Н. Г. Максимович

С. В. Пьянков

Кизеловский угольный бассейн

экологические проблемы и пути решения

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный
национальный исследовательский университет»
«Естественнонаучный институт»

Н. Г. Максимович
С. В. Пьянков

Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
"Perm University Press"

Пермь
2018

УДК 504.54
ББК 33.3
М172

М172 Максимович Н. Г., Пьянков С. В.
Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения: монография / Н. Г. Максимович, С. В. Пьянков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. – 288 с., ил.
ISBN 978-5-7944-3181-0

В научном труде (монографии) дается характеристика экологической обстановки, сложившейся под влиянием изливов кислых шахтных вод и стоков с отвалов ликвидированного в начале XX века старейшего на Урале Кизеловского угольного бассейна (Пермский край). В основу легли полевые и лабораторные исследования, а также результаты опытно-промышленных испытаний природоохранных технологий. Рассмотрено влияние геохимических особенностей угленосной толщи на экологическую обстановку. Характеризуются причины формирования кислых шахтных вод и стоков с отвалов. Рассмотрено состояния речных систем с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли. Приводится характеристика химического состава вод и донных отложений на основе данных за многолетний период. Предложена концепция экологической реабилитации рассматриваемой территории, в том числе с использованием геохимических барьеров. Книга предназначена для экологов, работников природоохранных организаций, гидрологов, геологов, геохимиков, проектировщиков, геоинформатиков, а также преподавателей и студентов. Исследования выполнены при поддержке РФФИ (гранты № 17-45-590793, 17-05-41114).

The research (monograph) written by Maksimovich N. G. and Pyankov S. V. «The Kizel coal basin: ecological problems and solutions» describes the ecological situation that has been affected by the acid mine drainage and wastewaters from the dumps of the Kizel coal basin eliminated in the beginning of the XXth century but that is still considered to be the oldest coal basin in the Urals (Perm region). The work includes field and laboratory studies and the results of pilot testing of environmental technologies. The influence of geochemical features of the coal-bearing strata on the ecological situation is considered. The reasons for the formation of acid mine waters and waste from dumps are characterized. The state of river systems has been revealed with GIS technologies and remote sensing data application. The characteristic of the chemical composition of water and bottom sediments is provided on perennial data basis. The concept of ecological rehabilitation of the territory has been suggested including the geochemical barrier method.

УДК 504.54
ББК 33.3

Печатается по решению ученого совета
Естественнонаучного института Пермского государственного
национального исследовательского университета

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 18-15-00054, не подлежит продаже.

Рецензенты: В. И. Осипов – академик РАН, научный руководитель Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН; В. И. Клишин – член-корреспондент РАН, директор Института угля СО РАН; С. Г. Яковченко – д. т. н., заместитель директора ООО «ЦИТ» по научной работе.

ISBN 978-5-7944-3181-0

© Н. Г. Максимович, С. В. Пьянков, 2018
© ПГНИУ, 2018
© Издательство «Раритет-Пермь»,
редакционная подготовка, оформление, 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ 7

1.1. Общие сведения 8

1.2. История освоения месторождения 14

1.3. Климатические особенности 19

1.4. Гидрологическая характеристика 31

1.5. Геологические условия 34

1.6. Гидрогеологические условия 40

1.7. Карстовые процессы 45

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩ 53

2.1. Геохимические особенности месторождения 54

2.2. Причины формирования кислых шахтных вод и стоков с отвалов 60

2.3. Шахтные воды и изливы 67

2.3.1. Характеристика шахтных вод при разработке месторождения . . . 68

2.3.2. Изливы кислых вод после ликвидации шахт 70

2.4. Роль отвалов в загрязнении окружающей среды 72

2.4.1. Процессы преобразования вещества в отвалах 72

2.4.2. Характеристика стоков с отвалов 83

2.5. Донные отложения 85

ГЛАВА 3. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ 87

3.1. Методика анализа загрязнения рек 88

3.2. Бассейн реки Яйвы 90

3.2.1. Краткая физико-географическая характеристика 90

3.2.2. Оценка экологического состояния 91

3.2.3. Характеристика пойм и донных отложений 111

3.3. Бассейн реки Косьвы 124

3.3.1. Краткая физико-географическая характеристика 124

3.3.2. Оценка экологического состояния 125

3.3.3. Характеристика пойм и донных отложений 144

3.3.4. Техногенное воздействие на карстовые суходолы на примере Ладейного Лога 157
3.4. Бассейн реки Чусовой 172
3.4.1. Краткая физико-географическая характеристика 172
3.4.2. Оценка экологического состояния 172
3.4.3. Характеристика пойм и донных отложений 187
3.4.4. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод на примере р. Южная Вильва 202

ГЛАВА 4. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИИ 213
4.1. Необходимость новых подходов к решению экологических проблем 214
4.2. Минимизация объемов изливов шахтных вод 215
4.3. Очистка вод в выработанном пространстве 219
4.4. Очистка вод изливов 222
4.5. Очистка стоков с отвалов 236
4.6. Нейтрализация грунтов и подземных вод, агрессивных к строительным конструкциям 255
4.7. Восстановление экосистем загрязненных рек 260

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 266
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 268
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 285
ОБ АВТОРАХ 286

Введение

Угленосные формации занимают около 15% территории континентов. Разработка месторождений приводит к деградации практически всех компонентов экосистемы угледобывающих районов и создает экологические проблемы на обширных территориях.

Авторами были проанализированы основные причины, обусловливающие развитие негативных процессов – на примере Кизеловского угольного бассейна, расположенного на востоке Пермского края. Добыча угля велась здесь с 1796 г., в основном подземным способом. В горных выработках природные воды взаимодействовали с богатыми сульфидной серой горными породами (до 10%) и преобразовывались в кислые (*pH* 2–3) сульфатные железо-алюминиевые натриево-кальциевые воды с высоким содержанием микроэлементов. Водопритоки в шахты достигали 2000 м^3/ч, чему способствовала интенсивная закарстованность территории. За год в поверхностные водотоки, практически без очистки, сбрасывалось более 100 млн м^3 кислых (*pH* 1–3) сточных вод. Химический состав вод в малых реках бассейна зачастую приближался к составу шахтных вод.

Ликвидация шахт, закончившаяся в начале 2000-х гг., не решила экологических проблем. После восстановления уровня подземных вод начались изливы кислых шахтных вод. В их химическом составе также обнаруживается высокое содержание железа, алюминия, марганца, бериллия и др., в сотни и тысячи раз превышающее ПДК$_{хп}$ при *pH* 2–3. При попадании кислых шахтных вод в естественные водотоки происходит увеличение *pH* и выпадение техногенного осадка, состоящего, в основном, из гидроокислов железа и алюминия с высоким содержанием микроэлементов, который оказывает резко отрицательный эффект на водную экосистему. Распространяясь вниз по течению на многие километры, он является источником вторичного загрязнения.

Вклад в ухудшение экологической ситуации вносят породные отвалы, объем только учтенных из них составляет более 21 000 тыс. м^3. Стоки с отвалов по химическому составу близки к шахтным водам.

Ситуация, сложившаяся на территории КУБа, требует комплексного подхода к поиску методов и путей ее решения.

В основу монографии положены результаты исследований, выполненных на территории Кизеловского угольного бассейна в течение последних 35 лет.

Комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований для оценки экологической ситуации реализован в рамках бассейнового подхода, применение которого обусловлено тем, что распределение загрязняющих веществ связано, в основном, с поверхностными и подземными водными потоками. Исследования включали в себя картографический метод, пространственный анализ с использованием современных геоинформационных технологий, а также методы математико-картографического моделирования (в том числе геостатистического), методы

автоматизированной тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли.

В течение последних 70 лет разработаны десятки проектов, направленных на очистку шахтных вод, из которых ни один не был реализован, в том числе из-за очень высокой стоимости, обусловленной большими объемами вод и уникальным химическим составом вод. Проводящаяся в настоящее время рекультивация отвалов без учета их геохимической специфики, несмотря на большие затраты, не снижает, а порой увеличивает миграцию загрязняющих веществ из них в окружающую среду. Всё это показывает, что необходим поиск новых путей для решения комплекса накопившихся проблем.

На основании лабораторных, полевых, опытно-промышленных работ и применения ГИС-технологий, изучения отечественного и зарубежного опыта авторами предложены новые возможные подходы к решению сложных экологических проблем Кизеловского угольного бассейна.

Для информационной поддержки и принятия управленческих решений на территории ликвидированного КУБа, коллективом авторов была разработана «Геоэкологическая геоинформационная система Кизеловского угольного бассейна» (http://kub.maps.psu.ru/).

Авторы выражают благодарность: Министерству природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, Уральскому центру социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий и лично его директору Р. Т. Сафину за предоставленную информацию, С. С. Потапову (Институт минералогии УрО РАН) и В. Г. Шлыкову (Московский государственный университет) за помощь в изучении состава отвалов и техногенных донных отложений, С. Б. Холостову (КГБУ «Аналитический центр») за помощь в проведении экспериментальных работ.

