

УДК 550.42

## Опыт определения и разграничения зон влияния источников антропогенного замещения геологической среды

Выборов С. Г.\*

*Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина*

Поступила в редакцию 29.06.10, принята к печати 01.10.10.

### Аннотация

Рассматриваются методические вопросы определения и разграничения зон влияния антропогенных источников загрязнения. Приведен пример определения зоны влияния золоотвала Кураховской ТЭС на водную среду. Применение авторской методики позволило разграничить зоны влияния золоотвала и очага интенсивного загрязнения к северу от него. Это позволило отказаться от реализации дорогостоящего мероприятия по оборудованию бетонного заслона на пути движения фильтрационного потока от золоотвала.

Ключевые слова: источник загрязнения, зона влияния, золоотвал, геологическая среда, корреляционный анализ, геохимический спектр.

В процессе проведения работ по мониторингу или при оценке воздействий каких-либо источников загрязнения почво-грунтов, поверхностных и подземных вод всегда возникает необходимость определения границы ореола загрязнения или разграничения зоны влияния исследуемых антропогенных объектов. В большинстве случаев данная задача решается с использованием методик оценки степени опасности загрязнения почво-грунтов, поверхностных и подземных вод. Для этого строятся специальные монокомпонентные или поликомпонентные карты, на которых выделяются ореолы загрязнения и по их внешнему контуру отбивается зона влияния, определяются масштабы, динамика загрязнения и делаются необходимые выводы. Однако на практике возникают гораздо более сложные ситуации, когда таким способом нельзя определить даже, связан ли выделенный аномальный ореол с источником загрязнения. Например, если большая часть аномалий значительно смещена относительно источника, или территория подвержена загрязнению со стороны двух и более источников и ореолы накладываются один на другой. В этих случаях определение зоны влияния конкретного источника весьма затруднено, а если не установлен источник, то нельзя определить степень и масштабы загрязнения с его стороны. Вся оценка параметров загрязнения при этом сводится к изучению существующего состояния почв, поверхностных и подземных вод в пределах зон влияния источников загрязнения без привязки аномальных ореолов к конкретному источнику, или эта привязка осуществляется по косвенным признакам (пространственной приуроченности, механизму предполагаемого загрязнения, ландшафтно-геохимическим условиям). Недостоверные сведения о связи установленного ореола загрязнения с конкретным источником, может привести к разработке ненужных мероприятий по ликвидации или минимизации выявленного негативного воздействия. Это неэффективно растроченные средства.

Все вышесказанное определяет актуальность разработки и применения методик, способных на достоверной основе объективно определять и разграничивать зоны влияния источников загрязнения геологической среды. Важнейшая экологическая задача до настоящего времени не решена. Поэтому утвержденных общепринятых методических рекомендаций по

---

\* Для переписки: wsggeoeo@yandex.ru

определению и разграничению зон влияния источников загрязнения на данный момент не существует.

Предлагаемая автором методика опробована при выполнении различных работ по оценке воздействий и мониторингу компонентов ГС в зонах влияния разнообразных региональных и локальных источников загрязнения (дымовые выбросы ТЭС, городские территории, терриконы, золоотвалы, полигоны промышленных и бытовых отходов, шламонакопители и т.д.). Практически во всех случаях удавалось определить и разграничить зоны влияния источников загрязнения, идентифицировать пространственно разобщенные и удаленные от источника аномальные ореолы.

Задача по определению и разграничению зон влияния антропогенных источников загрязнения компонентов ГС решается на основе картирования комплексных ореолов загрязнения. На практике они выделяются различными способами. Для почво-грунтов успешно применяется суммарные показатели  $Z_c$  и СПК [1, 2], для водной среды можно использовать показатель СПК [3]. Задачу по определению эпицентров загрязнения, изучению пространственной приуроченности и концентрационной зональности они решают достаточно успешно.

Предлагаемая методика базируется на закономерности, проявляемой в том, что любые аномальные ореолы, сформированные под действием природных или антропогенных факторов, имеют закономерное внутреннее строение, которое обязано вполне определенной направленности процессов дифференциации вещества ГС, формирующих аномалии.

