

УДК 504.3.054 (504.064.36)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
НА ТЕРРИТОРИИ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ****Дега Н.С., Онищенко В.В., Байчорова Э.М., Узденов У.Б.***ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: kcsu@mail.ru*

Моделирование мониторинга загрязнения атмосферного воздуха республики является важным инструментом для оперативного обеспечения актуальной и прогнозной информацией органов занимающихся вопросами природопользования и охраны окружающей среды, а также для обеспечения устойчивого развития региона и разработки региональных экологических программ. В целях охраны атмосферного воздуха республики целесообразно: составление Сводных томов предельно допустимых выбросов (ПДВ) отдельно по каждому муниципальному району республики и субъекту в целом, установление новых ПДВ для предприятий на основе разработанных Сводных томов ПДВ и применение при установлении ПДВ экологических нормативов качества атмосферного воздуха с целью учета фактора ассимиляционного потенциала. Используя программу Arc GIS, авторы построили геомодели распространения концентраций диоксида азота, оксида углерода и сернистого ангидрида. Превышение ПДК наблюдалось по диоксиду азота в 12 точках отбора, по оксиду углерода и диоксиду серы превышений предельно допустимых концентраций не выявлено. Используя различные методологии геомоделирования, авторы сформировали систему геоинформационных моделей и карт воздушного бассейна республики. Результаты исследования показали эффективность сопряженного использования геоинформационных технологий и геостатистических методов, позволивших сконструировать геоэкологическую ординацию атмосферного воздуха с разным типом компонентов и усовершенствовать систему мониторинга воздушного бассейна КЧР.

Ключевые слова: атмосферный воздух, моделирование, геоинформационные системы, предельно допустимый выброс, предельно допустимая концентрация, качество атмосферного воздуха, нормирование

**MODEL OPERATION OF POLLUTION OF FREE AIR IN THE TERRITORY
OF KARACHAY-CHERKESSIA****Dega N.S., Onischenko V.V., Baychorova E.M., Uzdenov U.B.***Karachay-Cherkess State University of name U.D. Aliev, Karachaeusk, e-mail: kcsu@mail.ru*

Model operation of monitoring of pollution of free air of the republic is the important tool for expeditious providing with urgent and expected information the bodies dealing with issues of environmental management and environmental protection and also for ensuring sustainable development of the region and development of regional ecological programs. For protection of free air of the republic expediently: drawing up Summary volumes of the marginal emissions (ME) separately on each municipal district of the republic and the subject in general, establishment of new ME for the enterprises on the basis of the developed Summary volumes of ME and application at establishment of ME of ecological standards of quality of free air for the purpose of the accounting of a factor of assimilatory potential. Using the Arc GIS program we constructed geomodels of distribution of concentration of dioxide of nitrogen, white damp and sulfur dioxide. Excess of threshold limit values was observed on nitrogen dioxide in 12 tapping points, on white damp and dioxide of sulfur of excesses is not revealed. Using various methodologies of geomodel operation we created system of geoinformational models and maps of the air basin of the republic. Results of a research showed the effectiveness of the conjugate use of geoinformational technologies and geostatistical methods which allowed to design a geocological ordination of free air with different type of components and to improve system of monitoring of the air basin of Karachay-Cherkessia.

Keywords: free air, model operation, geographical information systems, marginal emission, threshold limit value, quality of free air, rationing

Проблема загрязнения воздушного пространства – одна из трудноразрешимых и актуальных проблем современности. Гео-моделирование мониторинга загрязнения атмосферного воздуха является важным инструментом для разработки региональных экологических программ. Моделирование распространения загрязняющих веществ и смесей в атмосферном воздухе населенных пунктов и городов требует комплексного учета многих факторов, влияющих на качество атмосферы. Каждый из этих факторов имеет свои специфические особенности, что приводит к необходимости

использования для их учета разных картографических моделей и баз геоданных. Для решения этой сложной задачи целесообразно использовать методы математического моделирования и геоинформационных технологий.