Авторы признательны коллегам из Пермского государственного национального исследовательского университета: Р. К. Абдуллину, В. Д. Бельтюковой, О. А. Березиной, С. М. Блинову, Н. П. Воложаниновой, Е. А. Ворончихиной, Е. В. Губиной, А. Д. Деменеву, А. В. Денисову, А. С. Кандаковой, В. И. Каменщиковой, И. В. Китаевой, Э. Е. Малееву, Е. А. Меньшиковой, О. Ю. Мещеряковой, К. К. Паньковой, А. М. Сединину, А. В. Тарасову, Е. А. Хайрулиной, В. Т. Хмурчику, А. Н. Шихову за участие в полевых, лабораторных и камеральных работах, а также подготовке данного научного труда.

Основная часть фотографических материалов предоставлена О. А. Березиной и Н. Г. Максимовичем, авторы остальных фотографий указаны в подписях к ним.

Особо авторы благодарны глубокоуважаемым рецензентам: В. И. Осипову – академику РАН, научному руководителю Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН; В. И. Клишину – члену-корреспонденту РАН, директору Института угля СО РАН; С. Г. Яковченко – д. т. н., заместителю директора ООО «ЦИТ» по научной работе за ценные замечания и советы, которые были учтены при подготовке монографии к печати.

Авторы выражают надежду, что изложенные ими подходы позволят начать реальные действия для решения проблем Кизеловского угольного бассейна, где в настоящее время экологическая ситуация близка к критической.

Глава 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Общие сведения

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) расположен в восточной части Пермского края (рис. 1.1). В административном отношении бассейн находится в пределах Кизеловского, Гремячинского и Чусовского муниципальных районов и Губахинского городского округа Пермского края (рис. 1.2). В пределах границ бассейна находятся крупные населенные пункты (с севера на юг): п. Северный

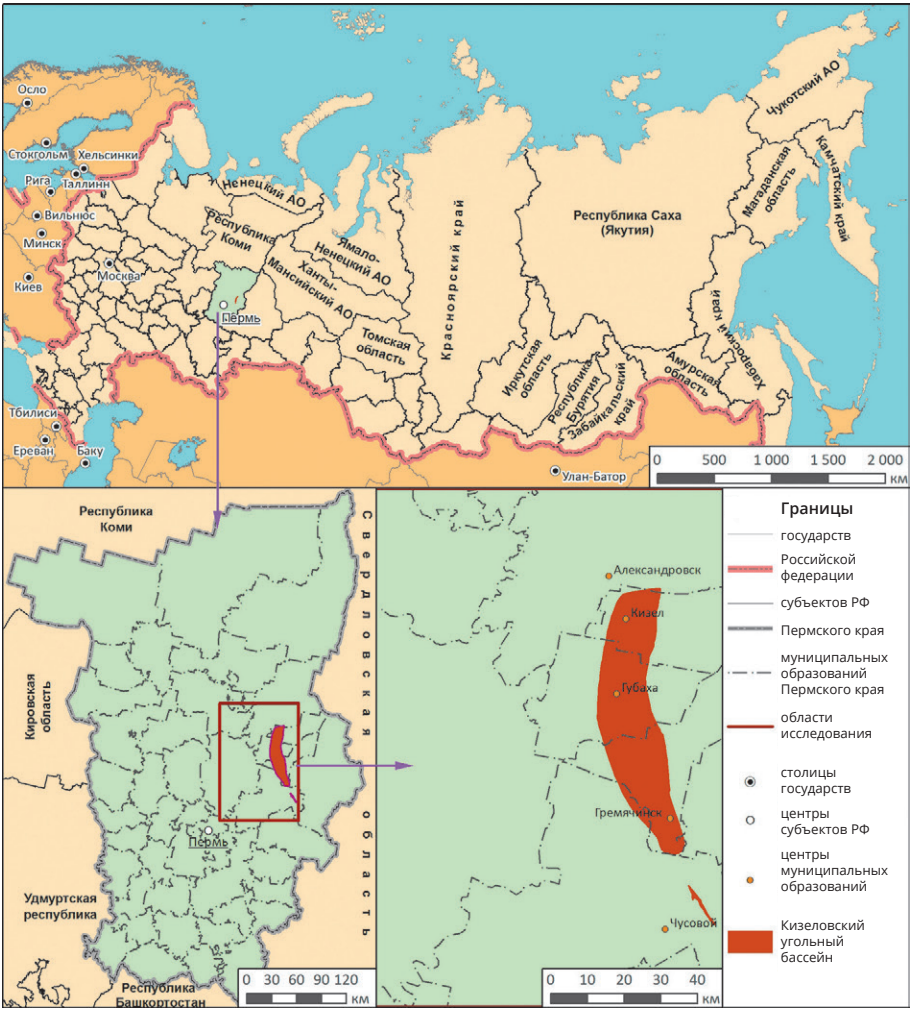


Рисунок 1.1.

Местоположение Кизеловского угольного бассейна

Коспашский, п. Шахта, г. Кизел, п. Центральный Коспашский, п. Рудничный, п. Южный Коспашский, п. Углеуральский, г. Губаха, п. Нагорнский, п. Юбилейный, п. Шумихинский, п. Усьва, г. Гремячинск, п. Скальный и др. Негативное влияние КУБа на территорию Пермского края распространяется значительно дальше границ бассейна (табл. 1.1). Основную роль в этом играют реки, переносящие загрязнители на большие расстояния. С некоторой долей условности регион, где сказывается негативное влияние, показан на рис. 1.2. При этом сле-

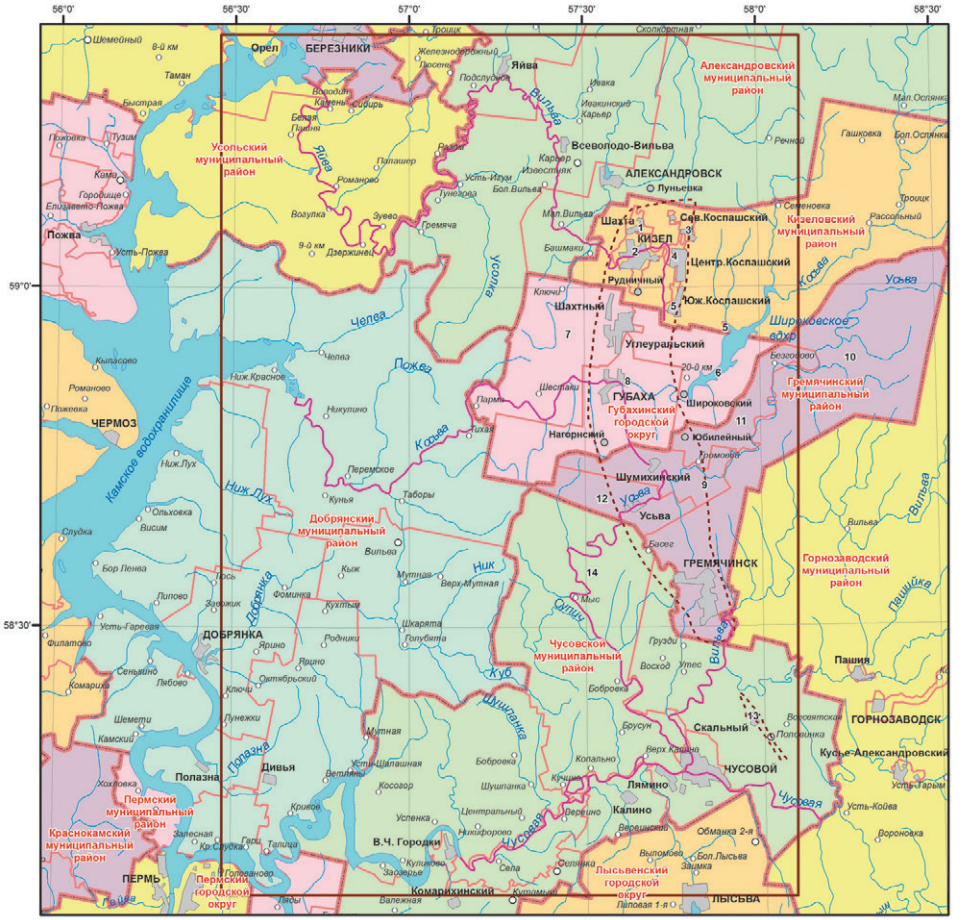
Таблица 1.1.