Взаимодействие природных и антропогенных факторов определяет условия миграции и локализации вредных веществ в компонентах ГС, то есть условия формирования аномальных ореолов. Закономерности проявления этих взаимодействий устанавливаются при изучении аномалий в виде:

- вполне определенной дифференциации элементов и веществ вокруг источника загрязнения;
- типичного набора главных, второстепенных, инертных и деконцентрирующихся элементов;
- определенных пространственных и временных соотношений с источником загрязнения в соответствии с ландшафтно-геохимическими условиями;
- типичной концентрационной зональности, устанавливаемой как для моноэлементных, так и для полиэлементных ореолов;
- определенной ассоциативной зональности, обусловленной закономерной дифференциацией элементов по отношению к источнику.

Проявленность всех этих признаков необходимо учитывать при определении границ зон влияния источников загрязнения. Однако наиболее информативным признаком в этом отношении является характер ассоциативной зональности ореолов загрязнения. Она определяется тем, что в центральных зонах ореолов концентрируется вполне определенная группа главных элементов, а на периферии их концентрации снижаются, и наблюдается рост содержаний не типичных для эпицентров аномалий элементов. Таким образом, набор индикаторных элементов, их концентрации от центра аномальных ореолов к периферии закономерно меняются. Причем одинаковые закономерности поведения элементов характерны для однородных или генетически близких источников загрязнения и являются своеобразным паспортом, по которому можно идентифицировать объекты воздействия. Разнородные, по характеру производства или бытовой деятельности, источники различаются типом ассоциативной зональности. Поэтому для идентификации источника загрязнения и определения зоны его влияния необходимо изучить закономерности внутреннего строения аномальных ореолов и определить характер ассоциативной зональности. Для этого предлагается осуществить следующие расчеты и построения:

1. Сформировать выборку из проб, в которых установлен максимальный уровень загрязнения при существующей степени изученности, например, выше умеренно-опасной степени для почв или высокой для воды. Нижний предел уровня загрязнения устанавливается, исходя из результатов исследований. В выборку должны попасть пробы, характеризующие эпицентры загрязнения.
2. Рассчитать коэффициенты корреляции между геохимическими спектрами проб выборки, выраженными через коэффициенты концентрации.
3. Выделить пробы, между геохимическими спектрами которых установлена значимая положительная корреляционная связь с уровнем достоверности  $\alpha \geq 0,05$  и сформировать из них однородную выборку.

4. Рассчитать средние значения коэффициентов концентрации элементов для однородной выборки. Полученные средние значения будут характеризовать среднестатистические геохимические параметры эпицентров аномальных зон и будут отражать их геохимический спектр.
5. Рассчитать коэффициенты корреляции между полученными среднестатистическими геохимическими параметрами эпицентров аномалии и геохимическими параметрами (коэффициентами концентрации элементов) всех остальных проб, включая пробы однородной выборки.
6. Полученные коэффициенты корреляции (R) ранжировать по силе и характеру связи с учетом критических значений R для уровней достоверности:  $\alpha \geq 0,001$ ;  $\alpha \geq 0,01$ ;  $\alpha \geq 0,05$ ;  $\alpha \geq 0,10$ . При этом для удобства допускается ранжирование проб в соответствии с градацией R:  $\geq 0,901$ ; от 0,801 до 0,900; от 0,701 до 0,800; от 0,601 до 0,700 и т.д.
7. Вынести полученные значения коэффициентов корреляции на карту и с учетом предварительной группировки проб по силе и характеру связи откартировать соответствующие зоны ореола влияния.
8. По характеру установленной зональности определить границы зоны влияния исследуемого источника загрязнения и выделить аномальные пробы, в которых отмечается нетипичный данному источнику загрязнения спектр (ассоциация) элементов.

Существует некоторая трудность исследования ореолов загрязнения в водной среде, что обусловлено отсутствием надежно рассчитанных фоновых концентраций природных вод [4]. В этой связи расчеты на основе коэффициентов концентрации в данном случае не возможны. Поэтому при определении зон влияния на подземные и поверхностные воды допускается использование концентраций при условии, что в расчеты вовлекаются лишь микроэлементы, концентрация которых в естественных условиях не превышает  $10 \text{ мг/дм}^3$ .