Для оценки современного экологического состояния окружающей среды и анализа пространственной ситуации Карачаево-Черкесской Республики проводились разноплановые исследования ученых с применением геоинформационных технологий. Разработана концепция и реализация методики создания карт для

пространственного анализа данных лесостроительства и определения влияния факторов рельефа на растительность Тебердинского заповедника [1]. Выполнен сопряженный анализ бассейновой системы и административного районирования КЧР с использованием геоинформационных систем [2]. Проведено моделирование климата и социально-экологической структуры функционирования территории КЧР, загрязненности поверхностных вод реки Кубани [3], построены модели ландшафтов Тебердинского заповедника и долинных ландшафтов КЧР [4]. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха на территории КЧР ранее не проводилось, в связи с этим подобная работа указывает на открывшиеся перспективы и позволяет наметить пути улучшения проводимых исследований для охраны окружающей природной среды и рационального природопользования на территории республики.

Один из возможных подходов к моделированию реализован в виде информационной системы обеспечения геоэкологического мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы Карачаево-Черкесской Республики промышленными выбросами. Система предназначена для расчета и анализа концентраций загрязняющих веществ в атмосфере с учетом параметров источников выбросов и метеорологической обстановки, обработки данных о качестве атмосферы с использованием мониторинговой информации с передвижных маршрутов контроля с возможностью краткосрочного прогноза загрязнения.

Целью создания геоинформационных моделей загрязнения атмосферного воздуха республики является оперативное обеспечение актуальной и прогнозной информацией о состоянии воздушного бассейна органов занимающихся вопросами природопользования и охраны окружающей среды, а также для обеспечения устойчивого развития региона.

Материалы и методы исследования

Анализ выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников проводился по материалам статистической отчетности по форме № 2 – 2-ТП (воздух) (данные Отдела государственной статистики в Карачаево-Черкесской Республике, исх. № 24-29-24/974-ДР от 14.04.2017 г., запрос «ЦЛАТИ по КЧР» № 30 от 04.04.2017 г.). Отчетность предоставляется хозяйствующими субъектами, имеющими стационарные ис-

точники загрязнения атмосферного воздуха. Количество загрязняющих веществ за отчетный период определяется на основании инструментальных замеров и расчетов от организованных и неорганизованных источников выбросов загрязняющих веществ. Эти материалы сформировали информационную базу геоданных геоинформационных систем (ГИС) атмосферного воздуха КЧР. Модели оценки качества воздушного бассейна создавались в среде Arc GIS.

Анализ структуры и распределения выбросов КЧР по наиболее значимым загрязняющим веществам выполнен нами по муниципальным районам республики. В каждом отдельно взятом районе существуют: суммарные величины предельно допустимого выброса (ПДВ) по загрязняющим веществам (от учтенных источников выбросов), которые условно принимаются нами за единицу ПДВ. В физической интерпретации это фактические величины (тонн в год) по выбросам загрязняющих веществ. Предельно допустимый выброс – норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха как максимальный выброс (данного источника), не приводящий к нарушению гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов. Несмотря на то, что установление ПДВ загрязняющих веществ в атмосфере предусматривает учет не только гигиенических, но и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, фактически соблюдаются только гигиенические критерии качества атмосферного воздуха населенных мест – предельно допустимых концентраций (ПДК) в атмосферном воздухе населенных мест [5]. Вместе с тем, как показывают результаты ряда исследований, разные уровни загрязнения атмосферного воздуха по-разному влияют на различные составляющие экосистемы (растительность и лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья разных видов, почва, вода, фауна и т.д.). При этом нередко для сохранения этих компонентов экосистемы необходимы более жесткие критерии качества атмосферного воздуха, чем для атмосферного воздуха населенных мест.

