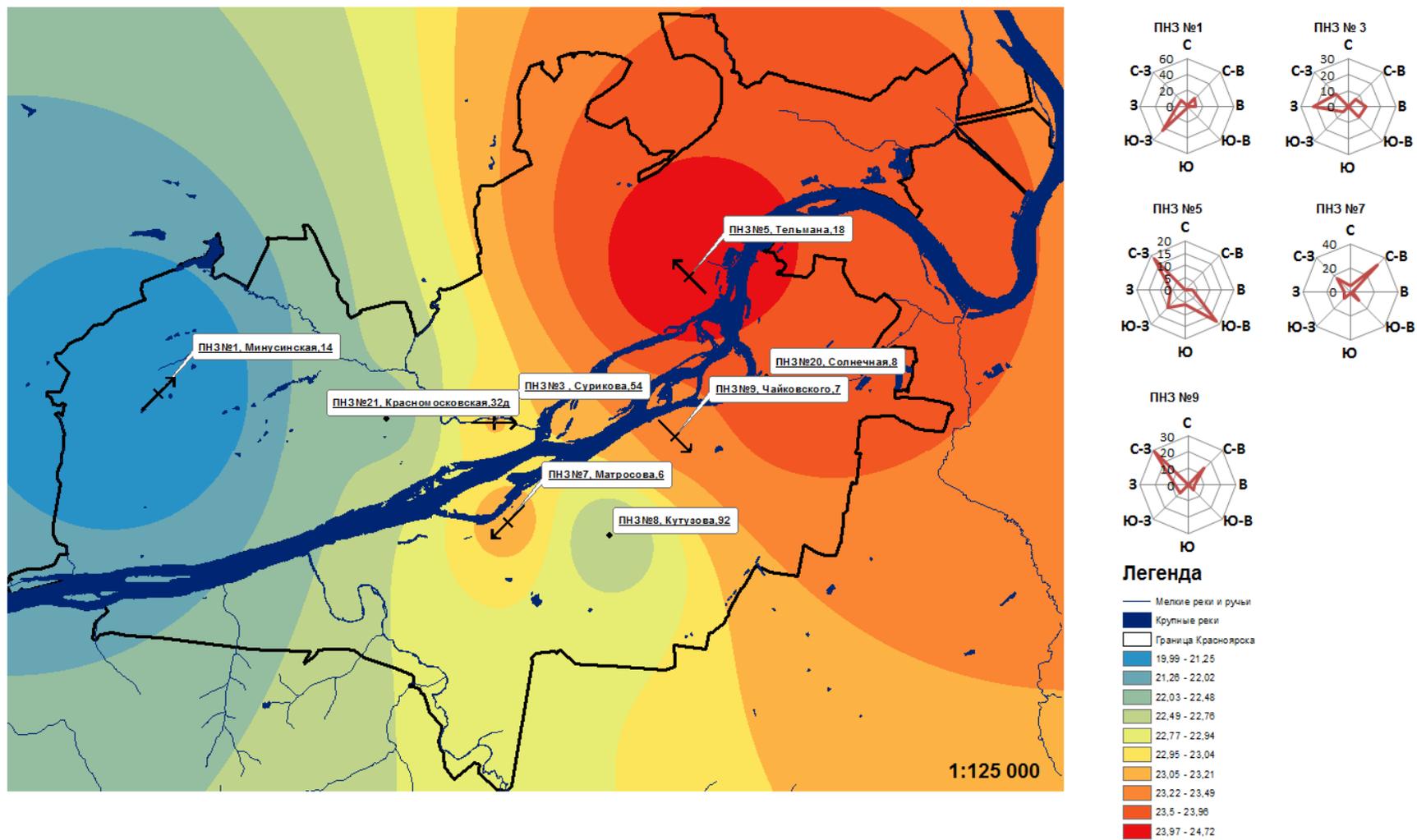


Рисунок А.7 – Карта среднемесячной температуры за июль 2012 года

