

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОСФОГИПСА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

*И. Н. Любимова¹, В. А. Терсин², М. А. Трошин², В. А. Горобец¹,
И. Н. Богомолова¹*

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН

² ОАО «НИУИФ»

Проведенное обследование показало, что при строительстве фосфогипсовой дороги не произошло загрязнения окружающих почв. Содержание водорастворимого F и валового Sg в почвах не превышает ПДК и предельно допустимого уровня. Имеет место увеличение концентрации контролируемых элементов в образцах с откосов дороги и на выровненной части около дороги. Содержание водорастворимого F может достигать здесь 3,36 мг/кг, а Sg – до 267 мг/кг почвы. Это связано с двумя причинами: выходом горизонтов средней части профиля почв при строительстве дороги на поверхность и возможным воздушным переносом тонких частиц фосфогипса при строительстве дороги. На расстоянии 30 м от дороги содержание F не превышает 2,3 мг/кг, Sg – 169 мг/кг почвы и достоверно не отличается от содержания этих элементов в фоновой почве.

Одной из важнейших экологических проблем является проблема снижения количества опасных для окружающей среды отходов промышленного производства. Одним из крупнотоннажных отходов является фосфогипс – побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты. Ежегодно отвалы фосфогипса пополняются на 10 млн. т и более (Кержнер и др., 2005). Возможно разноцелевое утилизирование фосфогипса. В сельском хозяйстве его можно использовать в качестве мелиоранта. Но в последние десятилетия химическая мелиорация практически не ведется. Одним из направлений утилизации фосфогипса может быть использование его в строительной отрасли, в том числе в качестве дорожно-строительного материала.

Фосфогипс содержит большое количество примесей элементов, некоторые из которых относятся к первому и второму классам опасности. Велико в фосфогипсе содержание стронция ($\approx 2\%$) и фтора. Так, содержание водорастворимого фтора достигает в фосфогипсе 0,6% (Любимова, Борисочкина, 2007). Поэтому, при использовании фосфогипса для любых целей должна быть проведена оценка его влияния на окружающую среду.

Цель настоящей работы – оценить влияние строительства дороги с использованием фосфогипса на загрязнение окружающих почв.

Экспериментальная дорога с применением фосфополуhydrата сульфата кальция (фосфогипса) построена в сентябре 2007 г. Исходные данные на ее проектирование разрабатывались специалистами кафедры инженерной геологии и геотехники МАДИ совместно с ОАО «НИУИФ», рабочий проект выполнен ОАО «СНПЦ РОСТОДРЕХ». Дорога построена в Балаковском районе (Саратовская обл.) рядом с п. Быков Отрог. Общая протяженность дороги 600 м. Она проложена к санкционированной свалке ТБО.

При строительстве дороги проведено планирование земельного полотна под основание дороги. Поверх земляного полотна укладывался и укатывался слой песка 20 см, затем слой фосфогипса 24 см, «черный щебень» и асфальт. Для предохранения земляного полотна от переувлажнения и размыва проводили засыпку обочины грунтом и перекрытие откосов насыпи растительным грунтом мощностью 15 см с засевом его травами. Таким образом, фосфогипсовое основание дороги было полностью закрыто от соприкосновения с дневной поверхностью.

Построенная дорога расположена на надпойменной террасе р. Б. Иргиз в степной зоне. Климат среднеконтинентальный. Снеговой покров маломощный и неустойчивый. Территория выровненная. Абсолютная высота над уровнем моря 28–29 м.

Почвенный покров представлен южными черноземами остаточнo-луговыми в комплексе с лугово-черноземными почвами глинистыми и тяжелосуглинистыми. Почвообразующие породы глинистые, тяжелосуглинистые карбонатные. Для общей характеристики почв обследуемой территории в 400 м от дороги Саратов–Пугачев и в километре от построенной фосфогипсовой дороги на южном остаточнo-луговом черноземе заложен опорный разрез. Индексация горизонтов и классификационное название дано по классификации 1977 г.