ПДВ устанавливают территориальные органы Федеральной службы по надзору в сфере природопользования для каждого источника загрязнения и загрязняющего вещества, а также хозяйствующего субъекта в целом. При установлении ПДВ учитывается ассимиляционный потенциал районов: физико-географические и климатические особенности местности; расположение промышленных площадок; расположение участков существующей жилой застройки, санаториев, зон отдыха города; перспективы развития предприятия, прилегающей селитебной территории и промышленной зоны; значения фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Моделирование загрязнения атмосферного воздуха г. Черкесска включало операции геодеширования и картографического метода. Концентрации диоксида азота, диоксида серы и оксида углерода были внесены в атрибутивную таблицу оцифрованного слоя «Точек отбора» и обработаны в модуле «Геостатистический анализ» программы Arc Map, методом взвешенных расстояний (IDW) [6]. Чтобы найти определенное значение в какой-либо точке за пределами створа, методом IDW предусмотрено использование опорных точек, находящихся в окрестностях искомой. Показатели опорных точек в большей степени взаимодействуют с интерполируемым значением, чем таковые, удалены на значительное расстояние. Таким образом, метод IDW предполагает, что каждая опорная точка оказывает локальное влияние, которое уменьшается с расстоянием [6].

На основании среднегодовых показателей загрязненности воздуха г. Черкесска, с помощью метода кригинга в модуле «Геостатистический анализ», построена модель аппроксимации распределения диоксида азота, диоксида серы и оксида углерода. Как и при выполнении интерполяции по методу взвешенных расстояний (IDW), при кригинге формируются веса для измеренных значений, находящихся в окрестностях искомой точки, которые используются при интерполировании ее значения. Однако веса кригинга для окружающих искомую точку опорных точек присваиваются более сложным и обоснованным способом, т.е. вычисляются на основе значений вариограммы, учитывающей пространственную структуру данных [6].

Результаты исследования и их обсуждение

На оцифрованную карту Карачаево-Черкесской Республики накладывались те-

матические слои данных об источниках выбросов и выбрасываемых ими веществах; сведения о постах контроля атмосферы; измеренных на них концентрациях загрязняющих веществ и метеопараметрах. Сопутствующая входная информация включает стандартные параметры расчета концентраций: условия рассеивания в сложном рельефе горных территорий, используемые в расчетах источники выбросов и загрязняющие вещества, границы и интервалы сетки расчетной области, параметры изолиний [1, 7].

Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников по территории республики распределены неравномерно. Максимальное количество выбросов от 27 предприятий зарегистрировано в Усть-Джегутинском районе – 15532 т/год, на 48% меньше выбрасывается в Прикубанском районе и г. Черкесске, несмотря на увеличение стационарных источников до 85. В 17 раз меньше (857 т/год), по сравнению с Усть-Джегутинским районом, выбрасывается загрязняющих веществ в Карачаевском районе и г. Карачаевске, при одинаковом количестве стационарных источников. В Адыге-Хабльском и Хабезском районах близкое количество выбросов и составляет соответственно 682 и 673 т/год, при количестве стационарных источников – 23 и 13. Почти в 1,5 раза меньше, относительно территории Адыге-Хабльского района, выбрасывается загрязняющих веществ в Зеленчукском районе, при близком количестве источников – 21. Сравнительно незначительное количество выбросов зарегистрировано в Малокарачаевском (198 т/год) и Урупском (197 т/год) районах, что в 74 раза меньше чем на территории Усть-Джегутинского района. Источниками выбросов в этих районах являются 14 предприятий. Общее количество выбросов по территории республики от стационарных источников составляет более 25600 т/год, что весьма существенно в стесненных горных условиях.