Карта среднемесячной температуры за июль 2017 года

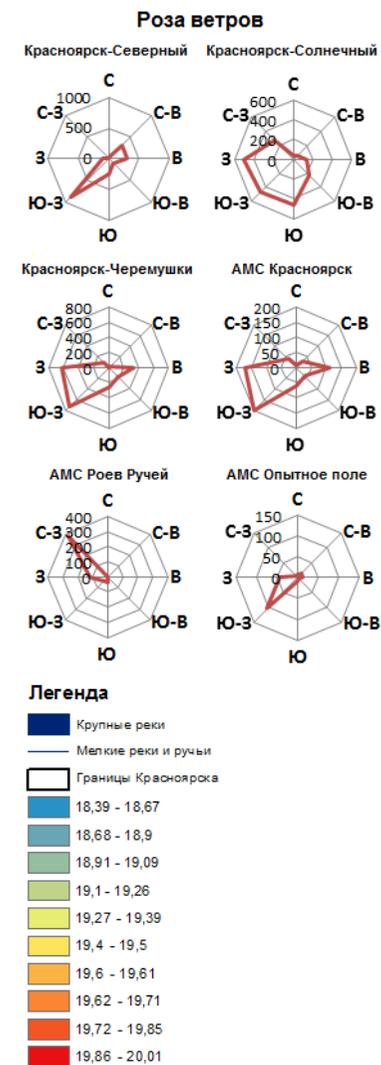
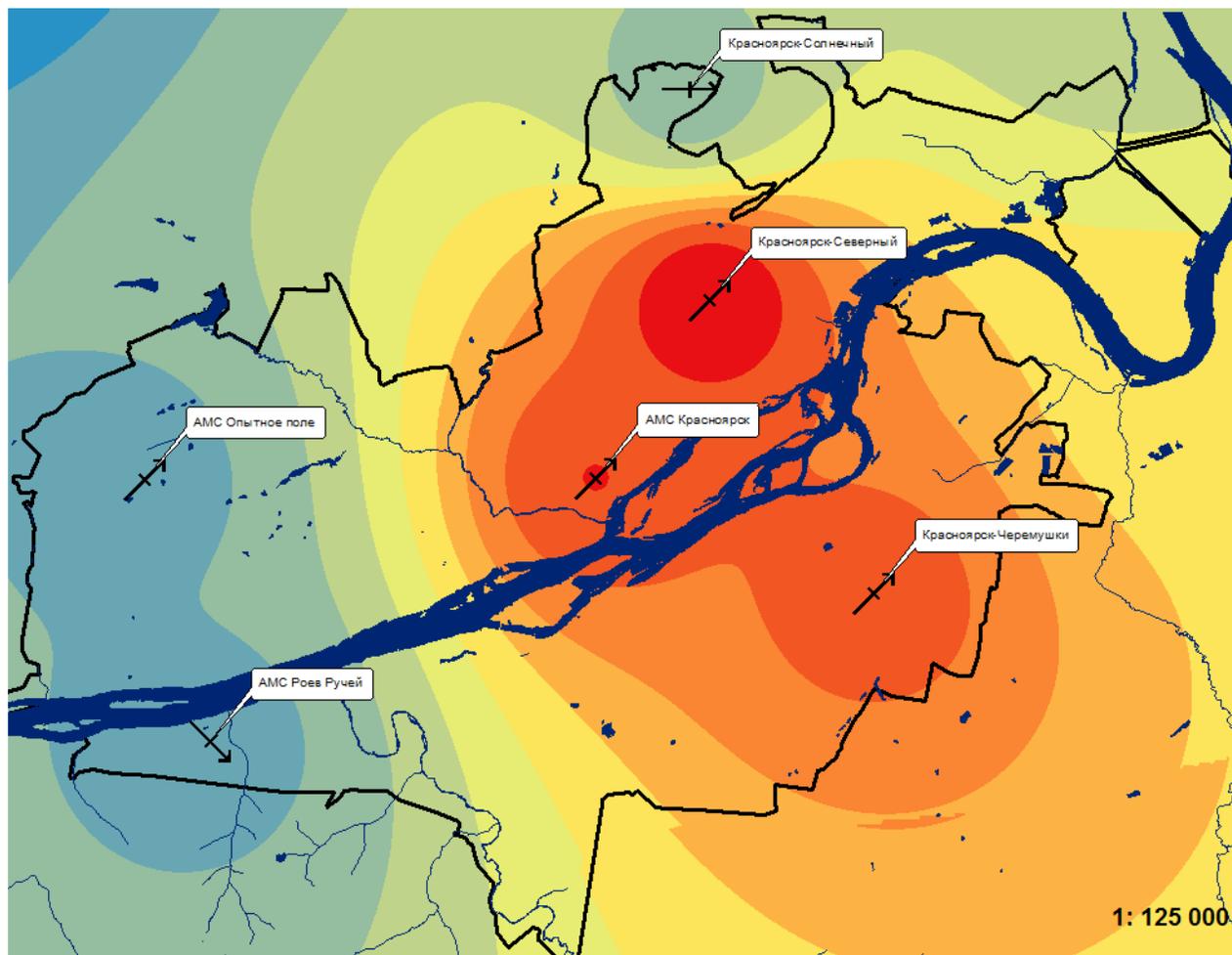


