



МОНИТОРИНГ ПЫЛЕВЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОДОРОГИ ГОРЛОВСКОГО АНТРАЦИТОВОГО РАЗРЕЗА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2021 Д. А. Соколов ¹, Н. В. Усольцев¹, И. Н. Госсен ¹ С. В. Морозов ²

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

²ФГБУН Новосибирский институт органической химии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 9, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: morozov@nioch.nsc.ru

Цель исследования: Мониторинг и оценка состава пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза.

Место и время проведения. Исследования проводили в Искитимском районе Новосибирской области (54.58° с.ш. и 83.57° в.д.) в 2018–2020 годах.

Методология. Содержание пыли в снеге устанавливали весовым методом после фильтрования через мембрану Владипор типа МФАС-ОС-1 со средним размером пор 0.22 мкм. Микроморфологические наблюдения проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа (Hitachi TM-3000 с EDS приставкой для элементного анализа поверхности Bruker Quantax 70). Содержание углерода, соотношение C/H и C/N оценивали методом сухого сжигания при помощи CHN-анализатора (Perkin Elmer 2400 Series II). Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) определяли методом газовой хроматографии (хроматограф Agilent Technologies AT 6890N с масс-селективным детектором AT 5975N и автосамплером AT 7683B).

Основные результаты. Представлены результаты трехлетних исследований состава снега в районе технологической автодороги в северной части Горловского антрацитового бассейна. Показано, что влияние автодорог, по которым транспортируют уголь, распространяется более чем на 2000 м во всех направлениях; снежный покров прилегающих к автотрассе территорий накапливает от 1,4 до 1131,6 г/м² пылевых выпадений.

Состав пыли как прилегающих, так и удаленных от автотрассы участков представлен преимущественно углистыми частицами. Содержание углерода во взвешенной части проб снега составляет от 26,5 до 64,1%. При этом по мере удаления от дороги содержание углерода в пыли увеличивается.

Пылевые выпадения, накопленные в снеговом покрове, содержат значительное количество ПАУ, в том числе и канцерогенных. В пробах снега, отобранных на расстоянии 25–2000 м от автодороги, содержание канцерогенных ПАУ в 9–13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке.

Заключение. За годы исследования отмечено снижение пылевой нагрузки на прилегающие территории, несмотря на кратное увеличение объемов транспортируемого по автодороге угля, что связано с проведением мероприятий по пылеподавлению. Выявлено, что минимизация распространения угольной пыли обеспечивается при: а) создании широких многоярусных лесополос вдоль технологических дорог; б) обязательном укрывании кузовов углевозов защитными тентами; в) снижении скоростного режима транспорта; г) учете розы ветров при проектировании размещения новых дорог и отвалов отходов угледобычи.

Ключевые слова: угольная пыль; загрязнение атмосферы; снеговой покров; полициклические ароматические углеводороды; открытая добыча угля; канцерогены

Цитирование: Соколов Д.А., Усольцев Н.В., Госсен И.Н., Морозов С.В. Мониторинг пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза (Новосибирская область) // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 1. е133.: doi: [10.31251/pos.v4i1.133](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.133)

ВВЕДЕНИЕ

Экологическим проблемам, связанным с влиянием открытых угольных разработок на окружающие территории, во всем мире уделяют большое внимание (Feng et al., 2019). Известны работы, в которых отмечается, что увеличение площадей нарушенных угледобычей территорий приводит к развитию эрозионных и солюфикационных процессов (Солнцева и др., 1992; Rocha-Nicoleite et al., 2017), ухудшению состояния грунтовых и поверхностных вод (Wei et al., 2011; Mishra et al., 2012), возникновению наводнений (Negley et al., 2006; Eisenbees et al., 2007; Townsend

et al., 2009). Кроме того, обогащенные углистым материалом отходы подвержены процессам самовозгорания (Querol et al., 2011), что негативно сказывается на качестве атмосферного воздуха (Claxton, 2014). Однако наиболее интенсивное воздействие угольная промышленность оказывает на почвенный покров. Во-первых, потому, что преобладающая сегодня в угольной отрасли открытая разработка приводит к уничтожению почвенного покрова территорий, отчуждаемых под размещение отходов добычи (Соколов и др., 2012; Госсен и др., 2016). Во-вторых, почвы окружающих угольные разрезы территорий испытывают влияние аэрогенного массопереноса, который в силу низкой плотности частиц угольной пыли не удается локализовать в пределах санитарно-защитных зон предприятий. Последний аспект, на наш взгляд, заслуживает особого внимания, поскольку в отличие от работ, посвященных восстановлению почвенного покрова на отвалах отходов добычи угля, является мало освещенным в научной литературе.

В этой связи перспективным объектом исследований является снежный покров, поскольку снег представляет естественный накопитель техногенных выбросов. Результаты изучения снегового покрова особенно представительны, поскольку минимизируют вариации (флуктуации направления ветра, непостоянство выбросов) и дают более точную средневзвешенную величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени, т. е. с момента выпадения снега до момента пробоотбора (Ермолов, Смоленцев, 2020). В основном такие наблюдения ведут вблизи источников загрязнения (Андреева и др., 2001; Рапута и др., 2010; 2015). Проведенные нами ранее исследования показали, что существенное влияние на загрязнение снежного покрова оказывают не столько сами карьеры и отвалы, сколько дороги, по которым транспортируют добываемый на месторождениях уголь (Девятова и др., 2019). Основная часть пылевых выпадений приходится на угольные частицы. Однако состав и свойства пыли, а также динамика пыленакопления, обусловленная увеличением объемов добычи угля, остаются недостаточно исследованными. Поэтому целью исследований стали мониторинг и оценка состава пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на участке автодороги между Кольванским и Горловским угольными разрезами (N 54.58° с.ш. и E 83.57° в.д.), входящими в Группу компаний «Сибантрацит». Помимо транспортировки угля автодорога используется и для других целей, поскольку связывает села Харино и Горлово с п.г.т. Линёво Искитимского района Новосибирской области. Выбранный объект является показательным потому что: во-первых, дорога здесь перпендикулярно ориентирована по отношению к линии господствующих ветров; во-вторых, на ней наряду с открытыми участками присутствуют лесопосадки, представленные тополевыми лесополосами.