Такого рода исследования необходимы и наиболее эффективны в сложных экологических ситуациях, когда на одной территории сосредоточены более одного источника воздействия и их зоны влияния сопряжены в пространстве.

Наиболее ярким примером подобного рода может служить территория зоны влияния зооотвала Кураховской ТЭС в балке Сухая, который располагается на расстоянии 6 км к югу от промплощадки Кураховской ТЭС. В плане зооотвал имеет форму прямоугольника, вытянутого вдоль балки Сухая с востока на запад, и примыкает к ее правому склону. Он служит для размещения золошлаков, образующихся при сжигании угля в котлах Кураховской ТЭС. Золошлаковая пульпа подается на зооотвал по системе гидрозолоудаления. Осветленная вода дренируется в специально оборудованный к западу от зооотвала пруд и насосной станцией возвращается на промплощадку ТЭС для повторного цикла гидрозолоудаления. Золошлаки практически по всей площади отвала обводнены.

Балка Сухая не имеет постоянного водотока выше зооотвала к востоку от него. Глубина залегания грунтовых вод в этой части днища балки в летнюю межень составляет более 10 м. К западу от зооотвала за счет фильтрационных потерь с его стороны и со стороны пруда осветленной воды существует постоянный водоток, впадающий в р. Сухие Ялы на расстоянии около 7 км объекта исследования.

Длительная эксплуатация зооотвала, его постоянное наращивание вверх привели к формированию локально проявленного купола растекания техногенных вод. При этом существует общее направление движения подземных вод с юга территории к зооотвалу и далее от него на север к Кураховскому водохранилищу и р. Волчья. Узкой полосой фильтрационный поток со стороны зооотвала направлен к западу от него вдоль балки Сухая. В зоне влияния зооотвала для контроля гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод в 2003 г. была оборудована локальная сеть наблюдательных скважин. Вокруг зооотвала расположены сельхозугодия, в пределах которых активно ведутся оросительные и агрохимические работы. Мониторинг негативного влияния этой деятельности не осуществляется.

На протяжении всего периода регулярных наблюдений, начиная с 2003 г., в зоне влияния зооотвала в 200 м к северу от него в наблюдательной скважине 3 постоянно отмечалось чрезвычайно-высокое загрязнение вод, распространяемое в северном направлении на расстояние более 1,5 км. Все это время в качестве единственного источника загрязнения подземных вод рассматривался зооотвал Кураховской ТЭС. Поэтому для исключения его влияния на грунтовые воды прилегающих сельхозугодий предполагалась в качестве наиболее эффективного мероприятия организация бетонного заслона на пути фильтрационного потока со стороны зооотвала по типу стены в грунте. Предварительная стоимость данных работ оценивалась в десятки млн. грн.

Разобраться в существующей ситуации позволили детальные специализированные исследования, проведенные летом 2009 г., на основе построения модели ассоциативной гидрогеохимической зональности подземных вод.

В результате изысканий было установлено, что плейстоценовый и неогеновый горизонты подземных вод имеют между собой прямую гидравлическую связь, подпитываются за счет вод техногенного горизонта золоотвала, и их первичный состав не влияет на сформировавшуюся антропогенную гидрогеохимическую зональность.

В пределах исследуемой территории отчетливо выделяется очаг загрязнения, расположенный к северу от золоотвала (рис. 1). Здесь устанавливается высокая минерализация (более 20 г/дм<sup>3</sup>) и хлоридно-натриевый состав вод, кислая реакция водной среды с рН 4,1. В эпицентре загрязнения установлено превышение ПДК для железа, марганца, никеля, ванадия, кадмия, ртути и других компонентов. В стороны от эпицентра происходит закономерная смена гидрохимического состава вод через сульфатно-хлоридный, хлоридно-сульфатный к сульфатному и гидрокарбонатно-сульфатному. По мере удаления от эпицентра возрастает роль кальция, наблюдается снижение уровня минерализации и общего загрязнения, воды приобретают нейтральную реакцию (рН около 7,5).

