

## Использование метода стабильных изотопов легких элементов в изучении природной среды

Н.П.ГАНГНУС, Ю.В.ВИЛЕНКИНА, Е.Ю.САВУШКИНА (ЦНИГРИ)

Как известно, нарушения окружающей среды, провоцируемые разведкой, добычей и переработкой минерального сырья, все чаще приобретают крайне опасный или катастрофический характер. Формирующиеся в горнорудных районах зоны загрязнения чрезвычайно устойчивы, а их негативное воздействие на экологическую ситуацию сказывается долгие годы даже после прекращения производственной деятельности. Вот почему для оценки и предотвращения негативных экологических последствий, контроля за условиями недропользования и опережающего прогноза развития экогеохимической ситуации очень важно постоянное развитие и совершенствование геохимических методов и подходов. Многолетние геоэкологические исследования специалистов ЦНИГРИ на объектах горнорудного промышленного комплекса, занимающего особое место в системе взаимодействия человека и природы, показали, что в решении проблем загрязнения экосистем различного уровня изотопная геохимия может занять одно из ведущих мест. Одно из направлений развития изотопной геохимии — метод стабильных изотопов легких элементов, возможности которого достаточно полно раскрыты в работах отечественных и зарубежных исследователей [1—5, 7, 9, 10].

Вариации соотношений стабильных изотопов химических элементов используются для идентификации мест локализации как природных, так и техногенных образований [8], обнаружения источников и масштабов загрязнения окружающей среды, выявления путей миграции загрязняющих веществ в различных компонентах экосистемы. С помощью стабильных изотопов оценивается региональная принадлежность и вклад отдельных источников в общую загрязненность атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод [11]. Появилась реальная возможность корректно решать вопрос вклада конкретного предприятия в загрязнение окружающей среды на территориях с множеством источников загрязнения. Изотопные параметры — важный элемент методологии идентификации генетической природы геохимических и гидрогеохимических аномалий. Картина распределения стабильных изотопов в основных компонентах окружающей среды является важнейшей компонентой «вектора состояния» геоэкологических систем. Детальная изученность свойств стабильных изотопов и значительные вариации изотопного состава в природных и техногенных объектах позволяют решать ряд задач не доступных при «классическом» геохимическом подходе.

Высокая информативность изотопных методов обусловлена тем, что каждому типу природных соединений присущ свой собственный изотопный состав, позволяющий с высокой степенью достоверности идентифицировать привнос в изучаемые компоненты экосистемы «чужеродных» (загрязняющих) веществ, приводящих к измене-

нию природного изотопного равновесия вследствие эффекта изотопного «разбавления». Такие вещества могут быть непосредственно связаны с минеральным составом руд, подстилающих пород, продуктами той или иной производственной и хозяйственной деятельности, в большинстве случаев отличающихся по изотопному составу от естественных аналогов и природных компонентов экосистемы (почвы, воды, донные отложения и др.). Следовательно, чем сильнее изотопное отличие привнесенных техногенных соединений от исходных, присущих данной экосистеме, тем большие отклонения будут фиксироваться в зонах загрязнения. Кроме того, использование метода стабильных изотопов дает возможность работать не только в зонах интенсивного техногенного прессинга, но и в передовой зоне техногенного ореола, где негативные процессы проявляются в форме косвенных и отдаленных экологических последствий. Выявленные нарушения природных изотопных равновесий служат наиболее чувствительным индикатором ранних стадий техногенного воздействия, а характерный спектр и направленность изменения изотопных показателей указывают на вероятный источник загрязнения. Современное состояние изученности закономерностей поведения стабильных изотопов в различных условиях, высокая точность измерения изотопного состава с помощью современных масс-спектрометров, а также абсолютная экологическая «чистота» метода — главные факторы, определяющие успех метода геохимии стабильных изотопов в геоэкологии.

Решение проблемы надежной идентификации природы геохимических аномалий — неотъемлемая часть комплексной оценки современного состояния окружающей среды, так как позволяет достоверно оценить уровень экологической опасности территории, исключив из перечня те фрагменты почвенного покрова, которые, несмотря на многократное превышение нормативных показателей, могут быть отнесены к «природным» аномалиям. От объективного прогноза развития изменений в экосистемах, происходящих вследствие воздействия техногенных факторов, существенно зависит разработка комплекса инженерно-технических мероприятий по снижению отрицательного воздействия горнодобывающих и перерабатывающих производств и других промышленных агломераций, а также по защите, восстановлению и сохранению качества всех компонентов экосистемы на безопасном для человека уровне. Поэтому, в качестве примера приведем результаты использования метода стабильных изотопов углерода и серы при решении для объектов недропользования задач актуальных на сегодняшний день.

Так, для получения надежной информации об источниках, а, следовательно, и природе выявленных на территории Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) геохимических аномалий, в качестве основного

критерия использовали изотопный состав углерода  $^{13}\text{C}$  карбонатов. Анализ полученных данных (рис. 1, табл. 1) показал, что с точки зрения геохимии изотопов данный полигон можно рассматривать как зону смешения карбонатного вещества двух, контрастно различающихся по  $^{13}\text{C}$ , источников: 1) карбоната почв, сформировавшихся в естественных условиях при участии углекислоты органического происхождения ( $^{13}\text{C}$  29,2‰); 2) карбоната, входящего в состав руд эксплуатируемого месторождения ( $^{13}\text{C}$  7‰, типичный практически для всех эндогенных месторождений золота).

В случае поступления в экосистему карбонатного или сульфатного вещества из двух доминирующих источников основной тренд изменения параметров изотопного состава можно легко установить по расчетной линии двухкомпонентного смешения, с помощью которой можно оценить привнос в почву, донные отложения, природные воды, атмосферу того или иного загрязняющего вещества. При этом прямая зависимость между изотопным составом и концентрацией карбонатного или сульфатного вещества — основание для использования величины  $^{13}\text{C}$  и (или)  $^{34}\text{S}$  с целью выявления степени (доли) техногенного загрязнения отдельных компонентов исследуемой экосистемы, рассчитываемой по уравнению линии двухкомпонентного смешения:

$$^{13}\text{C}_{\text{пробы}} (X \ ^{13}\text{C}_{\text{з.в.}}) [(1 - X) \ ^{13}\text{C}_{\text{фон}}]; \quad (1)$$

$$^{34}\text{S}_{\text{пробы}} (X \ ^{34}\text{S}_{\text{з.в.}}) [(1 - X) \ ^{34}\text{S}_{\text{фон}}], \quad (2)$$

где  $X$  — доля загрязняющего вещества.

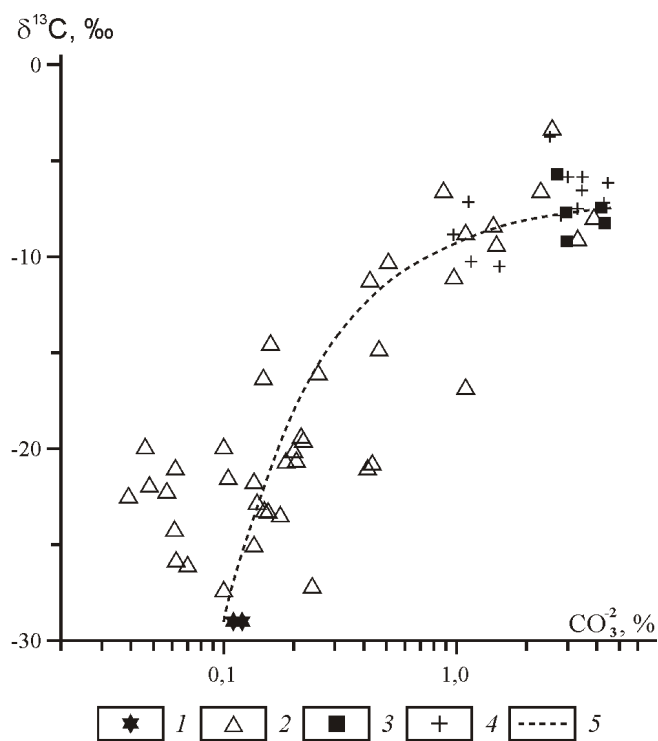


Рис. 1. Зависимость изотопного состава от концентрации карбонатного углерода на Березовском полигоне:

1 — фоновые почвы; 2 — почвы полигона; 3 — хвосты обогащения; 4 — донные осадки; 5 — расчетная линия двухкомпонентного смешения

По изотопным данным, полученным на Березовском полигоне (см. рис. 2, табл. 1) прежде всего, была проведена оценка интенсивности техногенного загрязнения почвы рудой и продуктами ее технологической переработки на всей исследуемой территории. В результате было установлено, что, например, в зоне интенсивного воздействия отстойников и хвостохранилища отобранные образцы почв (см. табл. 1) таковыми не являются, так как практически полностью представлены продуктами технологической переработки золотосодержащих руд.