Для оценки воздействия технологической автодороги на прилегающие территории были проложены три линейные трансекты (рис. 1). Первые две прокладывали на открытом участке, с наветренной стороны, в юго-западном направлении (ЮЗ), и подветренной стороны дороги, в северо-восточном (СВ) направлении. Третья трансекта проложена в северо-восточном направлении; данную трансекту в 3 м от дороги пересекает лесополоса шириной 10 м (СВл). Отбор проб снега проводили ежегодно в течении трёх лет (2018–2020 гг.) в период максимальных снегозапасов (начало марта). Пробы отбирали в 25, 50, 100, 250, 500, 1000, а также (в 2019 году) в 2000 м от дороги. На трансекте Ю-З направления, по причине проведения работ по снегозадержанию, не удалось определить запасы снега в 25 м от дороги, а в 2019 и 2020 годах в 50 м. В этих точках образцы снега отбирали только для оценки состава пылевых выпадений. На трансекте СВл направления, из-за наличия березовых колков, максимальное расстояние от дороги, на котором отбирали пробы, составляло 500 м. В первый год исследования фоновый участок был выбран в 2500 м к югу от автодороги на открытой местности, защищенной лесным массивом шириной более, чем 500 м. Микроморфологический анализ образцов пыли с этого участка выявил наличие углистых частиц (Девятова и др., 2019). Поэтому в 2019 и 2020 годах в качестве контрольного был выбран участок, расположенный в 35 км от исследуемой автодороги. Отбор проб осуществлялся в трехкратной повторности при помощи весового снегомера ВС-43, с последующим определением плотности и запасов влаги в снежном покрове. При отборе проводили замеры мощности снежного покрова и GPS-привязка.



Рисунок 1. Схема отбора проб снега.

Пробы снега растапливали в лаборатории и фильтровали с помощью прибора ПФФ-47/6 НБ (ПП) (Россия). При фильтровании использовали мембрана Владипор типа МФАС-ОС-1 (Россия) со средним размером пор 0,22 мкм. Мембрана по фактическим показателям соответствует требованиям ТУ 2265-01143153636–2015 для МФАС-ОС-1. Фильтры с твердой фракцией поллютантов высушивали, после чего определяли их масса с точностью до 0,0001 г. СНН-анализ взвешенных частиц осуществляли методом сухого сжигания с использованием анализатора 2400 Series II (Perkin Elmer, США).

Микроморфологические наблюдения проводили в Национальном исследовательском Томском государственном университете с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 с EDS приставкой для элементного анализа поверхности Bruker Quantax 70. Пробы пылевых частиц с фильтра переносили на проводящий скотч, закрепленный на металлической площадке, которую впоследствии помещали в микроскоп. Данная модель микроскопа, благодаря наличию режима низкого вакуума, позволяет изучать образцы при увеличении до 2000 – 5000 раз без использования металлического напыления, что обеспечивает получение более точных значений элементного состава (Соколов и др., 2014).

Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) определяли при помощи газового хроматографа Agilent Technologies AT 6890N с масс-селективным детектором AT 5975N и автосамплером AT 7683B. В пробах талого снега определяли 19 индивидуальных ПАУ, входящих в список Европейского союза и Агентства по охране окружающей среды США (Lawrence et al., 2015), в том числе: нафталин (NAP), аценафтилен (ANL), аценафтен (ANA), флуорен (FLU), фенантрен (PHE), антрацен (ANT), флуорантен (FLT), пирен (PYR), бенз(а)антрацен (BaA), хризен (CHR), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(ј)флуорантен (BjF), бенз(е)пирен (BeP), бенз(а)пирен (BaP), перилен (PRL), индено(1,2,3-сd)пирен (IPY), дибенз(аh)антрацен (DBA), бензо(gh,i)перилен (BPL). Для количественного определения использовали стандартный образец смеси ПАУ (АТ № 8500-6035), в качестве суррогатных стандартов (свидетель) применяли 9,10-ди(тридегтерометил)фенантрен и 4,4'-дибромбифенил; погрешность определения не превышала 20 %, предел обнаружения 0.2 нг/г. Пробоподготовка и все измерения содержания и состава ПАУ проводили в двух повторностях в лаборатории аккредитованного Испытательного аналитического центра Новосибирского института органической химии СО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что содержание пыли в снеге участков, прилегающих к автодороге, варьировало в широких пределах (табл. 1). На всех трех транsekтах отмечали снижение концентрации пыли по мере удаления от трассы. При этом разница между массой пыли в 25 и 1000 м от дороги достигала: на транsekтах северо-восточного (СВ и СВл) направления – 100 и более раз, на транsekте юго-западного (ЮЗ) направления – 10 и более раз.

Таблица 1

Содержание взвешенных веществ в снеге на участках прилегающих к дороге, г/м²

Год	Расстояние от автодороги, м	Направление			Фон
		ЮЗ	СВ	СВл	
2018	25	-	309,5±82,6	552,5±90,3	1,6±0.3*
	50	46,9±6,4	170,5±31,4	207,9±21,6	
	100	34,5±2,4	110,4±5,5	94,0±11,6	
	250	8,7±2,2	64,1±13,6	16,7±4,2	
	500	3,8±0,3	16,4±2,5	-	
	1000	-	22,4±4,0	-	
2019	25	-	553,6±87,3	854,3±69,9	0,8±0.3**
	50	-	238,5±11,6	270,1±19,5	
	100	24,6±0,5	118,0±3,9	122,3±18,9	
	250	4,2±0,2	37,9±12,1	22,6±6,5	
	500	5,4±0,8	12,8±2,1	11,2±0,7	
	1000	4,2±1,6	5,4±2,0	-	
2020	25	-	373,6±127,4	1131,6±409,4	0,8±0.3**
	50	-	272,6±21,2	-	
	100	5,8±3,1	100,2±3,6	-	
	250	0,3±0,3	18,7±3,3	-	
	500	0,8±0,6	3,6±0,4	-	
	1000	1,4±0,1	2,4±0,4	-	

Примечание.

* 2018 году фоновый участок выбирался в 2.5 км от дороги.