Строение почвенного профиля, вскрытого разрезом, следующее: А1–АВ–Вк–ВСк–С. Мощность гумусовых горизонтов 46–49 см. Граница между горизонтами АВ и Вк языковатая. Вскипание от НС1 наблюдается с глубины 31–32 см, выделения карбонатов – с 69 см, граница карбонатных новообразований диффузная. На глубине 180–190 см встречаются единичные друзы гипса. Глубже 3 м обнаружены единичные следы оглеения в виде неясных сизоватых пятен. В табл. 1 приведена общая характеристика почвы. Из приведенных данных видно, что по своим свойствам разрез типичен для южных черноземов.

При оценке влияния любого объекта на окружающую среду важны выбор элементов-маркеров и оценка их фонового содержания. При выборе элементов-маркеров в нашем случае приходилось учитывать то, что в Балаковском районе количество в почвах Cu, Cr, Ni, а на некоторых территориях и Zn, превышает их фоновое содержание, характерное для южных черноземов. Это объясняется тем, что в Балаково и вокруг него располагается

Таблица 1. Химические и физико-химические свойства образцов опорного разреза на воздушно-сухую навеску (работа выполнена в Аналитической инструментальной лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева)

Горизонт	Глубина, см	pH _{водн}	Гумус	СаСО ₃	Сумма легко-растворимых солей	Обменные основания, ммоль(+)/100 г почвы			
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
			%						
A	5-30	7,33	4,84	0,18	0,036	12,66	10,26	0,16	1,20
AB	30-45	8,05	2,58	0,89	0,063	15,43	13,32	0,24	0,25
Bк	45-63	8,38	1,96	5,48	0,073	12,66	14,99	0,33	0,17
BCк	63-95	8,32	0,93	9,39	0,118	9,30	17,88	0,77	0,14

более десяти крупных промышленных предприятий (Информация отдела экологии..., 2004). Кроме того, как уже указывалось выше, построенная дорога ведет к свалке ТБО. По литературным данным ТБО могут содержать Cd, Ag, Sn, Bi, W, Zn, Sb, Co, Cu, Mo, Hg и не содержат F и Sr (Голубев, 2007; Методические рекомендации..., 1982; Мотузова, 2000). В связи со всем вышесказанным в качестве элементов-маркеров использовали фтор и стронций. Эти элементы содержатся в фосфогипсе в количествах, позволяющих достоверно их определять. Содержание их в почве не выходит за пределы фонового для южных черноземов (Информация отдела экологии..., 2004).

Полевые работы проходили в мае–июне 2008 г. При составлении плана полевых исследований использовали «Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами» (1987) и «Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами» (1999). Всего обследовано около 2 га земель, расположенных около построенной дороги.

Для оценки возможного загрязнения окружающей территории при строительстве экспериментальной дороги на разном расстоянии с обеих сторон дороги перпендикулярно дорожному полотну заложено по 6 трансект (рис. 1). Трансекты 1–6 были длиннее (52 м), чем трансекты 7–12 (12 м). Это связано с тем, что на расстоянии 15 м от дороги находится старая свалка.

Первая точка опробования заложена на обочине дороги в 50 см от асфальтового покрытия, остальные точки располагались на расстоянии 1,8; 4,0; 7,0; 12,0; 22,0; 32,0; 52,0 м от точки 1. После строительства экспериментальной дороги свалка переместилась и на другую сторону дороги. В настоящее время она идет на расстоянии 25–30 м вдоль дороги.

