

Плеханова Ольга Сергеевна,
директор многофункционального центра, Иркутский государственный университет путей
сообщения,

Головкова Елена Александровна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: temnikova_ea@bk.ru

Асламова Вера Сергеевна,
д.т.н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения,
e-mail: aslamovav@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГОРОДОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Plekhanova O.S., Golovkova E.A., Aslamova V.S.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING AIR POLLUTION IN CITIES OF THE IRKUTSK REGION

Аннотация. Представлен алгоритм комплексной оценки уровней загрязнения воздушной среды и выбросов основных загрязняющих веществ. Описан интерфейс информационно-справочной системы, разработанной на языке C#. Приведены уравнения показателей потенциала самоочищения и метеорологического потенциала атмосферы, необходимые для учета способности атмосферы к самоочищению от загрязняющих веществ. В результате проведенного исследования получены и приведены значения интегрального и суммарного показателей антропогенного воздействия на атмосферу; получены регрессионные уравнения, на основе которых осуществлен прогноз уровней CO, SO₂, NO₂ и взвешенных веществ городов Иркутской области.

Ключевые слова: информационно-справочная система, блок-схема, регрессионный анализ, загрязняющие вещества, качество атмосферы.

Abstract. An algorithm for a comprehensive assessment of air pollution levels and emissions of the main pollutants is presented. The interface of the information and reference system developed in the C# language is described. The equations of the self-purification potential and meteorological potential of the atmosphere, necessary for taking into account the ability of the atmosphere to self-purify pollutants, are given. As a result of the study, the values of the integral and total indicators of anthropogenic impact on the atmosphere were obtained and presented; regression equations were obtained, based on which the forecast of the levels of CO, SO₂, NO₂ and suspended matter in the cities of the Irkutsk region was carried out.

Keywords: information system, block diagram, regression analysis, pollutants, air quality.

Актуальность оценки качества атмосферы обусловлена количественным ростом выбросов загрязняющих веществ (ЗВ), что отрицательно влияет на здоровье населения, растительный и животный мир.

Главными источниками загрязнения атмосферы городов Иркутской области (ИО) являются: предприятия цветной металлургии, теплоэнергетики, деревообрабатывающей, нефтехимической и химической, пищевой и легкой промышленности, а также автотранспорт.

В настоящее время качество атмосферы в ИО оценивается в соответствии с руководящим документом (РД 52.04.667-2005) по показателям: индексу загряз-

нения атмосферы (ИЗА), вычисляемого по среднегодовым значениям концентраций 5 ЗВ, которые вносят максимальный вклад в загрязнение атмосферы города, при этом не учитывается загрязнение его окрестностей; стандартному индексу СИ, равному отношению наибольшей замеренной разовой концентрации к ПДК одного или нескольких ЗВ за год или месяц; наибольшей повторяемости НП, % превышения ПДКм.р. одного из ЗВ за год по данным наблюдений в пунктах города. Поэтому необходимо предложить количественный интегральный показатель для комплексной оценки годового загрязнения атмосферы городов ИО, описанный в [1, 2].

С целью систематизации информации, полученной в результате проведенной оценки, представления данных в удобном для пользователя виде было решено разработать информационно-справочную систему на языке С#, блок-схема алгоритма работы которой представлена на рисунках 1-2.