Выявленные нарушения природного изотопного равновесия углерода почвенных карбонатов и их содержание (рис. 3, табл. 2) на участках расположения геохимических аномалий, в центральной части полигона (аномалия I —  $^{13}\text{C}_{\text{ср}}$  12,7‰) и расположенной к востоку от производственных площадей (аномалия II —  $^{13}\text{C}_{\text{ср}}$  9,4‰), позволило сделать вывод об их техногенной природе, а в качестве источников загрязнения зафиксировать рудные отвалы и хвосты обогащения.

Изотопный состав почвенных карбонатов ( $^{13}\text{C}_{\text{ср}}$  28,3 и 27,9‰, соответственно) на территории аномалий, локализованных в восточной части полигона (аномалии IV и V), близкий естественному уровню, указал на природный источник их формирования — вмещающие оруденение ультраосновные породы (см. рис. 3, табл. 2).

Заключение о техногенной природе геохимической аномалии на юго-западе полигона (аномалия III), ранее сделанное по «традиционному» набору геохимических показателей, было опровергнуто. Согласно  $^{13}\text{C}$  почвенных карбонатов (28,0‰), главная роль в их образовании принадлежит углекислоте органического происхождения, т.е. почвы формируются в естественных условиях, а источником повышенных концентраций химических элементов являются главным образом подстилающие породы, принимающие участие в формировании почв (см. рис. 3, табл. 2).

На юго-востоке полигона аномалия VI, локализованная по элементному составу, идентифицируется как природно-техногенная, потому что почвы на этом участке обогащены и рудными элементами, и элементами, характерными для ультраосновных пород. Однако изотопный состав ( $^{13}\text{C}_{\text{ср}}$  10,4‰) и содержание почвенных карбонатов свидетельствуют о накоплении в верхнем слое почвы не свойственных ей химических элементов за счет техногенных факторов. Нарушение природного изотопного равновесия на данном участке, наиболее вероятно, что является результатом добычных работ, стихийно проводимых в недалеком прошлом.

На территории Воскресенского района (Московская область), где расположено множество предприятий различных отраслей промышленности, в т.ч. горнодобывающего и перерабатывающего комплексов, достоверная оценка экологической ситуации только по геохимическому спектру и концентрациям химических элементов оказалась наиболее затруднительной. Близость элементного состава загрязняющих веществ, территориальное наложение геохимических аномалий (рис. 4) не позволили в должной мере оценить вклад каждого конкретного предприятия в загрязнение отдельных компонентов экосистемы и окружающей среды в целом. Необходимая информация была получена только по изотопным данным. Контрастность изотопных параметров серы и углерода в потенциальных источниках загрязнения (добываемое и привозное сырье,

**1. Изменение изотопно-геохимических параметров углерода карбонатов почв, отобранных на Березовском полигоне, по сезонам**

Станции	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , %		<sup>13</sup> C, ‰		Доля рудного карбоната, %	
	1	2	1	2	1	2
<i>Оконтуривающие станции</i>						
Б-1	0,310	0,090	28,9	29,2	1,3	0
Б-6	0,600	0,250	10,4	11,9	84,7	77,9
Б-7	0,150	0,050	19,2	20,5	45,0	39,2
Б-8	0,170	0,200	20,3	20,9	40,1	37,4
Б-9	0,320	0,120	22,3	16,7	31,1	56,0
Б-10	0,220	0,050	28,4	27,8	3,6	6,3
Б-15	0,170	0,100	20,4	22,9	39,6	28,4
Б-31	0,300	0,130	19,8	18,8	42,3	46,8
Б-32	0,290	0,190	26,3	27,9	13,1	5,8
Б-33	0,200	0,110	24,3	22,1	22,1	32,0
Б-35	0,084	0,040	27,2	27,7	9,0	6,7
Б-50	0,190	0,088	27,7	27,8	6,7	6,3
<i>Территория шахты</i>						
Б-23	0,160	0,190	19,7	27,1	42,8	9,5
Б-24	0,057	0,057	28,3	28,5	4,0	5,4
Б-25	0,052	0,026	27,5	28,3	7,6	4,0
Б-26	0,120	0,089	28,6	28,3	2,7	4,0
Б-27	0,063	0,060	22,9	25,4	28,4	17,1
Б-28	0,250	0,046	10,4	12,1	84,7	77,0
Б-29	0,150	0,260	10,4	10,0	84,7	86,5
Б-30	0,220	0,610	17,6	14,3	52,3	67,1
Б-36	0,120	0,080	27,9	27,7	5,8	6,7
Б-44	0,088	0,037	28,2	28,3	4,5	4,0
Б-45	0,027	0,069	28,3	28,6	4,0	3,6
Б-46	0,053	0,039	18,2	21,5	49,5	34,7
Б-47	0,450	0,480	14,7	7,6	65,3	97,3
Б-48	3,000	2,150	7,2	7,3	99,1	98,6
<i>Территория обогатительной фабрики</i>						
Б-11	2,150	0,040	8,6	7,9	92,8	95,9
Б-14	1,230	0,720	10,3	11,7	85,1	78,8
Б-17	2,800	1,800	7,6	7,4	97,3	98,2
Б-18	1,600	1,370	9,5	9,1	88,7	90,5
Б-19	0,700	0,320	8,9	11,5	91,4	79,7

Станции	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , %		<sup>13</sup> C, ‰		Доля рудного карбоната, %	
	1	2	1	2	1	2
Б-20	1,120	0,640	7,2	9,8	99,1	87,4
Б-21	0,720	0,210	12,6	16,9	74,8	55,4
Б-22	0,770	1,420	9,7	7,7	87,8	96,8
Б-37	0,050	0,090	14,3	10,7	67,1	83,3
Б-38	2,600	2,800	9,6	7,0	88,3	100,0
Б-40	0,220	0,098	13,4	15,5	71,2	61,7
Б-42	4,400	3,380	8,3	7,5	55,4	63,5
Б-49	0,320	0,410	16,9	15,1	85,1	96,8
Б-51	2,660	3,970	10,3	7,7	49,5	50,0
Б-55	0,220	0,079	18,2	18,1	—	—
<i>Хвостохранилище</i>						
БГ-12	2,680	3,260	14,3	7,1	67,1	99,5
БГ-16	5,450	3,210	9,0	7,5	91,0	97,7
БГ-41	4,400	4,250	8,3	7,1	94,1	99,5
БГ-43	3,760	4,610	10,6	7,3	83,8	98,6
БГ-52	1,710	3,700	7,7	7,7	96,8	96,8

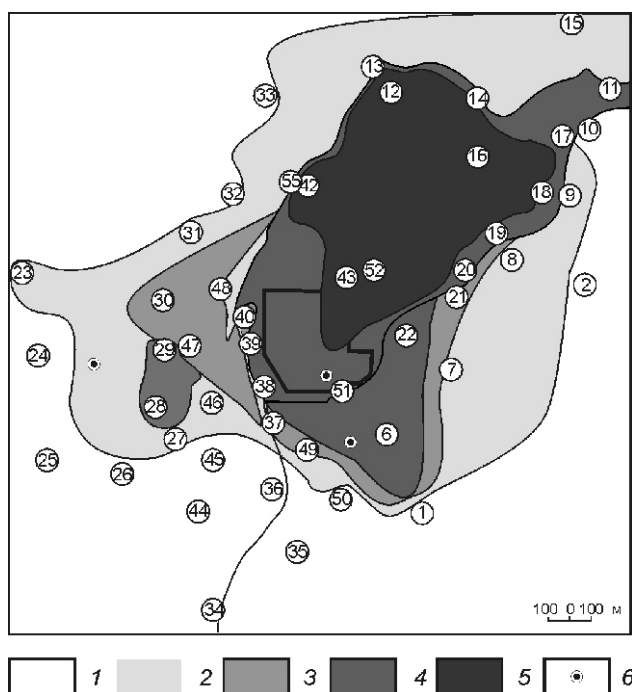


Рис. 2. Относительная доля рудного карбоната в почвах Березовского полигона (в %):