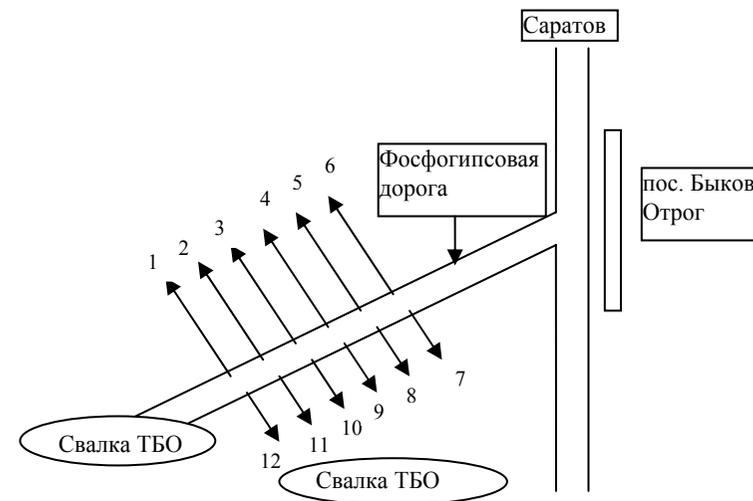


Рис. 1. Схема расположения трансект по отбору образцов. Обозначения: → — трансекта; 1–12 — номера трансект.

Осмотр территории около построенной дороги показал, что большая часть почвенного покрова вокруг нее нарушена. На расстоянии 12–32 м гумусовые горизонты почв практически полностью сняты при дорожных работах, и на поверхность вышли карбонат-содержащие горизонты, поэтому во многих местах почва вскипает с поверхности от 10% HCl. Ближе к дороге верхние горизонты почвы представляют смесь гумусовых горизонтов и горизонтов средней части профиля в разном долевом соотношении. Вдоль всей дороги на расстоянии 4–7 м проходит хорошо заметная, но не глубокая придорожная «канавка», далее идет постепенное выравнивание поверхности. На расстоянии 60–70 м к северу от дороги проходит высоковольтная линия электропередач. При ее строительстве исходный почвенный покров также нарушался. Но к настоящему времени произошло восстановление растительности с образованием хорошей дернины. Около дороги грунтовые воды залегают глубже 4–5 м.

Осмотр дороги показал, что большая часть откосов покрыта растительностью. В одном месте на откосе насыпи лежали куски фосфогипса, оставшиеся после строительства дороги. В этом месте наблюдалось выпадение растительности.

Образцы почв отбирали из слоя 0–10 см. В образцах из придорожной канавы — анализировали образцы из слоев 0–10 и 10–20 см. В образцах определяли водорастворимый фтор ионометрическим методом, валовой стронций — рентгенфлуоресцентным энергодисперсионным методом (Времен-

ные методические рекомендации, 1983; Методика НСАМ, 1990; Рентген-флуоресцентный энергодисперсионный метод, 1982). Определение водорастворимого фтора проводили в АСИЦ ВИМС, валового стронция – в ИЦ Почвенного института им. В.В. Докучаева выполнено с.н.с А.Т Савичевым. Погрешность определения соответствует нормам погрешности по категории точности III.

В качестве фоновой (контроль) использовалась территория, расположенная на расстоянии 52 м от фосфогипсовой дороги.

Для определения содержания контролируемых элементов в природных почвах проведен анализ образцов отобранных по горизонтам из опорного разреза (табл. 2). Данные анализа показали, что количество водорастворимого фтора и валового стронция увеличивается в нижних горизонтах почвы, что объясняется особенностями их геохимического поведения в почвах. Концентрация F и Sr выше в карбонат-содержащих горизонтах (Перельман, 1972). Содержание определяемых элементов не превышает по фтору ПДК¹, по стронцию – предельно допустимый уровень по В.В. Ковальскому (1974).

Соотношение между содержанием валового Са и Sr лежит в допустимых пределах, увеличиваясь с глубиной по мере увеличения содержания Са в почвах (Ковальский, 1974; Методические указания, 1987; Санитарные нормы, 1988).

Содержание водорастворимого F в образцах, отобранных на расстоянии 52 м от дороги и рассматриваемых нами в качестве фонового объекта, колеблется от 1,1 до 1,75 мг/кг почвы, а валового Sr – от 148 до 188 мг/кг (табл. 3).