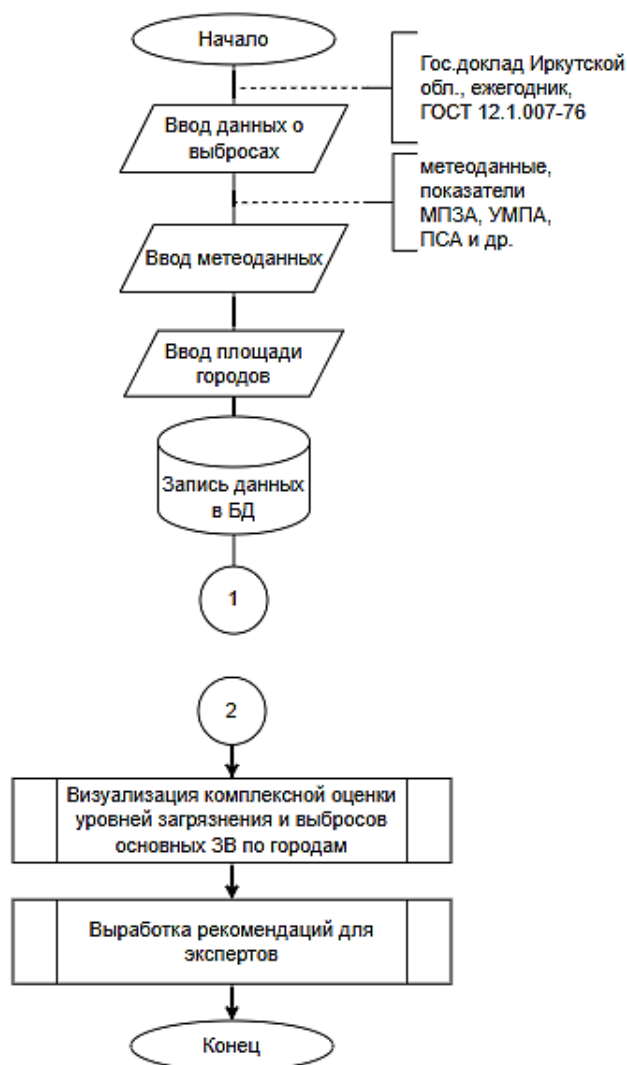


Рисунок 1 – Начало и конец блок-схемы алгоритма комплексной оценки уровней загрязнения и выбросов основных загрязняющих веществ.