Рисунок А.8 – Карта среднемесячной температуры за июль 2017 года

Карта среднемесячной температуры за январь 2012 года

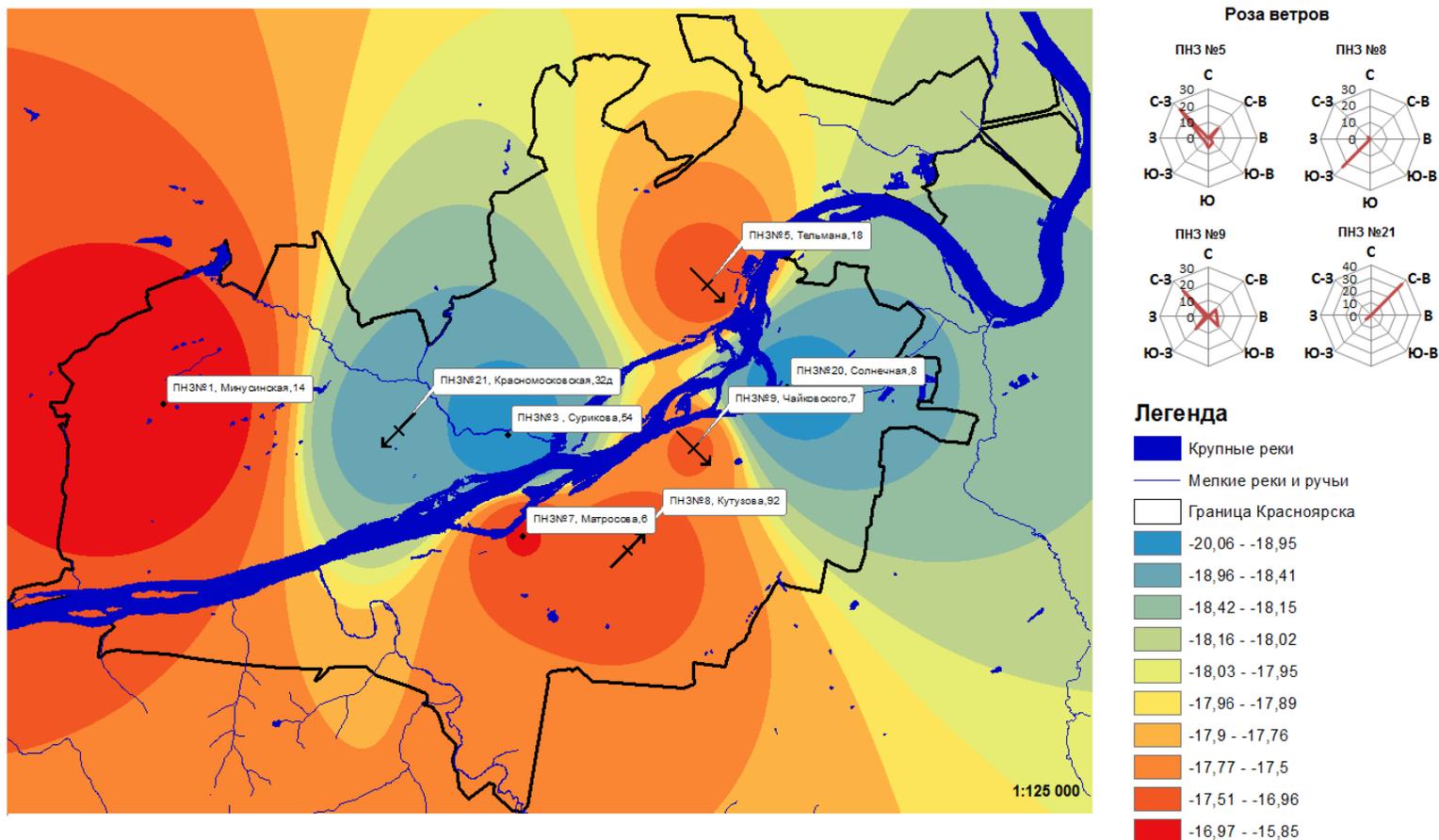


Рисунок А.9 – Карта среднемесячной температуры за январь 2012 года

Карта среднемесячной температуры за январь 2017 года

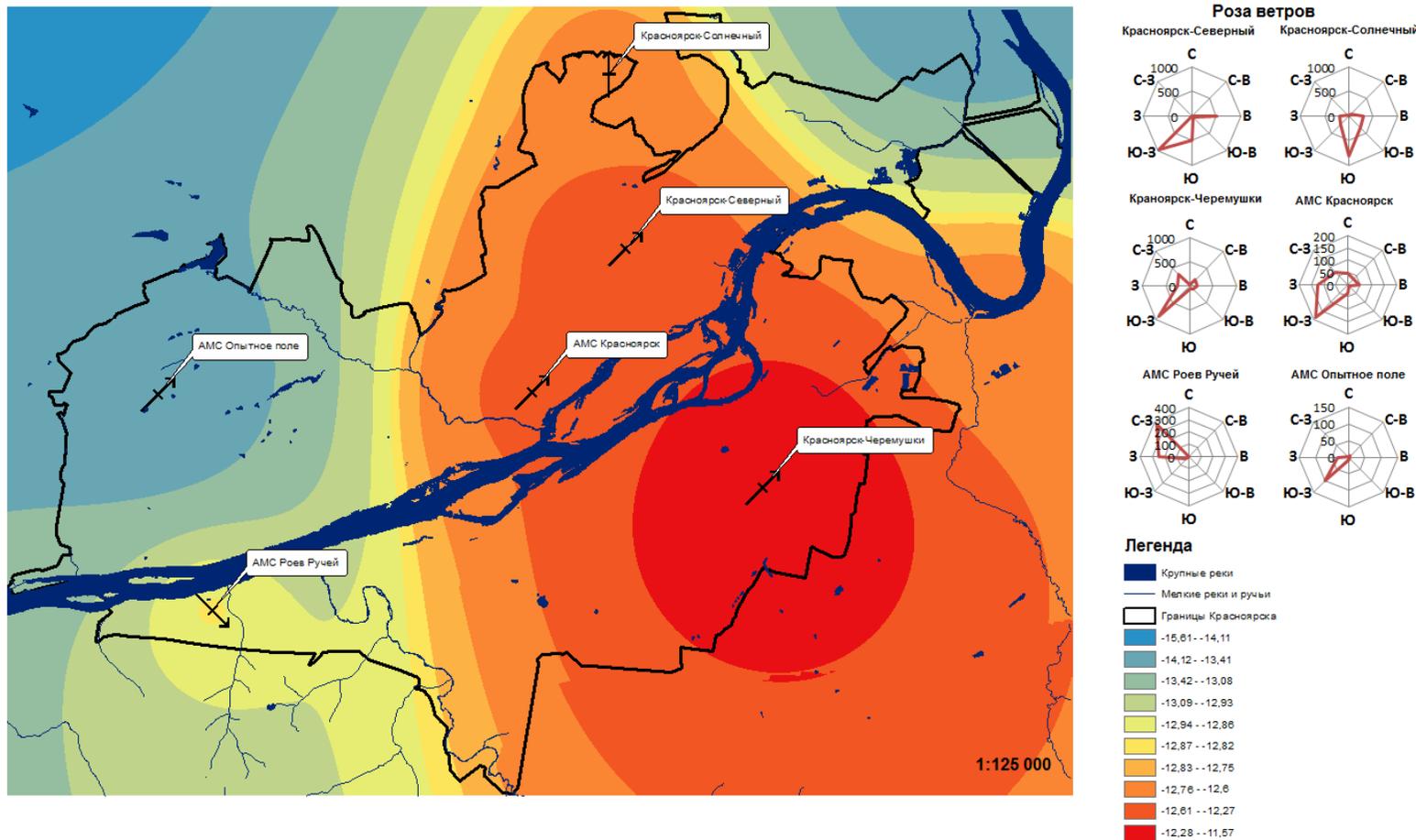


Рисунок А.10 – Карта среднемесячной температуры за январь 2017 года

Карта распространения аммиака в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