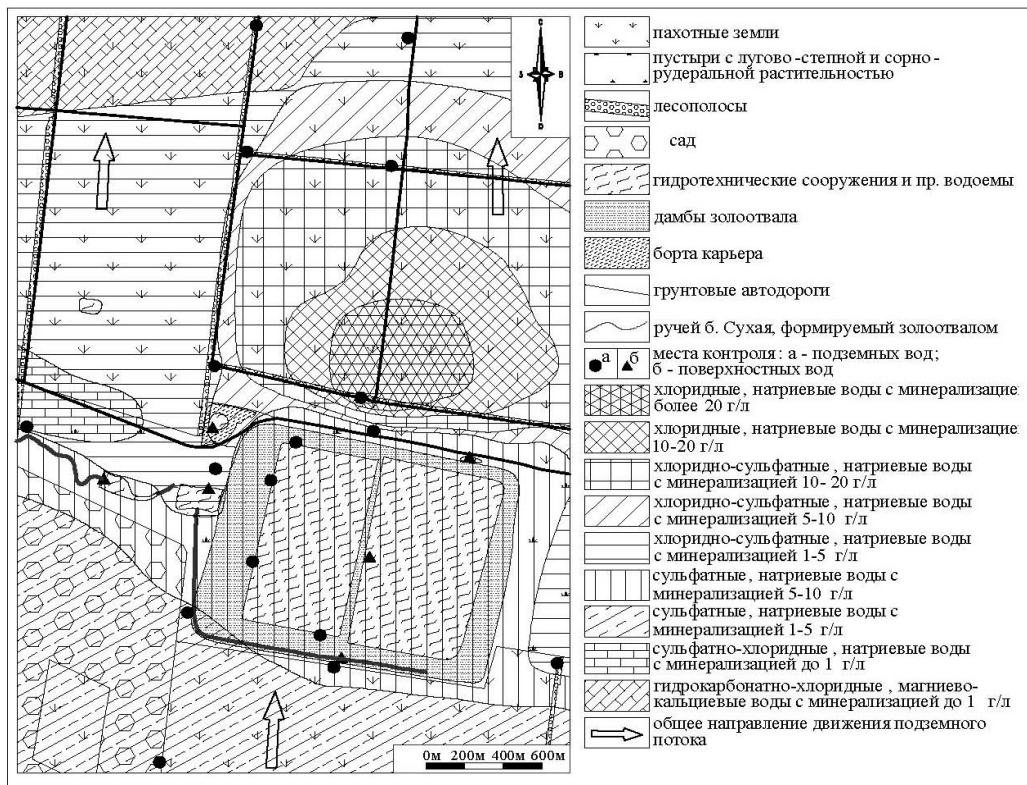


Рис. 1. Карта гидрохимической зональности района золоотвала Кураховской ТЭС в б. Сухая

В то же время зольные воды фильтрационного потока со стороны золоотвала имеют относительно низкую минерализацию до 4 г/дм<sup>3</sup>, соответствующую фоновому составу Кураховского водохранилища, сульфатный, кальциево-натриевый состав и слабощелочную реакцию (рН 8–8,5). Купол растекания техногенных вод в северном направлении позволил отследить изменение их состава по мере приближения фильтрационного потока к установленному очагу загрязнения. Были выделены воды промежуточного состава и установлено наложение более чистых техногенных фильтрационных вод золоотвала на очаг загрязнения. Уже на этом этапе исследования было установлено отсутствие связи зольных вод золоотвала и хлоридно-натриевых вод очага загрязнения, что давало основание отказаться от проектирования и строительства бетонного заслона.

Окончательно зона влияния золоотвала была определена и отделена от интенсивного ореола загрязнения в процессе изучения ассоциативной гидрогеохимической зональности на основе корреляционного анализа (табл. 1).

