

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЙОНАХ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КУЗБАССЕ

В.П. Потапов¹, Е.Л. Счастливцев¹, А.А. Быков¹, Н.И. Юкина¹

¹ Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий
(Институт водных и экологических проблем СО РАН), Кемеровский филиал,
Кемерово, Россия, e-mail: leonakler@mail.ru

Аннотация: Кузбасс является одним из крупных промышленных регионов страны. Основными отраслями региона является угольная промышленность, а также металлургия, химическая промышленность, машиностроительная и энергетика. В связи с этим в регионе возникают большие экологические проблемы, в том числе и загрязнение водных объектов. Основными источниками загрязнения водных объектов являются: сельское хозяйство, промышленные предприятия и население. В сельском хозяйстве применяются химические удобрения и пестициды, которые в дальнейшем смываются вместе с осадками в водные объекты. В результате деятельности промышленных предприятий происходит сброс загрязненных химическими веществами сточных вод в водные объекты, а также выброс в атмосферу загрязняющих веществ, которые в дальнейшем оседают на подстилающую поверхность и с осадками смываются в водные объекты. Население также оказывает негативное воздействие на водные объекты: огромное количество загрязняющих веществ поступает через канализацию или напрямую (характерно для сельской местности) сбрасывается в водные объекты. Предложен подход к интегральной оценке антропогенной нагрузки на водные объекты от всех перечисленных источников. В качестве примера приведен расчет антропогенной нагрузки для бассейнов рек Тайдон, Верхняя, Средняя и Нижняя Терси, расположенных в районах Кемеровской области. Проведено сравнение расчетной нагрузки с ассоциативным показателем качества вод в перечисленных реках.

Ключевые слова: водные объекты, бассейны рек, ингредиенты, выпадение загрязняющих веществ, оценка качества вод, загрязнение, источники загрязнения, сбросы, поверхностные воды.

Для цитирования: Потапов В.П., Счастливцев Е.Л., Быков А.А., Юкина Н.И. Интегральная оценка геоэкологического состояния водных объектов в районах перспективной добычи угля в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 151–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-151-165.

Integrated geocological assessment of water bodies in large-scale coal mining areas in Kuzbass

V.P. Potapov¹, E.L. Schastlivtsev¹, A.A. Bykov¹, N.I. Yukina¹

¹ Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Kemerovo branch, Kemerovo, Russia, e-mail: leonakler@mail.ru

Abstract: Kuzbass is one of the biggest industrial regions in Russia. The key industries in the region are coal mining, metallurgy, chemical industry, machine building and power engineering. Consequently, the region is faced with environmental degradation, including water pollution. The major sources of water pollution are agriculture, industry and population. Fertilizers and pesticides used in agriculture are washed out to water bodies with atmospheric fallouts. Industrial plants discharge chemically contaminated waste water in water bodies, and also release air pollutants which then precipitate on underlying terrain and go to water bodies with rainfall. Population has great impact on water quality, too: lots and lots of impurities are discharged to water bodies via sanitary piping or directly as is common in rural areas. This article proposes a new approach to integrated assessment of anthropogenic load on water bodies from the above listed sources. A case study of the anthropogenic load assessment in the basins of the rivers Taidon, as well as Upper, Middle and Lower Ters in the Kemerovo region is presented. The calculated load is compared with the association indices of water quality in the listed rivers.

Key words: water bodies, river basin, ingredients, contaminant fallout, water quality assessment, pollution, pollution sources, effluents, surface water.

For citation: Potapov V.P., Schastlivtsev E.L., Bykov A.A., Yukina N.I. Integrated geoecological assessment of water bodies in large-scale coal mining areas in Kuzbass. *МІАВ. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):151-165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-151-165.

Введение

В соответствии с Федеральным законом [1] к видам негативного воздействия на водные ресурсы отнесены сбросы загрязняющих веществ (ЗВ), как в поверхностные водные объекты, так и на водосборные площади. Организованные сбросы ЗВ в водоемы подлежат государственному учету и осуществляются в пределах установленных нормативов допустимых сбросов, проекты которых утверждаются органами государственного управления в области охраны окружающей среды.

Следует подчеркнуть, что примеси попадают в водоем в результате их смыва талыми и дождевыми водами. Методика оценки поступления ЗВ и порядок установления допустимых сбросов ЗВ на водосборные бассейны не разработаны [2], в связи с чем оценка влияния антропогенной нагрузки на бассейн и ее связь с загрязнением поверхностных водоемов является актуальной задачей.

Нередко случается, что смыв с поверхности бассейна является главной причиной загрязнения водного объек-

та. Например, в Кемеровской области, бассейны ряд правобережных притоков р. Томь находятся в таежной территории, где нет промышленных предприятий и, следовательно, организованных сбросов в реки. Однако на противоположном берегу реки Томь расположена крупная индустриальная агломерация из нескольких городов с развитой угледобывающей промышленностью, энергетикой и металлургией. При преобладающих юго-западных ветрах бассейны рек находятся под постоянной антропогенной нагрузкой, связанной с выпадением на земную поверхность атмосферных выбросов.

Решение проблем, связанных с антропогенным воздействием на водные ресурсы актуально и для других стран [3, 4].

В некоторых странах, таких как Нигерия и Алжир, загрязнение воды приобретает более глобальный характер [3, 4]. В Нигерии вода настолько загрязнена, что 87% смертности связано с водой (холера, брюшной тиф, дизентерия и т.д.) [3]. А в Алжире значительно влияет на

качество воды такой фактор, как засуха [4].

В работе рассматривается метод оценки интегральной антропогенной нагрузки на водосборные бассейны, приводится практический пример ее расчета для четырех рек Кузбасса и проводится сравнительный анализ нагрузки с показателями качества воды в соответствующих реках.