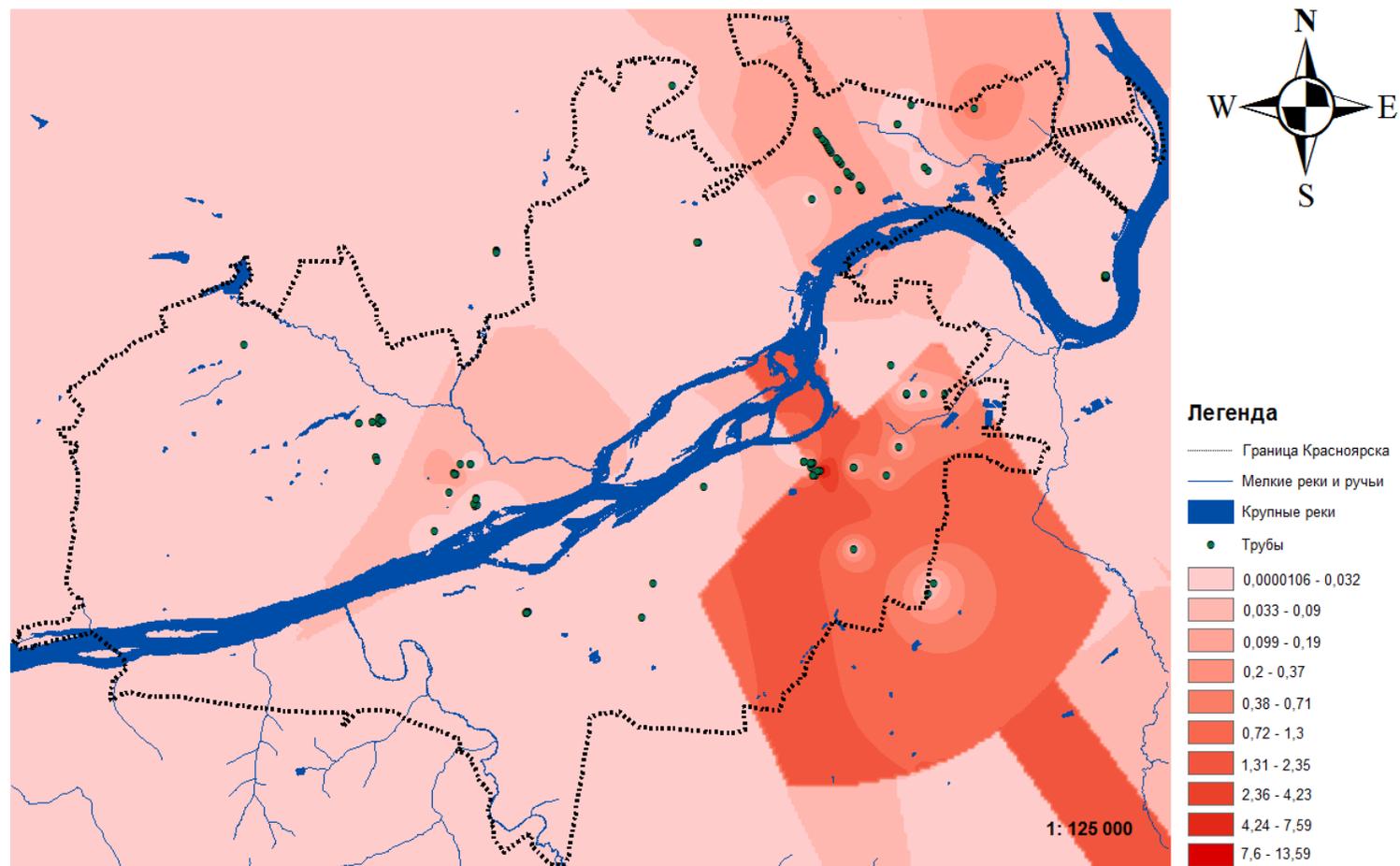


Рисунок А.11 – Карта распространения аммиака в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярск

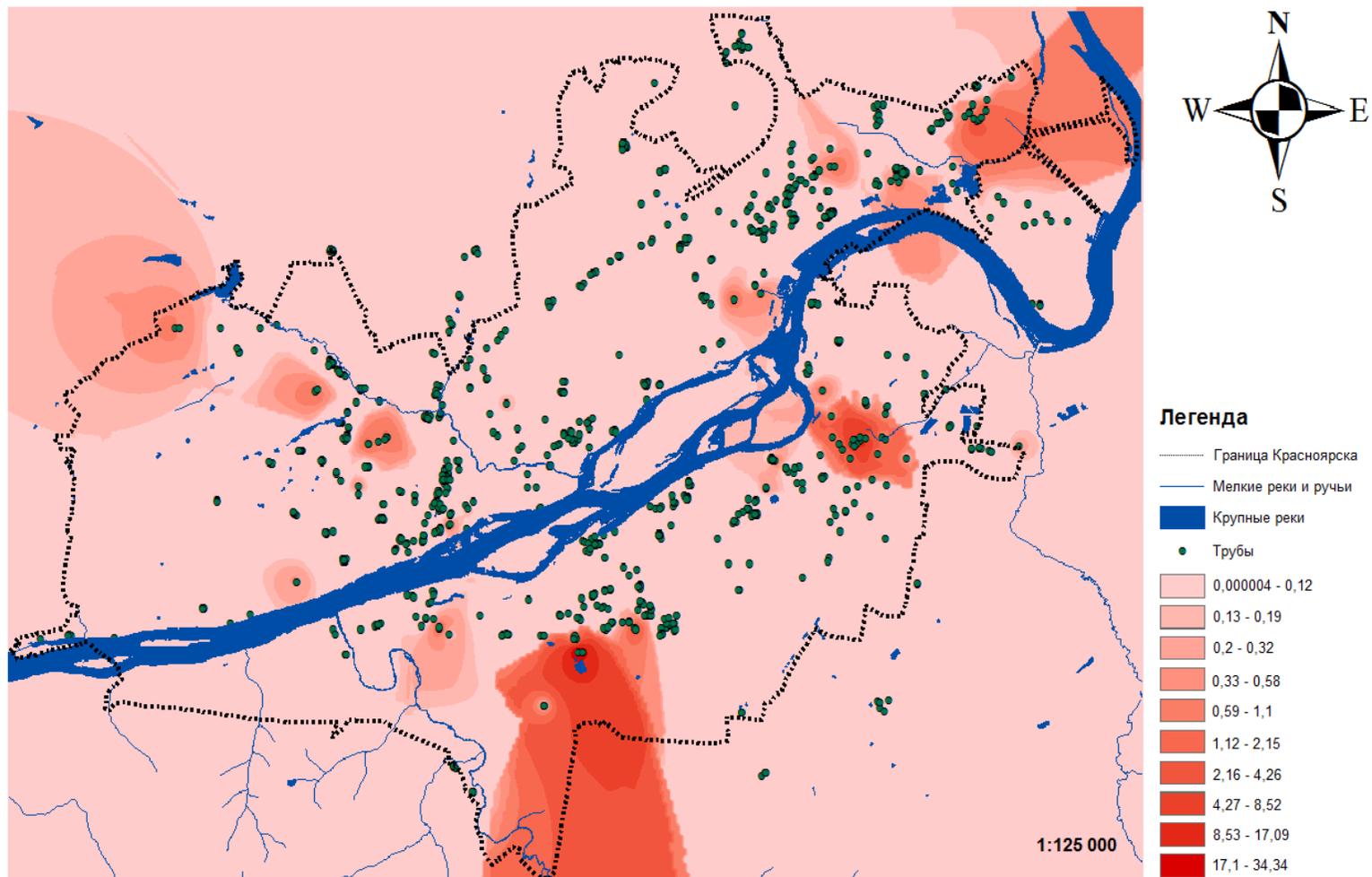


Рисунок А.12 – Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярск

Карта распространения бензола в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