На рис. 1 представлена картосхема распределения выбросов оксида железа. По территории республики они распространены следующим образом: максимальное количество выбросов оксида железа зарегистрировано в Усть-Джегутинском районе – 53,9 т/год, в Адыге-Хабльском – 0,3 т/год. В Зеленчукском и Урупском районах они составили 0,1 т/год, в остальных районах выбросы изменялись от 0,07 до 0,03 т/год. Превышение выбросов оксида железа относительно ПДВ наблюдается в Адыге-Хабльском районе и составляет

2,56 от его допустимого значения. В других районах республики превышений ПДВ не наблюдалось. Установленные ПДВ для Адыге-Хабльского района составили 0,114 т/год, а для Усть-Джегутинского 54,859 т/год, что в 481 раз больше.

Максимальное количество выбросов NO_2 зарегистрировано в Усть-Джегутинском районе – 7210 т/год, на второй позиции Адыге-Хабльский район – 91,4 т/год, в остальных районах выбросы от 21,0 до 3 т/год. Согласованные на местном уровне ПДВ

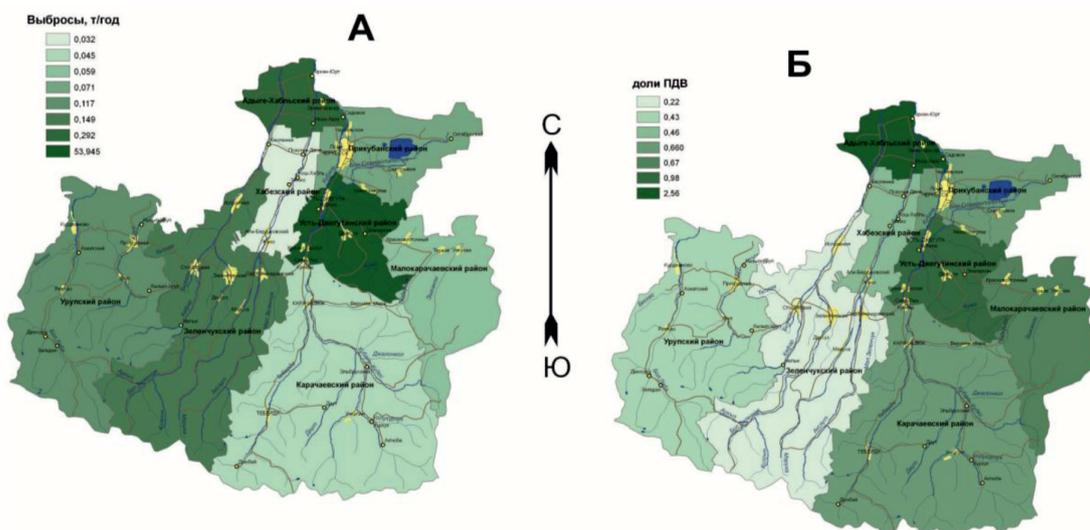


Рис. 1. Распределение выбросов оксида железа на территории КЧР

Анализ ассимиляционного потенциала показывает различные возможности этих двух районов: площадь Адыге-Хабльского района меньше Усть-Джегутинского на 11,8%, лесистость последнего выше, по климатическим параметрам Адыге-Хабльский район мягче и теплее Усть-Джегутинского, и, наконец на территории Адыге-Хабльского района, количество загрязняющих веществ от стационарных источников существенно (на 95%) выбрасывается меньше. Комплексный индекс загрязнения атмосферы в Усть-Джегутинском районе повышенный и составил 6,2, что в 1,5 раза больше, чем в Адыге-Хабльском районе, где уровень загрязнения в пределах нормы (низкий).

Ситуация с выбросами диоксида азота в КЧР аналогична выбросам оксида железа. Диоксид азота – сегодня один из наиболее распространенных загрязнителей атмосферы, который играет немалую роль в образовании кислотных осадков и смога [8]. Это соединение обладает специфическим запахом, который в определенных концентрациях становится удушливым. Подавляющая часть (более 90%) выбросов оксидов азота попадают в атмосферный воздух при сжигании различного топлива.