Численность населения муниципальных районов и поселений в границах негативного влияния КУБа (человек)

Административная единица	Всё население	Городское	Сельское
Александровский муниципальный район	**29 353**	**26 023**	**3330**
Александровское городское поселение	13 982	13 353	629
г. Александровск	13 353	13 353	–
Всеволодо-Вильвенское городское поселение	4954	2619	2 335
пгт Всеволодо-Вильва	2619	2619	–
Яйвинское городское поселение	10 158	10 051	107
пгт Яйва	10 051	10 051	–
Скопкортненское сельское поселение	259	–	259
Гремячинский муниципальный район	11 319	9388	1931
Гремячинское городское поселение	9011	9000	11
г. Гремячинск	9000	9000	–
Усьвинское сельское поселение	388	388	–
пгт Усьва	388	388	–
Шумихинское сельское поселение	864	–	864
Юбилейнинское сельское поселение	1056	–	1056
Губахинский городской округ	**34 586**	**32 618**	**1968**
г. Губаха	20 289	20 289	–
пгт Углеуральский	9109	9109	–
пгт Широковский	3220	3220	–
Добрянский муниципальный район	**56 458**	**46 104**	**10 354**
Добрянское городское поселение	33 513	33 083	430
г. Добрянка	33 083	33 083	–
Полазненское городское поселение	13 385	13 021	364

Таблица 1.1 (продолжение).

Административная единица	Всё население	Городское	Сельское
пгт Полазна	13 021	13 021	–
Вильвенское сельское поселение	1393	–	1393
Висимское сельское поселение	1230	–	1230
Дивьинское сельское поселение	1932	–	1932
Краснослудское сельское поселение	2327	–	2327
Перемское сельское поселение	1461	–	1461
Сенькинское сельское поселение	1217	–	1217
Кизеловский муниципальный район	**20 525**	**15 572**	**4953**
Кизеловское городское поселение	15 578	15 572	6
г. Кизел	15 572	15 572	–
Северно-Коспашское сельское поселение	1278	–	1278
Центрально-Коспашское сельское поселение	1352	–	1352
Шахтинское сельское поселение	924	–	924
Южно-Коспашское сельское поселение	1393	–	1393
Усольский муниципальный район	**14 233**	**6236**	**7997**
Усольское городское поселение	8988	6236	2752
г. Усолье	6236	6236	–
Орлинское сельское поселение	2241	–	2241
Романовское сельское поселение	1281	–	1281
Троицкое сельское поселение	1723	–	1723
Чусовской муниципальный район	**68 073**	**53 448**	**14625**
Чусовское городское поселение	49 778	49 762	16
г. Чусовой	45 291	45 291	–
пгт Лямино	4471	4471	–
Верхнекалинское сельское поселение	2304	–	2304
Верхнечусовское Городковское сельское поселение	2107	–	2107
Калинское сельское поселение	2475	2070	405
пгт Калино	2070	2070	–
Комарихинское сельское поселение	2368	–	2368
Никифоровское сельское поселение	1074	–	1074
Сельское сельское поселение	1216	–	1216
Скальнинское сельское поселение	6751	1616	5135
пгт Скальный	1616	1616	–



№	Муниципальный район	Поселение
1	Кизеловский	Шахтинское сельское
2	Кизеловский	Кизеловское городское
3	Кизеловский	Северно-Коспашское сельское
4	Кизеловский	Центрально-Коспашское сельское
5	Кизеловский	Южно-Коспашское сельское
6	Губахинский городской округ	Широковское сельское
7	Губахинский городской округ	Северо-Углеуральское городское
8	Губахинский городской округ	Губахинское городское
9	Гремячинский	Шумихинское сельское
10	Гремячинский	Гремячинское городское
11	Гремячинский	Юбилейнинское сельское
12	Гремячинский	Усьвинское сельское
13	Чусовской	Скальнинское сельское
14	Чусовской	Верхнекалинское сельское

Границы

области исследования

Кизеловского угольного бассейна

муниципальных районов и городских округов

поселений

загрязненные реки

0 10 20 30 40 км

Рисунок 1.2.

Муниципальные районы и поселения Пермского края в границах области исследования

дует учитывать, что загрязнению также подвержено Камское водохранилище, однако эта проблема требует специального исследования, выходящего за рамки данной монографии.

Кизеловский угольный бассейн входит в состав Западно-Уральского угольного бассейна, в котором выделяются, с севера на юг, три района: Вишерский, Кизеловский и Чусовской. В виде узкой полосы шириной до 25 км, он протягивается на 150 км вдоль западного склона Урала от г. Александровска (на севере) до г. Лысьвы (на юге). Площадь бассейна около 1500 км^2. Основными месторождениями бассейна являются: месторождение Главной Кизеловской антиклинали, Коспашское, Косьвинское, Гремячинское, Скальнинское (рис. 1.3).

В системе современного почвенно-экологического районирования территория КУБа относится к Западному предгорному району тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв [78].

Согласно ботанико-географическому районированию рассматриваемый район относится к средне- и южнотаежным предгорным пихтово-еловым и елово-пихтовым лесам. Характерно бóльшее, чем на равнине участие неморальных видов и бóльшее разнообразие травяных типов леса. Здесь повышено участие сибирских видов, обычна примесь лиственницы и кедра. В целом это лесной район, но вследствие интенсивных рубок значительные площади покрыты вторичными березняками и смешанными лесами. Сельское хозяйство развито слабо, доля используемых в сельскохозяйственном производстве земель не превышает 2,5% [130].

В фаунистическом отношении описываемая территория является участком Восточно-Европейской провинции бореального природного пояса. В целом биологическое разнообразие позвоночных животных здесь должно быть представлено видами, характерными для таежной зоны. Однако в настоящее время основным фактором, определяющим видовое разнообразие фауны, является техногенное преобразование окружающей среды, из-за чего типично таежные виды животных встречаются довольно редко, а наиболее широко представлены тривиальные виды наземных позвоночных.

Выраженное влияние на формирование фауны также оказывает гидрологическая сеть рек Яйвы, Косьвы, Усьвы, Вильвы и их притоков.

В ихтиофауне рек, не испытывающих значительного загрязнения, преобладают реофильные виды: европейский хариус и речной гольян. В средних участках относительно крупных рек начинают встречаться типичные для Прикамья рыбы: окунь, плотва, лещ, щука и др. [56].

В границы КУБа попадают особо охраняемые природные территории (ООПТ) регионального значения – 11 памятников природы и один охраняемый ландшафт (табл. 1.2) [132].

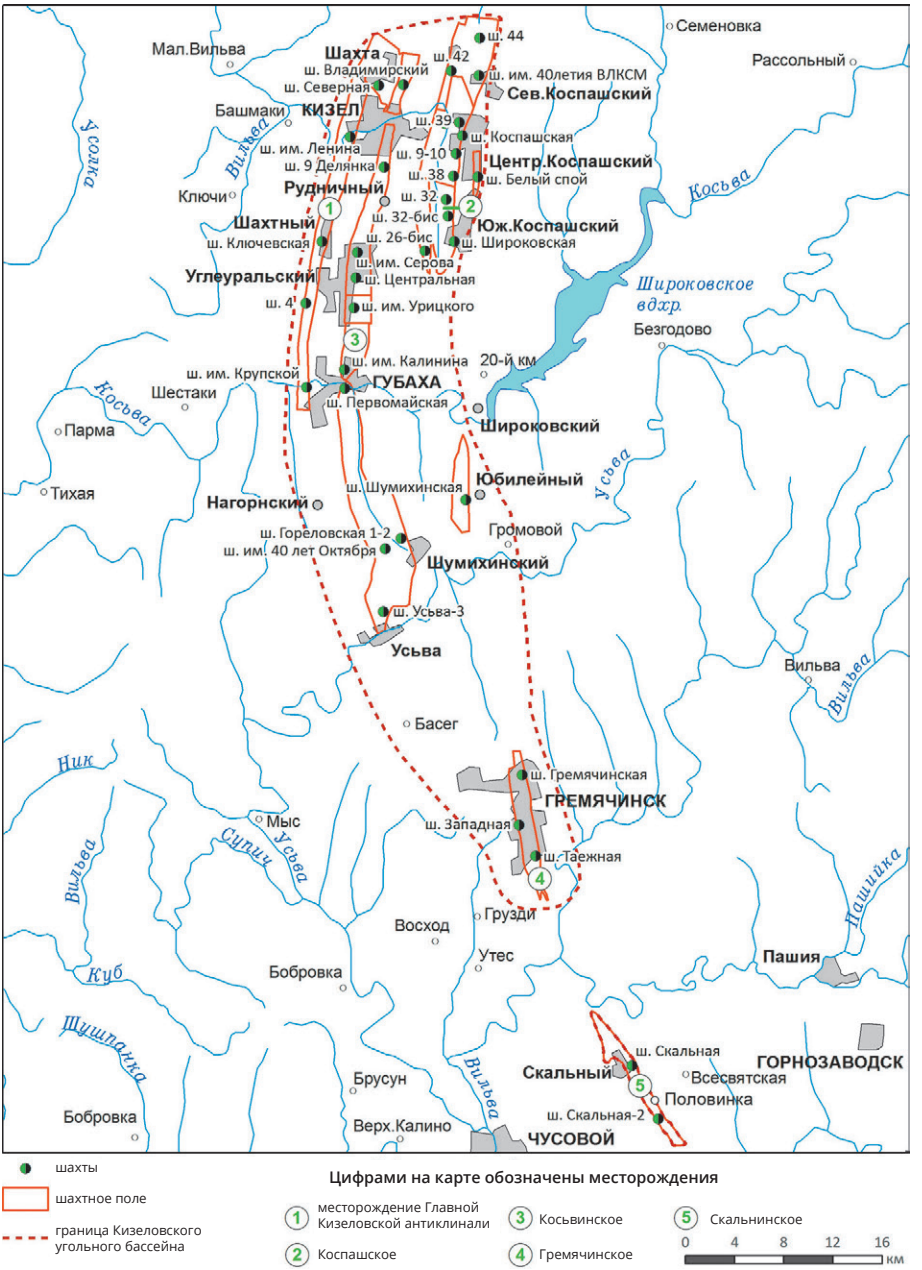


Рисунок 1.3.