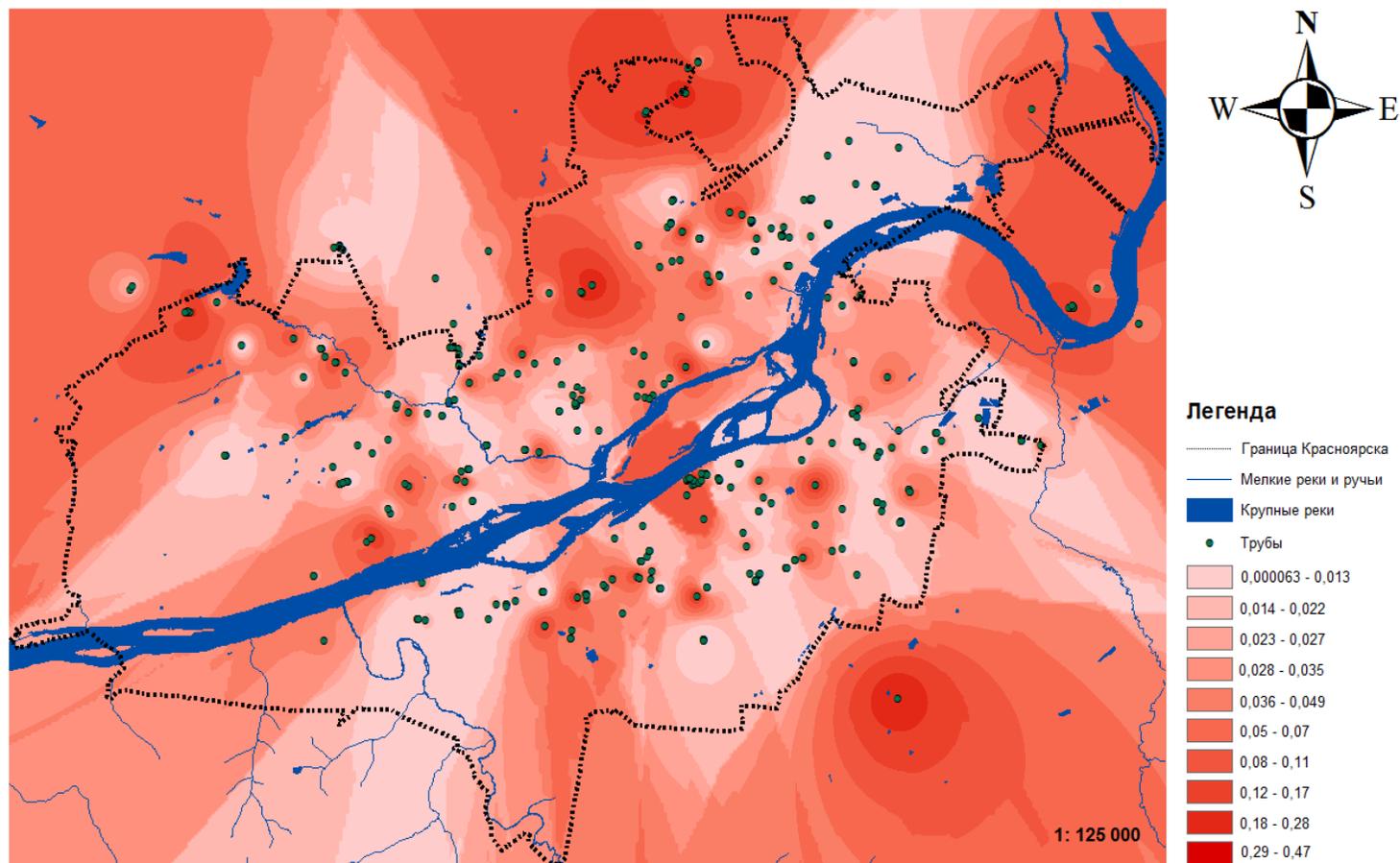


Рисунок А.13 – Карта распространения бензола в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

Карта распространения свинца и его неорганических соединений (в пересчете на свинец) в атмосферном воздухе на территории города Красноярск