для диоксида азота в Усть-Джегутинском районе – 7842,527 т/год, в 132 раза больше, чем в Адыге-Хабльском. Тем не менее превышение ПДВ отмечается в Адыге-Хабльском районе и составляет 1,5 ПДВ. В других районах выбросы NO_2 в пределах нормы.

Крайне неоднозначно соотношение реальных выбросов взвешенных веществ к согласованным суммарным значениям ПДВ и ассимиляционным возможностям районов республики. В Усть-Джегутинском районе количество выбросов взвешенных веществ составляет 266 т/год, в Карачаевском районе в 33 раза, а в Урупском в 109 раз меньше, остальные районы республики выбрасывают в воздушную среду не более 1 т/год. Значительное превышение ПДВ взвешенных веществ отмечено в Карачаевском районе, 178,1 ПДВ, превышение в Прикубанском районе составило всего лишь 1,05 ПДВ. При сравнительно одинаковых ассимиляционных возможностях природы Прикубанского и Усть-Джегутинского районов по общим выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух лидирует второй район. Согласованное суммарное значение ПДВ для Усть-Джегутинского района составило 278,8 т/год, это в 1415 раз больше, чем в Прикубанском, и в 6195

раз, чем в Карачаевском районах. По показателям ассимиляционного потенциала Карачаевский район располагает весьма существенными преимуществами среди районов республики: самая большая площадь, около 176 тыс. га (до 65%) территории покрыто лесом, сравнительно выгодные метеоусловия. Общие выбросы в атмосферу Карачаевского района в 18 раз меньше, чем Усть-Джегутинского.

Для оценки качества воздушного бассейна республиканского центра г. Черкесска проводится мониторинг по маршрутным постам наблюдений. На контрольных точках в соответствии с ГОСТом 17.2.3.01-86 отбирались пробы воздуха для определения диоксида азота (NO_2), оксида углерода (CO) и сернистого ангидрида (SO_2). Отбор проб проводился из 13 точек, расположенных в промышленных, селитебных и культурно-оздоровительных районах города. Фактические показатели веществ с 2010 по 2015 г. были скорректированы на величины среднесуточных ПДК (ПДКсс) загрязняющих

веществ и отражены в долях ПДК. Превышение ПДК наблюдалось по диоксиду азота в 12 точках отбора, по оксиду углерода и диоксиду серы превышений ПДК не выявлено.

Пакет геоданных ГИС атмосферного воздуха г. Черкесска, который использовался для моделирования, содержал следующую информацию: характеристики точек отбора с географической привязкой координат, результаты измерения концентрации загрязняющих веществ, нормативные показатели ПДКсс.

Процедура построения геоинформационных моделей распределения концентраций SO_2 , CO , NO_2 начинается с наложения слоя «Точек отбора» проб воздуха г. Черкесска, имеющих географические координаты на оцифрованную карту Карачаево-Черкесской Республики. Тематический слой «Точек отбора» содержит атрибутивную базу данных с необходимой информацией по качеству атмосферного воздуха г. Черкесска.

