

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.4.054: 504.3.054

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА БАСЕЙНЫ РЕК ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО РАЙОНА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУЗБАССА

© 2015 г. Е. Л. Счастливцев, А. А. Быков, Н. И. Юкина, С. Г. Пушкин

*Институт вычислительных технологий СО РАН,
ул. Рукавишниковая, 21, г. Кемерово, 650025 Россия. E-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru*

Поступила в редакцию 13.10.2014 г.

Проведена оценка суммарного загрязнения при распространении и выпадении атмосферных аэрозолей на территории водосборных бассейнов рек в угледобывающем районе. Дана оценка вклада выбросов отдельного разреза в суммарное выпадение от всей совокупности источников, влияющих на рассматриваемую территорию. Проведен анализ загрязнения различных типов вод на территории угледобывающего района, выявлены приоритетные загрязнители, и определен их вклад в качество речных вод.

Ключевые слова: *техногенная нагрузка, бассейны рек, вычислительные модели, выпадение загрязняющих веществ, оценка качества вод.*

ВВЕДЕНИЕ

Сосредоточение большого количества угледобывающих предприятий (УДП) на малой территории оказывает негативное влияние на окружающую среду в виде нарушения земной поверхности, загрязнения подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха; заболачивания и деградации почв, истощения растительности, ухудшения здоровья населения. Все объекты природной среды имеют пределы техногенного воздействия со стороны УДП, превышение которых приводит к нарушению равновесия экологической системы территории, что влечет за собой значительные социально-экономические потери.

Очевидно, что для решения задачи развития такой территории в рамках сбалансированного взаимодействия природы и промышленного производства требуются оценка техногенной нагрузки на природные объекты и своевременное принятие правильных природоохранных решений. При этом интегратором загрязнения территории являются расположенные на ней водные объекты. Качество воды в них зависит как от сосредоточенного сброса, так и от распределенного сброса с водного бассейна. Следует отметить, что сброс с водного бассейна в угледобывающих районах формируется преимущественно выпадением загрязняющих веществ (ЗВ), содержащихся в атмосферных выбросах промышленных и бытовых

источников, в зону влияния которых полностью или частично он попадает.

В качестве горнодобывающего района, рассмотрена территория Бунгуро-Чумышского месторождения. Оценку техногенной нагрузки на бассейны рек проводили с применением модельных расчетов осаждения ЗВ из атмосферы на подстилающую поверхность и расчета качества водных объектов по нормализованным (НП) и ассоциативным показателям (АП).

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ВЫПАДЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

Оценка распространения и выпадения загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность проведена на основе локальной долгосрочной модели расчета выпадения пылевых частиц из атмосферы на подстилающую поверхность, построение которой, опыт практического применения и подготовка входных данных рассмотрены в [1–3]. В состав возможностей модели входит расчет распределения и суммарного количества ЗВ, выпадающих на заданные полигоны, в частности – на территории водосборных бассейнов рек. Тем самым дается расчетная оценка потенциального количества ЗВ, часть из которых может смываться тальми и дождевыми водами непосредственно в водотоки, а другая –

накапливаться в почве, растительности и других наземных экосистемах.

Ниже представлены результаты расчетов для территории Бунгуро-Чумышского угольного месторождения, расположенного в южной части Кузбасса. Для расчета выпадения пыли использованы все основные группы антропогенных источников загрязнения атмосферы, окружающие район исследования. К ним относятся разрезы компаний Сибэнергоуголь, Сибирский цемент, Стройсервис и разрез Степановский. Перечень загрязняющих веществ и их выбросы взяты из данных инвентаризации (Сибэнергоуголь, Степановский) или рассчитаны по удельным выбросам, исходя из производительности и условий производства. Эти источники характеризуют выбросы действующего на сегодняшний день угледобывающего производства.

В состав инвентаризации источников предприятий входят только те дороги и движущийся по ним транспорт, которые находятся в пределах промплощадки. Однако транспортировка угля к железнодорожным складам продолжает оставаться источником выделения газообразных ЗВ и пыли. Поэтому для полного учета выбросов в состав источников добавлены дороги общего пользования, по которым осуществляется перевозка угля. Кроме того, любая дорога, тем более без асфальтового покрытия, – источник выделения пыли, поэтому учет дорог общего пользования для оценки выпадения ЗВ представляется необходимым. В итоге дороги заданы в виде 39 прямолинейных участков различной длины с суммарным выбросом пыли около 35 т/год, из которых 27 приходится на дороги, по которым осуществляется перевозка угля.