Таблица 2. Содержание водорастворимого фтора и валового стронция в образцах из опорного разреза

Горизонт	Глубина, см	F	Sr	Ca:Sr
A	5-30	2,3	148	81
AB	30-49	2,3	166	123
Bк	49-69	3,3	207	233
BCк	69-95	4,7	238	370

¹ ПДК загрязняющего вещества – максимальная концентрация загрязняющего химического вещества, которая в течение длительного времени не вызывает негативных воздействий на организм человека или другого рецептора (Санитарные нормы, 1988). Для водорастворимого фтора ПДК – 10 мг/кг почвы. В том случае, если ПДК для анализируемых элементов не разработаны, используют пороговые концентрации элемента (предельно допустимый уровень содержания), отражающие оптимальное содержание элемента в почве. Для валового Sr ПДК не разработаны. Предельно допустимый уровень Sr по В.В. Ковальскому – 600 мг/кг почвы.

Таблица 3. Содержание водорастворимого фтора и валового стронция в фоновых образцах

Содержание элементов, мг/кг	n	M±Δ	Me	Mod	σ ²	σ	m
		мг/кг					
Водорастворимый фтор							
1,1; 1,1; 1,37; 1,44; 1,44; 1,75	6	1,4±0,25	1,4	–	0,04	0,2	0,1
Валовой стронций							
148, 155, 158, 159, 159, 188	6	161±14,4	158	159	190	13,79	5,6

Примечание. n – количество образцов, M – среднее арифметическое, Me – медиана, Mod – мода, σ² – дисперсия, σ – среднее квадратичное отклонение, m – ошибка среднего арифметического, Δ – доверительный интервал при P = 95%.

Данные анализов образцов отобранных около фосфогипсовой дороги представлены в табл. 4. Из этих данных видно, что в некоторых образцах с обочины и со склона дороги содержание контролируемых элементов выше допустимых уровней. Столь высокое содержание в образцах связано с тем, что в этих местах мощность грунтового покрытия над фосфогипсом не превышала 4–5 см, и при отборе образцов частички фосфогипса попали в анализируемый образец. Содержание водорастворимого F и валового Sr в остальных образцах с обочины при мощности грунтового покрытия 10–15 см не превышает допустимый уровень, но для водорастворимого F оно достоверно выше, чем на остальной обследованной территории.

Увеличение количества F и Sr отмечено в двух образцах с откоса дороги. Оно приурочено к россыпи фосфогипса на откосе, о чем говорилось выше.

Результаты сравнения достоверности различий содержания водорастворимого F и валового Sr в образцах, отобранных на разном расстоянии от дороги (с использованием непараметрической статистики, критерий Манна–Уитни), позволило разделить обследованную территорию на 4 зоны по содержанию водорастворимого F и на 3 зоны – по количеству в почвах валового Sr.

Первая зона по F, зона в которой его содержание превышает ПДК. Она находится на обочине и частично на откосе дороги. Вторая зона – незагрязненная фосфогипсом часть обочины, где количество водорастворимого фтора колеблется от 2,5 до 4,99 мг/кг. В третьей зоне его содержание варьирует от 1,7 до 3,36 мг/кг. Границу зоны условно можно провести на расстоянии 12 м от дороги. В четвертой зоне содержание водорастворимого фтора варьирует от 1,1 до 2,3 мг/кг почвы и достоверно не отличается от количества этого элемента в фоновых почвах, расположенных на расстоянии 52 м от дороги.

По содержанию валового Sr в поверхностном слое почв, как уже говорилось ранее, можно выделить 3 зоны. Первая зона – с содержанием валового Sr выше предельно допустимого уровня по В.В. Ковальскому. Эта зона

Таблица 4. Содержание воднорастворимого фтора и валового стронция в слое 0–10 см в образцах, отобранных по трансектам вдоль фосфогипсовой дороги, мг/кг