Месторождения Кизеловского угольного бассейна

Физико-географическая характеристика и геологические условия района, имеющие первостепенное значение для понимания экологических проблем КУБа, даны в соответствующих разделах.

Таблица 1.2.

Перечень ООПТ на территории КУБа

Муниципальный район	Тип ООПТ	Название ООПТ
Губахинский	Памятник природы	Белая скала
	Памятник природы	Губахинская (Мариинская) пещера
	Памятник природы	Губахинское обнажение
	Памятник природы	Косьвинская карстовая арка
	Памятник природы	Кременное обнажение
	Охраняемый ландшафт	Ладейный Лог
	Памятник природы	Сухой Лог
	Памятник природы	Темная пещера
	Памятник природы	Холодный Лог
Гремячинский	Памятник природы	Каменный Город
Чусовской	Памятник природы	Половинкинский карстовый мост
	Памятник природы	Глухие Камни

1.2. История освоения месторождения

Зарождение угольной промышленности на Урале относится к концу XVIII в.

В 1783 г., во время строительства плотины для Кизеловского металлургического завода, были обнаружены два мощных пласта каменного угля, а тремя годами позднее были открыты новые угольные месторождения (это событие связывают с именем крепостного крестьянина, рудознатца Моисея Югова) [26]. В 1796 г. на берегу Кизеловского пруда была заложена первая эксплуатационная выработка на уголь – штольня «Запрудная». Сейчас на месте шахты «Запрудная» установлен памятный знак.

После постройки Уральской железной дороги Пермь – Усолье, в 1879 г. кизеловский уголь вышел на широкий рынок, что способствовало развитию угольной промышленности на Урале. Добываемый в небольших количествах на территории бассейна каменный уголь полностью расходовался на вспомогательные нужды Кизеловского, Александровского и Чермозского заводов. Основ-

ным потребителем кизеловского угля в 1880–1890-е гг. была железная дорога; фабрично-заводская промышленность покупала от 17 до 30% добываемого в Кизеле угля.

В 1892 г., по официальным данным, в Кизеловском угольном бассейне действовало 22 шахты и штольни, на которых было добыто 253 тыс. т угля. На всех шахтах было занято 2392 горняка, из них 1490 работали в шахтах, 902 – на поверхности. Техническое оснащение бассейна состояло из 10 паровых машин общей мощностью 257 лошадиных сил, но больше половины шахт их не имело [7].

Экономический кризис на рубеже XIX–XX вв. тяжело отразился на развитии российской промышленности – особенно сильно пострадали металлургия и связанные с ней производства, в том числе и угледобыча. Уральские заводы испытывали «топливный голод» с самого начала XX в. и были вынуждены переводить производство на минеральное топливо, что стимулировало рост спроса на местный каменный уголь, добыча которого была сосредоточена в основном в районе Кизеловского бассейна. Также в уральском угле остро нуждались железные дороги во время русско-японской войны. В результате на территории бассейна развернулось строительство новых шахт и к 1906 г. добыча угля достигла 667 тыс. т. В этот период начинают вводиться технические усовершенствования, предпринимаются первые попытки механизации шахт. В 1913 г. Урал дал стране 3,1% всей добычи угля, 20% всей выработки чугуна и 16% – стали. За 13 лет (1900–1913 гг.) в Кизеловском бассейне было добыто 7,5 млн т угля и разведано несколько новых месторождений [9].

После Октябрьской революции, сопровождавшейся экономической разрухой, добыча угля начала постепенно восстанавливаться и в 1919 г. достигла 45% довоенного уровня. В 1924 г. начала работу Кизеловская ГРЭС – первая районная электростанция на Урале.

В период после Первой мировой войны Кизеловский угольный бассейн по добыче угля занимал первое место среди угольных бассейнов Урала, дав за это время стране миллионы тонн угля. Велась активная разведка недр, строились шахты на Коспашском месторождении, вошли в эксплуатацию шахты им. Серова, «Нагорная» и др. (рис. 1.4).

В конце 1930 г. началось строительство большого коксохимического завода (рис. 1.5). Для укрепления собственной базы по производству строительных материалов был организован трест «Кизелшахтострой». Кизел, Губаха и Углеуральск превратились в культурные и благоустроенные города, их население увеличилось почти в полтора раза. В 1936 г. на шахте «Комсомолец» Кизеловского бассейна, впервые в истории каменноугольной промышленности, была произведена отбойка угля посредством воды (рис. 1.6).

Рисунок 1.4.
Шахта «1-ая Капитальная». 1930 г.

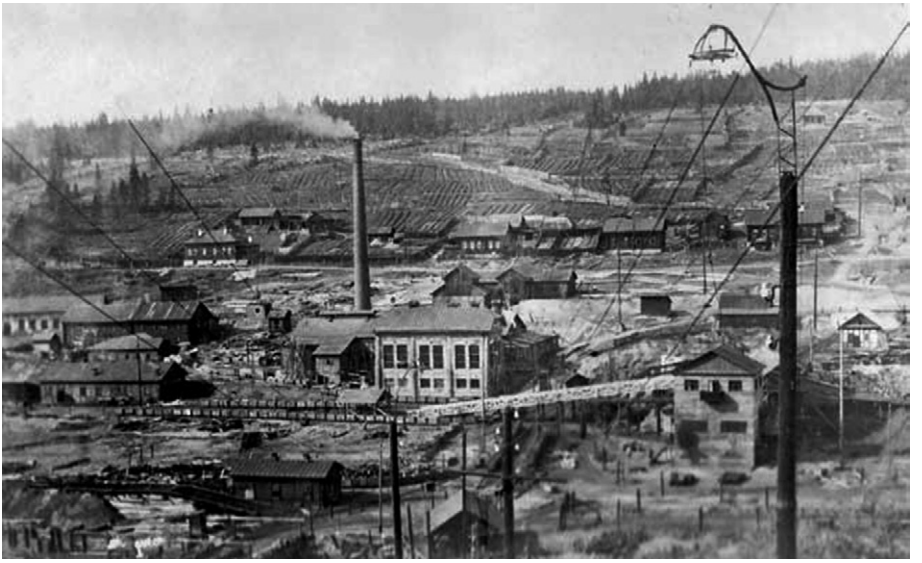


Рисунок 1.5.
Вид на г. Губаху. 1930-е гг. (источник: www.gubaha.com)

В год, предшествующий началу Великой Отечественной войны, Урал занял третье место в СССР по размерам добычи (после Донецкого и Кузнецкого бассейнов). Кизел давал 38% всего угля, добываемого на Урале.

В годы Великой Отечественной войны тысячи шахтеров ушли на фронт. Места ушедших заняли пенсионеры, женщины, служащие учреждений, учащиеся школ, училищ трудовых резервов, подростки. Шахтостроители за годы войны ввели в эксплуатацию 15 шахт, проложили 40 км линий электропередачи, 30 км шоссейных дорог, 23 км водопровода и 79 км железнодорожных путей [81].

В 1942 г. был организован самостоятельный комбинат «Молотовуголь». Также организуется трест «Кизелуглеразведка». К марту 1943 г. в Кизеловском бассейне расчетная мощность шахт, введенных в строй до 1941 г., была освоена только на 72,3% [39]. Для ускорения процесса добычи угля стали широко применять подземные буровзрывные работы, которые увеличивали скорость как подготовительных, так и очистных работ, а также способствовали снижению себестоимости угля. С 1941-го по 1945 г. удельный вес угля, добытого с помощью буровзрывных работ, увеличился в Кизеловском бассейне с 21,9% до 52,7% [8]. В 1945 г. в промышленный резерв было сдано 18 вновь разведанных шахтных полей, в том числе Шумихинское и Косьвинское месторождения.

Рисунок 1.6.
Добыча угля в шахте «Комсомолец». 1936 г.

Население г. Кизела с 1941-го по 1951 г. увеличилось вдвое. Развивалась инфраструктура, были построены: Дворец культуры, драмтеатр, стадион, большой кинотеатр, горный техникум, средние школы, гостиница, водная станция.