** 2019 и 2020 годы фоновый участок выбрали в 35 км от дороги.

Максимальное количество взвеси зафиксировано на точках трансект СВ и СВл. Важно отметить, что вместе со снегом на поверхность почв попадает до 1 килограмма пыли на метр квадратный (рис. 2). Это особенно выражено вблизи лесополосы, где масса пыли в снежных пробах была в 1,5-3,0 раза больше, чем в пробах, отобранных на открытых участках (табл. 1). Исследование пространственного распределения содержания пыли в снеге также показало, что шлейфы пылевых нагрузок имеют ориентацию на северо-восток и юго-запад от автодороги, что в целом согласуется с характером ветрового режима; как отмечено ранее, преобладающими ветрами в зимнее время являются юго-западные. В связи с этим содержание пыли на равноудаленных точках СВ и ЮЗ трансект различалось в 2–8 и более раз.

Изменялась также и концентрация пыли в снеге в отдельные годы исследования. На наш взгляд, это связано с несколькими факторами, по-разному сказавшимися на запыленности снежного покрова наблюдаемых трансект и точек. Во-первых, в период мониторинга предприятия Группы компаний «Сибантрацит» существенно увеличили объемы добычи угля на месторождениях северного крыла Горловского бассейна. Так, если в первый год проведения исследований (начало 2018 года) объемы добычи угля составляли 7,4 млн. тонн, то на конец 2019 года они увеличились до 14,1 млн. тонн. Во-вторых, в эти же годы на предприятиях была разработана и начала внедряться экологическая программа, направленная на улучшение качества атмосферного воздуха. Результатом действия этой программы стало то, что при транспортировке угля все углевозы стали укрывать защитными пологам. Кроме того, внедрение в бортовые компьютеры перевозящих уголь автомобилей систем круиз-контроля позволило снизить среднюю скорость их движения до 40–50 км/ч. Результатом проведенных мероприятий можно считать существенное снижение содержания пыли в снеге на всей трансекте ЮЗ, а также СВ и СВл направлений, отобранном на расстоянии более чем в 100 м от дороги (табл. 1). Еще одним результатом работ по пылеподавлению, вместе с увеличением объемов транспортируемого угля, можно считать рост содержания пыли в снеге на участках СВ и СВл направлений вблизи от дороги (25 и 50 м). Однако при этом важно учитывать то, что в 2019 и 2020 годах вместе с воздушным переносом на загрязнение снежного покрова оказали влияние мероприятия по очистке дорог от снега. Сформированная с подветренной стороны автотрассы линия снежных буртов не только не задерживала перенос пыли, но и в оттепели являлась дополнительным источником загрязнения.

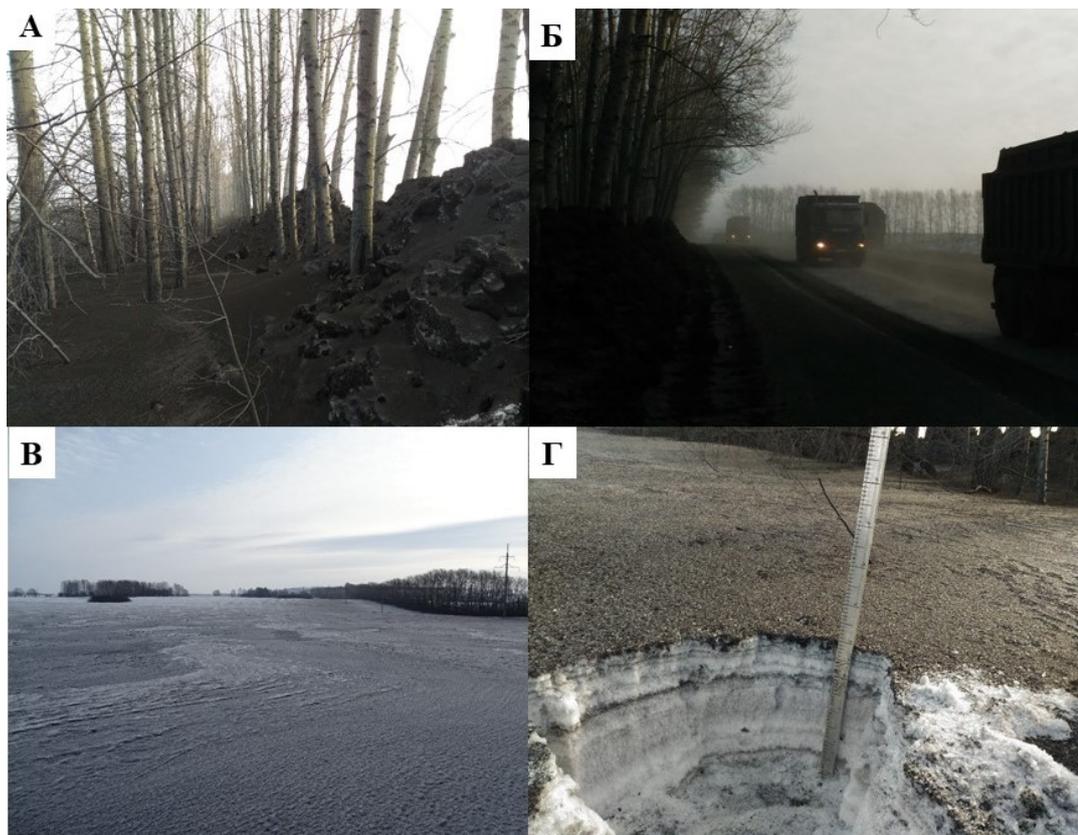


Рисунок 2. Пылевое загрязнение снегового покрова в окрестностях Горловского антрацитового месторождения: А – придорожная лесополоса; Б – автодорога; В – поле, прилегающее к автотрассе с северо-востока; Г – вертикальный срез снеговой толщи в 25 м от лесополосы.

Снеговые пробы, взятые в точках отбора, имели значительное содержание органических компонентов. Судя по элементному составу поверхности органических частиц, спецификой пылевых выпадений исследуемых объектов является высокое содержание углистых включений, которое сохраняется на значительном удалении от дороги (рис. 3).