№	Расстояние от края полотна дороги, м	№ трансекты									
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	
Воднорастворимый фтор											
1	0	3,2	2,5	4,99	4,98	–	17,9	–	21,8	46,7	
2	1,8	2,6	1,68	1,87	1,75	41,6	1,75	1,9	2,5	2,9	
3	4,0	2,6	2,8	2,06	1,5	19,4	2,1	2,8	2,75	3,6	
4	7,0	2,6	3,36	1,75	2,31	2,17	2,18	2,9	2,6	3	
5	12,0	2,6	2,31	1,87	2	2,6	2,36	1,5	3,3	3,3	
6	22,0	1,7	2,54	1,69	1,8	1,7	0,77	–	–	–	
7	32,0	0,6	2,3	1,44	1,84	1,8	1,43	–	–	–	
Валовой стронций											
1	0	213	150	354	267	–	846	–	1323	8947	
2	1,8	222	161	173	185	4465	162	160	184	200	
3	4,0	196	182	171	179	727	173	176	169	204	
4	7,0	179	200	161	201	162	166	182	172	221	
5	12,0	148	155	158	159	161	154	155	165	194	
6	22,0	161	155	160	158	157	169	–	–	–	
7	32,0	226	163	155	151	160	156	–	–	–	

Примечание. Здесь и далее трансекты 8–12 с левой стороны от фосфогипсовой дороги; серым тоном выделены точки, расположенные в придорожной канавке. Прочерк – не определяли.

расположена на обочине и на части склона. Вторая зона – зона с содержанием валового Sr от 141 до 267 мг/кг и третья зона, на которой содержание варьирует от 148 до 169 мг/кг почвы. Граница между второй и третьей зонами условно проходит на расстоянии 7 м от дороги. Содержание валового Sr в образцах почв третьей зоны достоверно не отличается от его содержания в фоновых образцах почв. Условность проведения границ связана с варьированием содержания F и Sr в образцах, отобранных на одинаковом расстоянии от дороги на разных трансектах.

Более высокое содержание F и Sr в некоторых образцах на дорожном склоне и на выровненной поверхности около дороги может быть обусловлено двумя причинами. Это может быть связано с выносом на поверхность при строительстве дороги горизонтов средней части профиля (содержащих больше F и Sr по сравнению с поверхностными гумусовыми горизонтами) и неизбежным распылением фосфогипса при строительстве.

Соотношение между содержанием валовых форм Ca и Sr в ряде (образцы с обочины и склона дороги) ниже, чем в почвах фоновой территории и

в верхних горизонтах опорного разреза. Это может объяснять специфическим составом нанесенного на обочину и склоны растительного грунта, а именно малым содержанием в нем Ca (табл. 5).

Таблица 5. Отношение Ca:Sr в слое 0–10 см в образцах, отобранных по трансектам вдоль фосфогипсовой дороги

№	Расстояние от края полотна дороги, м	№ трансекты									
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	
1	0	121	95	52	107	–	34	–	29	15	
2	1,8	108	65	63	178	19	103	83	86	225	
3	4,0	102	83	66	181	39	92	89	108	254	
4	7,0	93	73	77	132	74	93	86	109	141	
5	12,0	101	67	73	90	75	79	70	208	251	
6	22,0	94	87	84	82	99	131	–	–	–	
7	32,0	157	91	70	77	92	96	–	–	–	

Для того чтобы выявить имеет ли место вымывание фтора или стронция из верхнего слоя 0–10 см в нижележащий 10–20 см за время эксплуатации дороги проанализированы образцы из слоя 10–20 см, расположенные в придорожном понижении, где почвы больше увлажняются за счет накопления снега и поступления дождевых осадков, стекающих по склонам дороги.

Эти данные представлены на рис. 2. Из них видно, что содержание воднорастворимого F и валового Sr в одних случаях выше в слое 0–10 см, чем в слое 10–20 см, а в других наоборот. Данные различий содержания определяемых элементов в слоях 0–10 и 10–20 см, обработанные с использованием критерия Манна–Уитни, оказались недостоверными.