Добыча угля достигла максимума в 1959 г. (свыше 12 млн т). Однако строительство новых шахт вскоре прекратилось, многие действующие шахты стали закрываться, угледобыча начала постепенно снижаться. Резко уменьшились, а затем и вовсе были прекращены геологоразведочные работы [26].

В августе 1994 г. объединение «Кизелуголь» было преобразовано в акционерное общество по добыче угля с объемом годовой добычи 1545,5 тыс. т. Сложные горно-геологические условия, высокие производственные издержки, низкое качество угля стали объективными причинами резкого ухудшения экономических показателей угледобычи и необходимости ее ликвидации. В соответствии с Указом Президента РФ от 21.06.93 г. № 934 и Постановлением Правительства РФ от 20.06.93 г. № 590 о реструктуризации угольной отрасли, в 1994 г. начался процесс ликвидации шахт ОАО «Кизелуголь». На 1 января 1994 г. на территории Кизеловского бассейна действовало 12 шахт. Еще в 1993 г. была закрыта шахта им. Крупской, в 1996 г. – шахта «Широковская», в 1999 г. – шахта «Нагорная», а в 2000 г. закрылись шахты «Шумихинская», «Усьва-3» и им. 40 лет Октября [81, 122].

Технико-экономические обоснования ликвидации всех шахт были разработаны проектным институтом «Уралгипрошахт». Ликвидация шахт проводилась совместно с администрациями городов; приоритетными направлениями финансирования стали: ликвидация горных выработок, реконструкция объектов социальной инфраструктуры, переселение граждан из ветхого и аварийного жилья, обеспечение социальной защиты высвобождаемых работников.

Из-за негативного воздействия на окружающую природу, которое оказывала длительная эксплуатация шахт, большое количество естественных водоемов было выведено из пользования [1, 67, 68]. Эксплуатация шахт повлекла за собой нарушение земель и загрязнение атмосферного воздуха, изменение режима поверхностных и подземных вод [13, 80, 83]. Реструктуризация Кизеловского угольного бассейна предполагала строительство очистных сооружений для очистки шахтных вод, стоков с породных отвалов, а также поверхностного стока, рекультивацию нарушенных земель. Для наблюдения за экологической обстановкой в КУБе был создан Центр экологического мониторинга, который в настоящее время проводит контроль за качеством подземных и поверхностных вод, изливов шахтных вод, стоков с породных отвалов [124].

1.3. Климатические особенности

Физико-географические условия региона оказывают существенное влияние на формирование экологической обстановки КУБа. Значительное количество осадков (около 900 мм/год), из которых 30% идет на пополнение запасов подземных вод [127], способствует формированию интенсивных изливов и промывному режиму отвалов шахтных пород. Достаточно развитая речная сеть, наличие карстовых суходолов вносят свою специфику в загрязнение поверхностной гидросферы. Учитывая это, климатический и гидрологический режимы территории рассмотрены подробно.

Для КУБа характерен умеренно-континентальный климат. Климатические условия района формируются под влиянием общеизвестных климатообразующих факторов, таких как радиационный режим, атмосферная циркуляция, рельеф и характер подстилающей поверхности. Дифференциация климатических условий по территории определяется ее орографическими особенностями, прежде всего меридиональным простиранием горных хребтов Урала.

Самым холодным месяцем является январь, самым теплым – июль. Отмечаются ранние осенние и поздние весенние заморозки. Среднегодовая температура воздуха выше 0°С, преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. Среднегодовое количество осадков составляет 800–900 мм. Климатическая карта представлена на рисунке 1.7.

Радиационный режим характеризуется такими показателями, как приток прямой и рассеянной радиации, альбедо подстилающей поверхности, радиационный баланс, продолжительность солнечного сияния [125].

На территории КУБа годовой приход прямой солнечной радиации при средних условиях облачности составляет около 1824 МДж/м^2, а приход рассеянной радиации (при тех же условиях) – 1894 МДж/м^2, что несколько превышает суммы прямой солнечной радиации. Годовой приход суммарной солнечной радиации, таким образом, составляет около 3700 МДж/м^2. Максимум возможных месячных сумм радиации при средних условиях облачности приходится на июнь – 639 МДж/м^2, а минимум на декабрь – 29 МДж/м^2. В отдельные годы, в зависимости от облачности, соотношение прямой и рассеянной радиации и приход суммарной радиации могут значительно отличаться от средних величин. Годовой радиационный баланс деятельной поверхности при средних условиях облачности составляет около 1348 МДж/м^2. Период с положительным радиационным балансом длится 8 месяцев. Переход радиационного баланса от отрицательного к положительному происходит в марте, а обратная смена знака отмечается в октябре. Максимальная сумма радиационного баланса наблюдается в июне – 344 МДж/м^2. Наибольший отрицательный радиационный баланс отмечается в декабре и до-

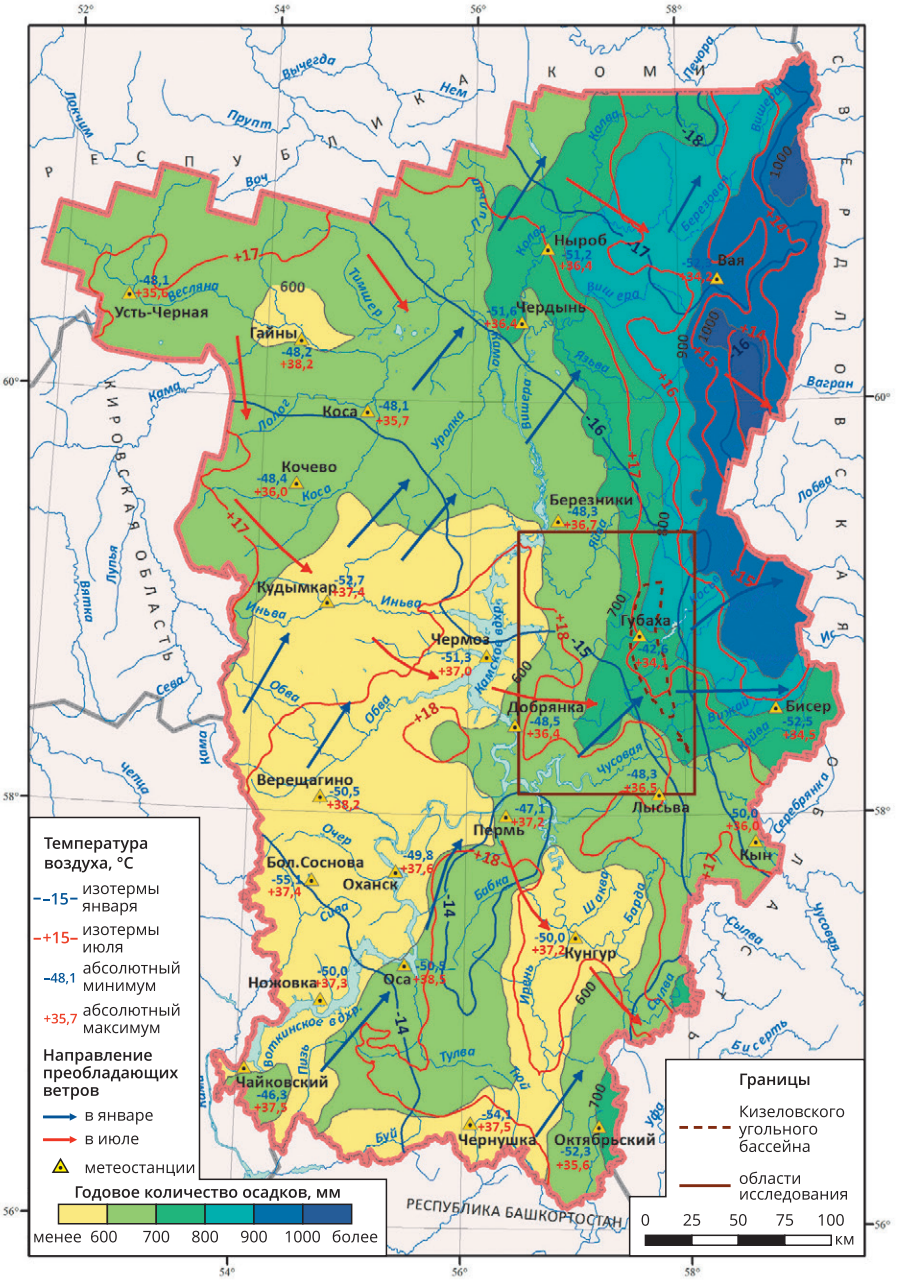


Рисунок 1.7.

Температуры воздуха и направления преобладающих ветров

стигает 37 МДж/м^2. В отдельные годы и месяцы могут наблюдаться отклонения от средних многолетних величин радиационного баланса – в зависимости от сочетания суммарной радиации, эффективного излучения (определяемых, главным образом, облачностью) и альбедо поверхности [179].

Продолжительность солнечного сияния на данной территории изменяется от 19–29 ч в декабре до 280–290 ч в июне–июле [136].