1 — 25; 2 — 25—50; 3 — 50—75; 4 — 75; 5 — 100 (хвосты обогащения); объекты техногенеза: 6 — шахты, контур — горно-обогатительный комбинат; цифры в кружках — станции отбора проб

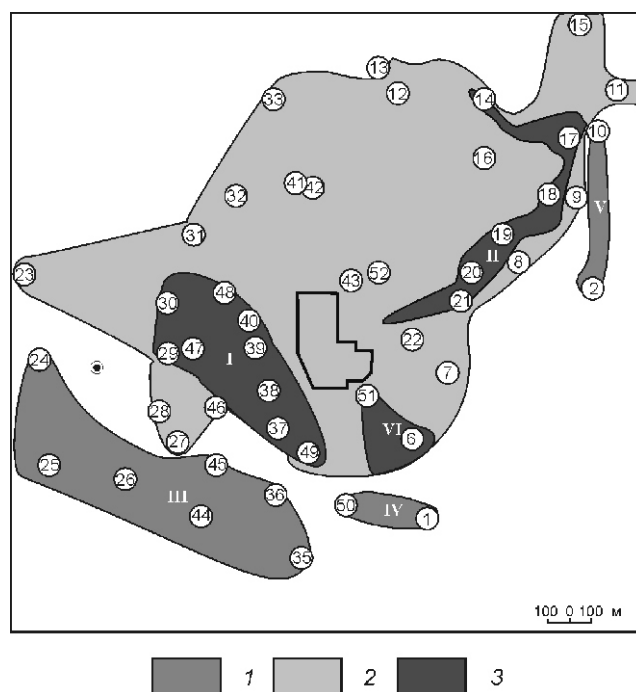


Рис. 3. Идентификация выявленных геохимических аномалий в почвах Березовского полигона:

аномалии: 1 — геохимические (природные), 2 — изотопные, 3 — изотопно-геохимические (техногенные); римские цифры — аномалии

## 2. Идентификация природы геохимических аномалий в почвах Березовского полигона

Аномалии	Станции	Zc	Состав по Кс	CO <sub>2</sub> , %	<sup>13</sup> C, ‰
I	Б-29	182,5	Pb <sub>50</sub> Bi <sub>50</sub> Ag <sub>40</sub> Cu <sub>21,4</sub> W <sub>11,1</sub> Sb <sub>6,7</sub> Sn <sub>5,0</sub> As <sub>4,0</sub> B <sub>2,3</sub>	0,15	10,4
	Б-30	181,3	Pb <sub>50</sub> Bi <sub>50</sub> Ag <sub>40</sub> W <sub>16,7</sub> Cu <sub>14,3</sub> Sb <sub>6,7</sub> As <sub>4,0</sub> Sn <sub>3,3</sub> B <sub>3,1</sub> Mo <sub>1,7</sub>	0,22	17,6
	Б-37	25,4	Pb <sub>10</sub> Bi <sub>10</sub> Ag <sub>5,0</sub> Sb <sub>2,0</sub> Sn <sub>1,7</sub> W <sub>1,7</sub>	0,050	14,3
	Б-38	63,7	Pb <sub>20</sub> Bi <sub>15</sub> Ag <sub>15</sub> W <sub>8,3</sub> Cu <sub>7,1</sub> B <sub>2,3</sub> Sb <sub>2,0</sub>	2,60	9,6
	Б-40	28,4	Pb <sub>10</sub> Bi <sub>7,5</sub> W <sub>5,6</sub> Ag <sub>5,0</sub> Cu <sub>4,3</sub>	0,22	13,4
	Б-47	188,6	Pb <sub>66,7</sub> Bi <sub>40</sub> W <sub>33,3</sub> Cu <sub>21,4</sub> Ag <sub>15</sub> As <sub>6,0</sub> Sb <sub>5,3</sub> Sn <sub>3,3</sub> Mo <sub>3,3</sub> B <sub>2,3</sub>	0,45	12,1
	Б-48	55,0	Pb <sub>13,3</sub> Mo <sub>11,1</sub> Ag <sub>10</sub> Bi <sub>10</sub> W <sub>8,3</sub> Ba <sub>4,7</sub> Cu <sub>3,6</sub>	3,00	7,2
	Б-49	22,5	Pb <sub>16,7</sub> Bi <sub>4,0</sub> Cu <sub>2,1</sub> W <sub>1,7</sub> Ag <sub>1,5</sub>	0,32	16,9
<b>Среднее</b>		<b>93,4</b>	<b>Pb<sub>29,6</sub> Bi<sub>23,3</sub> Ag<sub>16,4</sub> W<sub>10,8</sub> Cu<sub>9,3</sub> Sb<sub>2,8</sub> Mo<sub>2,0</sub> As<sub>1,8</sub> Sn<sub>1,6</sub></b>	<b>0,88</b>	<b>12,7</b>
II	Б-14	19,2	W <sub>5,6</sub> Bi <sub>5,5</sub> Pb <sub>5,0</sub> Ag <sub>4,0</sub> B <sub>2,3</sub> Ba <sub>1,8</sub>	1,23	10,3
	Б-17	98,1	Ag <sub>30,0</sub> Pb <sub>26,7</sub> W <sub>16,7</sub> Bi <sub>15,0</sub> Cu <sub>10,7</sub> Sb <sub>2,0</sub> Ba <sub>1,8</sub> Sn <sub>1,7</sub> B <sub>1,5</sub>	2,8	7,6
	Б-18	26,6	Pb <sub>10,0</sub> W <sub>8,3</sub> Bi <sub>5,0</sub> Ag <sub>4,0</sub> Cu <sub>2,1</sub> Sn <sub>1,7</sub> B <sub>1,5</sub>	1,6	9,5
	Б-19	17,8	Pb <sub>6,7</sub> W <sub>5,6</sub> Ag <sub>4,0</sub> Bi <sub>2,5</sub> Ba <sub>1,8</sub> Sn <sub>1,7</sub> B <sub>1,5</sub>	0,7	8,9
	Б-20	24,3	W <sub>16,7</sub> Pb <sub>5,0</sub> Ag <sub>3,0</sub> Cu <sub>2,1</sub> Bi <sub>1,5</sub>	1,12	7,2
	Б-21	16,9	W <sub>7,6</sub> Pb <sub>4,3</sub> Ag <sub>3,0</sub> Ba <sub>2,9</sub> Cu <sub>2,1</sub> Bi <sub>1,5</sub> B <sub>1,5</sub>	0,72	12,6
<b>Среднее</b>		<b>33,8</b>	<b>W<sub>10,1</sub> Pb<sub>9,6</sub> Ag<sub>8,0</sub> Bi<sub>5,2</sub> Cu<sub>2,8</sub></b>	<b>1,36</b>	<b>9,4</b>
III	Б-24	29,4	Pb <sub>20,0</sub> Ag <sub>4,0</sub> Cu <sub>3,6</sub> W <sub>2,8</sub> Bi <sub>2,5</sub> B <sub>1,5</sub>	0,057	28,3
	Б-25	176,6	Pb <sub>166,7</sub> Bi <sub>5,0</sub> Ag <sub>4,0</sub> W <sub>2,8</sub> Cu <sub>2,1</sub>	0,052	27,5
	Б-26	36,8	Pb <sub>16,7</sub> Bi <sub>7,5</sub> Cu <sub>5,7</sub> W <sub>5,6</sub> B <sub>3,8</sub> Ag <sub>2,5</sub>	0,12	28,6
	Б-35	182,2	Pb <sub>100,0</sub> Ag <sub>30,0</sub> Bi <sub>25,0</sub> W <sub>11,1</sub> Cu <sub>7,1</sub> Ba <sub>4,7</sub> B <sub>4,6</sub> As <sub>4,0</sub> Sn <sub>2,7</sub> Sb <sub>2,0</sub>	0,084	27,2
	Б-36	19,8	Bi <sub>10,0</sub> Pb <sub>5,0</sub> Ag <sub>5,0</sub> W <sub>2,8</sub>	0,12	27,9
	Б-44	28,6	Pb <sub>16,7</sub> Bi <sub>5,0</sub> Ag <sub>4,0</sub> W <sub>2,8</sub> Cu <sub>2,1</sub> Sn <sub>2,0</sub> B <sub>1,5</sub>	0,088	28,2
	Б-45	16,8	Ag <sub>5,0</sub> Bi <sub>5,0</sub> Pb <sub>4,3</sub> W <sub>3,7</sub> B <sub>2,3</sub>	0,027	28,3
<b>Среднее</b>		<b>70,0</b>	<b>Pb<sub>47,1</sub> Bi<sub>8,6</sub> Ag<sub>7,8</sub> W<sub>4,5</sub> Cu<sub>2,9</sub> B<sub>2,0</sub></b>	<b>0,078</b>	<b>28,0</b>
IV	Б-1	21,7	Ni <sub>10,0</sub> Mn <sub>6,7</sub> Cr <sub>4,0</sub> Co <sub>4,0</sub>	0,31	28,9
	Б-50	25,6	Ni <sub>15,0</sub> Co <sub>5,3</sub> Cr <sub>5,0</sub> Mn <sub>3,3</sub>	0,19	27,7
<b>Среднее</b>		<b>23,7</b>	<b>Ni<sub>12,5</sub> Mn<sub>5,0</sub> Co<sub>4,7</sub> Cr<sub>4,5</sub></b>	<b>0,25</b>	<b>28,3</b>
V	Б-2	20,3	Mn <sub>8,3</sub> Ni <sub>6,0</sub> Cr <sub>5,0</sub> Co <sub>4,0</sub>	0,46	27,4
	Б-10	17,6	Mn <sub>8,3</sub> Ni <sub>5,0</sub> Cr <sub>4,0</sub> Co <sub>3,3</sub>	0,22	28,4
<b>Среднее</b>		<b>19,0</b>	<b>Mn<sub>8,3</sub> Ni<sub>5,5</sub> Cr<sub>4,5</sub> Co<sub>3,7</sub></b>	<b>0,34</b>	<b>27,9</b>
VI	Б-6	359,6	Pb <sub>333,3</sub> Bi <sub>30,0</sub> As <sub>10,0</sub> Ag <sub>7,5</sub> Cu <sub>7,1</sub> Sb <sub>6,7</sub> Cr <sub>5,0</sub> Ni <sub>5,0</sub> Ba <sub>3,5</sub> W <sub>2,8</sub> Sn <sub>2,0</sub> Mn <sub>1,7</sub>	0,60	10,4
	Б-51	47,5	Mn <sub>13,3</sub> Ni <sub>8,0</sub> Co <sub>5,3</sub> Cr <sub>5,0</sub> Ag <sub>5,0</sub> Zn <sub>5,0</sub> Bi <sub>4,0</sub> Pb <sub>3,3</sub> B <sub>2,3</sub> Cu <sub>2,1</sub> Ba <sub>1,8</sub> W <sub>1,7</sub> Mo <sub>1,7</sub>	2,66	10,3
<b>Среднее</b>		<b>203,6</b>	<b>Pb<sub>168,3</sub> Bi<sub>17,0</sub> Mn<sub>7,5</sub> Ni<sub>6,5</sub> Ag<sub>6,3</sub> Cr<sub>5,0</sub> As<sub>5,0</sub> Cu<sub>4,6</sub> Sb<sub>3,4</sub> Ba<sub>2,7</sub> Co<sub>2,7</sub> Zn<sub>2,5</sub> W<sub>2,3</sub></b>	<b>1,63</b>	<b>10,4</b>
Фон				0,1	29,2
Руда			Cu, Ag, Pb, As, Sb, Bi, Sn, W, B, Ba, Mo, Zn	1,13	-7,0
Вмещающие породы			Mn, Cr, Ni, Co	—	—
Хвосты			W, Cu, Pb, As, Ag, Sb, Bi, B	3,8	9,9