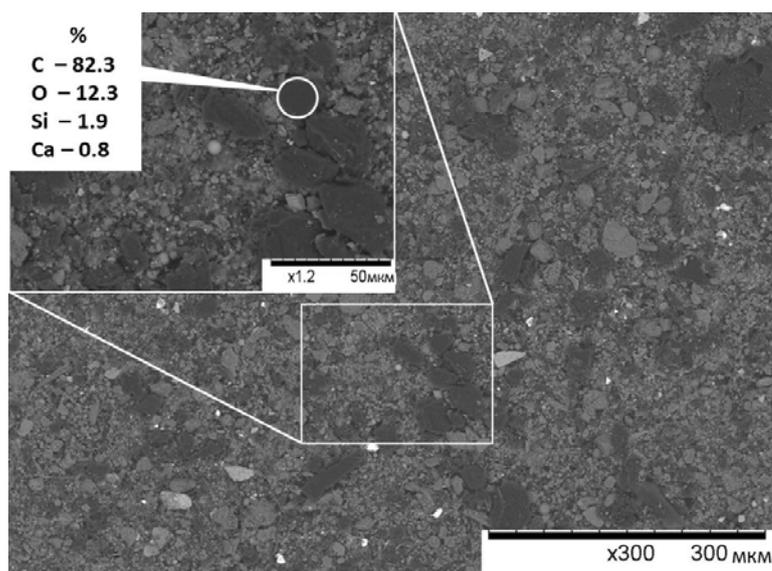


Рисунок 3. Микрофотографии частиц пыли из проб снега, отобранных в 1000 м к северо-востоку от дороги.

СН анализ взвешенной части проб снега и дорожной пыли показал, что содержание углерода варьировало в пределах от 26,5 до 64,1% (табл. 2). Высокие значения соотношений С/Н и С/Н также свидетельствуют об литогенной (угольной) природе органического вещества анализируемых проб. Сравнение описываемых показателей проб 2018 и 2019 года позволяет отметить снижение концентрации углерода во взвешенной части проб снега в среднем в 1,2-1,3 раза. Исключением являются пробы, отобранные на трансекте ЮЗ направления, где содержание углерода в пробах осталось на уровне образцов пыли, взятых с дороги. Однако и здесь, и в пробах других трансект уменьшение величин соотношений С/Н и С/Н свидетельствуют о снижении доли угля в органическом веществе взвеси. В среднем соотношение С/Н уменьшилось в 1,5 раза, С/Н в 1,2 раза.

Таблица 2

Средние значения содержания углерода и соотношений С/Н и С/Н во взвешенной части проб снега и пыли с дороги

Трансекта	С, %	С/Н	С/Н
Пыль с дороги	49,2	64,8	84,1
	45,6-50,8	60,4-67,1	60,0-89,2
2018 год			
ЮЗ	45,5	43,8	61,1
	33,8-52,2	41,1-46,6	55,0-66,8
СВ	50,4	56,7	78,0
	45,1-56,9	50,9-59,5	70,6-83,7
СВл	46,5	71,1	80,6
	37,7-64,1	65,5-73,9	73,5-85,4
2019 год			
ЮЗ	49,6	34,1	50,6
	42,7-58,4	23,1-48,1	38,7-63,7
СВ	38,3	40,5	62,4
	26,5-52,9	18,4-67,4	37,1-80,4
СВл	38,7	42,6	70,8
	33,3-45,4	24,2-55,5	43,9-91,7

Как отмечено выше, углистые частицы по сравнению с минеральными обладают более низкой плотностью. В среднем плотность антрацита составляет 1,5-1,7 г/см³, минеральных компонентов пыли 2,5-2,7 г/см³. Это способствует более дальнему распространению частиц угля по сравнению с минеральными частицами пыли. В результате на всех исследуемых трансектах по мере удаления от дороги отмечается увеличение содержания углерода во взвешенной части снега (рис. 4).

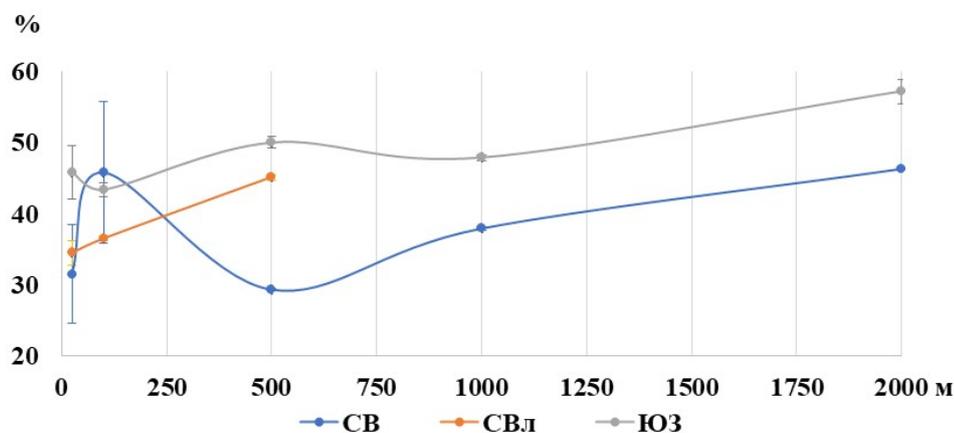


Рисунок 4. Изменение значений содержания углерода во взвешенной части снега по мере удаления от автодороги (в пробах 2019 года).

Учитывая это, а также содержание пыли в пробах, можно рассчитать количество углерода, которое получают почвы территорий после схода снега. Так, для почв трансект СВ и СВл направлений в 25 м от дороги оно составляет, соответственно, 174,4 и 294,7 г/м², в 50 м – 92,2 и 95,9 г/м², в 100 м – 54,0 и 44,6 г/м², в 250 м – 14,2 и 9,2 г/м², в 500 м – 3,8 и 5,1 г/м², в 1000 м (для СВ) – 2,0 г/м².

Помимо СНН-анализа в исследуемых пробах снега 2019 года было оценено содержание и состав ПАУ. Исследования показали, что в пыли, взятой с обочины дороги, содержание полиаренов составило 3% от массы образца (табл. 3). В пробах снега с подветренной стороны на открытом участке их содержание снижается с 1079,5 (в 25 м от дороги) до 43,8 нг/м² (в 2000 м от дороги). С наветренной стороны концентрации ПАУ в снеге от 1,5 до 8 раз меньше, канцерогенных – от 3 до 12 раз.