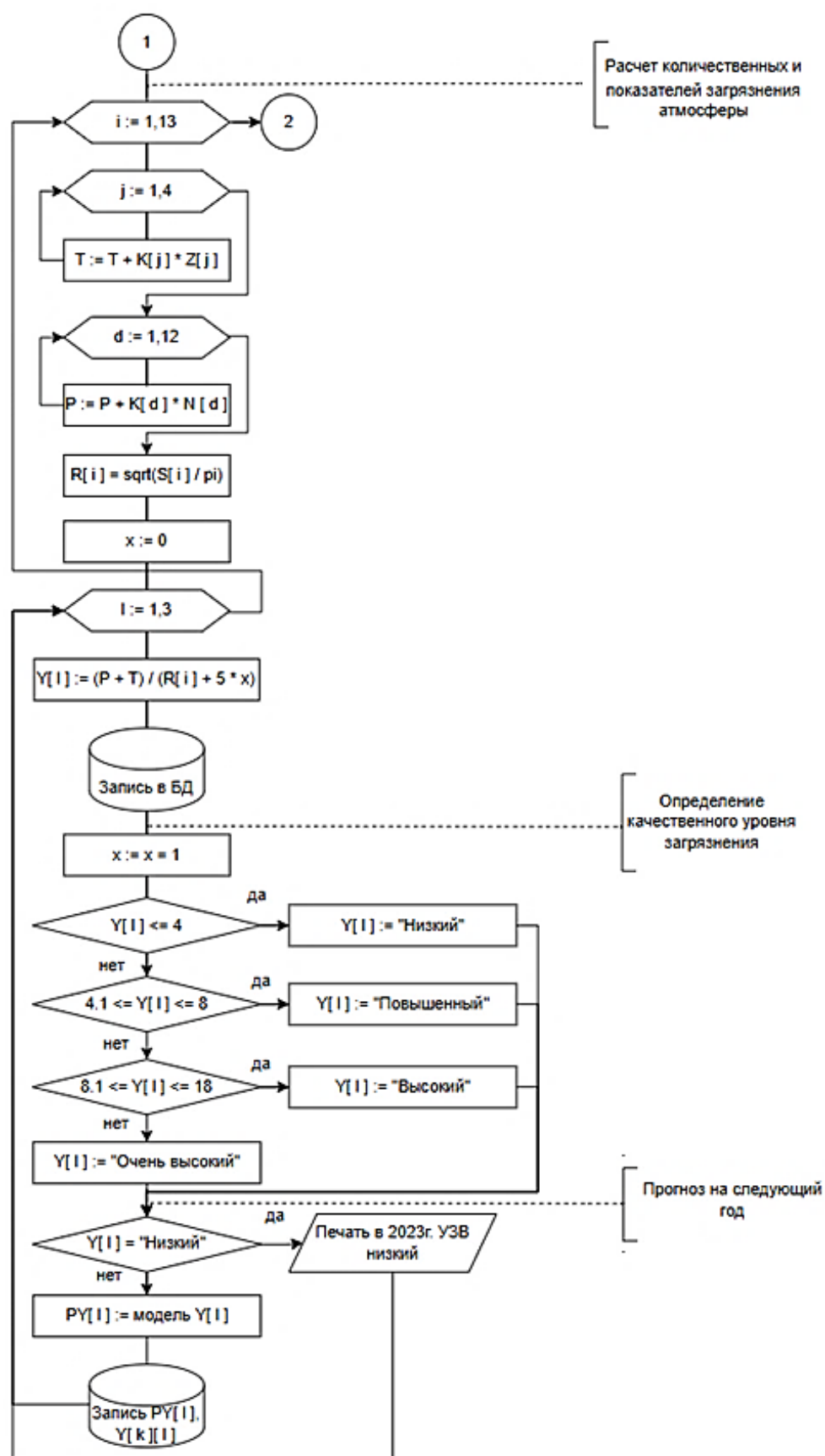


Рисунок 2 – Фрагмент блок-схемы алгоритма комплексной оценки уровней загрязнения и выбросов основных загрязняющих веществ.

i – порядковый номер города (всего 13 городов); j – порядковый номер загрязняющего вещества; T – показатель воздействия загр. вещества на атмосферу, по количественной оценке; $K[j]$ – количество тонн в год; $z[j]$ – коэффициент; d – порядковый номер загр. вещества участвующего в расчете P ; P – показатель воздействия по ПДК (загр. веществ на атмосферу); $K[d]$ – принимает значение 0, если количество выброшенного вещества меньше ПДК и 1, если выше или равно; $N[d]$ – коэффициент для веществ при расчете P ; $R[i]$ – условный радиус города; $S[i]$ – площадь города; x – глубина уровней в км (0 - 1 ур., 5 – 2 ур., 10 – 3 ур.); $Y[x]$ – качественный показатель уровня загрязнения атмосферы города.

На рисунке 3 представлена главная форма программы, интерфейс которой содержит основное меню, обеспечивающее удобную навигацию пользователям, подразделы в котором разделены по категориям: анализ, оценка уровней опасности, прогноз уровней загрязнения воздушной среды (ВС), доступ к нормативно-справочной документации, а также коэффициенты, используемые при оценке антропогенного воздействия на ВС ИО. Также на главной форме программы отображается дополнительная информация, отражающая повестку федерального или регионального правительства в природоохранной сфере.