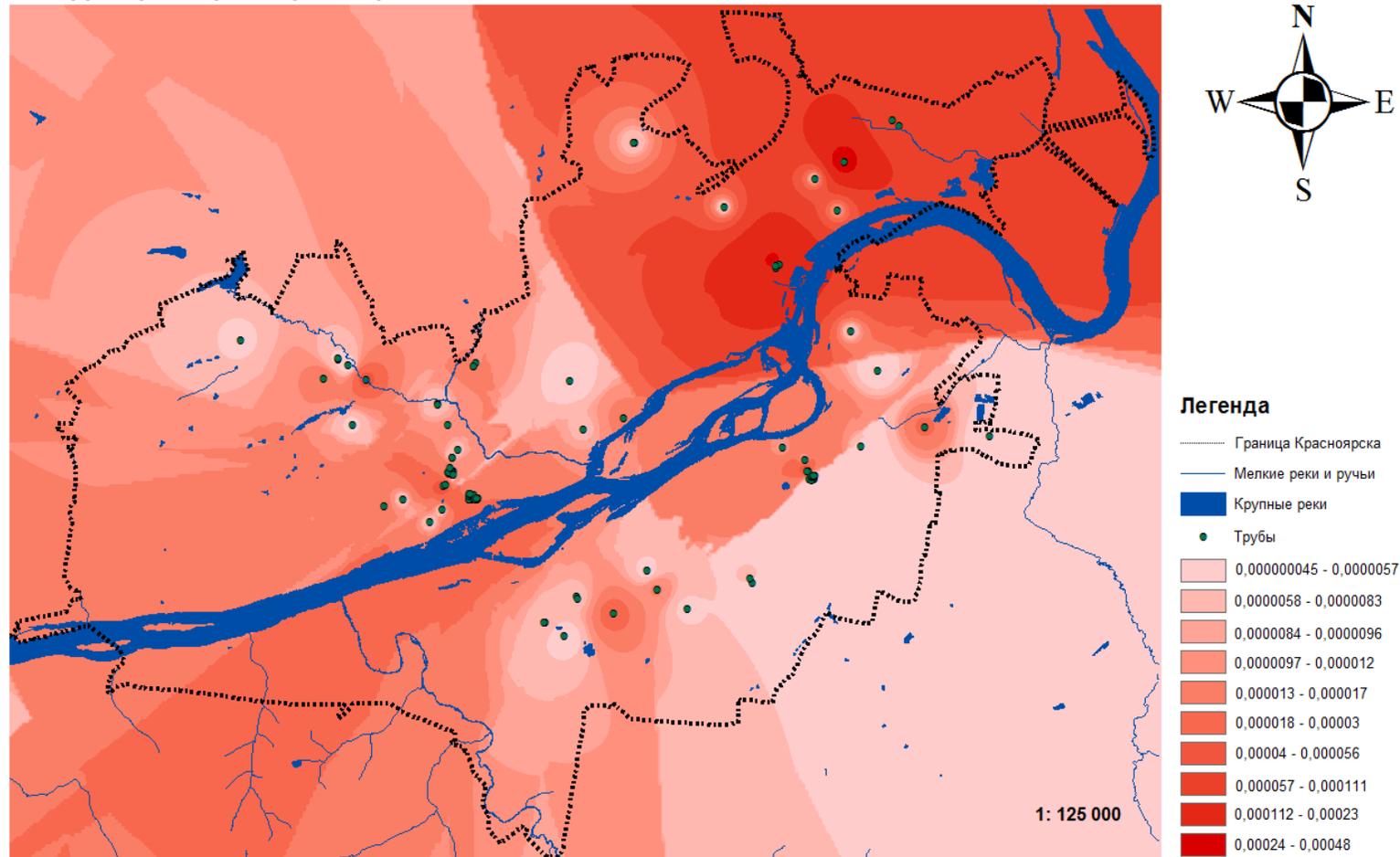


Рисунок А.14 – Карта распространения свинца и его неорганических соединений (в пересчете на свинец) в атмосферном воздухе на территории города Красноярск

Карта распространения диоксида серы в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

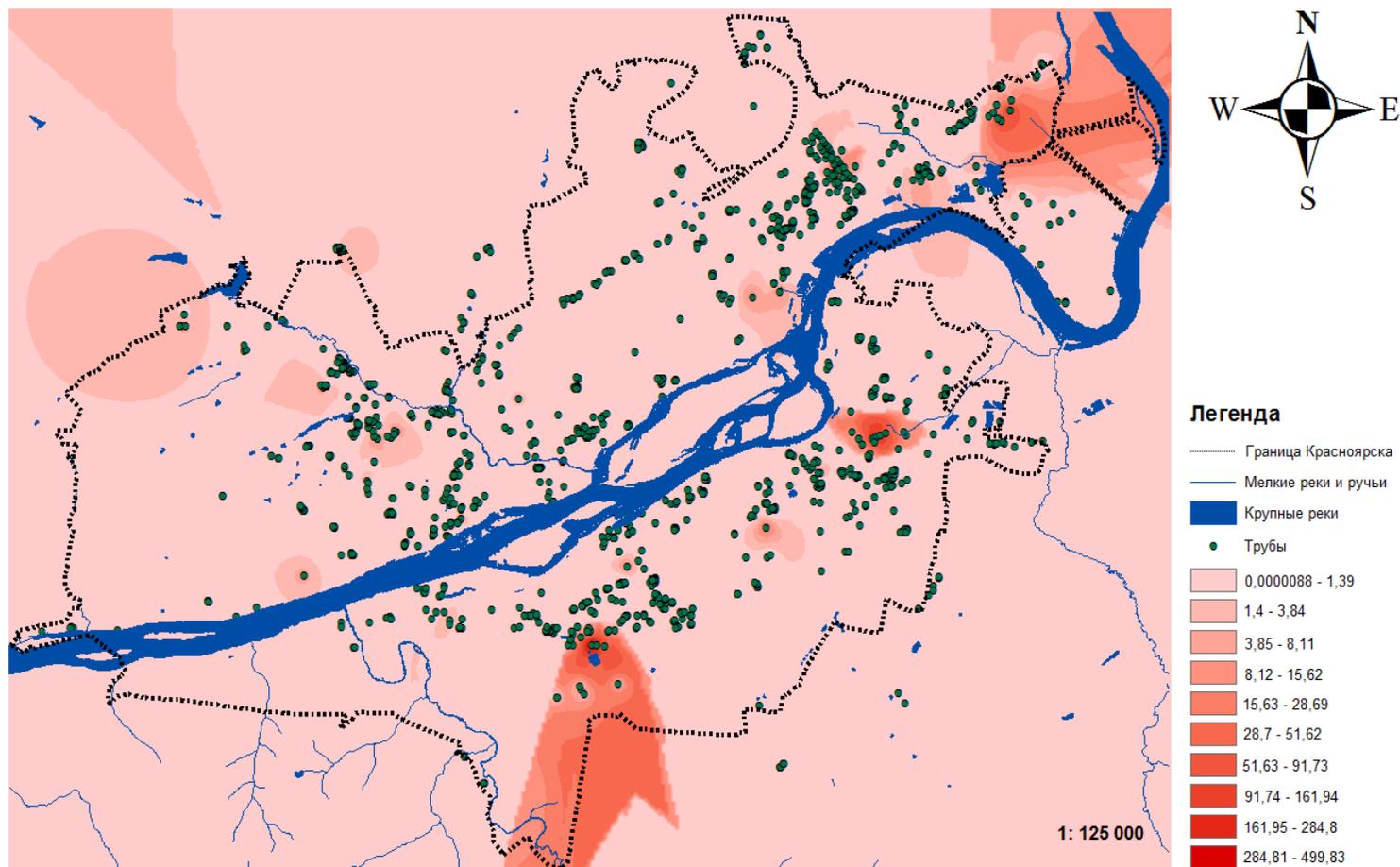


Рисунок А.15 – Карта распространения диоксида серы в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