Расчетная оценка интегральной антропогенной нагрузки на бассейн

Для проведения количественной оценки осаждения ЗВ из атмосферных выбросов на подстилающую поверхность разработана и доведена до практического использования долгосрочная модель локального масштаба [5–9]. Модель позволяет рассчитать среднегодовую приземную концентрацию q , мокрый поток на подстилающую поверхность (вымывание) P_m , сухой поток (осаждение) P_c и полный поток P , представляющий собой сумму двух названных составляющих $P = P_m + P_c$.

Расчет среднегодового мокрого потока загрязняющих веществ P_m , г/(м² год), выбрасываемых одиночным точечным источником на подстилающую поверхность в заданной точке осуществляется по формуле:

$$P_m = \frac{M}{2\pi\bar{u}rL_0} \cdot \left[aL_n t_{en} \sum_{i=1}^K m_i y_i \exp\left(-\frac{ay_i r}{\bar{u}}\right) + L_3 t_{e3} \sum_{i=1}^K m_i y_i \exp\left(-\frac{y_i r}{\bar{u}}\right) \right] \quad (1)$$

где M — масса твердых ЗВ, выбрасываемых источником в атмосферу в течение года, г/год; \bar{u} — среднегодовая средняя скорость ветра в слое распространения примесей, м/с; r — расстояние от источ-

ника, м; L_0 — повторяемость направления ветра данного румба для круговой розы ветров; a — эмпирическая поправка на отличие в интенсивности вымывания жидкими и твердыми осадками; L_n , L_3 — повторяемости направлений ветра данного румба для летней и зимней розы ветров соответственно; t_{en} , t_{e3} — относительные (в долях года) продолжительности выпадения жидких и твердых осадков; K — число рассматриваемых фракций частиц; m_i — доля общей массы выброса, приходящейся на i -ю фракцию частиц; y_i — постоянная вымывания i -й фракции, с⁻¹.

Среднегодовой сухой поток P_c , г/(м² год), оценивается в виде суммы:

$$P_c = \sum_{i=1}^K (V_{i3} t_{c3} + V_{in} t_{cn}) q_i \quad (2)$$

где V_{i3} — скорость осаждения i -й фракции частиц в зимний период, м/с; t_{c3} — продолжительность периода залегания снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков в этот период, с; V_{in} — скорость осаждения i -й фракции частиц на поверхность, лишенную снежного покрова, м/с; t_{cn} — продолжительность периода отсутствия снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков, с; q_i — среднегодовая приземная концентрация i -й фракции, г/м³.

Модель расчета осаждения программно реализована как дополнительная функция в программном комплексе «ЭРА-ВОЗДУХ». Это позволяет проводить практические расчеты с использованием нормативных баз данных (для расчетов по ОНД-86) как по отдельным промышленным объектам, так и по любым их совокупностям (город, регион).

В настоящее время, используя архивы данных с метеосервисов (например, www.gr5.ru или аналогичные), можно построить розу ветров и распределение скоростей ветра для конкретного периода (месяц, сезон, год). Необходимые

для этого программные модули ориентированы на формат данных gr5.ru.

В среднем для условий Кемеровской области [10, 11] один из 3-х дней считается «дождливым», т.е. с осадками, превышающими 1 мм. Средняя продолжительность осадков по времени (в течение дня с осадками) составляет 4 ч. Причем 60% осадков выпадает в виде дождя, а 40% в виде снега.

Таким образом, общая средняя многолетняя продолжительность осадков за год составляет примерно 500 ч, из которых 300 ч приходится на дождь и 200 ч — на снег.

Отсюда получаем, что в среднем для области:

$$t_{\text{вл}} = 0,06; t_{\text{вз}} = 0,035; t_{\text{сл}} = 170 \text{ дней}; \\ t_{\text{сз}} = 177 \text{ дней}$$

Примечание. Для подстановки в (2) $t_{\text{сл}}$, $t_{\text{сз}}$ должны быть переведены в секунды путем умножения на 24 и затем на 3600, что при машинном расчете производится автоматически.

Эти параметры получены на основе многолетних климатических данных и являются средними по Кемеровской области. Отклонения от средних многолетних показателей для конкретного года и района области могут быть запрошены в Росгидромете или (в ограниченном объеме)

найжены в Государственных докладах о состоянии окружающей природной среды Кемеровской области.

В настоящее время данные инвентаризации содержат сведения о типе источника, координатах его расположения на карте (схеме) местности, высоте выброса, геометрии выходного канала, объеме (или скорости выхода) ГВС и ее температуре. Выброс загрязняющих веществ характеризуется суммарным значением за год M_r [т/год] и разовым M_p [г/с], под которым понимается осредненный за 20 мин выброс при максимальной нагрузке производственного оборудования. Этой информации достаточно для расчета максимальной разовой концентрации $C_{\text{рм}}$.

Для расчета осаждения на подстилающую поверхность необходимо задать фракционный состав частиц в данных о выбросах оседающих ЗВ. Следует заметить, что зависимость конечного результата расчета от дисперсного состава весьма существенна [12].

В табл. 1 приведен усредненный процентный состав, полученный с использованием единой для всех ИЗА модели распределения городского аэрозоля по фракциям [13]. Параметры вымывания и осаждения взяты в соответствии с [5, 7].

Таблица 1

Средний дисперсный состав и параметры осаждения аэрозольных выбросов в атмосферу городов Сибири

Average composition of disperse components and precipitation parameters of mist-like emissions in the urban atmosphere in Siberia

Код фракции	Класс по размеру	Аэродинамический диаметр, мкм	Средний процентный состав, %	Постоянная вымывания, U_i	Скорость осаждения на снег, $V_{\text{ис}}$, м/с	Скорость осаждения на почву, $V_{\text{ип}}$, м/с	Параметр F по ОНД-86
8801	очень мелкие	<1	41	0,01	0,001	0,010	1,0
8802	мелкие	1 – 10	26	0,70	0,007	0,013	1,1
8803	средние	10 – 50	27	3,83	0,042	0,043	1,5
8804	крупные	50 – 100	4	4,48	0,151	0,155	3,0
8805	очень крупные	>100	2	5,00	0,420	0,430	4,5



Рис. 1. Схема расчета интегральной антропогенной нагрузки на бассейн водного объекта
 Fig. 1. Calculation patterns of anthropogenic load on water body basin

В результате обзора и обобщения имеющихся исследований [14–17] построена табл. 1, в которой приводится дисперсный состав пылевых выбросов для наиболее характерных источников угледобывающих предприятий.