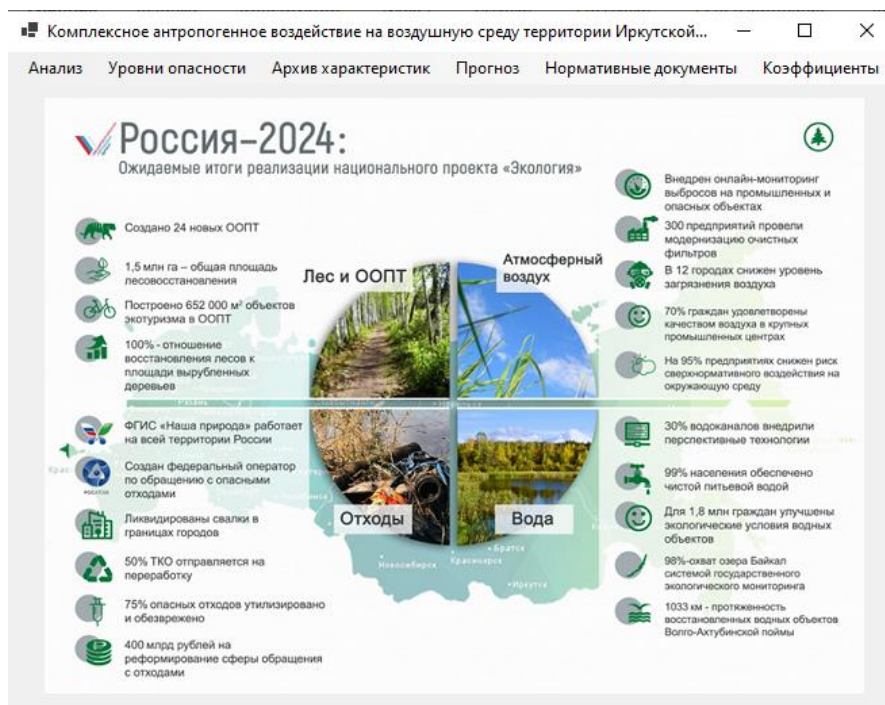


Рисунок 3 – Главная форма информационно-справочной системы.

Для адекватной оценки уровня годового загрязнения атмосферы городов Иркутской области необходим учет способности атмосферы к самоочищению от ЗВ, характеризуемый показателями потенциала самоочищения атмосферы (ПСА) и метеорологического потенциала атмосферы (МПА) [3]. При этом ПСА,

характеризующий эффект рассеивания ЗВ, учитывает зависимые события (появление тумана $P_{т/сл}$ при слабом ветре, не более 1 м/с) и независимые события (одновременное появление существенного ветра $P_в$ не менее 6 м/с и выпадение осадков $P_о$ не менее 0,5 мм между измерениями) и вычисляется по формуле (1).

$$ПСА = \frac{(P_о + P_в - P_оP_в)}{(P_{сл} + P_т - P_{сл}P_т)}, \quad (1)$$

где $P_т$ – повторяемость события «туман», $P_{сл}$ – повторяемость события «слабый ветер» со скоростью $0 \div 1$ м/с (штиль).

При МПА >1 активируются процессы накопления в атмосфере ЗВ. МПА вычисляется по следующей формуле:

$$МПА = \frac{(P_{сл} + P_т)}{(P_о + P_в)}. \quad (2)$$

Для сопоставления показателей рассеивания ЗВ предлагается использовать величину $1/МПА$, вычисляемую соответственно по формуле (3).

$$\frac{1}{МПА} = \frac{(P_о + P_в)}{(P_{сл} + P_т)}. \quad (3)$$

Показатели $1/МПА$ и ПСА вычислялись по метеорологическим данным сайта <https://rp5.ru> за 2010–2023 годы. Объем обработанных статистических данных составил для Иркутска 40851, Ангарска – 33825 [4, 5]. Среднемесячные значения исследуемых показателей определялись в среднеинтегральном смысле, т.е. в виде отношения накопленной суммы наблюдений соответствующих событий к общему числу измерений за аналогичные периоды наблюдений (за этот месяц разных годов).

Полученные результаты для г. Ангарск представлены на рисунках 4-5.