Карта распространения сероводорода в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

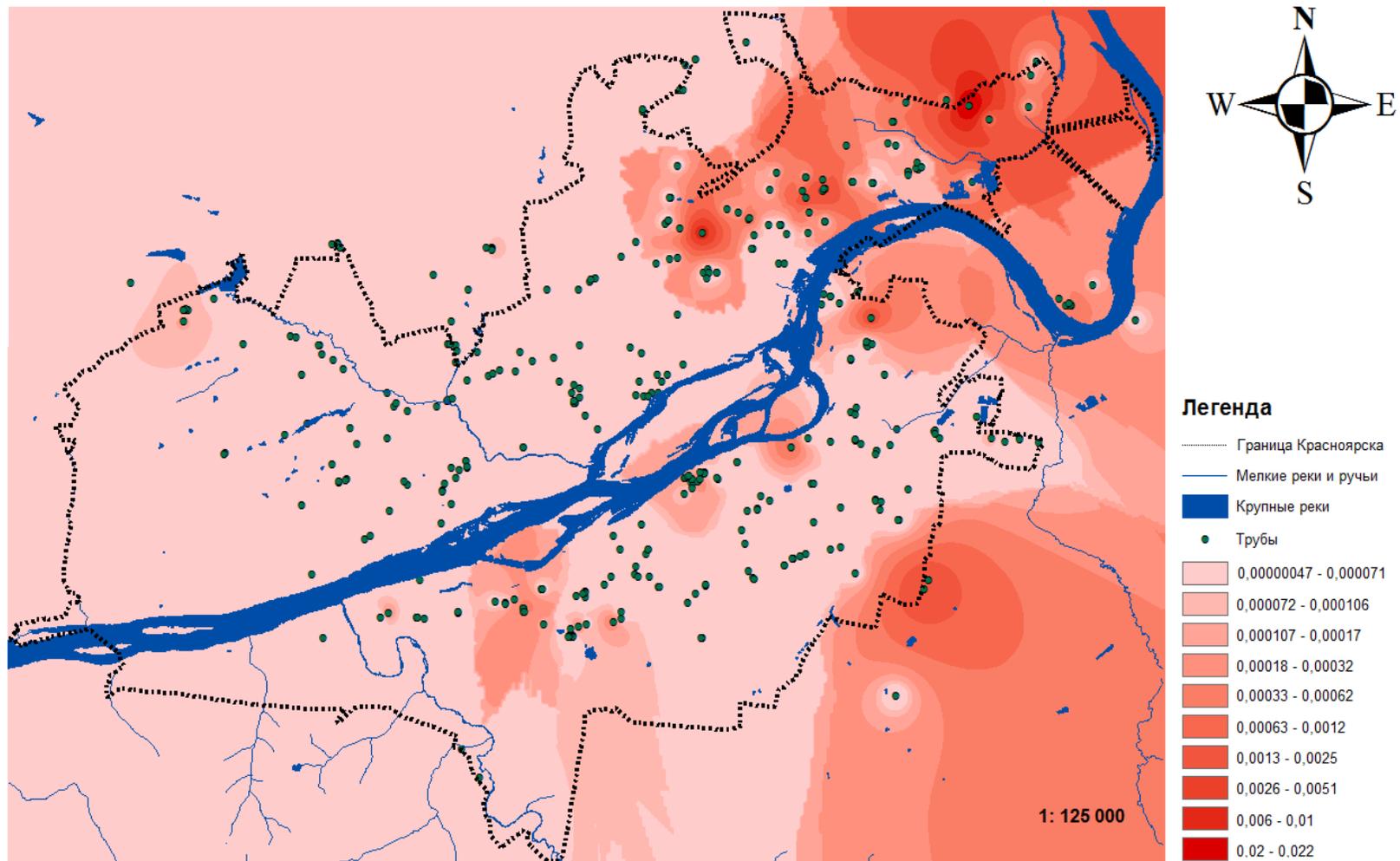


Рисунок А.16 – Карта распространения сероводорода в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

Карта распространения оксида углерода в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