На исследуемой территории расположены старые отвалы и территории бывших горных работ различных предприятий, в том числе и ныне не существующих. Они занимают площадь в десятки квадратных километров и имеют значительные поверхности, не покрытые растительностью. В ходе объезда и осмотра территории установлено, что эти поверхности не являются источниками газообразных ЗВ, но подвержены выветриванию как в зимний, так и в летний периоды. Они представлены в расчете неорганизованными площадными источниками с суммарным выбросом около 50 т/год ($3 \text{ г} \cdot \text{год}^{-1} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$), который равномерно распределен по источникам в зависимости от их площади. Влияние данной группы источников (только пылевые частицы) весьма незначительное и дает заметный вклад только на территории

самого источника или в непосредственной близости от него.

Достаточно существенный источник выброса пылевых частиц (угольной золы), особенно в зимний период, – печные трубы индивидуальной застройки населенных пунктов. Каждую трубу в отдельности задавать нецелесообразно, поэтому принято задавать сельские населенные пункты площадными источниками с выбросом, пропорциональным количеству дворов. Выброс угольной золы и газообразных ЗВ рассчитывается как для котельной с ручной загрузкой на неподвижные колосники из условия сжигания порядка 5 т угля за зиму.

Необходимые для расчета роза ветров и повторяемость скоростей ветра, построенные за зимний период 2012–2013 гг., взяты по данным наблюдений с ближайшей метеостанции (Аэропорт Спиченково) на основе архивов сайта www.rp5.ru.

На рис. 1 представлена карта-схема территории, на которой номера бассейнов соответствуют тем, которые в дальнейшем используются в табл. 1, 2.

В табл. 1 приведено суммарное годовое выпадение ЗВ на бассейны рек от всех ранее рассмотренных групп источников выбросов в атмосферу (в числителе). Величины выпадения получены путем вычисления интеграла по площади каждого отдельно взятого бассейна, исходя из числовых значений осадения в каждой расчетной точке (всего около 17 тыс. точек), схематичное отображение которых представлено на рис. 1.

Так как бассейны рек имеют существенно разную площадь (см. табл. 1), поэтому большое суммарное осадение может означать как интенсивное выпадение на малый бассейн, так и незначительное выпадение на бассейн с большой площадью водосбора. Таким образом, более характерный показатель атмосферной экологической нагрузки на бассейн – удельное выпадение на квадратный метр площади самого бассейна (табл. 2).

В нашей стране не существует официальных, законодательно установленных (как ПДК в атмосфере) нормативов допустимого осадения ЗВ на подстилающую поверхность и находящиеся на ней экосистемы. Однако в рекомендациях [4], предназначенных для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, можно найти критические уровни выпадения основных закисляющих ЗВ для лесных