затели воздействия на воздушную среду

форма									
Ангарск									
Год	Уровень опасности	Взвешанные в-ва, тыс.т.	SO2	NO2	CO	Интегральный показатель антропогенного воздействия	Показатель воздействия по ПДК	Показатель воздействия по количественной оценке	Суммарный показатель воздействия
2006	В	2,14	6,1	2,4	1,72	119,5	23,56	47,16	47,16
2007	В	2,57	6,95	2,48	0,3	119	49,99	49,84	99,83
2008	П	2,54	7,47	4,24	0,52	142,9	23,56	64,45	88,02
2009	В	3,37	9,85	6,79	0,74	200,8	49,99	93,78	143,76
2010	В	2,42	7,63	6,48	3,18	190,7	51,6	84,76	136,36
2011	П	2,68	9,39	6,86	3,18	213,9	16,13	94,19	110,32
2012	П	3,05	10,54	6,68	2,39	219,2	0	96,7	96,7
2013	П	3,46	14,4	6,84	1,97	258,1	0	111,41	111,41
2014	П	2,65	11,6	6,37	1,94	218,2	0	95,95	95,95
2015	П	2,21	9,31	5,72	1,86	184,8	0	82,14	82,14
2016	В	2,34	10,16	5,94	2,09	198,6	42,05	87,34	129,38
2017	В	2,16	8,69	2,05	5,79	180,8	64,63	59,52	124,15
2018	ОВ	2,27	9,92	5,58	1,55	187	105,44	82,92	188,36

Рисунок 4 – Показатели воздействия на воздушную среду в Ангарске.

Из рисунка 5 видно, что в Ангарске с 2018 года были только неблагоприятные условия для рассеивания загрязнителей ($МПА > 1,2$), крайне неблагоприятные условия для рассеивания загрязнителей отмечались в 2019 году ($МПА > 2,4$). Благоприятные условия для рассеивания загрязнителей наблюдались только в 2010, 2013, 2015-2017 годах. В [5] доказано, что вместо показателя ПСА можно применять $1/МПЗА$ с $R^2 = 99,99\%$.

Качественные показатели состояния ВС

ая форма

к Ангарск

Год	Качественный показатель состояния ВС Уровень 1	Качественный показатель состояния ВС Уровень 2	Качественный показатель состояния ВС Уровень 3	Качественная характеристика Уровня 1	Качественная характеристика Уровня 2	Качественная характеристика Уровня 3	МПА	ПСА
2010	14,1	9,29	6,93	Умеренный	Слабый	Допустимый	0	0
2011	11,4	7,52	5,61	Слабый	Допустимый	Допустимый	0,97	1,03
2012	10	6,59	4,92	Слабый	Допустимый	Допустимый	1,34	0,74
2013	11,52	7,59	5,66	Слабый	Допустимый	Допустимый	0	0
2014	9,92	6,54	4,88	Слабый	Допустимый	Допустимый	2,4	0,42
2015	8,49	5,6	4,17	Слабый	Допустимый	Допустимый	0	0
2016	13,37	8,82	6,58	Умеренный	Слабый	Допустимый	0	0
2017	12,83	8,46	6,31	Слабый	Слабый	Допустимый	0	0
2018	19,47	12,84	9,57	Умеренный	Слабый	Слабый	1,87	0,53
2019	10,01	6,6	4,92	Слабый	Допустимый	Допустимый	2,55	0,39
2020	13,88	9,15	6,82	Умеренный	Слабый	Допустимый	2,09	0,48
2021	9,55	6,3	4,7	Слабый	Допустимый	Допустимый	1,81	0,55
2022	9,61	6,34	4,73	Слабый	Допустимый	Допустимый	2,35	0,43

Рисунок 5 – Качественные показатели состояния ВС, уровни МПА, ПСА в г. Ангарск.