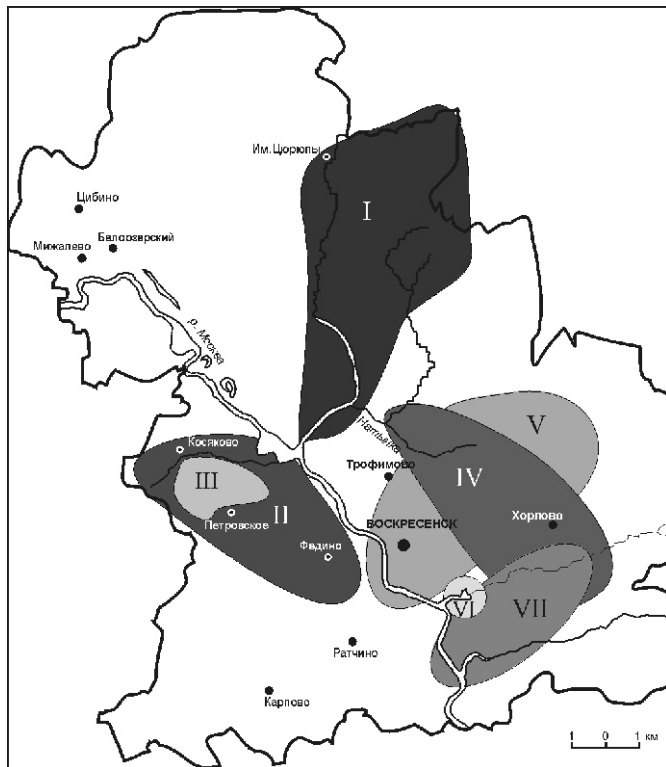


Рис. 4. Основные геохимические аномалии на территории Воскресенского района Московской области

продукты технологической переработки, отвалы, хвосты, техногенные стоки и др.) и в исследуемых на полигоне почве, природных водах, донных отложениях дала возможность очертить ореолы загрязнения, установить пути миграции загрязняющих веществ, идентифицировать источники и природу геохимических аномалий, и, что наиболее важно, выявить причины и источники загрязнения разноразличных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. Наиболее подробно остановимся на результатах изучения изменений  $^{13}\text{C}$  гидрокарбонатов и  $^{34}\text{S}$  сульфатов в системе: поверхностные воды—воды четвертичных отложений—воды каменноугольных отложений.

Изучение результатов распределения  $^{13}\text{C}$  гидрокарбонатов в поверхностных водах (рис. 5) показало, что зафиксированные изотопно-легкие гидрогеохимические аномалии ( $^{13}\text{C}$  24,4... 29,1%), являются следствием загрязнения вод активно используемыми органическими удобрениями ( $^{13}\text{C}$  26,0... 30,0%) и попадающими в водоток вместе с болотистыми почвами металлоорганическими комплексами. Загрязнение поверхностных вод предприятиями текстильной промышленности вызывает утяжеление  $^{13}\text{C}$  и фиксируется по  $^{13}\text{C}$  гидрокарбонат-иона в диапазоне 19,0... 21,0%. Контрастно отличающееся по  $^{13}\text{C}$  карбонаты добываемого на территории карьерным способом сырья ( $^{13}\text{C}$  2,4—4,5%) для производства цемента, а также собственно цемента ( $^{13}\text{C}$  12,6%), позволяют четко очертить участки водотоков, находящиеся в зоне техногенного воздействия цементов по добыче мергеля и заводов по производству цемента. При смешении изотопно-тяжелых карбонатов, уже приведенных источников, с гидрокарбонатом естественного происхождения в водотоках формируется гидрокарбонат  $^{13}\text{C}$  16,3... 13,8%.

На исследуемой территории с целью выявления и предотвращения причин и источников поступления загрязняющих веществ в горизонты питьевых вод проводилось изотопно-геохимическое изучение и подземных вод различных глубин залегания. В результате изучения характера распределения  $^{13}\text{C}$  гидрокарбонат-иона подземных вод было установлено, что для грунтовых вод (воды четвертичных отложений) естественный диапазон значений  $^{13}\text{C}$  13,0... 17,0%, а для каменноугольных отложений  $^{13}\text{C}_{\text{ср}}$  16,0%. При загрязнении подземных вод происходят заметные изменения изотопного состава гидрокарбонат-иона. Так, при сравнении изотопных данных по вертикали (поверхностные воды—грунтовые воды—артезианские воды) выявилась тенденция утяжеления изотопного состава углерода с глубиной (рис. 6), обусловленная возрастающей ролью коренных карбонатных пород (источник изотопно-тяжелого бикарбонат-иона). Наличие небольших пиков в области легких значений ( $^{13}\text{C}$  18,5... 21,0%) указывает на гидравлическую связь между горизонтами поверхностных и подземных напорных вод и фиксирует изменение изотопного состава вследствие техногенного воздействия. Согласно  $^{13}\text{C}$ , основными источниками загрязнения подземных вод на полигоне являются отвалы и хранилища привозного сырья для предприятий химической промышленности (уголь и апатитовый концентрат:  $^{13}\text{C}$  22... 26%).