Отмечено, что задерживающим эффектом в процессах распространения ПАУ обладает лесополоса, посаженная вдоль дороги. Так, в если пробах СВл направления содержание пыли в 25 м от дороги больше 1.5 раза, чем в пробах СВ трансекты (табл. 1), то для ПАУ это отношение составляет 12,7 раз, в 100 м – 4,9, в 500 – 1,4 (табл. 3). При этом канцерогенных соединений в 25 м – меньше в 15,8 раз, в 100 – 5,8 раз, в 500 м – 1,5 раза. В целом в пробах снега, взятых вблизи дороги, содержание канцерогенных полиаренов от 9 до 13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке. Их доля в составе ПАУ по мере удаления от автотрассы уменьшается только в точках трансекты ЮЗ направления, достигая фоновых значений на расстоянии 2000 м. В пробах снега, отобранных на точках СВ и СВл трансект, доля канцерогенов сохраняется на уровне 50±10%. Следует отметить, что в крупных обломках угля, транспортируемых с месторождений бассейна, также отобранных с дороги и проанализированных после измельчения, суммарная доля всех канцерогенных полиаренов составляет менее 1% (рис. 5). Вероятно, это явление связано с отмечаемой в литературе летучестью легких ПАУ (Wild, Jones, 1995; Johnsen et al., 2005; Choi, 2014).

Таблица 3

Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах снега

Расстояние, м	Юго-западное направление (наветренная сторона)					Пыль с дороги	Северо-восточное направление (подветренная сторона)				
	35000 (фон)	2000	1000	500	100		0	25	100	500	2000
Содержание пыли, г/л	0,0080	0,0250	0,0366	0,0410	0,1843	—	6,1812* 7,1533	1,3184 1,2383	0,1185 0,0849	0,0369 н/д	
Сумма ПАУ нг/м ² **	2,7	24,4	40,9	75,8	173,5	30304	1079,5 13665,4	599,6 2919,5	57,3 80,7	43,8 н/д	
Сумма канц. ПАУ, нг/м ² **	0,5	4,6	9,4	23,9	86,8	11893	406,4 6423,8	296,1 1704,3	28,1 40,9	21,1 н/д	

Примечание.

*Над чертой – данные для трансекты СВ, под чертой – для СВл.

**Для пыли с дороги в мкг/г

Наряду с канцерогенными соединениями в составе полиаренов преобладают и другие тяжелые соединения (рис. 5), такие как флуорантен (FLT), пирен (PYR), бенз(е)пирен (BeP) и бенз(g,h,i)перилен (BPL). Так, если на контрольном участке содержание тяжелых ПАУ в 2 раза больше, чем легких, то в пыли, взятой с дороги, а также с подветренной стороны в 2 км от нее, это отношение составляло около 13. Примечательно, что в СВ направлении доля тяжелых ПАУ увеличивается пропорционально удалению от автотрассы ($r_S = 0.95$). В тоже время в ЮЗ направлении отмечается обратная тенденция ($r_S = -0.74$).