Прогноз уровней CO , NO_2 , SO_2 и взвешенных веществ для городов ИО осуществлялся по регрессионным моделям, полученным в результате проведенного анализа. Обработка данных выполнялась в пакете Statgraphics Plus. Адекватность полученных моделей оценивалась по критериям: коэффициент детерминации R^2 , показывающий процент данных, которые описываются моделью, скорректированный коэффициент детерминации R_c^2 , используемый для оценки тесноты связи между независимой и зависимой переменными, коэффициент Дарбина-Уотсона DW , по которому можно оценить отсутствие автокорреляции в уравнении, а также абсолютная (Δ) и среднеквадратическая (σ) ошибки. Все критерии соответствуют допустимому уровню. На рисунке 6 представлен раздел меню Прогноз, предоставляющий доступ к программным формам с результатами прогноза по суммарному показателю воздействия СПВ (см. рисунок 7) и регрессионным моделям (см. рисунок 8).

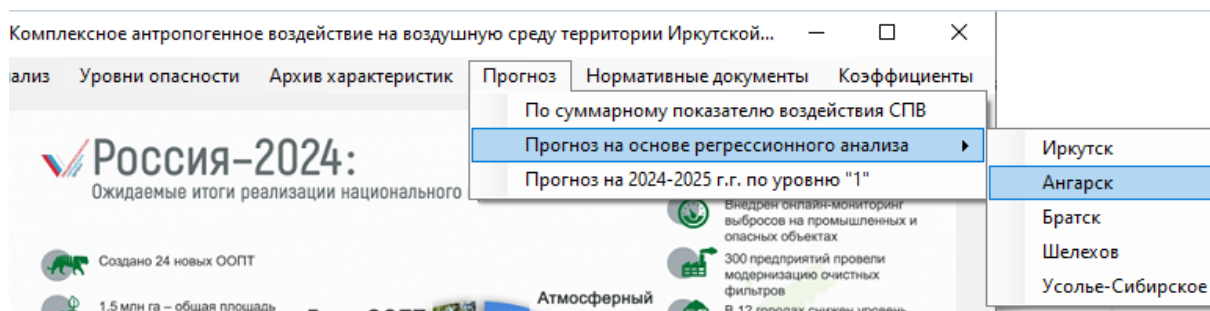


Рисунок 6 – Подраздел основного меню «Прогноз».

Прогнозировать уровень ЗВ промышленными предприятиями достаточно сложно, так как они зависят от технологии производства, качества сырья, соблюдения регламента производства, неконтролируемого воздействия окружающей среды, действий обслуживающего персонала [1] и т.д. Все перечисленное учесть невозможно.