Кроме того, природные условия и геологическое строение территории полигона обуславливают не только контрастность величин  $^{13}\text{C}$ , но и  $^{34}\text{S}$  в различных источниках поставляющих серу в компоненты экосистемы. Наиболее контрастные значения, позволившие в дальнейшем идентифицировать источники загрязнения по  $^{34}\text{S}$ , имеет

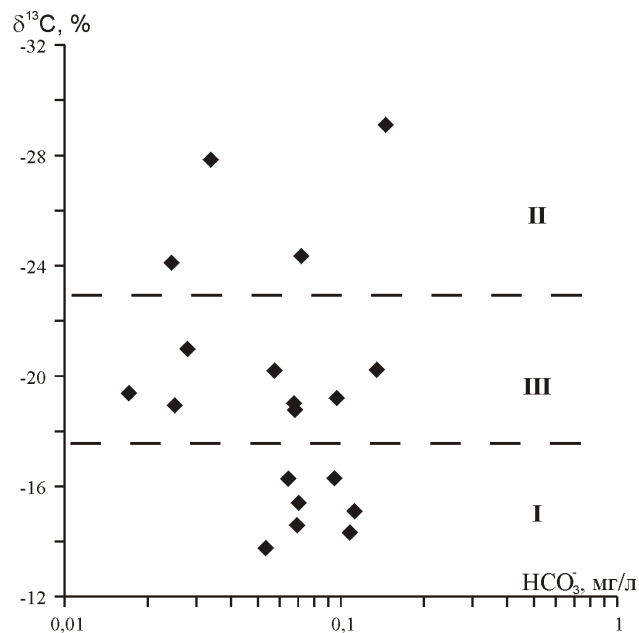
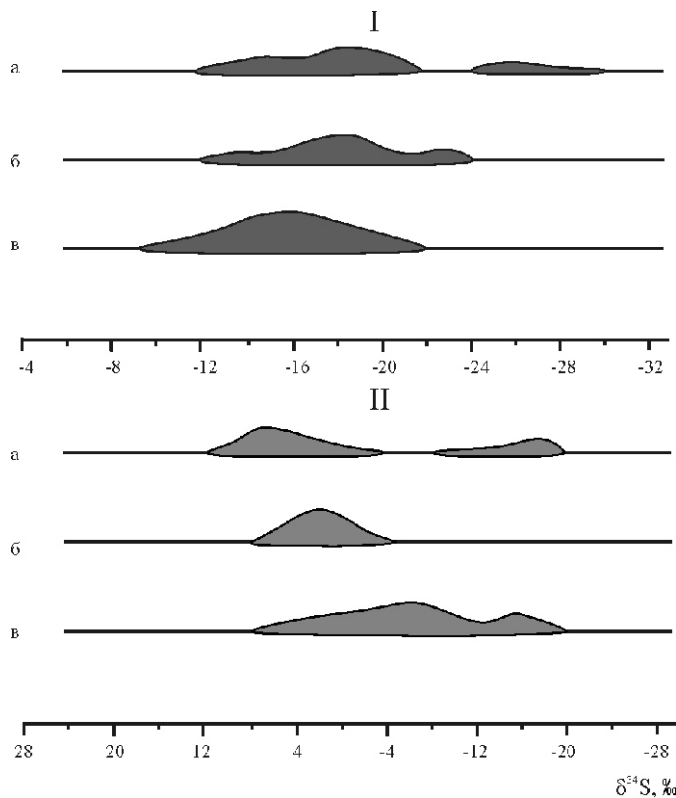


Рис. 5. Группы поверхностных вод по изотопному составу углерода гидрокарбонат-иона на территории Воскресенского района:

I — верховья р.Москва, р.Отра, среднее течение р.Натынка, пруд деревни Карпово; II — верховья р.Медведка, среднее течение р.Нерская, пруды деревень Барановское и Пушкино; III — зона смешения I и II



**Рис. 6. Изотопный состав углерода гидрокарбонатов (I) и серы сульфатов (II) водных сред Воскресенского района:**

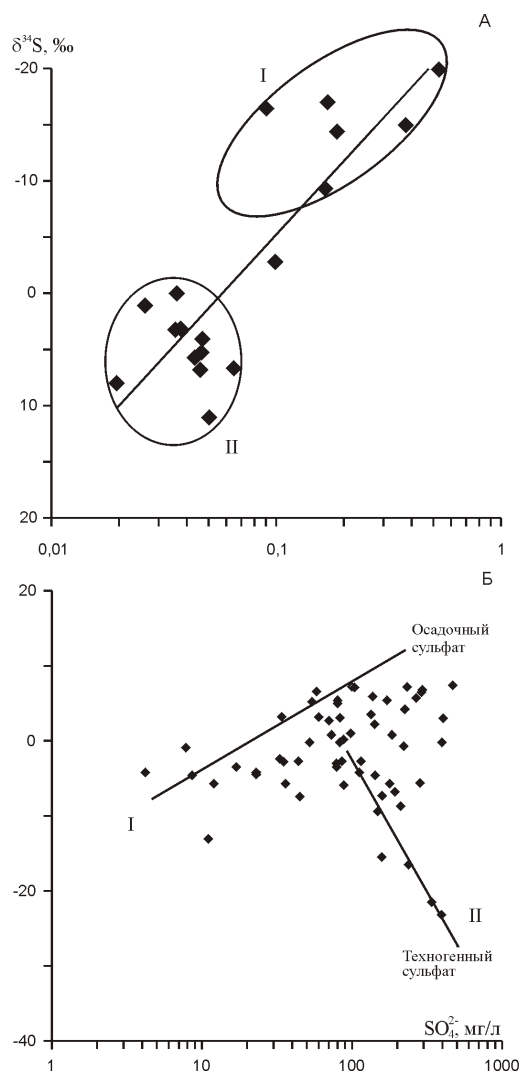
воды: а — поверхностные, б — четвертичных отложений, в — каменноугольных отложений

группа таких природных и техногенных объектов, как: 1) сульфиды черных глин юрского возраста ( $^{34}\text{S}$  40,0‰), при окислении осадочных сульфидов юрских глин образуется изотопно-легкий сульфат (наследующий изотопный состав сульфидов); 2) сульфат карбонатных пород (Афанасьевский карьер, известняк  $^{34}\text{S}$  2,1‰, мергель  $^{34}\text{S}$  11,5‰, доломит  $^{34}\text{S}$  12,2‰); 3) техногенные сульфаты (например, отходы химического производства  $^{34}\text{S}$  4,4‰).

Изучение изотопного состава серы сульфат-иона в поверхностных водах (рис. 7, А) показало, что загрязнение водной среды, происходящее вследствие открытой добычи фосфоритов и предприятий по их переработке, можно зафиксировать по  $^{34}\text{S}$  6,0‰. В водах с величиной  $^{34}\text{S}$  0,0‰ очевидно влияние изотопно-тяжелых по сере осадочных сульфатов.

При изучении  $^{34}\text{S}$  сульфатов (рис. 7, Б) подземных вод на участках территорий, удаленных от промышленной зоны (см. рис. 7, Б, I), установлена положительная корреляция между содержанием  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $^{34}\text{S}$ , а значения  $^{34}\text{S}$  лежат в интервале 10...10‰, близком к естественному уровню. На участках, привязанных к промышленному узлу, наблюдается увеличение концентраций легкого изотопа  $^{32}\text{S}$  при увеличении содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  (рис. 7, Б, II). При этом  $^{34}\text{S}$  сульфатов в водах первого водоносного горизонта колеблется в пределах 3,0...7,5‰, в подземных водах каменноугольных отложений  $^{34}\text{S}$  лежит в диапазо-

не 18,2...6,9‰ (см. рис. 6). Как видно, с глубиной происходит облегчение изотопного состава, что обусловлено не только повышением влияния коренных пород, но и возрастающей ролью техногенных факторов. Так, присутствие небольших пиков в области легких значений  $^{34}\text{S}$  подтверждает, как и в случае  $^{13}\text{C}$ , наличие гидравлической связи между горизонтами. Установлено, что источником изотопно-легкой серы (7... 29,1‰) являются юрские фосфоритовые отложения. Ореолы максимальной концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  в водах каменноугольных отложений приурочены к площади, занятой промышленной зоной обогатительной фабрики по переработке фосфоритов. По мере удаления от данного объекта концентрация  $\text{SO}_4^{2-}$  уменьшается по горизонту подземных вод, оставаясь, тем не менее, высокой относительно среднего значения по району. Кроме того, величина  $^{34}\text{S}$  в пробах воды каменноугольных отложений из скважин, расположенных в зоне влияния обогатительной фабрики, резко облегчена по сравнению с  $^{34}\text{S}$



**Рис. 7. Зависимость распределения величины  $^{34}\text{S}$  от концентрации сульфат-иона в поверхностных (А) и подземных (Б) водах Воскресенского района:**

А: I — р.Медведка, р.Натынка, пруд деревни Барановское; II — р.Москва, р.Нерская, пруд деревни Карпово; Б: территории: I — удаленные от промышленного центра г.Воскресенск; II — привязанные к промышленному узлу г.Воскресенск

сульфатов вод и вмещающих их пород каменноугольной системы, и приближена по значению к юрским глинам.