При использовании программного комплекса «ЭРА-ВОЗДУХ» достаточно указать в исходных данных код классификации источника и его суммарный выброс пылевых частиц (зола, пыль угольная и т.д.) будет автоматически разбит по дисперсному составу. Параметры осаждения и вымывания для каждой фракции берутся в соответствии с табл. 1. При этом в случае необходимости используется линейная интерполяция.

Если код классификации источника не задан или равен 0, то разбиение суммарного выброса осуществляется в соответствии с табл. 1.

Если код задан любым отрицательным числом, то все ЗВ данного источника считаются монодисперсными, и параметры осаждения принимаются из табл. 1 в соответствии с заданным на источнике коэффициентом оседания F .

Мелкие пылевые частицы вызывают серьезные проблемы со здоровьем

во многих странах [18]. И для определения вероятности наступления порога загрязнения, в некоторых из них, применяют методы искусственного интеллекта [19].

К основным антропогенным источникам загрязнения поверхности бассейна относится поступление ЗВ с промышленных территорий (размещение отходов, сброс на рельеф), сельскохозяйственных земель (смыв удобрений и пестицидов) и участков обеспечения жизнедеятельности населения. Кроме того, существенным источником поступления ЗВ на территорию является выпадение на поверхность бассейна атмосферных выбросов от промышленных объектов, расположенных как внутри бассейна, так и вне его. Принципиальная схема учета источников техногенной нагрузки на бассейн показана на рис. 1. Суммирование вкладов каждого из источников загрязнения определяет интегральную антропогенную годовую нагрузку P_i (т) на бассейн водного объекта. В дальнейшем все показатели нагрузки будут браться в годовом интервале.

Поскольку бассейны могут иметь существенно разную площадь S , то более

наглядным показателем представляется удельная нагрузка на единицу площади бассейна P_i (т/км²), причем очевидно, что $P_i = SP_{is}$ (интегральная нагрузка на бассейн P_i). Естественно, что непосредственно в водоем с поверхности бассейна смывается не вся масса ЗВ, а только некоторая часть $W_a = aSP_{is}$, $a < 1$ и количественное определение этой доли (т.е. функции a) представляет весьма сложную геоэкологическую задачу. Очевидно, что a должна зависеть от интенсивности осадков, рельефных особенностей, свойств почвенного покрова, растительности и т.д. Однако для близких (смежных) водоемов, расположенных в идентичных природных условиях, можно с высокой долей вероятности предположить, что функция a меняется от бассейна к бассейну незначительно, и есть все

основания ожидать, что при проведении сравнительной оценки загрязнения водных объектов показатели загрязнения водоемов должны быть пропорциональны смыву W_a , который, в свою очередь, пропорционален интегральной нагрузке на бассейн P_i . Тем самым показатель P_i может служить индексом, определяющим загрязнение водного объекта.

Для практических расчетов показателей P_i , P_{is} , их сравнения с показателями загрязнения воды и проверки справедливости приведенных выше рассуждений рассмотрим бассейны рек юго-восточной части Кемеровской области. Это реки Тайдон, Нижняя Терсь, Средняя Терсь и Верхняя Терсь (рис. 2), являющиеся горными реками и достаточно крупными притоками реки Томь, основной водной артерии Кузбасса.

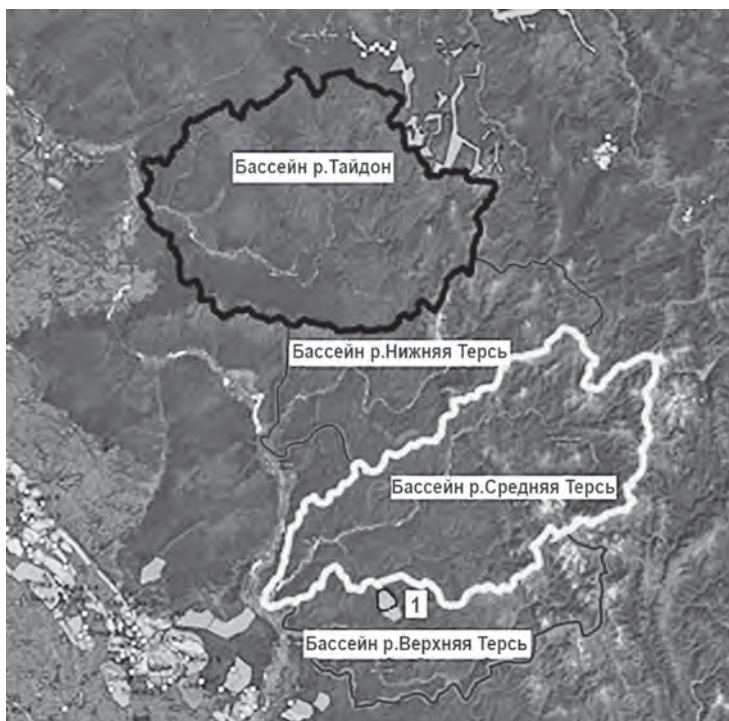


Рис. 2. Бассейны рек Тайдон, Нижняя, Средняя и Верхняя Терсь: 1 – лицензионный участок Макарьевский Северный Макарьевского угольного месторождения ООО «Новомакт» УК «Сибирская»
 Fig. 2. Basins of the rivers Taidon, and Lower, Middle and Upper Ters: 1 – Makarievsky North mining license, Makarievsky coal field, Novomakt, Coal Company Sibirskaya

Таблица 2

Оценка годового поступления на территории бассейнов твердых отходов от поселений
Annual solid waste from human settlements in river basins

Бассейн реки	Число поселений	Суммарное население, чел.	Отходы, т в год		
			из жилищ	из бытовых помещений	в сумме
Тайдон	0	0	0	0	0
Нижняя Терсь	0	0	0	0	0
Средняя Терсь	1	124	27	7	34
Верхняя Терсь	3	998	219	55	274

Характерными особенностями бассейнов этих рек является идентичность рельефных особенностей, покрытия земной поверхности и физико-климатических условий.