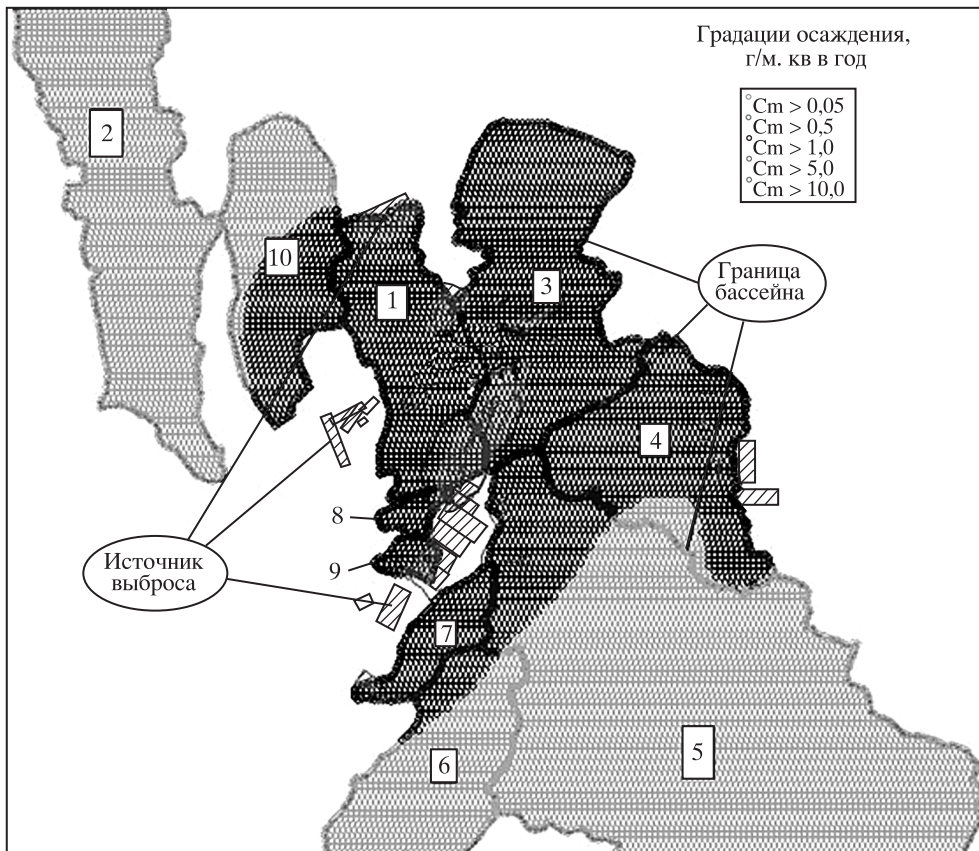


Рис. 1. Схема расположения бассейнов рек и расчетная пылевая нагрузка (г/м² в год) от всех источников выброса.

Таблица 1. Расчетная оценка суммарного годового выпадения (кг/год) на территории бассейнов рек ЗВ, выбрасываемых всеми учтенными источниками (в числителе) и УДП территории Бунгуро-Чумышского месторождения (в знаменателе)

| Номер на карте | Название реки | Площадь бассейна, км ² | Суммарное годовое осаждение, кг | | |
|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|---------------|
| | | | Нитраты | Сульфаты | Пыль |
| 1 | Кандалеп | 48.5 | <u>3180</u> | <u>479</u> | <u>350000</u> |
| | | | 1180 | 57 | 153000 |
| 2 | Таловая | 125 | <u>670</u> | <u>63</u> | <u>17000</u> |
| | | | 27 | 3 | 1700 |
| 3 | Бунгур | 85 | <u>4569</u> | <u>953</u> | <u>260000</u> |
| | | | 2187 | 114 | 154000 |
| 4 | Учул | 61.5 | <u>1634</u> | <u>303</u> | <u>82000</u> |
| | | | 308 | 8 | 11090 |
| 5 | Кинерка | 304.5 | <u>3629</u> | <u>806</u> | <u>102000</u> |
| | | | 1142 | 18 | 36160 |
| 6 | Ачигус | 52 | <u>718</u> | <u>206</u> | <u>22000</u> |
| | | | 318 | 5 | 8530 |
| 7 | Углеп | 14.8 | <u>419</u> | <u>156</u> | <u>20100</u> |
| | | | 164 | 9 | 5510 |
| 8 | Безым. ручей | 3.74 | <u>264</u> | <u>47</u> | <u>15900</u> |
| | | | 176 | 11 | 12000 |
| 9 | Кишта | 3.71 | <u>211</u> | <u>65</u> | <u>19000</u> |
| | | | 98 | 5 | 3860 |
| 10 | Березовка | 53.1 | <u>1076</u> | <u>122</u> | <u>30340</u> |
| | | | 46 | 4 | 1450 |
| В сумме | | 752 | <u>16325</u> | <u>3199</u> | <u>918340</u> |
| | | | 5646 | 234 | 387300 |