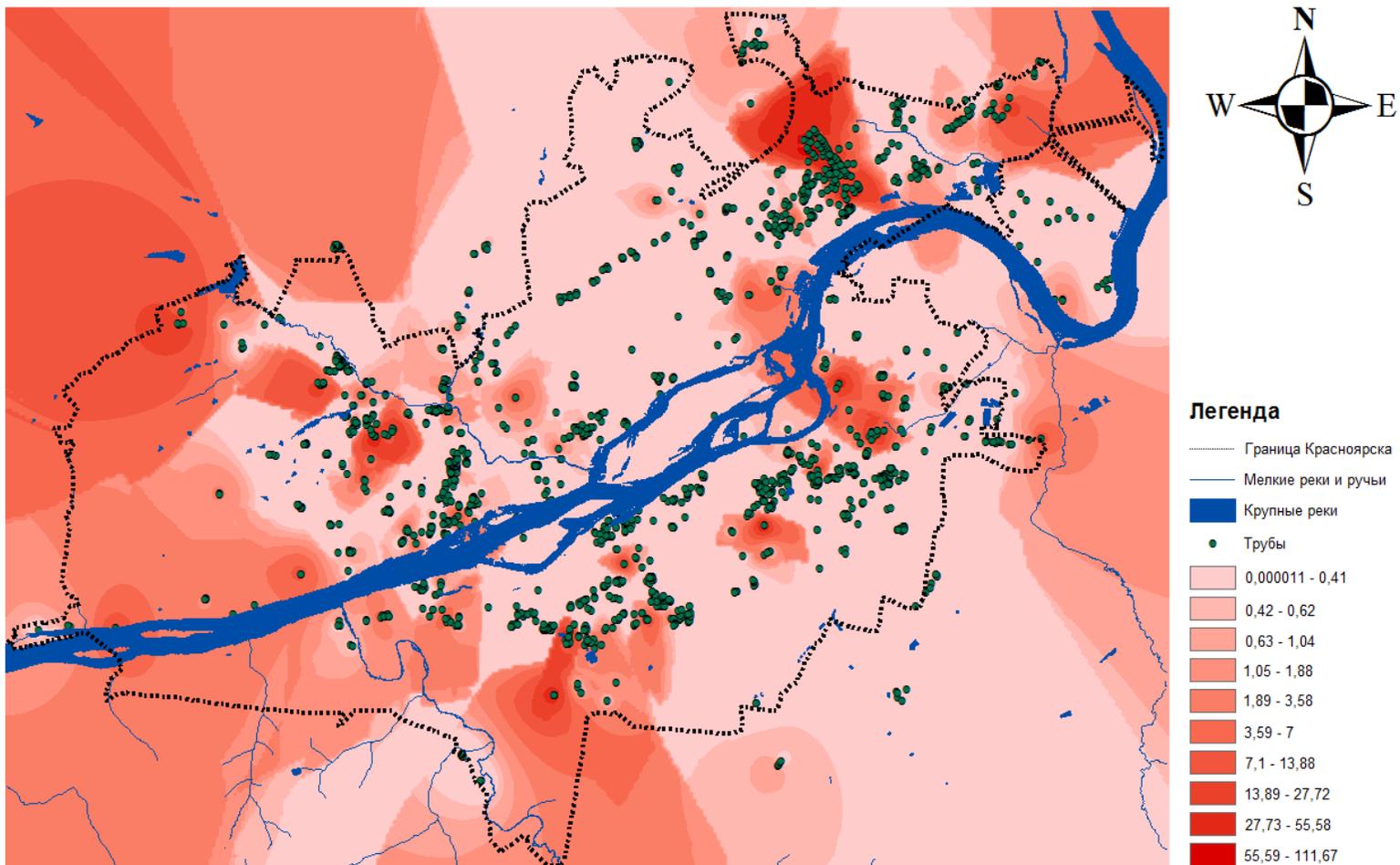


Рисунок А.17 – Карта распространения оксида углерода в атмосферном воздухе на территории города Красноярска

Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярск по данным, полученных на автоматизированных пунктах наблюдения

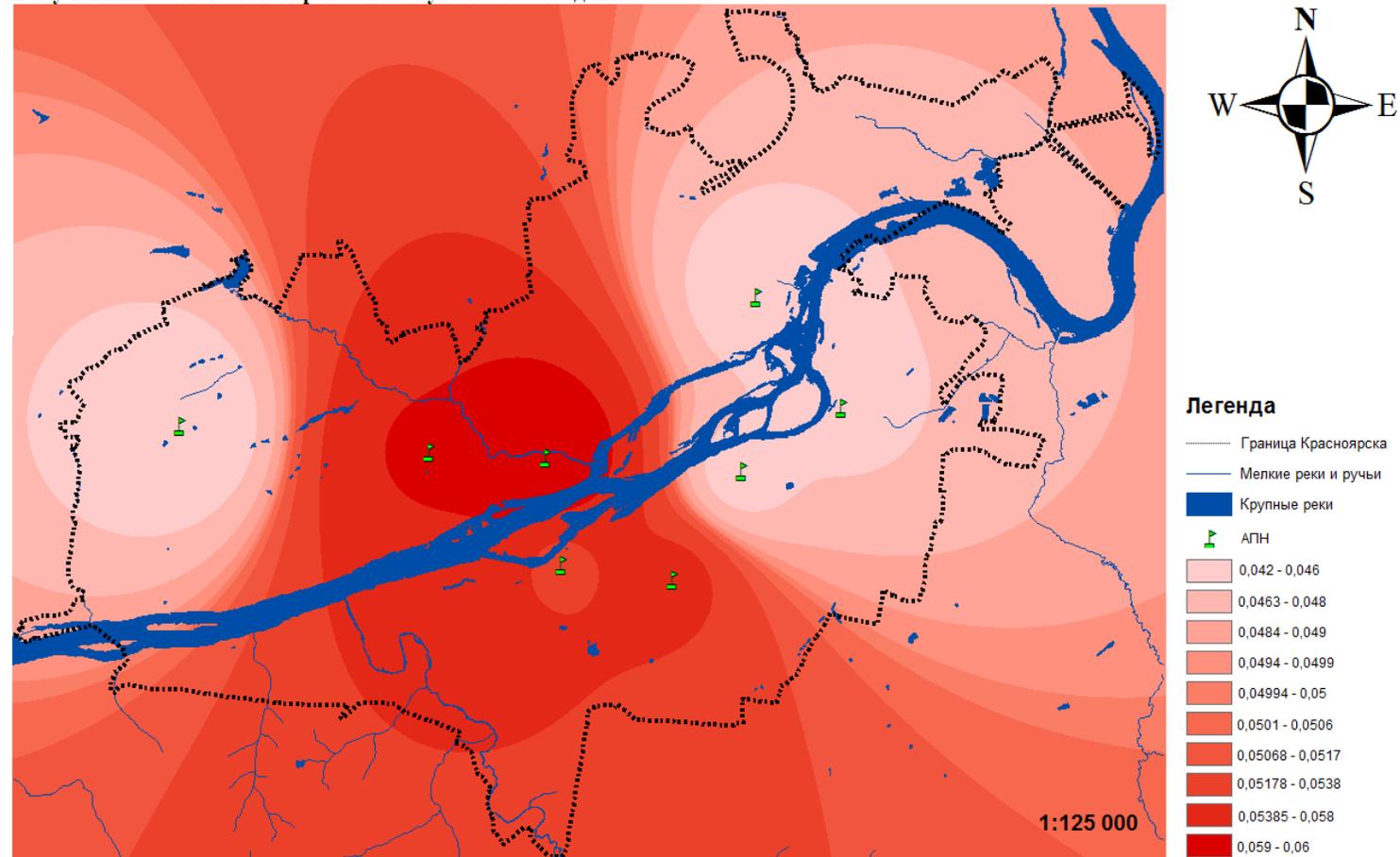


Рисунок А.18 – Карта распространения диоксида азота в атмосферном воздухе на территории города Красноярск по данным автоматизированных постов наблюдения