Циркуляционный режим атмосферы над территорией КУБа характеризуется преобладанием зонального переноса воздушных масс. Частое поступление влажного воздуха с Атлантики в сочетании с влиянием барьерного эффекта Уральских гор способствует выпадению большого количества осадков и формированию ярко выраженного гумидного типа климата.

Ветровой режим района определяется особенностями циркуляции атмосферы и рельефа местности. В зимний период преобладают юго-западные и западные ветры (повторяемость – 60%), летом чаще наблюдаются ветры западного, северо-западного или северного направлений (повторяемость – 16–36%). В переходные сезоны, в связи с перестройкой барического поля с летнего режима на зимний и наоборот, происходит смена преобладающего направления ветра. В целом в течение года преобладают южные, юго-западные и западные ветры.

Среднегодовая скорость ветра определяется локальными условиями расположения пункта наблюдений. Так, по данным метеостанции Губаха (наблюдательная площадка которой расположена в лесу), среднегодовая скорость ветра составляет всего 1,6 м/с. Это самое низкое значение для всей территории Пермского края. В годовом ходе скорости ветра выделяются основной весенний максимум и летний минимум. Вторичный максимум скорости ветра отмечается осенью, а вторичный минимум – в середине зимы. Повторяемость штилей максимальна в июне–июле, а также в январе [179].

В холодный период года на территории Кизеловского угольного бассейна может наблюдаться такое явление, как Кизеловская бора: сильный порывистый ветер восточного направления, который сопровождается метелями и снежными заносами. Бора может наблюдаться в полосе от г. Лысьвы до г. Александровска, но наибольшей силы достигает в районе г. Кизела. С 1968-го по 1987 г. в районе г. Кизела зафиксировано 4 случая боры [131]. Наиболее сильной бора была 8–9 декабря 1968 г., когда при температуре –32...–35°С порывы ветра достигали 35–40 м/с. В результате снежных заносов было полностью парализовано движение транспорта, ветром сорваны крыши домов, прервано электроснабжение. Возникновение боры связано с ситуацией, когда сильно выхоложенный воздух скапливается в горных котловинах и в Зауралье. В нижнем 500-метровом слое

воздуха в подобном случае создается неустойчивое равновесие, более холодный и более тяжелый воздух в горах нависает над относительно теплым воздухом в западных предгорьях и стекает вниз по склону [131, 173].

Термический режим воздуха формируется под влиянием макромасштабных и местных факторов. К макромасштабным факторам относятся атмосферная циркуляция, радиационный режим и макрорельеф, к местным условиям – мезо- и микрорельеф и характер растительного покрова [136]. В целом климат территории Кизеловского угольного бассейна характеризуется продолжительной холодной зимой и коротким умеренно-теплым летом. Климатическая зима (период со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°С) продолжается в среднем с третьей декады октября до начала апреля, то есть 160–170 дней. В свою очередь, климатическое лето (период со среднесуточной температурой воздуха выше +15°С) начинается в среднем после 15 июня, а заканчивается уже к 10 августа.

Среднегодовая температура воздуха составляет от 0 до +2°С (по нормам 1971–2000 гг.) и, как и по всей территории Пермского края, повышается с северо-востока на юго-запад. Самым холодным был 1969 г. со среднегодовой температурой –2...–3,5°С, а самыми теплыми – 1995 и 2008 гг. со среднегодовой температурой +1,5...+3°С.

Самым холодным месяцем года является январь, средняя температура которого составляет от –15 до –17°С (рис. 1.8). Для зимнего периода характерно инверсионное распределение температуры воздуха. На возвышенностях, склонах и вершинах гор средняя температура января на 1–3°С выше, чем в межгорных долинах, куда в условиях антициклональной погоды стекает выхоложенный воздух. Абсолютный минимум температуры для территории Кизеловского угольного бассейна составляет –50...–52°С (отмечался в конце декабря 1979 г.), а за последние 30 лет самая низкая температура (–42,6°С) была зафиксирована в декабре 2009 г.

Самым теплым месяцем года является июль (средняя температура +16...+18°С, рис. 1.9). Абсолютный максимум температуры воздуха, по данным метеостанции Губаха, составляет +34,1°С (зафиксирован в июле 2010 г.).

Общая продолжительность безморозного периода составляет в среднем 80–100 дней. Весенние заморозки обычно заканчиваются к середине июня, а осенние могут регулярно наблюдаться со второй половины августа. В редких случаях слабые заморозки отмечаются и в июле.

С 1980-х гг. на территории Кизеловского угольного бассейна, как и всего Пермского края, наблюдается потепление климата. Сравнение среднемесячных значений температуры воздуха за 30-летние периоды (1951–1980 и 1981–

2010 гг.) показывает, что значительное повышение температуры (на 1,5–2,4°С) произошло в январе, феврале, марте и октябре; в августе–сентябре потепление было выражено слабо. Среднегодовая температура воздуха за 30 лет повысилась на 0,8–1,0°С. Аналогичная динамика потепления характерна для Поволжья и Западного Урала в целом [136].

Режим атмосферных осадков определяется особенностями атмосферной циркуляции, рельефа местности и подстилающей поверхности. Под влиянием барьерного эффекта Уральских гор на территории Кизеловского угольного бассейна выпадает существенно больше осадков, чем в среднем по Пермскому краю. Среднегодовое количество осадков составляет 800–900 мм (рис 1.10). Из них в холодный период (ноябрь–март) выпадает в среднем 250–300 мм, остальные приходятся на теплый период. Осадки распределяются по территории весьма неравномерно (рис. 1.11, 1.12). Больше всего их выпадает на наветренных западных склонах хребтов Белый Спой и Рудянский Спой (более 900 мм/год).

В годовом ходе минимум количества осадков приходится на февраль–март, когда выпадает в среднем 35–45 мм за месяц. Резкое увеличение количества осадков происходит в апреле–июне. Основной максимум осадков в годовом ходе приходится на июль (90–110 мм за месяц). В отдельные годы (1994, 2007, 2015) летом выпадает за месяц более 200 мм осадков. Осеннее уменьшение количества осадков выражено слабо. В августе, сентябре и октябре выпадает в среднем 80–100 мм осадков за месяц, и лишь с ноября их количество начинает сокращаться более существенно. Но в отдельные годы и зимой месячная сумма осадков может превышать 100 мм [151].

Снежный покров. На территории Кизеловского угольного бассейна устойчивый снежный покров формируется обычно во второй половине октября, по юго-западу его – в начале ноября. Разрушение устойчивого снежного покрова в среднем (за период 1950–2009 гг.) происходит 20–25 апреля. Соответственно, продолжительность залегания снежного покрова составляет около 170 дней.

Максимальная высота снежного покрова и запасы воды в нем увеличиваются от юго-запада к северо-востоку региона. Это связано как с увеличением количества осадков холодного периода, так и с понижением средней температуры и увеличением продолжительности залегания снежного покрова. Норма максимальной высоты снежного покрова составляет от 70 см на юго-западе до 100 см и более на хребтах Белый Спой и Рудянский Спой (рис. 1.13, 1.14). Абсолютный максимум высоты снежного покрова в Губахе составляет 144 см [152].

Максимальный запас воды в снежном покрове формируется к концу марта: его величина изменяется от 200 мм на юго-западе до 300 мм и более на наве-