Таблица 2. Расчетная оценка удельного годового выпадения ($\text{г}/\text{м}^2$ в год) загрязняющих веществ, выбрасываемых всеми учтенными источниками

| Номер на карте | Название реки | Площадь бассейна, км^2 | Удельное годовое осаждение, $\text{г}/\text{м}^2$ | | |
|----------------|---------------|---------------------------------|---|----------|------|
| | | | нитраты | сульфаты | пыль |
| 1 | Кандалеп | 48.5 | 0.066 | 0.0099 | 7.22 |
| 2 | Таловая | 125 | 0.006 | 0.0005 | 0.14 |
| 3 | Бунгур | 85 | 0.054 | 0.0112 | 3.06 |
| 4 | Учул | 61.5 | 0.027 | 0.0049 | 1.33 |
| 5 | Кинерка | 304.5 | 0.012 | 0.0026 | 0.33 |
| 6 | Ачигус | 52 | 0.014 | 0.0040 | 0.43 |
| 7 | Углеп | 14.8 | 0.028 | 0.0105 | 1.36 |
| 8 | Безым. ручей | 3.74 | 0.071 | 0.0126 | 4.25 |
| 9 | Кишта | 3.71 | 0.057 | 0.0175 | 5.12 |
| 10 | Березовка | 53.1 | 0.021 | 0.0023 | 0.57 |
| В среднем | | 752 | 0.022 | 0.0043 | 1.23 |

и водных экосистем северных и центральных районов России. Они составляют 0.32 и $0.28 \text{ г}/\text{м}^2$ в год для соединений серы и азота соответственно. И хотя в непосредственной близости к промышленным зонам разрезов расчетные величины осаждения нитратов приближаются к указанным критериям (рис. 2), но в среднем территории бассейнов рек рассматриваемого горнодобывающего района еще далеки от стадии загрязнения, когда их можно рассматривать как зоны чрезвычайной экологической ситуации.

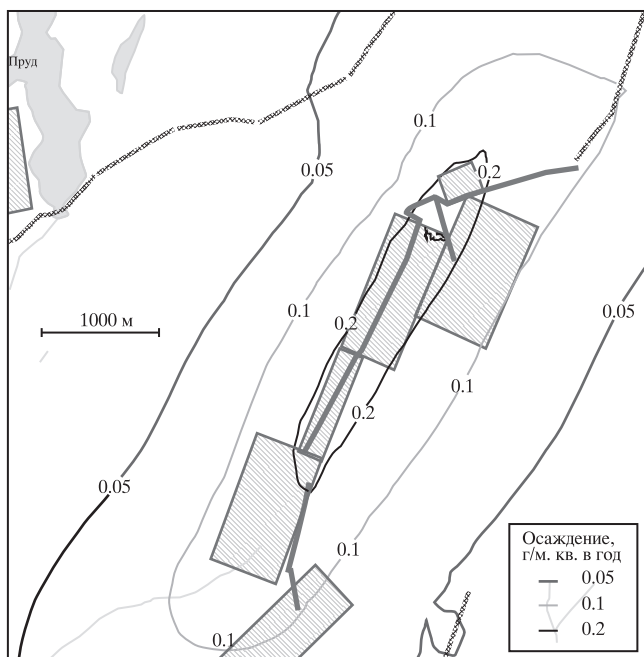


Рис. 2. Расчетная оценка годового выпадения на почву соединений азота вокруг зоны ведения горных работ на территории Бунгуро-Чумышского месторождения.

На рис. 2 показано, что только в непосредственной близости к зоне ведения горных работ имеется область, в которой годовое выпадение соединений азота превышает $0.1 \text{ г}/\text{м}^2$ в год, а непосредственно на самой территории $0.2 \text{ г}/\text{м}^2$ в год.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПО НОРМАЛИЗОВАННЫМ И АССОЦИАТИВНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

На техногенную нагрузку бассейнов водных объектов оказывают влияние сбросы сточных вод угольно-добывающих предприятий (УДП), а также сток вод с территорий УДП в реки вместе с осадками. В работе проведена оценка техногенного влияния разных типов вод (карьерных, старых горных выработок, талых) на качество речных вод. Вклад загрязняющих веществ от разных типов вод определяли по приоритетным ингредиентам, рассчитанным по нормализованным (НП) и ассоциативным показателям (АП), методика расчета которых описана в [5–8] (далее методика АП).