Вышеперечисленные водные объекты расположены на территориях с незначительной техногенной нагрузкой. Так, в бассейне р. Верхняя Терсь расположен лицензионный участок Макарьевский Северный Макарьевского угольного месторождения. Участок расположен в горно-таежной местности, лишенной инфраструктуры. В 2,6 км к югу от Макарьевского Северного находится горный отвод Терсинского месторождения минеральных подземных вод, а в 3–3,5 км — границы государственного заповедника «Кузнецкий Алатау».

В настоящее время на территории бассейнов отсутствуют индустриальные объекты с организованными сбросами в рассматриваемые реки.

Также отсутствуют сельскохозяйственные земли и, как следствие, поступление на территории бассейнов удобрений и пестицидов.

На основании данных территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области установлено количество поселений и плотность населения на территории рассматриваемых бассейнов рек. На территории бассейна реки Тайдон нет населенных пунктов. Имеется практиче-

ски заброшенная деревня «Медвежка», в которой расположен один из кордонов заповедника «Кузнецкий Алатау» и база отдыха «Заимка». В соответствии с [20] на территории бассейна Средняя Терсь расположен пос. Мутный с численностью 124 чел. На территории бассейна Верхняя Терсь расположены населенные пункты: пос. Загадное (с численностью 197 чел.), с. Макариха (6 чел.) и пос. Осинное Плесо (795 чел.).

Ориентировочные поступления твердых бытовых отходов от поселений можно количественно оценить на основе [21], согласно которому отходы из жилищ несортированные (исключая крупногабаритные) составляют 210–225 кг на 1 чел./г., а мусор от бытовых помещений несортированный — 40–70 кг на 1 чел./г. В табл. 2 приведена ориентировочная оценка поступления на территории бассейнов твердых отходов от поселений.

Таким образом, есть все основания предполагать, что основным путем поступления ЗВ на территории водных бассейнов является атмосферный перенос аэрозолей с правого берега реки Томь, где расположены города с развитой угледобывающей промышленностью, энергетикой и металлургией.

Так как наблюдения за загрязнением снега и выпадением атмосферных выбросов на почву на территории бассейнов не проводится, то оценка выпадения аэрозолей из атмосферы в бас-

сейны рек Тайдона, Верхней, Средней и Нижней Терсей получена расчетным путем с применением долгосрочной модели выпадения частиц на подстилающую поверхность [22]. Модель встроена в состав программного комплекса «ЭРА-ВОЗДУХ», используемого для проектных работ в Сибирском регионе, что позволяет применять накопленные в форматах комплекса исходные данные по источникам выбросов в научных исследованиях. В данной работе для пред-

ставленных ниже расчетов использованы данные по нескольким тысячам источников выбросов в атмосферу таких городов Кемеровской области, как Междуреченск, Мыски, Новокузнецк, Прокопьевск, Киселевск, Белово и Ленинск-Кузнецкий. Данные по источникам взяты из сводных томов предельно допустимых выбросов, которые разрабатывались для городов Кемеровской области в 2005–2008 гг. Разработку проводило ООО «Кузбасский экологический