Табл. 1. Сопоставление геохимических спектров проб ореола распространения золных вод и очага загрязнения к северу от золотвала на основе коэффициента корреляции (R), граничное значение R при уровне значимости 0,05 равно 0,468

№ пробы	Mn	Fe	Cd	Pb	As	Hg	V	Zn	Ni	Cr	Ag	Co	B	Mo	Li	Cu	R, пр.3	R, скв.3
Пр 1	0,01	1,3	0,001	0,0087	0,08	0,000276	0,039	0,020	0,039	0,059	0,004	0,010	0,079	0,003	0,059	0,020	0,311	0,899
Пр 2	0,012	0,05	0,0019	0,0005	0,01	0,000286	0,036	0,018	0,054	0,036	0,004	0,009	0,071	0,005	0,054	0,018	0,642	0,242
Пр 3	0,033	0,05	0,0009	0,012	0,08	0,000277	0,026	0,018	0,037	0,055	0,004	0,009	0,055	0,003	0,055	0,018	1,000	0,239
Пр 4	0,03	0,05	0,0023	0,012	0,06	0,000379	0,038	0,019	0,038	0,057	0,006	0,009	0,057	0,003	0,076	0,019	0,947	0,211
Пр 5	0,0005	0,05	0,0013	0,002	0,003	0,000526	0,058	0,029	0,058	0,058	0,006	0,015	0,088	0,006	0,117	0,029	0,558	0,024
Скв 1	0,85	0,6	0,001	0,002	0,0005	0,000211	0,018	0,018	0,035	0,053	0,004	0,009	0,035	0,002	0,035	0,011	0,241	0,838
Скв 3	60,4	135,1	0,004	0,01	0,0005	0,001471	0,172	0,123	0,245	0,245	0,025	0,061	0,368	0,012	0,245	0,123	0,239	1,000
Скв 4	11	147,1	0,0028	0,037	0,0005	0,001026	0,072	0,051	0,154	0,103	0,010	0,026	0,103	0,005	0,103	0,051	0,237	0,937
Скв 6	0,06	2,5	0,0014	0,0036	0,0005	0,000584	0,039	0,019	0,039	0,058	0,004	0,010	0,078	0,003	0,039	0,027	0,253	0,914
Скв 7	13,8	150,1	0,0025	0,0085	0,0005	0,000415	0,042	0,021	0,042	0,042	0,004	0,010	0,062	0,002	0,042	0,012	0,237	0,943
Скв 9	0,1	1,3	0,0013	0,004	0,0005	0,000029	0,003	0,001	0,003	0,006	0,0004	0,001	0,004	0,000	0,003	0,003	0,239	0,938
Скв 10	0,05	0,1	0,001	0,0005	0,0005	0,000070	0,006	0,004	0,012	0,012	0,001	0,002	0,017	0,000	0,008	0,008	0,337	0,981
Скв 12	0,0005	0,7	0,0018	0,014	0,0005	0,000419	0,056	0,028	0,056	0,056	0,006	0,014	0,084	0,004	0,056	0,028	0,305	0,881
Гс-2	0,0005	0,1	0,0005	0,0005	0,0005	0,000435	0,048	0,024	0,048	0,048	0,005	0,012	0,073	0,003	0,048	0,024	0,532	0,498
Гс-3	0,1	0,2	0,0014	0,0059	0,0005	0,000429	0,043	0,021	0,064	0,043	0,006	0,011	0,064	0,003	0,064	0,043	0,445	0,887
Скв 11	18,76	219,2	0,0032	0,0064	0,0005	0,000934	0,057	0,018	0,03	0,024	0,001	0,02	0,095	0,004	0,094	0,053	0,237	0,941

Примечание:

- пробы ореола распространения золных вод золотвала, контролируемого пробой 3;

- пробы очага загрязнения, выявленного к северу от золотвала и контролируемого наблюдательной скв.3

Для упрощения схемы расчетов корреляционный анализ был осуществлен относительно двух очевидных зон влияния – золоотвала и очага загрязнения к северу от него. Ореол распространения зольных вод контролируется пробой 3, отобранной из чаши золоотвала, а очаг загрязнения пробой из наблюдательной скважины 3. Корреляционный анализ позволяет сопоставить геохимические спектры микроэлементов в пробах, отобранных в непосредственной зоне влияния золоотвала и оценить их изменения по мере продвижения фильтрационного потока в стороны от него (рис. 2).