Оценку качества вод на территории Бунгуро-Чумышского месторождения проводили по экспедиционным данным проб отбора за 2011–2013 гг. в разные сезоны (рис. 3).

Результаты расчетов по методике АП для карьерных, старых горных выработок, талых и речных вод представлены в табл.3.

Показатели НП и АП речных вод (реки: Углеп, Кинерка, Учул, Бунгур, Чумыш, Кандалеп и Безымянных ручьев) определяли по 40 пробам. Речные воды характеризуются 26 ингредиентами:

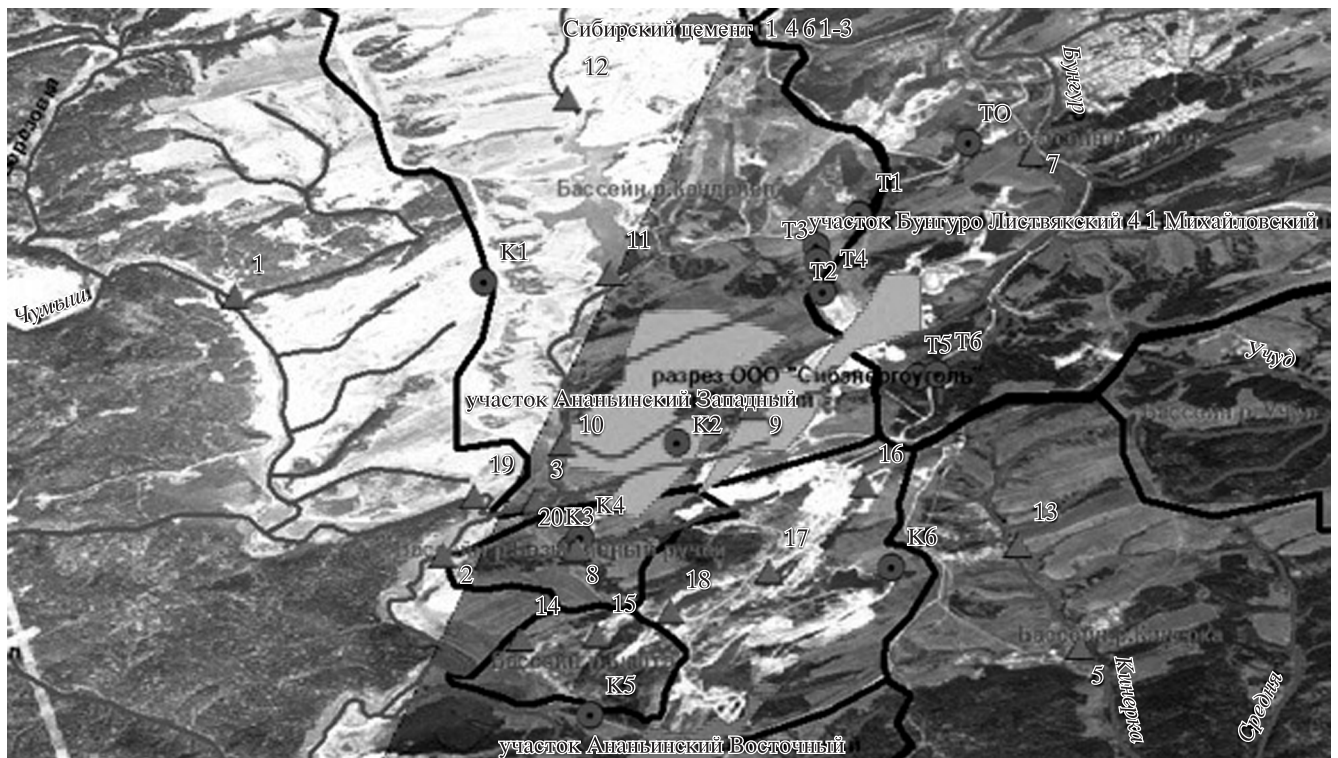


Рис. 3. Границы бассейнов малых рек и горных отводов действующих разрезов на территории освоения Бунгуро-Чумышского месторождения, выделенные с использованием ГИС технологий и спутниковой информации.