Итак, контрастность величин изотопного состава природных вод и загрязняющих их веществ, а также то обстоятельство, что в разрабатываемых юрских породах отмечены марказит и пирит с легким изотопным составом серы ( $^{34}\text{S}$  40,7‰), который наследуется сульфатом при окислении сульфидов, позволяют установить картину техногенного воздействия фабрики на экосистему. С поверхностным стоком легкий сульфат с продуктами технологической переработки фосфоритовой руды попадает в воды реки. В долине р.Натынка под влиянием техногенных и природных факторов полностью размыты глинистые отложения, являющиеся верхним предохраняющим водоупором для водоносных горизонтов каменноугольных отложений. При закономерном понижении пьезометрического уровня подземных вод в процессе откачки происходит «затягивание» загрязнения из поверхностных речных вод при их инфильтрации, что подтверждается по  $^{34}\text{S}$ , установленному для компонентов экосистемы данного участка исследуемой территории. Именно здесь при окислении сульфидов разрабатываемых пород образуется серная кислота, которая способствует интенсификации процессов выщелачивания пород, а, следовательно, и интенсивному загрязнению химическими элементами (в т.ч. тяжелыми металлами).

На исследуемой территории еще наблюдается наложение геохимических аномалий с очень близким спектром химических элементов (см. рис. 4), проявленных во всех компонентах экосистемы. Поэтому очень важно было ответить на вопрос: по вине какого предприятия происходит загрязнение экосистемы. Решить проблему удалось по изотопным данным. Согласно  $^{34}\text{S}$ , на спорной территории были околонуены отдельные участки. На одном из них зафиксировано загрязнение по вине химического завода, чьи отходы производства отличаются тяжелой серой сульфатов ( $^{34}\text{S}_{\text{ср.}}$  4,4‰); на другом — обогатительной фабрики по производству фосфоритовой муки и фосфата кальция, для отходов которой характерна легкая сера ( $^{34}\text{S}$  40,7‰) юрских глин.

Исходя из приведенных результатов, вполне очевидно, что при решении геоэкологических задач на объектах недропользования необходимо использовать изотопные параметры, наряду с традиционными геохимическими критериями. Именно изотопные параметры, являясь характерными «метками» источников загрязнения, позволяют в сложных ситуациях определять источники формирования, а, следовательно, и природу геохимических аномалий.

Для достоверной оценки ущерба окружающей среде от загрязнения, а также для опережающего прогноза развития изменений геохимической ситуации крайне важно применять в качестве основного критерия показатель, изменяющийся главным образом в условиях антропогенной нагрузки — привноса чужеродных веществ. Таким показателем является изотопный состав легких элементов. Наблюдение динамики изменения изотопных параметров в пространстве и времени в условиях техногенной нагрузки составляет суть предлагаемого изотопно-геохимического мониторинга и позволяет спрогнозировать развитие экогеохимической ситуации в наиболее короткие сроки.

Так, на Березовском полигоне изменения  $^{13}\text{C}$  почвенных карбонатов (см. табл. 1, рис. 8), установленные через год, позволили воссоздать для исследуемой территории общую картину перемещения техногенного загрязнения от

основных источников загрязнения в сторону участков, не затронутых ранее антропогенным воздействием. Расчет векторов-градиентов по  $^{13}\text{C}$  карбонатного вещества для образцов почв [6] на станциях, околонуивающих ореол техногенного загрязнения на начальный момент мониторинга (табл. 3), выявил его расширение за год в среднем на 17 м, преимущественно в юго-западном направлении, совпадающим с основным направлением розы ветров.

Картина изменений экогеохимической ситуации на участках расположения геохимических аномалий рассматривалась отдельно (табл. 4). Так зона загрязнения в центральной части полигона, околонуенная на начало исследований, расширилась в юго-западном направлении на

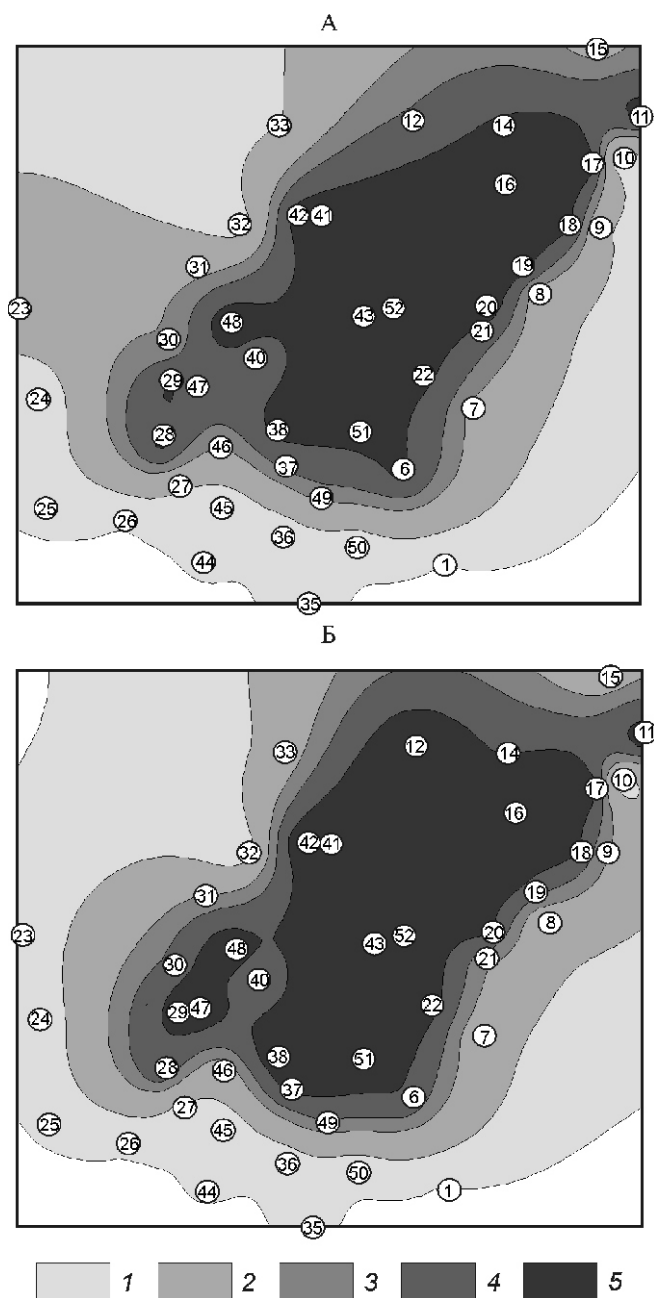


Рис. 8. Изменение изотопного состава углерода карбонатов на площади Березовского полигона за период мониторинга в начале (А) и конце (Б) работ:

величина  $^{13}\text{C}$  (‰): 1 — 29... 24; 2 — 24... 18; 3 — 18... 15; 4 — 15... 11; 5 — 11.