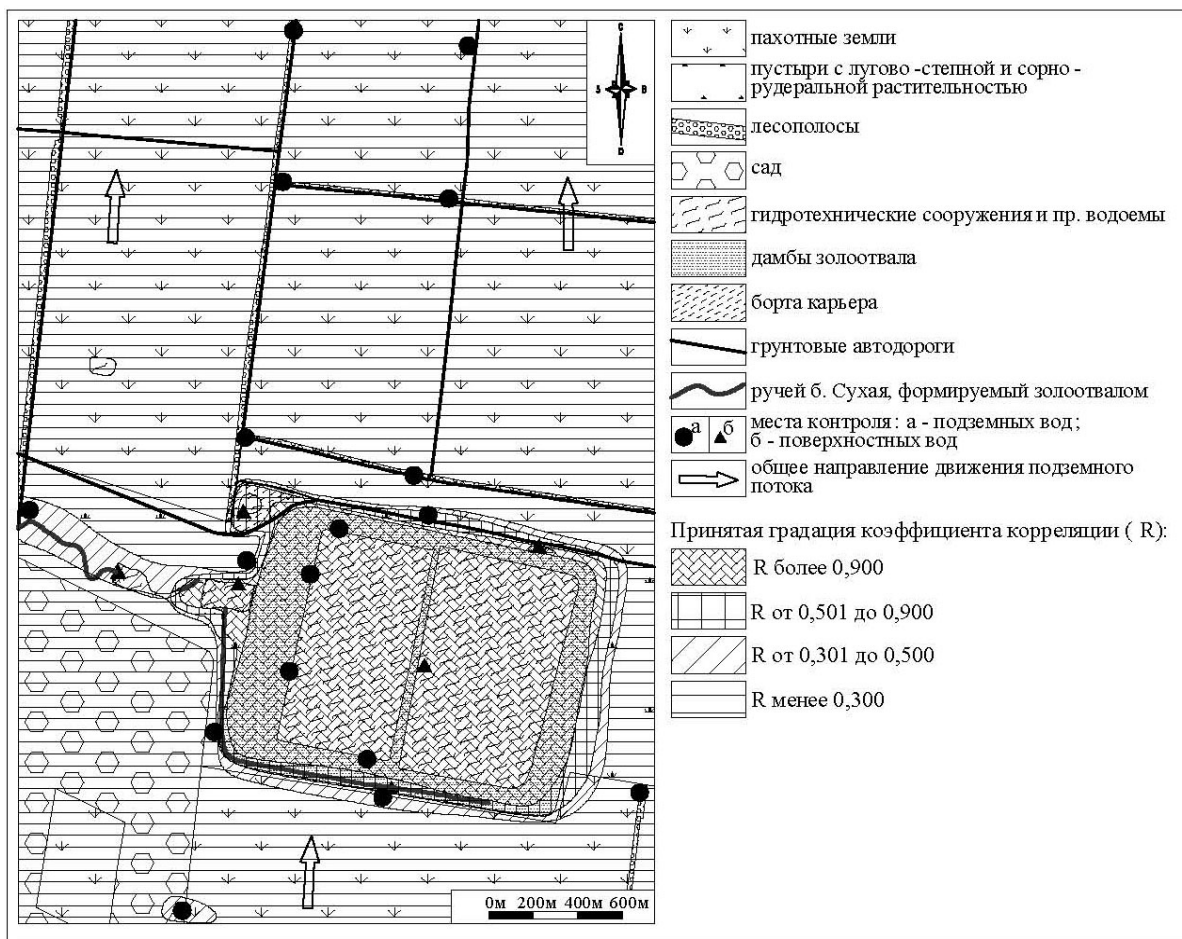


Рис. 2. Карта микроэлементной ассоциативной зональности вод в связи с золоотвалом на основе корреляционного анализа. Граничные значения коэффициента корреляции (R) по уровням значимости  $\alpha$  для  $n=16$ :  $R_{\alpha=0,10}=0,400$ ;  $R_{\alpha=0,05}=0,468$ ;  $R_{\alpha=0,01}=0,589$ ;  $R_{\alpha=0,001}=0,708$

Картирование ореола ассоциативной геохимической зональности позволило установить закономерное изменение спектра элементов по мере удаления от золоотвала. В гидрогеологических скважинах Гс-2 и Гс-3, пробуренных к северу и к югу от золоотвала, соответственно, на предполагаемой границе купола растекания зольных вод, устанавливается высокая корреляционная связь между геохимическими спектрами микроэлементов грунтовых и зольных вод. Однако сила связи здесь уже существенно снижается и в Гс-3 не достигает граничного значения для уровня достоверности 0,05.