Таблица 3. Нормализованные показатели разных типов вод за 2011–2013 гг.

| № п/п | Ингредиенты | Речные | Карьерные | Старые горные выработки | Талые |
|-------|---------------------|--------|-----------|-------------------------|-------|
| 1 | Кадмий | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.06 |
| 2 | Калий | 0.03 | 0.06 | 0.02 | 0.02 |
| 3 | Свинец | 0.04 | 0.11 | 0.01 | 0.88 |
| 4 | Мышьяк | 0.07 | 0.13 | 0.10 | 0.54 |
| 5 | Кобальт | 0.07 | 1.14 | 0.10 | 0.02 |
| 6 | Никель | 0.20 | 2.34 | 0.38 | 0.17 |
| 7 | Кремний | 0.27 | 0.62 | 0.25 | 0.04 |
| 8 | Кальций | 0.46 | 0.60 | 0.46 | 0.01 |
| 9 | Сухой остаток | 0.47 | 0.91 | — | — |
| 10 | Магний | 0.72 | 1.20 | 0.84 | 0.01 |
| 11 | Нефтепродукты | 0.76 | 0.83 | 0.55 | 9.34 |
| 12 | Азот аммония | 0.85 | 10.36 | 1.44 | 0.91 |
| 13 | Сульфаты | 0.96 | 0.96 | 1.25 | 0.04 |
| 14 | Гидрокарбонаты | 1.14 | 1.67 | 0.79 | 0.23 |
| 15 | Цинк | 1.26 | 2.81 | 1.31 | 13.20 |
| 16 | pH | 1.28 | 1.20 | 1.26 | — |
| 17 | Азот нитратный | 1.31 | 2.92 | 0.06 | 1.73 |
| 18 | БПК пол | 1.40 | 6.24 | 5.96 | — |
| 19 | ХПК | 1.60 | 1.20 | 1.69 | 4.67 |
| 20 | Фенолы | 3.02 | 3.58 | 3.85 | 1.28 |
| 21 | Железо общ. | 3.17 | 0.75 | 0.97 | 3.82 |
| 22 | Медь | 3.46 | 11.80 | 16.05 | 7.13 |
| 23 | Азот нитритный | 3.95 | 22.91 | 0.37 | 2.68 |
| 24 | Взвешенные вещества | 7.94 | 8.14 | 3.76 | 71.72 |
| 25 | Алюминий | 9.93 | 1.84 | 2.73 | 3.51 |
| 26 | Марганец | 10.41 | 18.74 | 0.99 | 2.28 |

– *благоприятными* (НП < 1.5) – кадмий, калий, свинец, мышьяк, кобальт, никель, кальций, кремний, сухой остаток, магний, нефтепродукты, азот аммония, сульфаты;

– *приоритетными* (НП > 2.5) – фенолы, железо, медь, азот нитритный, взвешенные вещества, марганец, алюминий; *чрезмерными* (НП > 1.5), в состав которых входит наряду с приоритетными дополнительно ХПК.

Класс качества речных вод, на основе АП = 6.0 “грязная”. Приоритетные ингредиенты *карьерных вод*: азоты аммонийный, нитратный, нитритный, БПК; взвешенные вещества, медь, марганец, фенолы, цинк (АП = 9.7); *вод старых горных выработок*: алюминий, взвешенные вещества, фенолы, БПК; медь (АП = 6.5); *талых вод*: азот нитритный, алюминий, железо общ., ХПК, медь, нефтепродукты, цинк и взвешенные вещества (АП = 14.5).

Из данных табл. 3 следует, что в формирование приоритетных ингредиентов речных вод значительный вклад вносят следующие типы вод: большое содержание фенолов и меди (НП 3.02 и 3.46) вызвано сбросами карьерных вод и стоков вод старых горных выработок; содержание ингредиентов ХПК, железа, взвешенных веществ и алюминия – объясняется смывом осадков с территорий УДП, в частности с талыми водами (вклад в концентрацию алюминия дает дополнительный неучтенный источник загрязнения); по азоту нитритному и марганцу основной источник загрязнения – сброс карьерных вод.

В талых водах содержится большое количество нефтепродуктов (НП = 9.34) и цинка (НП = 13.2), однако на качество речных вод эти ингредиенты не влияют или влияют незначительно. Аналогичное влияние оказывает концентрация БПК в карьерных (НП = 6.24) и водах старых горных выработках (НП = 5.96).