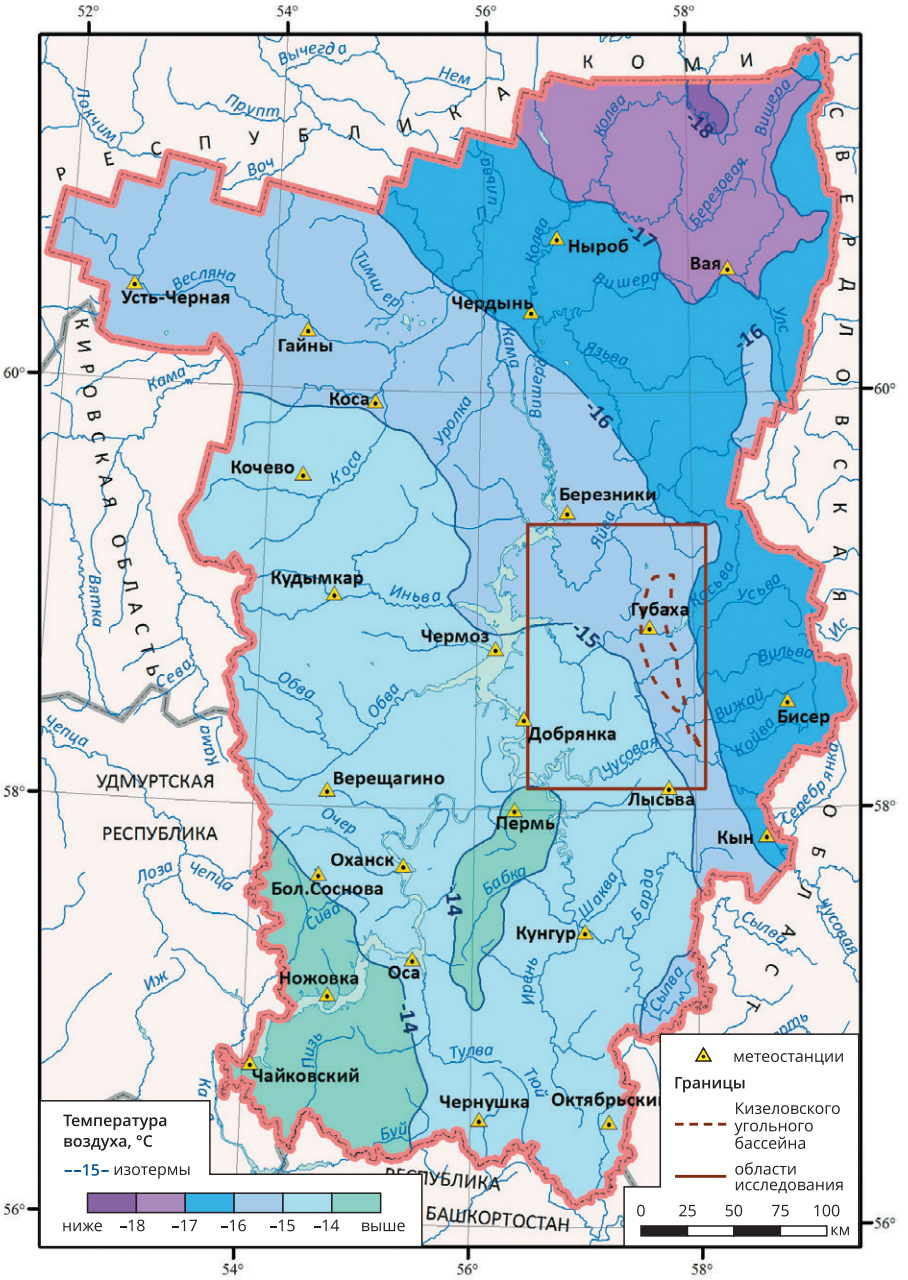


Рисунок 1.8.

Средняя температура воздуха в январе за период 1971–2000 гг.

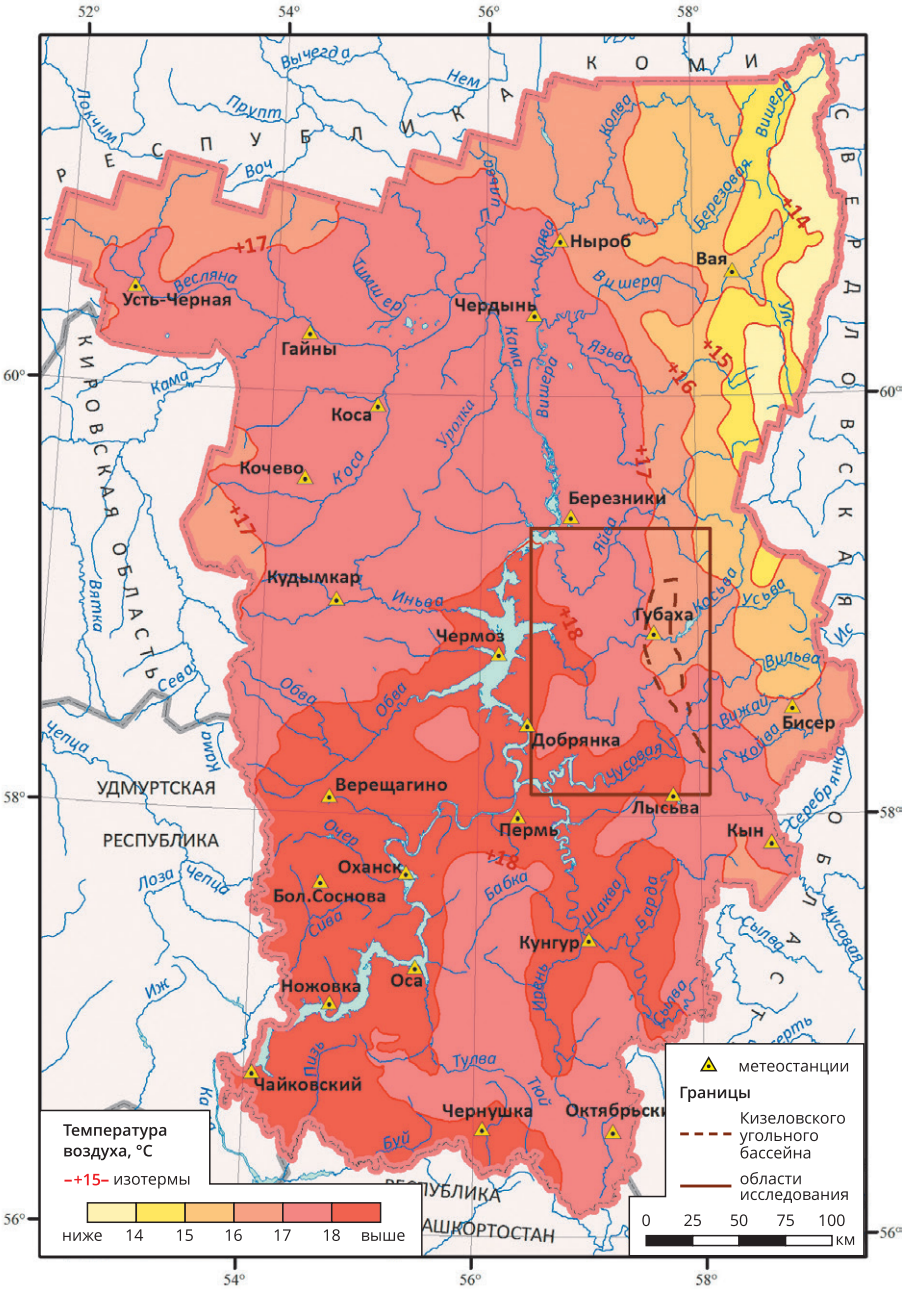


Рисунок 1.9.

Средняя температура воздуха в июле за период 1971–2000 гг.

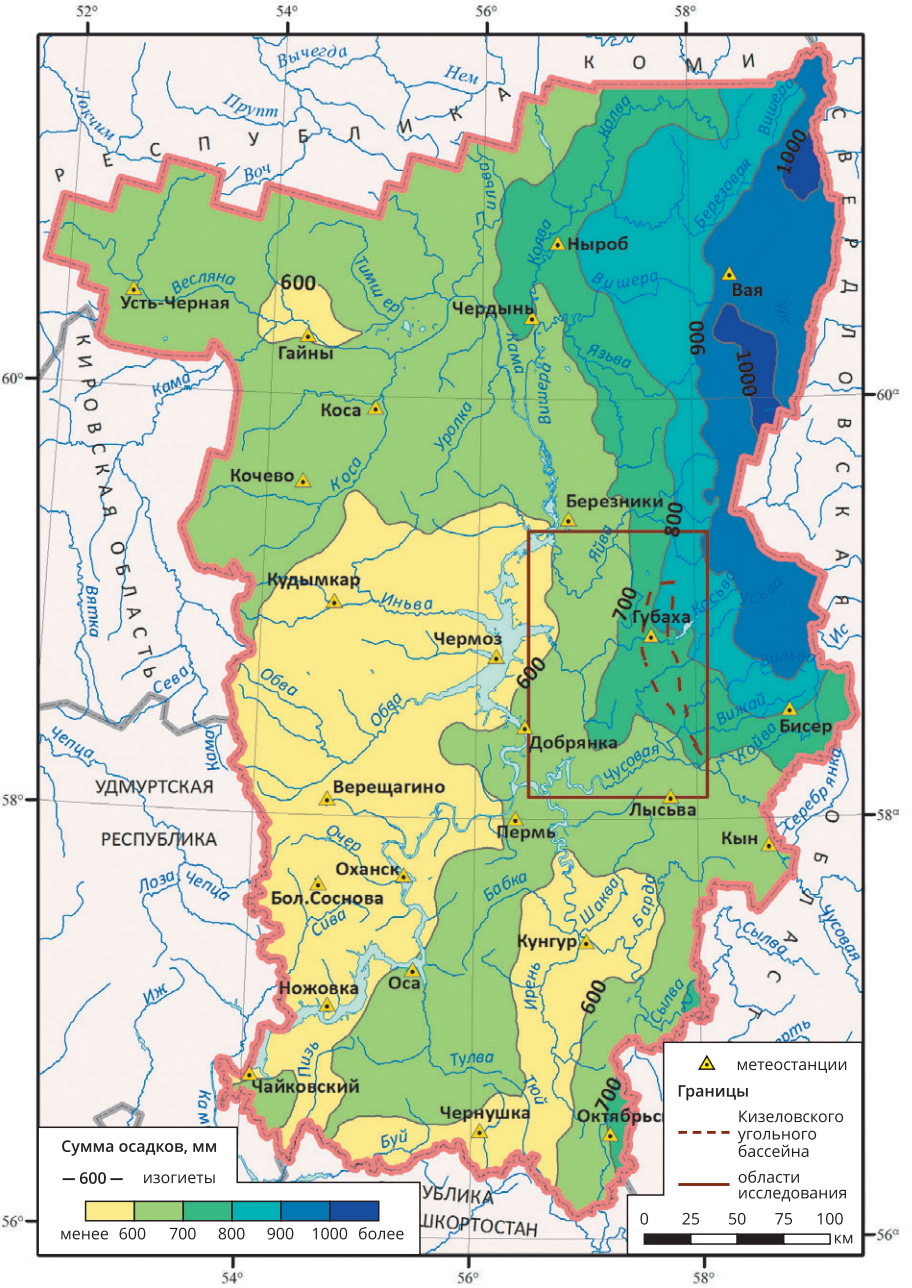


Рисунок 1.10.