3. Изменение параметров векторов-градиентов <sup>13</sup>C карбонатов в почвах Березовского полигона за период мониторинга

Станции	Параметры вектора-градиента								dL, м/год
	Начало работ				Окончание работ				
	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	L <sub>1</sub> , м	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	L <sub>2</sub> , м	
<i>Оконтуривающие станции</i>									
Б-1	290	232	0,17	1235	302	290	0,10	2100	865
Б-6	233	119	3,96	53	235	135	3,55	59	6
Б-7	234	233	1,19	176	241	225	1,02	206	30
Б-8	239	262	0,82	256	232	296	0,76	276	20
Б-9	237	363	0,70	300	246	272	1,46	144	156
Б-10	219	481	0,23	913	234	501	0,32	656	257
Б-15	212	469	0,65	323	212	469	0,42	500	177
Б-31	179	205	1,30	161	196	207	1,60	131	30
Б-32	174	300	0,19	1105	195	295	0,47	445	660
Б-33	183	338	0,35	600	190	327	0,62	339	261
Б-35	343	184	0,23	913	328	189	0,11	1909	996
Б-50	294	196	0,14	1500	290	211	0,12	1750	250
<b>Среднее</b>	<b>236</b>	<b>282</b>	<b>0,83</b>	<b>253</b>	<b>242</b>	<b>285</b>	<b>0,89</b>	<b>236</b>	<b>17</b>
<i>Территория обогатительной фабрики</i>									
Б-11	230	255	3,52	61	230	255	3,50	60	1
Б-14	189	182	2,29	92	176	223	1,90	110	18
Б-17	219	216	5,40	39	217	196	5,01	42	3
Б-18	247	200	4,21	50	211	161	3,62	58	8
Б-19	207	184	3,78	55	190	161	2,95	71	16
Б-20	165	150	3,99	53	196	169	3,59	58	5
Б-21	189	177	2,25	93	217	194	1,43	147	54
Б-22	202	173	2,93	72	185	152	3,63	59	13
Б-37	200	111	3,79	55	221	98	5,05	41	14
Б-38	206	100	4,41	45	206	116	5,26	40	5
Б-40	203	167	2,45	86	194	153	2,15	98	12
Б-49	222	106	3,42	61	222	106	4,00	53	8
Б-51	196	127	3,52	60	196	127	4,04	52	8
Б-55	203	244	1,55	135	214	238	1,55	135	0
<b>Среднее</b>	<b>205</b>	<b>171</b>	<b>3,39</b>	<b>61,9</b>	<b>205</b>	<b>168</b>	<b>3,40</b>	<b>61,7</b>	<b>0,2</b>

Станции	Параметры вектора-градиента								$dL$ , м/год
	Начало работ				Окончание работ				
	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	$L_1$ , м	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	$L_2$ , м	
<i>Территория шахты</i>									
Б-23	139	241	1,20	175	138	251	0,15	1400	1225
Б-24	108	370	0,37	567	137	210	0,65	323	244
Б-25	184	246	0,14	1500	194	262	0,44	477	1023
Б-26	197	290	0,29	724	190	189	0,60	350	374
Б-27	162	111	1,70	123	162	121	0,88	239	116
Б-28	163	90	5,67	37	163	90	5,36	39	2
Б-29	164	94	4,17	50	184	125	4,04	52	2
Б-30	182	166	1,72	122	202	157	2,48	85	37
Б-36	302	191	0,12	1750	298	157	0,14	1500	250
Б-44	186	218	0,63	333	154	134	0,86	244	89
Б-45	169	259	0,63	333	104	207	0,11	1909	1576
Б-46	204	114	2,68	78	187	113	1,81	116	71
Б-47	197	142	2,61	80	193	101	4,63	45	35
Б-48	229	109	4,48	46,9	220	107	4,42	47,5	0,6
<b>Среднее</b>	<b>185</b>	<b>189</b>	<b>1,89</b>	<b>111</b>	<b>180</b>	<b>159</b>	<b>1,90</b>	<b>110</b>	<b>1</b>
<i>Хвостохранилище</i>									
БГ-12	189	285	1,46	144	162	187	2,46	85	59
БГ-16	171	202	2,71	77	102	139	2,84	74	3
БГ-41	243	183	4,57	46	247	181	4,81	44	2
БГ-43	233	198	2,33	90	185	171	2,90	72	18
БГ-52	207	156	2,79	75	172	164	2,84	74	1
<b>Среднее</b>	<b>209</b>	<b>205</b>	<b>2,77</b>	<b>76</b>	<b>174</b>	<b>168</b>	<b>3,17</b>	<b>66</b>	<b>10</b>
<b>Среднее по полигону</b>	<b>202</b>	<b>199</b>	<b>2,03</b>	<b>103</b>	<b>204</b>	<b>192</b>	<b>2,43</b>	<b>86</b>	<b>17</b>

*Примечание.* В таблицах 3 и 5:  $L_1, L_2$  – расчетные расстояния до границы аномалии (изолиния  $^{13}\text{C}$  — 2,1),  $dL$  — расчетное смещение изолинии.

16 м (табл. 5). Расчет проведен с использованием изотопных данных, свидетельствующих об утяжелении  $^{13}\text{C}$  карбонатов в почве аномалии и увеличении в них доли рудного карбоната на 10%. В техногенной аномалии, околнуренной к востоку от хвостохранилища, отмечено изменение  $^{13}\text{C}$  почвенных карбонатов в сторону естественных значений, что свидетельствует о снижении техногенной нагрузки на данном участке. Расчет по изотопным данным векторов-градиентов для техногенной комбинированной геохимической аномалии, локализованной к юго-востоку от обогатительной фабрики, показал, что, несмотря на незначительное расширение (всего на 1 м/год) ореола техноген-

ного загрязнения (см. табл. 5), данная аномалия все еще опасна с экологической точки зрения. Утяжеление изотопного состава углерода почвенных карбонатов, увеличение доли загрязняющего вещества, увеличение значений  $Z_c$  (см. табл. 4) свидетельствуют о накоплении продуктов антропогенной деятельности и изменении экогеохимической ситуации в худшую сторону. Вполне очевидно, что при сохранении действующих на полигоне технологий, задача сохранения окружающей среды на безопасном для человека уровне будет крайне затруднена. В почвах аномалии на юго-западе полигона, идентифицированной как природная, в течение года наблюдалась от-

#### 4. Изменение параметров в почвах выявленных геохимических аномалий Березовского полигона по сезонам

Станции	<sup>13</sup> C, ‰		Доля рудного карбоната, %		Zc1		Zc2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Аномалия I</i>								
Б-37	14,3	10,7	67,1	83,3	25,4	48,5	7,4	7,9
Б-38	9,6	7,0	88,3	100,0	63,7	69,1	—	1,7
Б-40	13,4	15,5	71,2	61,7	28,4	37,2	2	1,8
Б-49	16,9	15,1	55,4	63,5	22,5	24,4	3,2	6,8
Б-29	10,4	10,0	84,7	86,5	182,5	177,1	2	—
Б-30	17,6	14,3	52,3	67,1	181,3	193,2	2	—
Б-47	14,7	7,6	65,3	97,3	188,6	156,5	7,3	3,0
Б-48	7,2	7,3	99,1	98,6	55,0	66,5	—	4,4
<b>Среднее</b>	<b>13,0</b>	<b>10,9</b>	<b>72,9</b>	<b>82,3</b>	<b>93,4</b>	<b>96,6</b>	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>
<i>Аномалия II</i>								
Б-14	10,3	11,7	85,1	78,8	19,2	20,7	—	3,7
Б-17	7,6	7,4	97,3	98,3	98,1	81,6	3	7,6
Б-18	9,5	9,1	88,7	90,5	26,6	26,4	—	1,8
Б-19	8,9	11,5	91,4	79,7	17,8	18,1	8,4	14,4
Б-20	7,2	9,8	99,1	87,4	24,3	18,7	13,5	26,5
Б-21	12,6	16,9	74,8	55,4	16,9	17	7,5	5
<b>Среднее</b>	<b>9,4</b>	<b>11,1</b>	<b>89,4</b>	<b>81,7</b>	<b>33,8</b>	<b>30,4</b>	<b>5,4</b>	<b>9,8</b>
<i>Аномалия III</i>								
Б-24	28,3	28,5	4,0	5,4	29,4	19,5	—	1,6
Б-25	27,5	28,3	7,6	4,0	176,6	190,6	—	1,9
Б-26	28,6	28,3	2,7	4,0	36,8	33,4	—	3,3
Б-35	27,2	27,7	9,0	6,7	182,2	166,5	2	2,1
Б-36	27,9	27,7	5,8	6,7	19,8	36,5	4,5	4,8
Б-44	28,2	28,3	4,5	4,0	28,6	29,5	3,5	1,6
Б-45	28,3	28,6	4,0	3,6	16,8	16,5	4,7	2,0
<b>Среднее</b>	<b>28,0</b>	<b>28,2</b>	<b>5,4</b>	<b>4,9</b>	<b>70,0</b>	<b>70,4</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>
<i>Аномалия IV</i>								
Б-1	28,9	29,2	1,3	0	—	3,2	21,7	23,3
Б-50	27,7	27,8	6,7	6,3	6,4	8	25,6	19,5
<b>Среднее</b>	<b>28,3</b>	<b>28,5</b>	<b>4,0</b>	<b>3,15</b>	<b>3,2</b>	<b>5,6</b>	<b>23,7</b>	<b>21,4</b>
<i>Аномалия V</i>								
Б-2	27,4	27,6	8,1	7,2	3,0	2,5	20,3	22,8
Б-10	28,4	27,8	3,6	6,3	2,3	5,6	17,6	18,7
<b>Среднее</b>	<b>27,9</b>	<b>27,7</b>	<b>5,9</b>	<b>6,7</b>	<b>2,7</b>	<b>4,1</b>	<b>19,0</b>	<b>20,8</b>