ВЫВОДЫ

С использованием разработанной авторами модели долговременного осаждения загрязняющих веществ на подстилающую поверхность проведены расчеты суммарного количества нитратов, сульфатов и пылевых частиц, выпадающих из атмосферы на территории водосборных бассейнов рек. Тем самым показана возможность получения данных о распределении и интегральном количестве атмосферных примесей антропогенного происхождения, которые могут поступать в водные объекты территории в результате фильтра-

ции и смыва талыми и дождевыми водами. Эти данные могут быть частью входной информации для соответствующих моделей поверхностного смыва ЗВ в водные объекты. Показано, что расчетный вклад в суммарное загрязнение бассейнов от горнодобывающих предприятий территории Бунгуро-Чумышского месторождения составляет от 10 до 60%, а оставшаяся часть выпадающих на поверхность ЗВ содержится в выбросах объектов жизнеобеспечения ближайших населенных пунктов, автомобильных дорог и нарушенных земель, ранее обработанных горной промышленностью.

Для оценки вклада основных источников загрязнения поверхностных вод проведен анализ состава разных типов вод на территории Бунгуро-Чумышского месторождения. При этом установлены приоритетные ингредиенты речных вод: азот нитритный, алюминий, взвешенные вещества, железо, марганец, медь и фенолы, снижение которых является первоочередной задачей при разработке природоохранных мероприятий.

Выявлен вклад разных типов источников сброса (карьеры, старые горные выработки, осадки и смыв) в загрязнение речных вод. Показано, что источники, обеспечивающие высокое содержание фенолов, меди и марганца в речных водах – карьерные сбросы и стоки вод старых горных выработок, а содержание ХПК, железа, взвешенных веществ и алюминия в основном обусловливается смывом с поверхности бассейна осадками и талыми водами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков А.А., Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Климович М.Ю. Разработка и апробация локальной модели выпадения загрязняющих веществ промышленного происхождения из атмосферы на подстилающую поверхность // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 563–573.
2. Быков А.А., Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г. Особенности построения и практического применения локальной модели загрязнений почвы техногенными выбросами пылевых частиц // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2007. № 4. С. 74–82.
3. Быков А.А., Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г. Влияние изменчивости метеорологических параметров и дисперсного состава атмосферных выбросов на модельные оценки осаждения промышленной пыли // Вестн. Кемеровск. гос. ун-та. 2012. Т. 2. № 4 (52). С. 10–16.
4. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.:

- Министерство природных ресурсов РФ, (НЦПИ), 1992.
5. *Потапов В.П., Мазикин В.П., Счастливцев Е.Л., Вашилаева Н.Ю.* Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. Новосибирск: Наука, 2005. 660 с.
 6. *Счастливцев Е.Л.* Техногенное воздействие угледобывающих предприятий на окружающую среду // Автореф дис... докт. техн. наук. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2006. 43 с.
 7. *Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И.* О некоторых возможностях совершенствования системы мониторинга техноприродных вод // VIII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Матер. Рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2009. С. 279–281.
 8. *Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И.* Проблемы современных оценок состояния поверхностных вод в угледобывающих районах и возможности совершенствования системы мониторинга техноприродных вод // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий: Матер. I Междунар. научно-практ. конф. (г. Нижневартовск, 25–26 марта 2009 г.). Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2009. С. 163–169.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON RIVER BASINS IN KUZBASS MINING AREAS

E. L. Schastlivtsev, A. A. Bykov, N. I. Yukina, S. G. Pushkin

*Institute of computational technologies, Siberian Division, Russian Academy of Sciences,
ul. Rukavishnikova 21, Kemerovo, 650025 Russia. E-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru*

The total pollution caused by spreading and fallout of atmospheric aerosols in the river catchment areas of coal mining region is estimated. The contribution of the emission produced by a single coal mine to the total fallout in the considered territory is assessed. Different types of water pollution in the coal-mining region are analyzed, the principal pollutants are identified and their contribution to the quality of river water is revealed.

Keywords: *anthropogenic impact, basins, computational models, deposition of pollutants, assessment of water quality.*