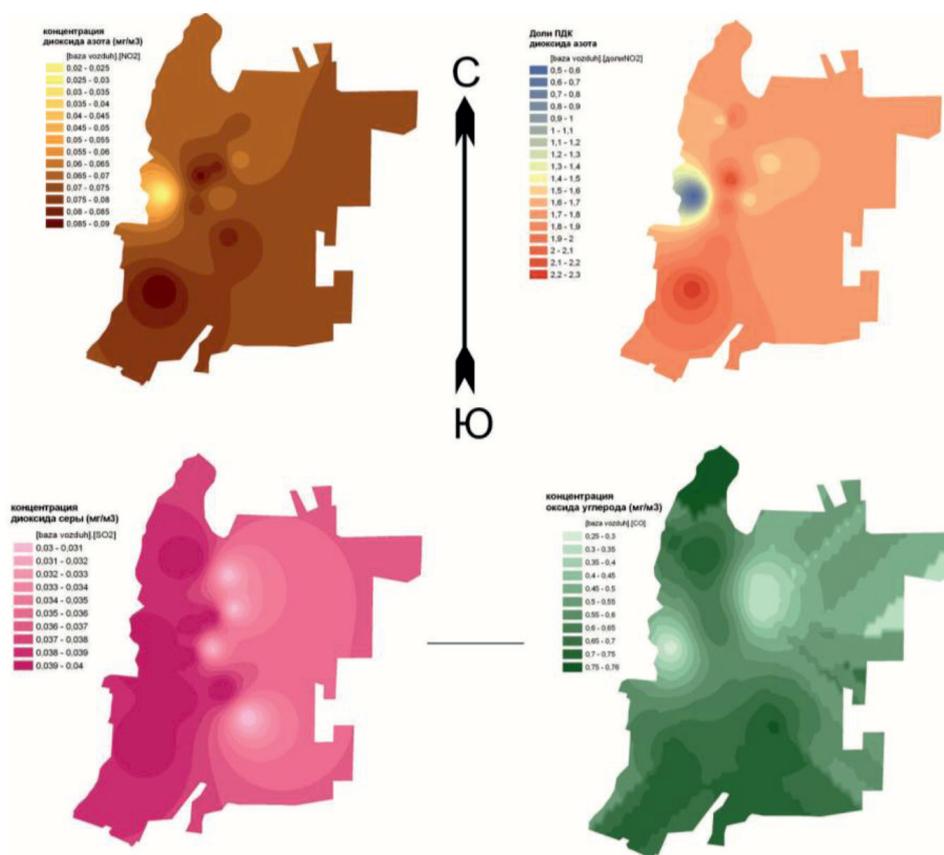


Рис. 2. Геоинформационные модели распределения концентраций загрязняющих веществ атмосферного воздуха г. Черкесска

В результате проведенной интерполяции получено множество геоинформационных моделей по концентрациям загрязняющих веществ (рис. 2). Цветовые гаммы (тона), по показателям степени концентрации химических элементов воздушного бассейна г. Черкесска, на геоинформационных моделях, характеризуют пространственное их распределение и позволяют классифицировать уровни загрязненности атмосферного воздуха в различных районах г. Черкесска.

Из рис. 2 следует, что минимальная концентрация диоксида азота зарегистрирована в районе парка культуры и отдыха «Зеленый остров» и не превышает ПДК. Максимальные значения, 1,8–2,3 ПДК зарегистрированы в юго-западном районе города – район троллейбусного управления и на пересечении улиц У. Алиева и Ленина. В северной части г. Черкесска концентрации NO_2 изменяются от 0,06 до 0,07 мг/м^3 и составляют 1,5–1,7 ПДК. Восточная часть города характеризуется концентрациями диоксида азота в размере 0,07–0,08 мг/м^3 .

Превышений концентраций диоксида серы нормированных среднесуточными ПДК на территории города не выявлено. Концентрации от 0,037 до 0,04 наблюдались в западной и юго-западной частях города, минимальные концентрации 0,03–0,032 зарегистрированы в центре города – район Центрального рынка и собора Николая Чудотворца. В восточной и северо-восточной частях г. Черкесска концентрации SO_2 изменяются от 0,034 до 0,035 мг/м^3 .

Превышений ПДК оксида углерода на территории г. Черкесска не выявлено. Минимальные значения (0,25–0,35 мг/м^3) зарегистрированы в районе парка культуры и отдыха «Зеленый остров» и Центрального рынка, максимальные значения (0,7–0,75 мг/м^3) отмечены в районах завода низковольтной аппаратуры, мэрии, храма Покрова Пресвятой Богородицы и СОШ № 10. В северо-восточной части города концентрации СО составляют 0,4–0,5 мг/м^3 , в восточной изменяются от 0,5 до 0,6 мг/м^3 и в южной части – 0,65 мг/м^3 .