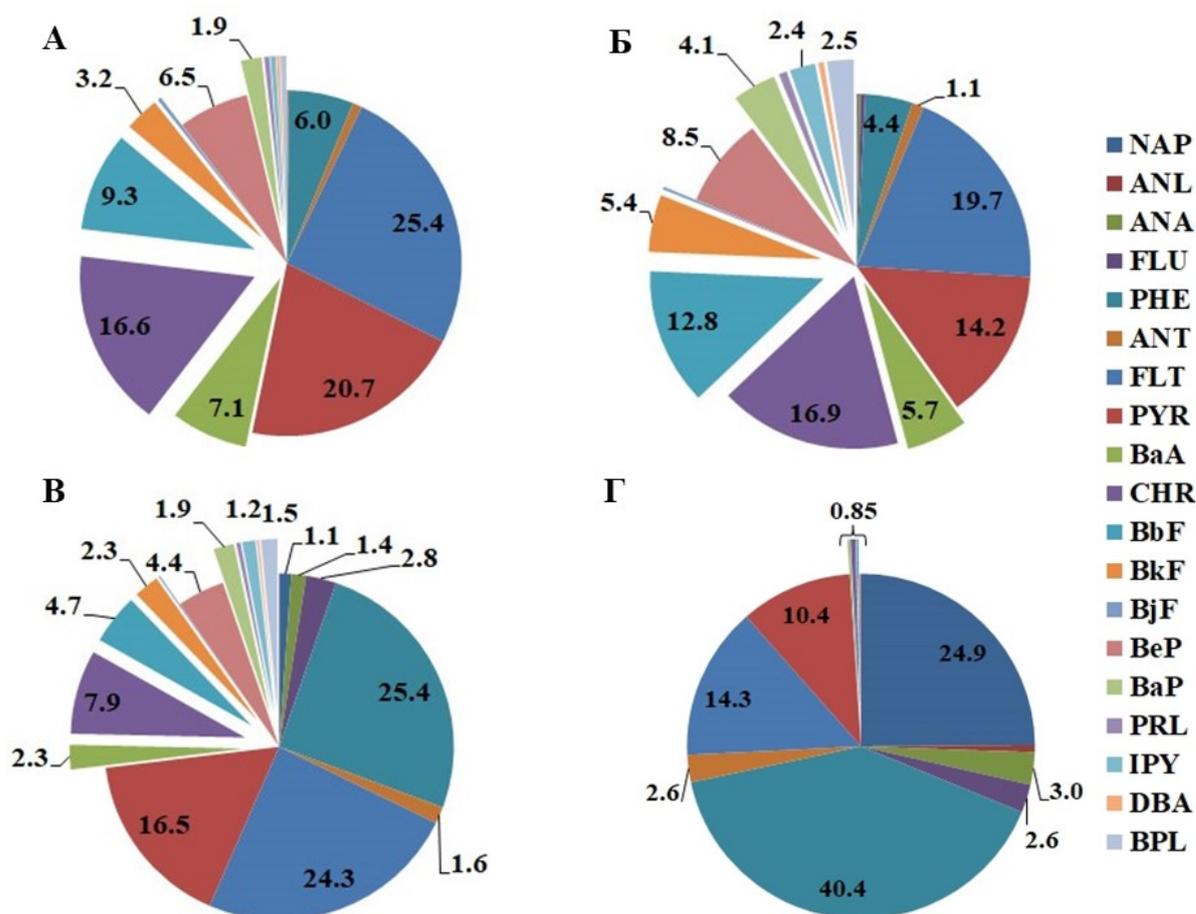


Рисунок 5. Состав ПАУ исследуемых образцов: А – пыль с дороги; Б – проб снега СВ направления в 2000 м от дороги; В – фоновое участка; Г – обломков антрацита. Канцерогенные ПАУ: BaA-бенз(а)антрацен, CHR-хризен, BbF-бенз(б)флуорантен, BkF- бенз(к)флуорантен, BjF-бенз(ж)флуорантен, BaP-бенз(а)пирен, IPY-индено(1,2,3-сd)пирен, DBA-дибенз(а,h)антрацен; Не канцерогенные ПАУ: NAP-нафталин, ANL-аценафтилен, ANA-аценафтен, FLU-флуорен, PHE-фенантрен, ANT-антрацен, FLT-флуорантен, PYR-пирен, BeP-бенз(е)пирен, PRL-перилен, BPL-бенз(г,h,i)перилен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют заключить, что влияние на прилегающие территории автодорог, по которым транспортируют уголь, добываемый на месторождениях Горловского антрацитового бассейна, распространяется более чем на 2000 м во всех направлениях. Отмечаемое воздействие зафиксировано посредством оценки содержания состава пыли в снеговом покрове. Установлено, что на один квадратный метр обследованных участков за период устойчивого снежного покрова выпадает от 1,4 до 1131,6 грамм пыли. Особенности распределения пыли в снежном покрове определяются направлением ветра, степенью удаленности от источника загрязнения (дороги), а также наличием защитных насаждений, представленных лесополосами.

Состав пыли как прилегающих, так и удаленных от автодороги участков представлен преимущественно углистыми частицами. Содержание углерода во взвешенной части проб снега составляет от 26,5 до 64,1%. При этом по мере удаления от дороги содержание углерода в пыли увеличивается.

Пылевые выпадения, накопленные в снеговом покрове, несут потенциальную угрозу природным экосистемам, поскольку содержат значительное количество полициклических ароматических углеводородов, в том числе и канцерогенных. В пробах снега, отобранных в пределах 2000 м от автодороги, содержание канцерогенных полиаренов от 9 до 13000 раз больше, чем на контрольном (фоновом) участке.

Мониторинг участков исследования, проведенный в 2018–2020 годах, показал, что, несмотря на увеличение объемов транспортируемого по автотрассе угля, пылевая нагрузка на прилегающие территории имеет тенденцию к снижению. В среднем концентрация пыли в снеге за эти годы

уменьшилась, что обусловлено мероприятиями по пылеподавлению, осуществляемыми угледобывающими компаниями.

Таким образом, минимизация негативных экологических последствий, связанных с транспортировкой добываемого в пределах Горловского бассейна антрацита, возможна при: а) создании широких многоярусных лесополос вдоль технологических дорог; б) обязательном укрывании кузовов углевозов защитными тентами; в) снижении скоростного режима транспорта; г) учете розы ветров при проектировании размещения новых дорог и отвалов отходов угледобычи.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы выражают благодарность сотруднику кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета кандидату биологических наук Сергею Васильевичу Лойко за помощь в проведении микроморфологических наблюдений.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках госбюджетных тем ИПА СО РАН (№121031700316-9) и НИОХ СО РАН (№ 0238-2021-0005).

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева И.С., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Коковкин В.В., Олькин С.Е., Петрищенко В.А., Рапута В.Ф., Резникова И.К., Сафатов А.С., Степанова Е.В. Оценка биогенных загрязнений в снежном покрове в окрестности Новосибирска // *Оптика атмосферы и океана*. 2001. Т. 14. №6-7. С.547-550.
- Госсен И.Н., Кулижский С.П., Данилова Е.Б., Соколов Д.А. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и бурогольных месторождений) // *Вестник НГАУ*. 2016. Т. 39. №2. С. 71-81.
- Девятова А.Ю., Бортникова С.Б., Соколов Д.А., Госсен И.Н., Соколова Н.А. Влияние Горловского угольного месторождения (Новосибирская область) на состояние приземного слоя атмосферы // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27. №5. С. 460-470. DOI: [10.15372/KhUR2019160](https://doi.org/10.15372/KhUR2019160)
- Ермолов Ю.В., Смоленцев Н.Б. Зимний фоновый сток примесей атмосферы на юго-востоке Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2020. Т. 33. №1. С.75-81. DOI: [10.15372/AOO20200111](https://doi.org/10.15372/AOO20200111)
- Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Морозов С.В. Экспериментальное исследование и численный анализ процессов распространения загрязнения снегового покрова в окрестностях крупной автомагистрали // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2010. Т. 18. №1. С.63-70.
- Рапута В. Ф., Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Девятова А. Ю. Экспериментальные и численные исследования загрязнения снежного покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*. 2015. Т. 12. С. 77-93.
- Соколов Д.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Госсен И.Н. Особенности формирования почв техногенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах юга Сибири // *Вестник ТГУ*. 2012. №364. С.225-229.
- Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лойко С.В., Доможакова Е.А. Использование сканирующей электронной микроскопии для диагностики процессов почвообразования на поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири // *Вестник ТГУ. Биология*. 2014. №3 (27). С.36-52.
- Солнцева, Н.П. Рубилина Н.Е., Герасимова М.И., Алистратов С.В. Изменение морфологии выщелоченных черноземов в районах добычи угля // *Почвоведение*. 1992. № 1. С. 17-29.
- Choi S.-D. Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire // *Science of The Total Environment*. 2014. №470-471. P.1441-1449. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.07.100](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.100)
- Claxton L.D. The history, genotoxicity, and carcinogenicity of carbon-based fuels and their emissions. Part 2: Solid fuels // *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*. 2014. Vol. 762. P.108-122. DOI: [10.1016/j.mrrev.2014.07.002](https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2014.07.002)
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – A review // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol.242. Iss. 2-3. P.77-98. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.01.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.051)
- Fen-g Y., Wang J., Bai, Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review // *Earth-Science Reviews*. 2019. Vol.191. P.12-25. DOI: [10.1016/j.earscirev.2019.02.015](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015)
- Johnsen A.R., Wick L.Y., Harms H. Principles of microbial PAH-degradation in soil // *Environmental Pollution*. 2005. Vol.133. Iss.1. P.71-84. DOI: [10.1016/j.envpol.2004.04.015](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.04.015)
- Lawrence H.K. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants // *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2015. Vol.35. P.147-160. DOI: [10.1080/10406638.2014.892886](https://doi.org/10.1080/10406638.2014.892886)
- Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldmann J.-M. Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 100. P.52-58. DOI: [10.1016/j.jenvman.2011.10.015](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.015)