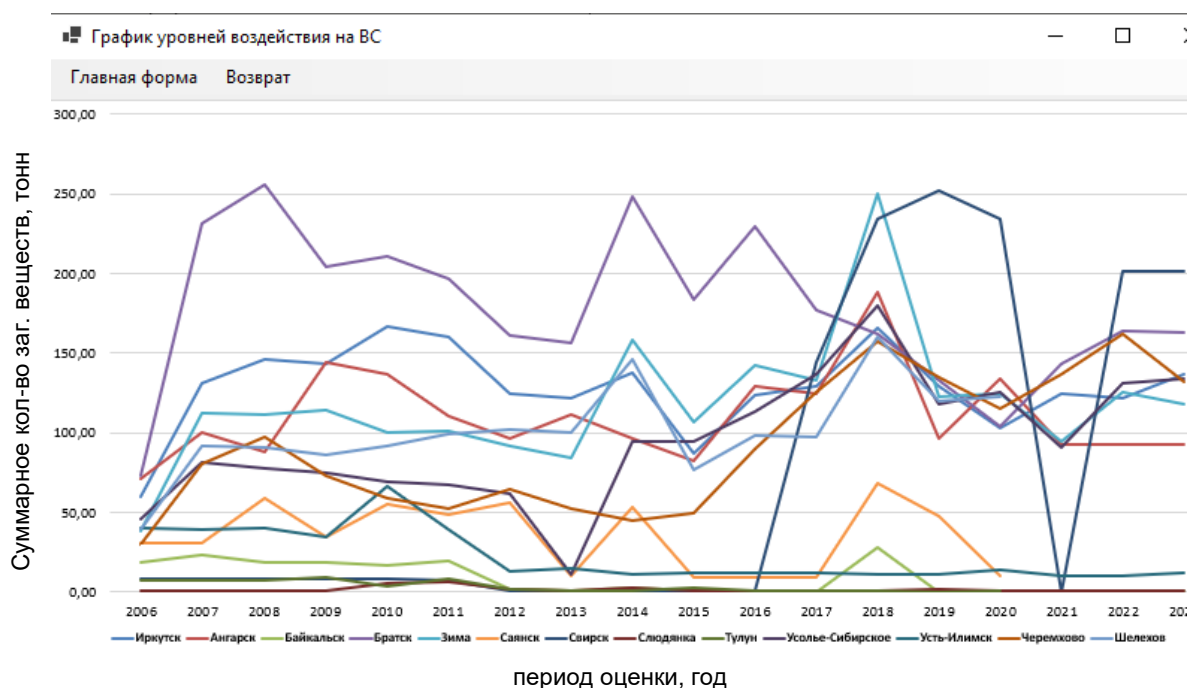


Рисунок 7 – Графики уровней воздействия на ВС для городов ИО по годам.

В качестве примера на рисунке 8 представлено уравнение регрессии, отображающее тенденцию загрязнения воздуха г. Ангарск взвешенными частицами (ВзВ), и таблица с фактическим и прогнозируемыми данными.

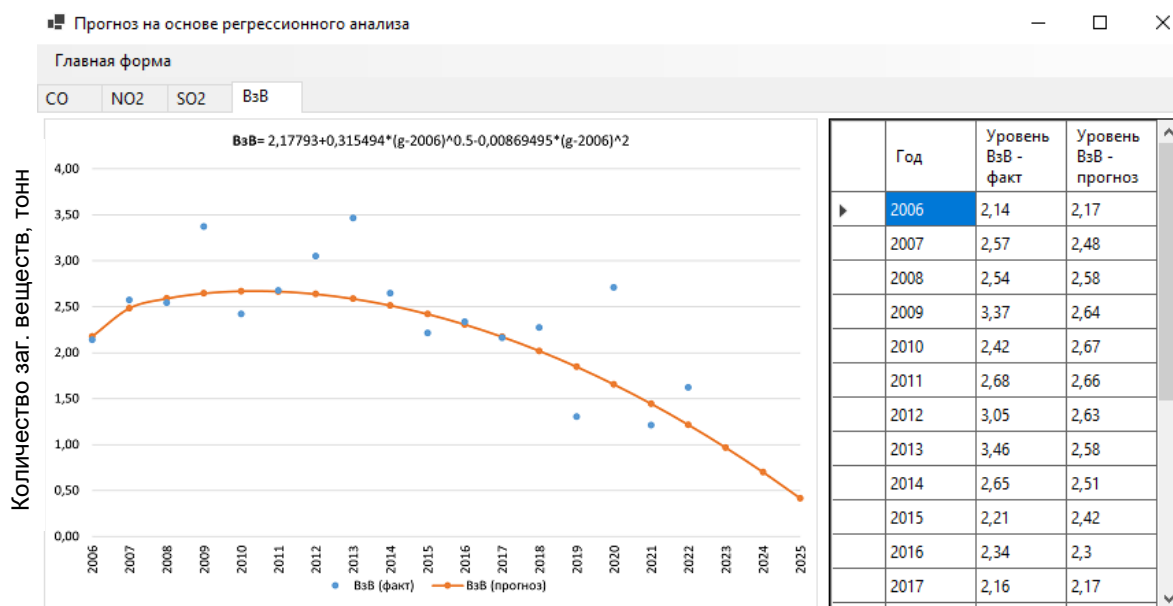


Рисунок 8 – Интерфейс формы с результатами прогноза по взвешенным веществам для г. Ангарск.

На рисунке 9 представлена гистограмма, отображающая загрязнение городов ИО на границе города, в 2024-2025 гг. Видно, что наиболее загрязнен воздух в городах Саянск, Шелехов, Черемхово, Усолье-Сибирское, Зима.