Заклучение

Согласованное суммарное значение ПДВ для Усть-Джегутинского района имеет высокие показатели, что объясняется рядом причин. На территории района расположены крупные промышленные предприятия строительной индустрии, выбрасывающие значительное количество загрязняющих

веществ и установление больших значений ПДВ (при условии соблюдения нормативов качества атмосферного воздуха) здесь вполне оправдано, однако не учтено взаимовлияние этих объектов на основе их допустимых вкладов в общее загрязнение воздушного бассейна района, которое должно осуществляться на основе проведения сводных расчетов загрязнения выбросами промышленных предприятий. Также установление ПДВ проведено без учета экологических нормативов, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологическую систему, необходимость применения которых законодательно закреплена, но фактически, как сказано выше, не осуществляется. Всё это свидетельствует в конечном счете о полном пренебрежении к главному фактору резистентности окружающей среды – ассимиляционному потенциалу.

В целях охраны атмосферного воздуха республики целесообразно:

- проведение сводных расчетов загрязнения выбросами промышленных предприятий – составление Сводных томов ПДВ отдельно по каждому муниципальному району республики и субъекту в целом;
- установление новых ПДВ для предприятий на основе разработанных Сводных томов ПДВ, с учетом вкладов предприятий в общий уровень загрязнения;
- применение при установлении ПДВ экологических нормативов качества атмосферного воздуха с целью учета фактора ассимиляционного потенциала.

Использование различных модификаций методологии геомоделирования позволило сформировать систему ГИС моделей и карт воздушного бассейна Карачаево-Черкесской Республики. Результаты исследования показали эффективность сопряженного использования геоинформационных технологий и геостатистических методов, позволивших сконструировать геоэкологическую ординацию атмосферного воздуха с разным типом компонентов и усовершенствовать систему мониторинга воздушного бассейна КЧР. Геомоделирование позволило перейти от традиционного использования карт только как средства передачи информации, к применению геоинформационных моделей как инструментария комплексного анализа, реконструкции и прогнозирования развития отдельных явлений, территорий, геосистем.

Список литературы

1. Дега Н.С., Онищенко В.В. Опыт использования ГИС-технологий в исследовании экосистемного раз-

нообразия ООПТ Северного Кавказа // Актуальные вопросы экологии и природопользования: материалы междунар. науч.-практич. конф. – Ставрополь, 2005. – С. 329–334.

2. Кипкеева П.А. Геоморфологические особенности днища долины р. Теберда (Северный Кавказ) / П.А. Кипкеева, Ю.Я. Потапенко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 2(190). – С. 100–104.

3. Опыт геомоделирования гидрохимической структуры поверхностных вод р. Кубани в Карачаево-Черкесской Республике / Н.С. Дега [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – № 2(27). – С. 55–59.

4. Братков В.В. Моделирование сезонной динамики ландшафтов (на примере Северо-Восточного Кавказа) // Биогеография в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. – Москва-Ставрополь, 2011. – С. 144–148.

5. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Дополненное и переработанное. – СПб.: ОАО «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха», 2012. – 58 с.

6. Geostatistical Analyst Руководство пользователя. ESRI, М.: DATA+, 2001. [Электронный ресурс]. URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/introduction-to-the-arcgis-geostatistical-analyst-tutorial.htm> (дата обращения: 12.06.2017).

7. Динамика гидрохимической структуры реки Кубани в антропогенной зоне ледникового питания Карачаево-Черкесской республики. / Н.С. Дега [и др.] // Проблемы региональной экологии – 2015. – № 3. – С. 92–99.

8. Скибенко В.В. Регламентация загрязняющих веществ в биосфере / В.В. Скибенко, О.Е. Вихрова – М.: Интермэлектро, 2013. – 48 с.