10.1016/j.jenvman.2012.01.021

Negley T.L., Eshleman K.N. Comparison of stormflow responses of surface-mined and forested watersheds in the Appalachian Mountains, USA // *Hydrological Processes*. 2006. Vol. Iss.16. P.3467-3483. DOI: [10.1002/hyp.6148](https://doi.org/10.1002/hyp.6148)

Querol X., Zhuang X., Font O., Izquierdo M., Alastuey A., Castro I., van Drooge B.L., Moreno T., Grimalt J.O., Elvira J., Cabañas M., Bartroli R., Hower J.C., Ayora C., Plana F., López-Soler A. Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: A review and new experimental data // *International Journal of Coal Geology*. 2011. Vol. Iss.1. P.2-22. DOI: [10.1016/j.coal.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.09.002)

Rocha-Nicoleite E., Overbeck G.E., Müller S.C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning // *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2017. Vol. Iss.3. P.202-205. DOI: [10.1016/j.pecon.2017.05.006](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.006)

Townsend P.A., Helmers D.P., Kingdon C.C., McNeil B.E., de Beurs K.M., Eshleman K.N. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series // *Remote Sensing of Environment*. 2009. №1 (113). P.62-72. DOI: [10.1016/j.rse.2008.08.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.012)

Wei X., Wei H., Viadero Jr.R.C. Post-reclamation water quality trend in a Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands // *Science of The Total Environment*. 2011. Vol. 409. Iss. 5. P.941-948. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2010.11.030](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.030)

Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget // *Environmental Pollution*. 1995. №88. P.91-108. DOI: [10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M)

Поступила в редакцию 06.04.2021

Принята 30.05.2021

Опубликована 05.06.2021

Сведения об авторах:

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Усольцев Николай Владимирович – техник-лаборант лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); usoltsv97@mail.ru

Госсен Игорь Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); gossen@issa-siberia.ru

Морозов Сергей Владимирович – кандидат химических наук, заведующий лабораторией экологических исследований и хроматографического анализа ФГБУН Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (Новосибирск, Россия); morozov@nioch.nsc.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

MONITORING THE AEROSOL SOLIDS DEPOSITED IN SNOW IN THE AREA AFFECTED BY THE TECHNOLOGICAL ROAD OF THE GORLOV ANTHRACITE MINING PIT (NOVOSIBIRSK REGION, RUSSIA)

© 2021 D. A. Sokolov ¹, N. V. Usoltsev¹, I. N. Gossen ¹, S. V. Morozov²

Address: ¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia.

E-mail: sokolovdenis@issa-siberia.ru

² N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS, Lavrentieva 9, Novosibirsk, 630090, Russia.

E-mail: morozov@nioch.nsc.ru

The aim of the study. To monitor and assess the chemical composition of the solid aerosols deposited in the snow in the area affected by the technological road of the Gorlov anthracite mining site.

Location and time of the study. The study was conducted in the Iskitim district of the Novosibirsk region (54.58° N, 83.57° E) in 2018–2020.

Methodology. The content of total solids in snow was measured by gravimetric method after filtering the melted snow sample through the filter with 0.22 μm mesh size. Micromorphology of the solids was studied by using scanning electron microscope Hitachi TM-3000 (Japan) with attached EDS detector console Bruker

Quantax 70 for the element analysis of the surface. The carbon content, C/H and C/N ratios were determined by dry combustion using the CHN-analyzer (Perkin Elmer 2400 Series II, USA). The content and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were determined by gas chromatography using Agilent Technologies AT 6890N with AT 5975N mass-selective detector and AT 7683B autosampler.

Main results. *The article presents the results of the three-years long study of the solids accumulated in snow along the technological road in the north of the Gorlov anthracite basin. The influence of the automobile road used for the anthracite transportation was shown to reach as far as 2000 m in all directions. The snow cover was found to accumulate from 1.4 to 1131.6 g/m² of deposited aerosol solids. Those solids were mostly represented by coal particles, the carbon content ranging 26.5–64.1% and increasing with the distance from the road. The aerosol solids, accumulated in snow, were found to contain significant amounts of PAH, including the carcinogenic ones. In the snow samples collected at 25–2000 m off the road, carcinogenic PAH content was found to be 9–13000 times higher than at the control site remoted from the road.*

Conclusion. *The presented study helped to elucidate the factors, contributing to decreasing the spread of the anthracite solids during automobile transportation. Such spread can be attained by a) establishing wide multi-storeyed forested protective belts along technological automobile roads; b) compulsory covering of the loads in the coal-transporting vehicles; c) decreasing the speed limit of the vehicles; and d) taking into consideration a wind rose while projecting locations new automobile roads and coal mining spoils.*

Keywords: coal dust; atmosphere contamination; snow cover; polycyclic aromatic hydrocarbons; open coal mining; cancerogens

How to cite: Sokolov D.A., Usoltsev N.V., Gossen I.N., Morozov S.V. Monitoring the aerosol solids deposited in snow in the area affected by the technological road of the Gorlov anthracite mining pit (Novosibirsk region, Russia) // *The Journal of Soils and Environment*, 2021, Vol.4, No.1, e133 . doi: [10.31251/pos.v4i1.133](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.133)