Станции	<sup>13</sup> C, ‰		Доля рудного карбоната, %		Zc1		Zc2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Аномалия VI</i>								
Б-6	10,4	11,9	84,7	77,9	394,9	2107,5	9,7	41,5
Б-51	10,3	7,70	85,1	96,8	18,90	22,5	28,6	20,6
<b>Среднее</b>	<b>10,35</b>	<b>9,8</b>	<b>84,9</b>	<b>87,4</b>	<b>206,9</b>	<b>1065,0</b>	<b>19,2</b>	<b>31,1</b>

*Примечание.* Суммарный показатель загрязнения: Zc1 — по типоморфным рудным элементам (Cu, Pb, As, Sb, Bi, Sn, W, В, Ag, Ba, Mo, Zn); Zc2 — по элементам, присутствующим вмещающим (ультраосновным) породам (Mn, Cr, Ni, Co).

### 5. Изменение параметров векторов-градиентов <sup>13</sup>C карбонатов в почвах выявленных аномалий Березовского полигона за период мониторинга

Станции	Параметры вектора-градиента								<i>dL</i> , м/год
	Начало работ				Окончание работ				
	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	<i>L</i> <sub>1</sub> , м	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	<i>L</i> <sub>2</sub> , м	
<i>Аномалия I</i>									
Б-37	320	104	1,07	196	350	102	2,63	80	116
Б-38	177	79	3,61	58	148	60	5,09	41	17
Б-40	232	93	1,25	168	—	—	—	—	168
Б-49	316	200	0,13	1615	334	142	0,13	1615	0
Б-29	71	80	4,64	45	65	99	2,87	73	28
Б-30	—	—	—	—	119	139	0,44	477	477
Б-47	51	101	1,37	153	333	44	5,67	37	116
Б-48	204	52	5,92	35	177	90	5,99	35	0
<b>Среднее</b>	<b>219</b>	<b>90</b>	<b>2,91</b>	<b>72</b>	<b>218</b>	<b>89</b>	<b>3,77</b>	<b>56</b>	<b>16</b>
<i>Аномалия II</i>									
Б-14	186	193	0,77	273	186	193	0,99	212	61
Б-17	233	111	1,93	109	238	129	1,66	126	17
Б-18	273	120	1,01	208	253	99,3	1,53	137	71
Б-19	6,08	87,3	1,56	135	282	102	1,40	150	15
Б-20	67,9	60,1	5,68	37	34,6	80,3	3,90	54	17
Б-21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Среднее</b>	<b>241</b>	<b>101</b>	<b>2,52</b>	<b>83</b>	<b>245</b>	<b>110</b>	<b>2,10</b>	<b>100</b>	<b>17</b>
<i>Аномалия III</i>									
Б-24	144	139	0,57	368	121	196	0,21	100	182
Б-25	84,1	141	1,81	116	42,6	131	0,79	266	150
Б-26	—	—	—	—	232	114	1,00	210	210
Б-35	310	156	2,16	97	300	194	1,78	118	21
Б-36	281	134	1,12	187	280	151	2,69	78	109
Б-44	329	116	0,64	328	346	134	1,36	154	174

Станции	Параметры вектора-градиента								dL, м/год
	Начало работ				Окончание работ				
	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	L <sub>1</sub> , м	Азимут, град	Длина, м	Градиент, ед/100 м	L <sub>2</sub> , м	
Б-45	262	88,3	0,90	233	—	—	—	—	233
<b>Среднее</b>	<b>316</b>	<b>137</b>	<b>1,46</b>	<b>144</b>	<b>287</b>	<b>158</b>	<b>1,45</b>	<b>145</b>	<b>1</b>
<i>Аномалия IV</i>									
Б-1	290	232	0,37	567	302	290	0,36	583	16
Б-50	294	196	0,34	618	290	211	0,32	656	38
<b>Среднее</b>	<b>292</b>	<b>214</b>	<b>0,35</b>	<b>600</b>	<b>296</b>	<b>250</b>	<b>0,34</b>	<b>618</b>	<b>18</b>
<i>Аномалия V</i>									
Б-2	326	199	0,71	296	315	192	0,61	344	48
Б-10	219	481	0,23	913	234	501	0,32	656	257
<b>Среднее</b>	<b>272</b>	<b>340</b>	<b>0,47</b>	<b>447</b>	<b>408</b>	<b>346</b>	<b>0,46</b>	<b>456</b>	<b>9</b>
<i>Аномалия VI</i>									
Б-6	233	119	3,96	53	235	135	3,55	59	6
Б-51	196	127	3,52	60	196	127	4,04	52	8
<b>Среднее</b>	<b>214</b>	<b>123</b>	<b>3,74</b>	<b>56</b>	<b>215</b>	<b>131</b>	<b>3,79</b>	<b>55</b>	<b>1</b>

носителем стабильная ситуация — <sup>13</sup>C почвенных карбонатов оставался неизменным. На территории природных аномалий в восточной зоне аналогичная экологическая обстановка благоприятно сказалась на процессах естественного формирования почв. ореол загрязнения, установленный по <sup>13</sup>C почвенных карбонатов, сократился на 18 и 9 м (см. табл. 5).

Опыт использования на Березовском полигоне изотопного состава легких элементов в качестве индикатора направления и скорости перемещения загрязнения, т.е. в качестве основного критерия краткосрочного прогноза развития экогеохимической ситуации, крайне важен и для других объектов недропользования, для своевременного предотвращения негативных воздействий на окружающую среду, защиты и сохранения ее качества на безопасном для человека уровне.

В заключение следует отметить, что уникальная способность изотопных систем реагировать на техногенное вмешательство, изменяющее естественное протекание химических и биологических процессов, позволяет использовать изотопный состав легких элементов в качестве основного критерия идентификации природы геохимических и гидрогеохимических аномалий и опережающего прогноза развития загрязнения в пространстве и времени. Этим создается надежная основа для своевременной корректировки технологии проведения эксплуатационных работ, выбора мест размещения отходов, разработки специальных рекомендаций по обеспечению экологической безопасности

территорий объектов недропользования, в т.ч. природных вод хозяйственно-питьевого назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. — М.: Наука, 1968.
2. Галимов Э.М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. — М.: Наука, 1973.
3. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов. — М.: Наука, 1981.
4. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. — М.: Наука, 1974.
5. Еременко Н.А. Стабильные изотопы в геохимии нефти. — М.: Наука, 1974.
6. Заири Н.М., Гангнус Н.П., Виленкина Ю.В. и др. Методика изотопно-геохимического мониторинга ареалов воздействия золотодобывающих предприятий на окружающую среду. — М.: Геоинформмарк, 2000.
7. Панкина Р.Г. Геохимия изотопов серы нефтей и органического вещества. — М.: Недра, 1978.
8. Тимофеева Т.С., Васильев Г.А., Игнатиюк Е.Н., Лесовой Ю.И. Прикладное значение изотопной геохимии // Геологическое изучение и использование недр. Научно-технический информационный сборник. Вып. 5—6. — М.: Геоинформмарк, 2000. С. 46—52.
9. Ферронский В.И., Дубинчук В.Т., Поляков В.А. и др. Природные изотопы гидросферы. — М.: Недра, 1975.
10. Хейфец Й. Геохимия стабильных изотопов. — М.: Мир, 1983.
11. Richnow Hans Hermann, Kastner Matthias. Perspectives of stable isotope chemistry in environmental science / Contaminated Soil 2000: Proceedings of the 7 International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, Leipzig, 18—22 Sept. 2000. Vol. 1. London: Thomas Telford. 2000. P. 230—238.