В пробах, удаленных от борта золоотвала на расстояние более 200м значимых связей с зольными водами не отмечается. Вместе с этим в них устанавливается высокая корреляционная связь с геохимическим спектром очага загрязнения, расположенного к северу от борта золоотвала (табл. 1). Все эти пробы отобраны из скважин расположенных практически на сельскохозяйственных полях. Поэтому был сделан вывод о связи очага загрязнения грунтовых вод и ореола, сформированного вокруг него, с применением на полях химикатов, имеющих вполне

определенные физико-химические показатели и геохимический спектр, характеризующийся высокими концентрациями хлоридов, натрия и микроэлементов. В скважине 3 отмечаются аномально высокие концентрации практически для всех проанализированных микроэлементов.

В результате проведенных расчетов и построения карты ассоциативной зональности однозначно доказывается разнородность данных вод по ассоциации микроэлементов, что совместно с другими характеристиками гидрогеохимической зональности позволило определить отсутствие связи очага интенсивного загрязнения с золоотвалом. На фоне вод прилегающей к золоотвалу территории сельхозугодий корреляционным анализом отчетливо устанавливается зона его влияния. Она наиболее проявлена в пределах купола растекания зольных вод, распространяется на расстояние до 100–200 м от борта золоотвала. Лишь вдоль ручья отмечается локальное расширение зоны влияния на расстояние до 500 м.

Грунтовые воды в пределах территорий сельхозугодий независимо от уровня минерализации и общего загрязнения имеют близкий микроэлементный состав. Выделяемая ассоциация микроэлементов, типичных для эпицентра, распространены на значительных площадях. Столь интенсивное и достаточно однотипное по геохимическому спектру загрязнение может быть обусловлено обработкой пахотных земель химикатами. Очаг загрязнения к северу от золоотвала связан с участком приготовления химических препаратов к использованию. В настоящее время он не действует, остались полуразрушенные сооружения. Однако сформированный солевой ореол в грунтах зоны аэрации и водовмещающих породах, насыщенный макро- и микроэлементами сохраняет свое влияние, которое распространилось по направлению подземного потока на несколько км на север.

Проведенные исследования убедительно доказали отсутствие связи очага загрязнения с деятельностью золоотвала Кураховской ТЭС, что позволило отказаться от реализации дорогостоящего и в данном случае лишнего природоохранного мероприятия.

### Бібліографічний список

1. РК 41-00032626-00-314-98. Эколого-геохимическая оценка загрязнения почв, донных отложений, грунтовых вод. Методические рекомендации. – К., 1998. – 32 с.
2. Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геологоразведочных работах (для условий Украины). – К., 1990. – 87 с.
3. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. № 4630 – 88. – М., 1988. – 68 с.
4. Шварцев С. Л., Пиннекер Е. В., Перельман А. И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. – Новосибирск: Наука, 1982. – 287 с.

© *Выборов С. Г.*, 2011.

### Анотація

Розглядаються методичні питання визначення і розмежування зон впливу антропогенних джерел забруднення. Наведено приклад визначення зони впливу золовідвалу Курахівської ТЕС на водне середовище. Застосування авторської методики дозволило розмежувати зони впливу золовідвалу і ореола інтенсивного забруднення на північ від нього. Це дозволило відмовитися від реалізації дорогого заходу з обладнання бетонного заслону на шляху руху фільтраційного потоку від золовідвалу.

Ключові слова: джерело забруднення, зона впливу, золовідвал, геологічне середовище, кореляційний аналіз, геохімічний спектр

### Abstract

We consider the methodological issues of definition and delimitation of areas of influence of anthropogenic sources of pollution. An example of determining the zone of influence of ash dump Kurakhovskaya TPP in the aquatic environment. Application authoring techniques allowed to distinguish zones of influence of ash dump and the focus of intense pollution to the north of it. This has allowed to abandon the costly equipment concrete shields in the path of seepage flow from the ash dump.

Keywords: pollution source, the zone of influence, ash dump, the geological environment, correlation analysis, geochemical spectrum.