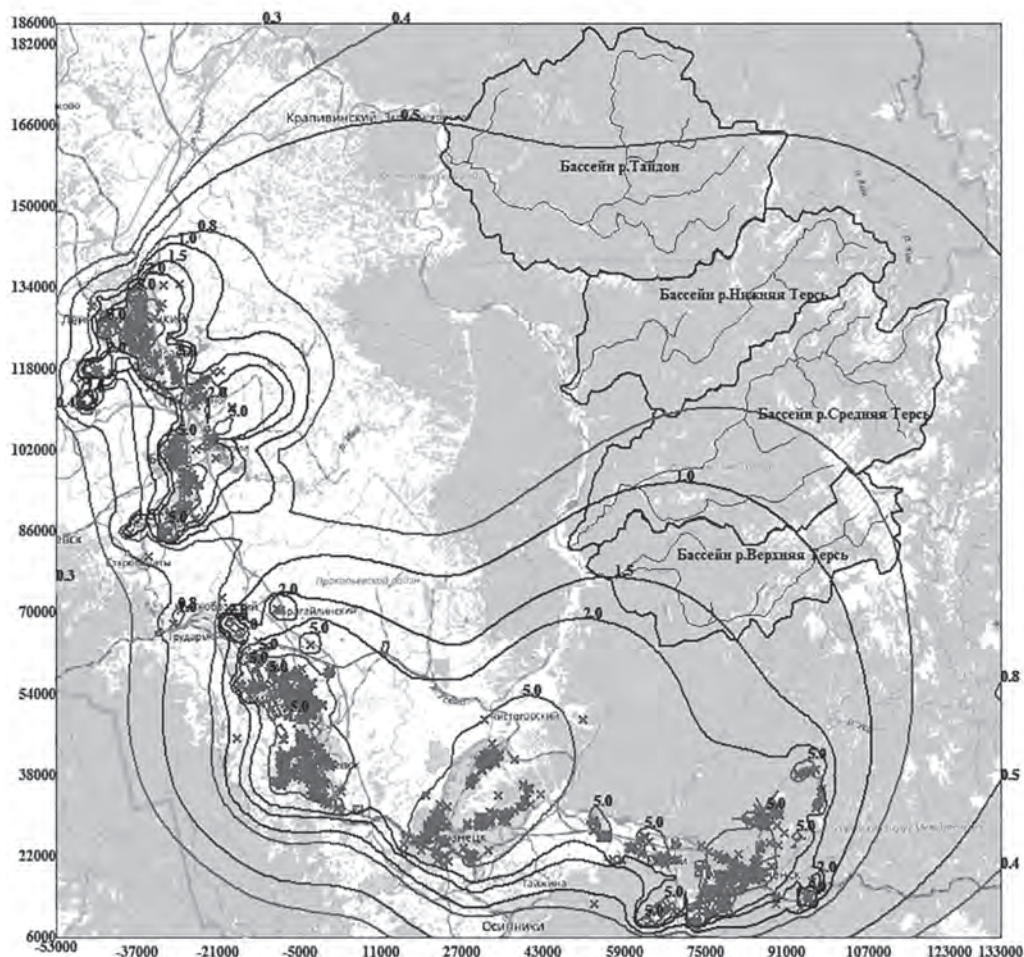


Рис. 3. Изолинии выпадения промышленной пыли, содержащейся в атмосферных выбросах городов и населенных пунктов, ближайших к бассейнам рассматриваемых рек

Fig. 3. Contour lines of precipitation of process industry dust from air emissions in cities and settlements nearby the test river basins

Таблица 3

Годовое выпадение (суммарное и удельное) по группам веществ и сумма по всем веществам

Annual fallout (total and per unit) per groups of substances and in aggregate

Река	Площадь бассейна, км ²	Годовое выпадение по веществам, т (т/км ²)	Сумма по веществам, т (удельная сумма, т/км ²)		
			пылевые частицы	нитраты NO ₂ + NO + NH ₃	сульфаты SO ₂ + H ₂ S
Верхняя Терсь	1068	1192 (1,12)	143 (0,14)	169 (0,16)	1497 (1,40)
Средняя Терсь	2022	1663 (0,82)	224 (0,11)	242 (0,12)	2184 (1,08)
Нижняя Терсь	1282	743 (0,58)	104 (0,08)	122 (0,10)	1009 (0,79)
Тайдон	2258	1034 (0,47)	162 (0,07)	171 (0,08)	1363 (0,62)

центр» [23], и авторы выражают благодарность его директору Т.Г. Алексиченко за предоставление возможности использования данных инвентаризации источников в настоящей работе.

Расчеты проведены для промышленной пыли, сульфатов и нитратов. В пыль включены все вещества, поступающие в атмосферу в виде твердых частиц. Основную их часть (более 90% по массе выброса) составляют сажа (код 0328), пыль неорганическая с различным содержанием диоксида кремния (2908, 2909), зола углей (3714), пыль каменного угля (3749). Для каждого источника все выбросы просуммированы и разбиты по фракционному составу в соответствии с рекомендациями из [24]. В расчетах для каждого города использованы свои климатические розы ветров.

Изолинии выпадения суммы всех пылевых частиц показаны на рис. 3. Видно, что области со значительным выпадением частиц находятся вблизи городов, но их влияние в количестве 0,5–1 г/м² (или т/км²) распространяется и на рассматриваемые бассейны рек.

Программа «ЭРА-ВОЗДУХ» позволяет рассчитать интеграл выпадения частиц по произвольному полигону, что использовано для определения суммарного поступления примесей из атмосферы в бассейны рек Тайдон, Верхняя,

Средняя и Нижняя Терси. Результаты для промышленной пыли, сульфатов и нитратов представлены в табл. 3.

Сравнение показателей интегральной нагрузки на бассейн с загрязнением воды

В Иордании оценку качества воды проводят на основе вертикальных профилей и продольных съемок [25]. В нашей стране многие авторы применяют распространенные методы оценки качества воды, такие как ИЗВ (индекс загрязненности воды) [26, 27], УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязнения воды) [26, 28], описание состава вод формулой Курлова [29], оценка окружающей среды по суммарному показателю [30]. В данной работе применяется метод оценки качества воды по ассоциативным показателям (АП).

Авторами обобщены все данные о загрязнении воды в реках Тайдон, Верхняя, Средняя Терсь с 1985 по 2003 гг. В 2017 г. качество воды в реке Средняя Терсь не изменилось [31]. По результатам анализов 14 ингредиентов получен ассоциативный показатель (АП) качества воды. Принципы расчета этого показателя подробно рассматриваются в [32–33].

Поскольку на территории бассейнов рек Тайдон, Верхняя, Средняя и Нижняя

Таблица 4

Суммарные величины антропогенной нагрузки от всех источников и ассоциативный показатель качество воды (АП)
Cumulative values of anthropogenic load from all sources and the association water quality index (AWQI)

Река	Годовая антропогенная нагрузка на бассейн			АП
	отходы поселений, т	атмосферное выпадение, т	суммарная антропогенная нагрузка P_p , т. (P_{is} , т/км ²)	
Верхняя Терсь	274	1497	1744 (1,64)	4,8
Средняя Терсь	34	2184	2218 (1,08)	2,4
Нижняя Терсь	0	1009	1009 (0,78)	—
Тайдон	0	1363	1363 (0,63)	2,4

Терсь находятся промышленные объекты с незначительной техногенной нагрузкой и нет значимых сельскохозяйственных угодий, то антропогенная нагрузка складывается из незначительного загрязнения от редких поселений и значительного выпадения атмосферных выбросов от расположенных на правом берегу р. Томь промышленных городов. В табл. 4 представлены суммарные величины загрязняющих веществ из всех имеющихся источников и для сравнения — обобщенный ассоциативный показатель качества воды в устьях рек (АП). Максимальный относительный показатель P_{is} антропогенной нагрузки достигается для бассейна реки Верхняя Терсь, что соответствует максимуму ассоциативного показателя загрязнения воды в этой реке.

Выводы

В работе предложен подход к расчету показателей интегральной антропогенной нагрузки на водные бассейны рек, расположенных вблизи индустриально развитых территорий. Приведен пример практических расчетов суммарной и удельной нагрузки для бассейнов рек Тайдон, Верхняя, Средняя и Нижняя Терсь, расположенных в южной части Кемеровской области.