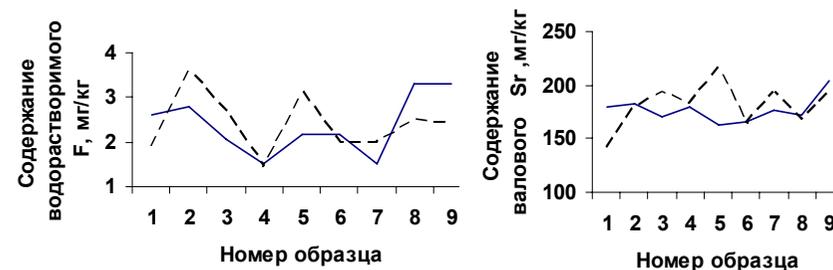


Рис. 2. Содержание воднорастворимого фтора (А) и валового стронция (Б) в слоях 0–10 (—) и 10–20 (---).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное обследование показало, что при строительстве фосфогипсовой дороги в целом не произошло достоверного загрязнения окружающей почв. Содержание водорастворимого фтора и валового стронция в почвах не превышает ПДК и предельно допустимого уровня. Имеет место незначительное увеличение концентрации контролируемых элементов образцах с откосов дороги и на выровненной части около дороги. Содержание водорастворимого фтора может достигать здесь в некоторых местах 3,36 мг/кг, а стронция – до 267 мг/кг почвы. Это связано с двумя причинами: выходом горизонтов средней части профиля почв при строительстве дороги на поверхность и возможным воздушным переносом тонких частиц фосфогипса при строительстве дороги. На расстоянии 30 м от дороги содержание фтора не превышает 2,3 мг/кг, стронция – 169 мг/кг почвы и достоверно не отличается от содержания этих элементов в фоновой почве.

Вызывает некоторое опасение обочина дороги. Содержание водорастворимого фтора и валового стронция в грунте на обочине дороги (на большей ее части) в настоящее время не превышает допустимый уровень. В то же время следует отметить, что толщина грунтового покрытия на обочине колеблется и в ряде случаев не превышает 4–5 см. При эксплуатации дороги нельзя допускать выхода фосфогипса на дневную поверхность, так как это может привести к загрязнению откосов дороги и придорожного пространства. Поэтому необходима периодическая подсыпка грунта на обочину дороги.

Определенную опасность могут представлять оставшиеся после строительства россыпи фосфогипса, под и вокруг которых концентрация загрязняющих элементов может достигать количеств, превосходящих ПДК. Последнее было подтверждено анализами образцов, отобранных около россыпи фосфогипса, оставшейся после строительства дороги на дорожном откосе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. М.: Гидрометеиздат, 1983. 129 с.

Голубев С.В. Загрязнение почв округа «Домодедово» тяжелыми металлами. Автореф. дис. ... к. б. н. М., 2007. 20 с.

Информация отдела экологии о состоянии окружающей среды на территории БМО за 2003 г. Балаково, 2004. 11 с.
http://www.balakovo.ru/full_news.php?num_news=4681

Кержнер А.М., Терсин В.А., Трошин М.А. Производственные и экологические аспекты использования фосфогипса в настоящее время // Мат-лы междунар. научно-практической конф. «Гипс, его исследование и применение». Красково, 2005. С. 51-55

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 298 с.

Любимова И.Н., Борисочкина Т.И. Влияние потенциально-опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе, на окружающую среду. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. 46 с.

Методика НСАМ № 335. Ионметрическое определение фтора в природных водах. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1990. 12 с.

Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.

Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 31 с.

Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987. 25 с.

Мотузова Г.В. Загрязнение почв и сопредельных сред. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 70 с.

Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 287 с.

Рентгенфлуоресцентный энергодисперсионный метод анализа почв в целях контроля уровня их загрязненности. М.: ВАСХНИЛ–Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. 42 с.

Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. Сан П и Н 42-128-4433-87. М.: Минздрав СССР, 1988. 24 с.

Снакин В. Экология и охрана природы. Словарь-справочник / Под ред. А.Л. Яншина. М.: Akademia, 2000. 384 с.