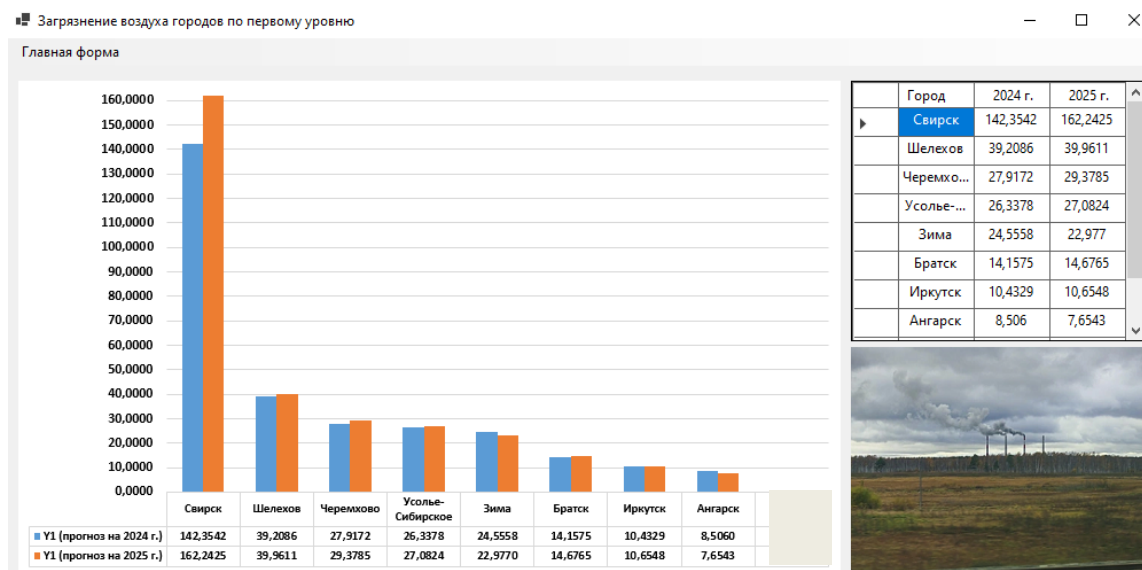


Рисунок 9 – Показатели ЗВ на 2024-2025 гг. городов ИО.

Учитывая, что данные об загрязнении доступны лишь в конце текущего года, созданная информационно-справочная система может служить поддержкой принятия решений при выборе целесообразных региональных природоохранных мероприятий, диктуемых прогнозными значениями загрязнения атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Асламова, В.С.** Регрессионные модели оценки комплексного техногенного загрязнения атмосферы городов Иркутского региона / В. С. Асламова, О. С. Плеханова, А. А. Асламов – Текст : непосредственный // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 8. – С. 62-65.
2. **Плеханова, О.С.** Онтологическое моделирование предметной области «Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха» / В. С. Асламова, О. С. Плеханова – Текст : непосредственный // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2024. – № 1 (33). – С. 40-49.
3. **Аргучинцева, А.В.** Потенциал самоочищения атмосферы / А. В. Аргучинцева, Е. А. Кочугова – Текст : непосредственный // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2019. – Т. 27. – С. 3-15.
4. **Плеханова, О.С.** Анализ показателей рассеивания загрязняющих веществ атмосферой городов Иркутска и Ангарска / О. С. Плеханова, В. С. Асламова, Е. А. Головкова, А. А. Асламов – Текст : непосредственный // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 11. – С. 89-92.
5. **Плеханова, О.С.** Обработка статистики метеорологических данных для оценки потенциала загрязнения атмосферы антропогенными выбросами в городах Ангарск, Братск, Иркутск / О. С. Плеханова, В. С. Асламова, А. А. Асламов – Текст : непосредственный // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2024. – № 4(36). – С. 132-145.