В связи с тем, что территории бассейнов являются малонаселенными и индустриально не освоенными, то основной вклад в поступление ЗВ на их площади оказывает выпадение атмосферных выбросов — источников загрязнения воздуха, расположенных в близлежащих промышленных городах. Только для бассейна Верхней Терси отходы поселений, расположенных внутри бассейна, составляют значимую долю (18%), а для остальных бассейнов влиянием этой причины загрязнения на сегодняшний день можно пренебречь.

Проведено сравнение показателей нагрузки на бассейны с данными наблюдений за загрязнением воды в этих реках. Показано, что удельное поступление загрязняющих веществ (т/км²) наилучшим образом соответствует уровню загрязнения воды в реке. Установлено, что в исследованных районах качество воды в реках уже оценивается как «загрязненное», преимущественно в результате выпадения из атмосферы промышленных выбросов, переносимых преобладающими ветрами со стороны индустриальных городов. В данных условиях чем ближе к источникам загрязнения находится водный объект, тем хуже качество вод. В нашем случае это бассейн реки Верхняя Терсь с показате-

лем АП равным 4,8, что соответствует V классу качеству воды – «грязная».

Полученные в работе оценки выпадения ЗВ на территории бассейнов упомянутых в статье рек можно рас-

сматривать как фоновые значения загрязнения антропогенной нагрузки на районы перспективного развития добычи угля и других полезных ископаемых в Кузбассе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Об охране окружающей среды* [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (с изменениями, внесенными Федеральным законом от 27.12.2018 № 538-ФЗ). Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. *Письмо от 20 февраля 2014 г. № СН-08-02-31/2469*. Об установлении нормативов допустимых сбросов веществ на водосборные площади. Мин. природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_160698/ (дата обращения 14.12.2018).

3. *Nnabueze Kalu Nwankwo, Yulia Zakirova* Economic efficiency of the water monitoring system in Nigeria // Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020). E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 169. Article 02016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016902016> (дата обращения: 20.05.2020).

4. *Djabri L., Ch. Fehdi, Hani A., Bouhsina S., Nouiri I., Djouamaa M. C., Boch A. P., Baali F.* Seasonal hydrochemical changes of water from alluvium aquifers: Dreaan-Annaba aquifer case study (NE Algeria) // Engineering Geology for Society and Territory. 2015. Vol. 1. Pp. 89–93.

5. *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.

6. *Газиев Я. И., Соснова А. К.* Физико-математическое моделирование процесса аэрозольного загрязнения почв промышленными дымовыми выбросами в атмосферу и продуктами их физико-химических превращений // Труды института экспериментальной метеорологии. – 1987. – № 14(129). – С. 3–15.

7. *Борзилов В. А., Сенилов Н. Б.* Модель выпадения загрязняющих веществ промышленного происхождения на почву // Труды института экспериментальной метеорологии. – 1977. – № 7(76). – С. 26–35.

8. *Быков А. А., Счастливцев Е. Л., Пушкин С. Г., Смирнова О. В.* Моделирование загрязнения почвы атмосферными выбросами от промышленных объектов угледобывающего региона // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 209–217.

9. *Плауде Н. О., Стулов Е. А., Паршуткина И. П., Павлюков Ю. Б., Монахова Н. А.* Влияние осадков на концентрацию аэрозоля в приземном слое атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 5. – С. 53–63.

10. *Климат Кемерово* / Под. ред. С. Д. Кошинского, Ц. А. Швер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 166 с.

11. *Гигиенические аспекты районной планировки и градостроительства в Кемеровской области*. – Новосибирск: Наука, 1978. – 226 с.

12. *Быков А. А., Счастливцев Е. Л., Пушкин С. Г.* Влияние изменчивости распределений метеорологических параметров и дисперсного состава выбросов в атмосферу на модельные оценки осаждения промышленной пыли // Вестник КемГУ. – 2012. – № 4 (52). – Т. 2. – С. 11–18.

13. *Зуев В. Е., Креков Г. М.* Оптические модели атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 256 с.

14. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — Л.: Недра, 1977. — 294 с.
15. Ушаков В.А., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. — М.: Недра, 1975. — 248 с.
16. Лобода А.И., Ребристый Б.Н., Тышук В.Ю. и др. Борьба с пылью на открытых горных работах. — Киев: Техника, 1989. — 152 с.
17. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Под ред. А.С. Кузьмича. — М.: Недра, 1982. — 240 с.
18. Sarojini E., Bharathiraj L. T., Jayanthi S. Modelling of ambient air quality, Coimbatore, India // International Conference on Water Resource and Environmental Engineering (ICWREE2019). E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 117. Article 00002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911700002> (дата обращения: 20.06.2020).
19. Jirat Boonphun, Chalathaisorn Sawad, Papis Wongchaisuwat Machine learning algorithms for predicting air pollutants // II International Conference on Green Energy and Environment Engineering (CGEEE 2019) 03004. Bangkok, Thailand. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 120. Article 03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912003004> (дата обращения: 20.06.2020).
20. Всероссийская перепись населения 2010 года. Кемеровская область. Численность населения городских округов, муниципальных районов, городских и сельских поселений, городских населенных пунктов, сельских населенных пунктов. [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/> (дата обращения 02.10.2019).
21. СанПиН 2.1.7.1322-03. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления от 15.06.2003 г. [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/901862232> (дата обращения 15.11.2018).
22. Кожевников Н.В., Заушинцева А.В. Анализ применения пестицидов в Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. — 2015. — Т. 3. — № 4 (64). — С. 35–41.
23. Ажиганич Т.Е., Алексейченко Т.Г., Антипин О.В., Быков А.А., Софанков И.С. Проведение сводных расчетов загрязнения атмосферы г. Кемерова для нормирования выбросов и диагностических оценок / Экология города. Проблемы. Решения: Труды V городской научно-практической конференции. — Кемерово, 2003. — С. 41–45.
24. 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.
25. Al-Taani A.A., El-Radaideh N.M., Al Khateeb W.M. Status of water quality in King Talal Reservoir Dam, Jordan // Water Resources. 2018. Vol. 45. No 4. Pp. 603–614.
26. Лазарева Г.А., Кленова А.В. Оценка качества поверхностных вод по интегральным показателям (на примере Верхневолжского водохранилища) // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23406> (дата обращения: 20.06.2020).
27. Жанабергенова Д.Р., Снежкина О.В. Интегральная оценка качества воды // Молодой ученый. — 2015. — № 3 (83). — С. 336–338. <https://moluch.ru/archive/83/15264/> (дата обращения: 12.06.2020).
28. Галимова А.Р., Тунакова Ю.А. Оценка качества поверхностных вод в районе г. Казани / Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования. Всероссийская научная конференция: Сборник докладов. Ч. I. — Белгород, 2019. — С. 10–13.
29. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Наволокина В.Ю. Оценка влияния затопленного Левихинского медноколчеданного рудника на качество поверхностных вод реки Тагил // Проблемы недропользования. — 2019. — № 3 (22). — С. 155–161.
30. Гавришин А.И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в Восточном Донбассе // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2019. — № 4. — С. 61–67.

31. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2017 году. – Кемерово, 2018. – 483 с.

32. Потапов В. П., Мазикин В. П., Счастливцев Е. Л., Вашлаева Н. Ю. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. – Новосибирск: Наука, 2005. – 660 с.

33. Счастливцев Е. Л., Юкина Н. И., Харлампенков И. Е. Информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга водных ресурсов угледобывающего региона // Вестник КузГТУ. – 2016. – № 2 (114). – С. 157–164. **ПЛАТ**

REFERENCES

1. *Ob okhrane okruzhayushchey sredy: Federal'nyy zakon ot 10.01.2002 № 7-FZ (s izmeneniyami, vnesennykh Federal'nym zakonom ot 27.12.2018 № 538-FZ)* [Environment Protection: Federal Law 7-FZ dated 10 January 2002 (as amended by Federal Law 538-FZ dated 27 December 2018)]. [In Russ].

2. *Pis'mo ot 20 fevralya 2014 g. No SN-08-02-31/2469. Ob ustanovlenii normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv na vodosbornye ploshchadi. Min. prirodnnykh resursov i ekologii RF* [Letter No. SN-08-02-31/2469 as of 20 February 2014. Setting Allowable Effluent Standards for Catchment Basins. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation], [In Russ], available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_160698/ (accessed 14.12.2018).

3. Nnabueze Kalu Nwankwo, Yulia Zakirova Economic efficiency of the water monitoring system in Nigeria. Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020). *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 169. Article 02016, available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016902016> (accessed: 20.05.2020).

4. Djabri L., Ch. Fehdi, Hani A., Bouhsina S., Nouiri I., Djouamaa M. C., Boch A. P., Baali F. Seasonal hydrochemical changes of water from alluvium aquifers: Dreaan-Annaba aquifer case study (NE Algeria). *Engineering Geology for Society and Territory*. 2015. Vol. 1. Pp. 89–93.

5. Bykov A. A., Schastlivtsev E. L., Pushkin S. G., Klimovich M. Yu. Model of local industrial atmospheric pollutant fallout on underlying terrain: Development and testing. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2002, vol. 10, no 5, pp. 563–573. [In Russ].

6. Gaziev Ya. I., Sosnova A. K. Physical and mathematical modeling of aeral pollution of soil caused by air emissions of industrial smoke and its physicochemical conversion products. *Trudy instituta eksperimental'noy meteorologii*. 1987, no 14(129), pp. 3–15. [In Russ].

7. Borzilov V. A., Senilov N. B. Model of industrial pollutant fallout on land. *Trudy instituta eksperimental'noy meteorologii*. 1977, no 7(76), pp. 26–35. [In Russ].

8. Bykov A. A., Schastlivtsev E. L., Pushkin S. G., Smirnova O. V. Modeling soil pollution caused by air emissions from coal mining industry projects. *Polzunovskiy vestnik*. 2006, no 2, pp. 209–217. [In Russ].

9. Plaude N. O., Stulov E. A., Parshutkina I. P., Pavlyukov Yu. B., Monakhova N. A. Effect of atmospheric fallout on aerosol concentration in ground layer. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2012, no 5, pp. 53–63. [In Russ].

10. *Klimat Kemerovo*. Pod. red. S. D. Koshinskogo, Ts. A. Shver [Kemerovo climate. Koshinskiy S. D., Shver Ts. A. (Ed.)], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 166 p.

11. *Gigienicheskie aspekty rayonnoy planirovki i gradostroitel'stva v Kemerovskoy oblasti* [Hygienic factors in area planning and urban development in the Kemerovo Region], Novosibirsk, Nauka, 1978, 226 p.

12. Bykov A. A., Schastlivtsev E. L., Pushkin S. G. Effect exerted by variability in patterns of meteorological parameters and disperse components of atmospheric emissions on model estimates of process industry dust precipitation. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2012, no 4 (52), vol. 2, pp. 11–18. [In Russ].