REFERENCES

- Andreeva I.S., Borodulin A.I., Buryak G.A., Kokovkin V.V., Olkin S.E., Petrishchenko V.A., Raputa V.F., Reznikova I.K., Safatov A.S., Stepanova E.V. Estimating biogenic pollution of Novosibirsk suburbs by analyzing the snow cover, *Optika Atmosfery i Okeana*, 2001, Vol. 14, No. 6–7, p.547–550. (in Russian)
- Gossen I.N., Kulizhskiy S.P., Danilova E.B., Sokolov D.A. Appraising approach to the evaluation of soil and ecological situation of technogenic landscapes of Siberia (anthracite mines, brown coal fields), *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2016, Vol. 39, No2, p.71–81. (in Russian)
- Devyatova A.Yu., Bortnikova S.B., Sokolov D.A., Gossen I.N., Sokolova N.A. Evaluation of the influence of the Gorlovka coal deposit (Novosibirsk region) on the state of the surface layer of the atmosphere, *Khimiya v Interesakh Ustoichivogo Razvitiya*, 2019, Vol. 27, No.5, p.460–470. (in Russian) DOI: [10.15372/KhUR2019160](https://doi.org/10.15372/KhUR2019160)
- Ermolov Yu.V., Smolentsev N.B. Winter background runoff of atmospheric impurities in the southeast of Western Siberia, *Optika Atmosfery i Okeana*, 2020, Vol. 33, No.1, p.75–81. (in Russian) DOI: [10.15372/AOO20200111](https://doi.org/10.15372/AOO20200111)
- Raputa V.F., Kokovkin V.V., Morozov S.V. Experimental study and numerical analysis of the processes of distribution of snow cover pollution in the vicinity of a major highway, *Khimiya v Interesakh Ustoichivogo Razvitiya*, 2010, Vol., 18, No.1, p.63–70. (in Russian)
- Raputa V.F., Lezhenin A.A., Yaroslavtseva T.V., Devyatova A.Yu. Experimental and numerical studies of snow cover pollution in Novosibirsk in the vicinity of thermal power plants, *Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*, 2015, Vol. 12, p.77–93. (in Russian)
- Sokolov D.A., Kulizhsky S.P., Domozhakova E.A., Gossen I.N. Features of the formation of soils of technogenic landscapes in various natural and climatic zones of southern Siberia, *Tomsk State University Journal*, 2012, No. 364, p.225–229. (in Russian)
- Sokolov D.A., Kulizhsky S.P., Loiko S.V., Domozhakova E.A. The use of scanning electron microscopy for diagnostics of soil formation processes on the surface of dumps of coal mines in Siberia, *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*, 2014, Vol. 27, No.3, p.36–52. (in Russian)
- Solntseva, N.P. Rubilina N.E., Gerasimova M.I., Alistratov S.V. Changes in the morphology of leached chernozems in coal mining areas, *Pochvovedenie*, 1992, No.1, p.17–29. (in Russian)
- Choi S.-D. Time trends in the levels and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pine bark, litter, and soil after a forest fire, *Science of The Total Environment*, 2014, №470-471, P.1441–1449. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.07.100](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.100)
- Claxton L.D. The history, genotoxicity, and carcinogenicity of carbon-based fuels and their emissions. Part 2: Solid fuels, *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 2014, Vol. 762, p.108–122. DOI: [10.1016/j.mrrev.2014.07.002](https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2014.07.002)
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – A review, *Forest Ecology and Management*, 2007, Vol.242, Iss. 2-3, p.77–98. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.01.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.051)
- Feng Y., Wang J., Bai, Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review, *Earth-Science Reviews*, 2019, Vol.191, p.12–25. DOI: [10.1016/j.earscirev.2019.02.015](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015)

- Johnsen A.R., Wick L.Y., Harms H. Principles of microbial PAH-degradation in soil, *Environmental Pollution*, 2005, Vol.133, Iss.1, p.71–84. DOI: [10.1016/j.envpol.2004.04.015](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.04.015)
- Lawrence H.K. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants, *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2015, Vol.35, Iss.2-4, p.147–160. DOI: [10.1080/10406638.2014.892886](https://doi.org/10.1080/10406638.2014.892886)
- Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldmann J.-M. Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio, *Journal of Environmental Management*, 2012, Vol.100, p.52–58. DOI: [10.1016/j.jenvman.2012.01.021](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.021)
- Negley T.L., Eshleman K.N. Comparison of stormflow responses of surface-mined and forested watersheds in the Appalachian Mountains, USA, *Hydrological Processes*, 2006, Vol. 20, Iss.16, p.3467–3483. DOI: [10.1002/hyp.6148](https://doi.org/10.1002/hyp.6148)
- Querol X., Zhuang X., Font O., Izquierdo M., Alastuey A., Castro I., van Drooge B.L., Moreno T., Grimalt J.O., Elvira J., Cabañas M., Bartroli R., Hower J.C., Ayora C., Plana F., López-Soler A. Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: A review and new experimental data, *International Journal of Coal Geology*, 2011, Vol. 85, Iss. 1, p.2–22. DOI: [10.1016/j.coal.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.09.002)
- Rocha-Nicoleite E., Overbeck G.E., Müller S.C. Degradation by coal mining should be priority in restoration planning, *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017, Vol. 15, Iss.3, p.202–205. DOI: [10.1016/j.pecon.2017.05.006](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.006)
- Townsend P.A., Helters D.P., Kingdon C.C., McNeil B.E., de Beurs K.M., Eshleman K.N. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series, *Remote Sensing of Environment*, 2009, Vol. 113, Iss.1, p.62–72. DOI: [10.1016/j.rse.2008.08.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.012)
- Wei X., Wei H., Viadero Jr.R.C. Post-reclamation water quality trend in a Mid-Appalachian watershed of abandoned mine lands, *Science of The Total Environment*, 2011, No.5 (409), p.941–948. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2010.11.030](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.030)
- Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget, *Environmental Pollution*, 1995, No.88, p.91–108. DOI: [10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M)

Received 06 April 2021

Accepted 30 May 2021

Published 05 June 2021

About the authors:

Sokolov Denis A. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Usoltsev Nikolay V. – Technician in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); usoltsv97@mail.ru

Gossen Igor N. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); gossen@issa-siberia.ru

Morozov Sergey V. – Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory of Environmental Research and Chromatographical Analysis of the N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); morozov@nioch.nsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)