13. Zuev V. E., Krekov G. M. *Opticheskie modeli atmosfery* [Optical models of atmosphere], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986, 256 p.
14. Sigal I. Ya. *Zashchita vozdušnogo basseyna pri szhiganii topliva* [Air basin safety in fuel combustion], Leningrad, Nedra, 1977, 294 p.
15. Ushakov V. A., Mikhaylov V. A. *Aerologiya kar'erov* [Aerology of open pit mines], Moscow, Nedra, 1975, 248 p.
16. Loboda A. I., Rebristyy B. N., Tyshchuk V. Yu. *Bor'ba s pyl'yu na otkrytykh gornyykh rabotakh* [Dust control in open pit mining], Kiev, Tekhnika, 1989, 152 p.
17. *Spravochnik po bor'be s pyl'yu v gornodobyvayushchey promyshlennosti*. Pod red. A. S. Kuz'micha [Mining industry dust control manual. Kuz'mich A. S. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1982, 240 p.
18. Sarojini E., Bharathiraj L. T., Jayanthi S. Modelling of ambient air quality, Coimbatore, India. International Conference on Water Resource and Environmental Engineering (ICWREE2019). *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 117. Article 00002, available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911700002> (accessed: 20.06.2020).
19. Jirat Boonphun, Chalathaisorn, Papis Wongchaisuwat Machine learning algorithms for predicting air pollutants. II International Conference on Green Energy and Environment Engineering (CGEEE 2019) 03004. Bangkok, Thailand. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 120. Article 03004, available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912003004> (accessed: 20.06.2020).
20. *Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2010 goda. Kemerovskaya oblast'. Chislennost' naseleniya gorodskikh okrugov, munitsipal'nykh rayonov, gorodskikh i sel'skikh poseleniy, gorodskikh naselennykh punktov, sel'skikh naselennykh punktov* [2010 Russian census. Kemerovo Region. Population of urban districts, metropolitan regions, urban and rural settlements, town and rural communities], [In Russ], available at: <https://ru.wikipedia.org/> (accessed 02.10.2019).
21. *Gigienicheskie trebovaniya k razmeshcheniyu i obezvrezhivaniyu otkhodov proizvodstva i potrebleniya ot 15.06.2003 g. SanPiN 2.1.7.1322-03* [Hygienic standards of production and consumption waste disposal and control as of 15 June 2003. Sanitary rules and regulations 2.1.7.1322-03], [In Russ], available at: <http://docs.cntd.ru/document/901862232> (accessed 15.11.2018).
22. Kozhevnikov N. V., Zaushintsena A. V. Analysis of pesticide application in the Kemerovo Region. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015, vol. 3, no 4 (64), pp. 35 – 41. [In Russ].
23. Azhiganich T. E., Alekseychenko T. G., Antipin O. V., Bykov A. A., Sofankov I. S. Summary calculations of air pollution in the Kemerovo city area toward emission regulation and diagnostics. *Ekologiya goroda. Problemy. Resheniya: Trudy V gorodskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Urban Ecology. Problems. Solutions: V Urban Conference Proceedings], Kemerovo, 2003, pp. 41 – 45. [In Russ].
24. Bykov A. A., Schastlivtsev E. L., Pushkin S. G. Model of local soil pollution with man-made dust particles: Features of model building and application. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy*. 2007, no 4, pp. 74 – 82. [In Russ].
25. Al-Taani A. A., El-Radaideh N. M., Al Khateeb W. M. Status of water quality in King Talal Reservoir Dam, Jordan. *Water Resources*. 2018. Vol. 45. No 4. Pp. 603–614.
26. Klenova G. A., Klenova A. V. Surface water quality assessment by integrated indices: A case study of the Upper Volga water reservoir. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no 6, [In Russ], available at: <https://science-education.ru/article/view?id=23406> (accessed: 20.06.2020).
27. Zhanabergenova D. R., Snezhkina O. V. Integrated water quality assessment. *Molodoy uchenyy*. 2015, no 3 (83), pp. 336 – 338, [In Russ], available at: <https://moluch.ru/archive/83/15264/> (accessed: 12.06.2020).

28. Galimova A. R., Tunakova Yu. A. Surface water quality assessment in the Kazan city area. *Bezopasnost', zashchita i okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya. Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya: Sbornik dokladov* [Environmental Safety, Protection and Conservation: Basic and Applied Research. Russian Conference Proceedings], part I. Belgorod, 2019, pp. 10 – 13. [In Russ].

29. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A., Navolokina V. Yu. Impact assessment of flooded Levikhinsky copper–sulphide mine on the Tagil River water quality. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2019, no 3 (22), pp. 155 – 161. [In Russ].

30. Gavrishin A. I. Quality assessment and chemical analysis of surface water in East Donbass. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2019, no 4, pp. 61 – 67. [In Russ].

31. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Kemerovskoy oblasti v 2017 godu* [2017 Kemerovo Region Environment Report], Kemerovo, 2018, 483 p. [In Russ].

32. Potapov V. P., Mazikin V. P., Schastlivtsev E. L., Vashlaeva N. Yu. *Geoekologiya ugledobyvayushchikh rayonov Kuzbassa* [Geoecology of coal mining areas in Kuzbass], Novosibirsk, Nauka, 2005, 660 p.

33. Schastlivtsev E. L., Yukina N. I., Kharlampenkov I. E. Information–analytical geoecological monitoring system for water resources in coal mining regions. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016, no 2 (114), pp. 157 – 164. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапов Вадим Петрович¹ — д-р техн. наук, профессор, директор Кемеровского филиала ФИЦ ИВТ, e-mail: vadimptpv@gmail.com,

Счастливец Евгений Леонидович¹ — д-р техн. наук, зав. лабораторией, e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru,

Быков Анатолий Александрович¹ — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, e-mail: bykov@icc.kemsc.ru,

Юкина Наталья Ивановна¹ — канд. техн. наук, научный сотрудник, e-mail: leonakler@mail.ru,

¹ Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Институт водных и экологических проблем СО РАН), Кемеровский филиал.

Для контактов: Юкина Н.И., e-mail: leonakler@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.P. Potapov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director, e-mail: vadimptpv@gmail.com,

E.L. Schastlivtsev¹, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru,

A.A. Bykov¹, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), Senior Researcher, e-mail: bykov@icc.kemsc.ru,

N.I. Yukina¹, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, e-mail: leonakler@mail.ru,

¹ Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Kemerovo Branch, 650993, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: N.I. Yukina, e-mail: leonakler@mail.ru.

Получена редакцией 16.10.2019; получена после рецензии 21.08.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 16.10.2019; received after the review 21.08.2020; accepted for printing 10.10.2020.