Среднегодовая сумма осадков (осреднение 1971–2000 гг.)

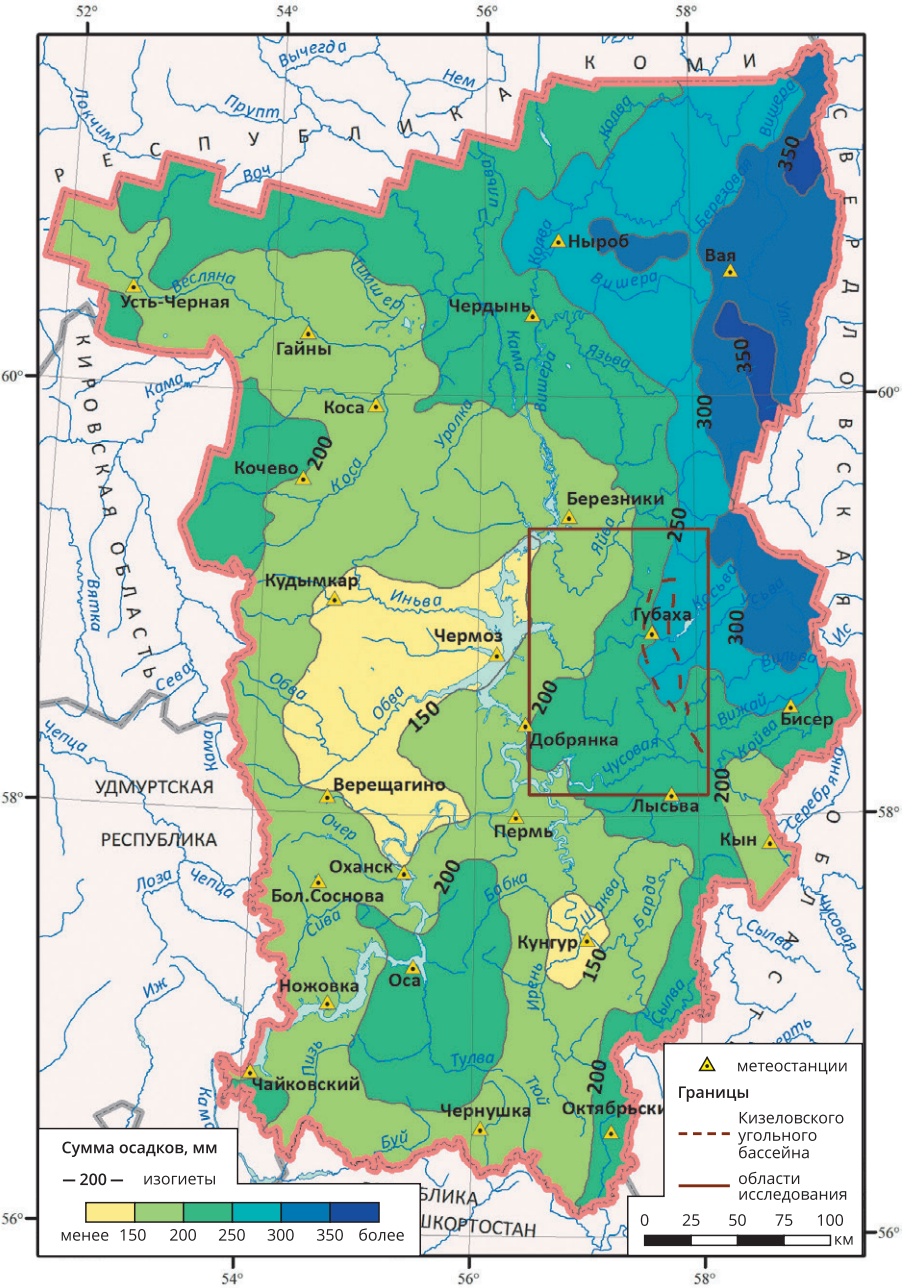


Рисунок 1.11.

Сумма осадков холодного периода (осреднение 1971–2000 гг.)

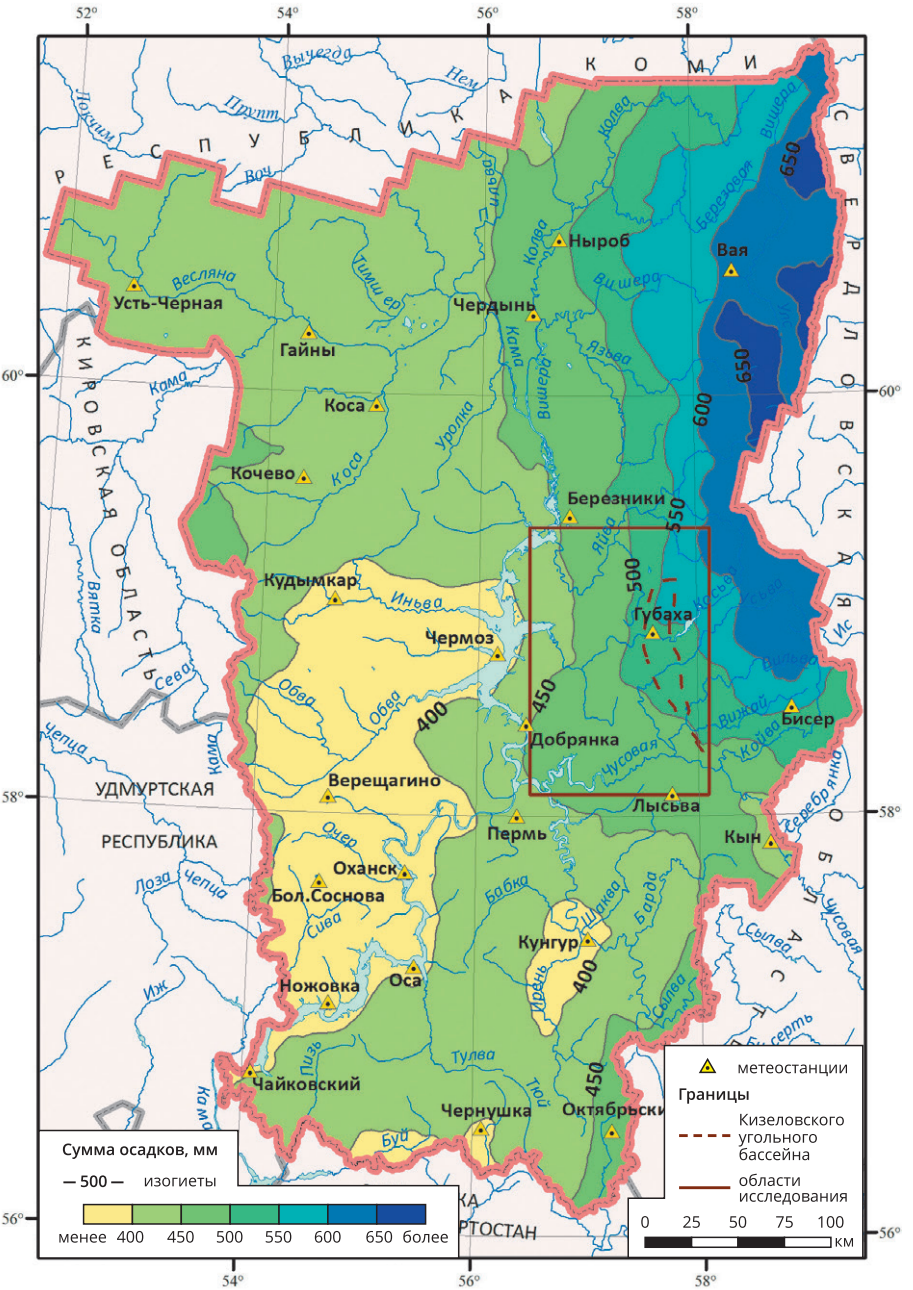


Рисунок 1.12.

Сумма осадков теплого периода (осреднение 1971–2000 гг.)

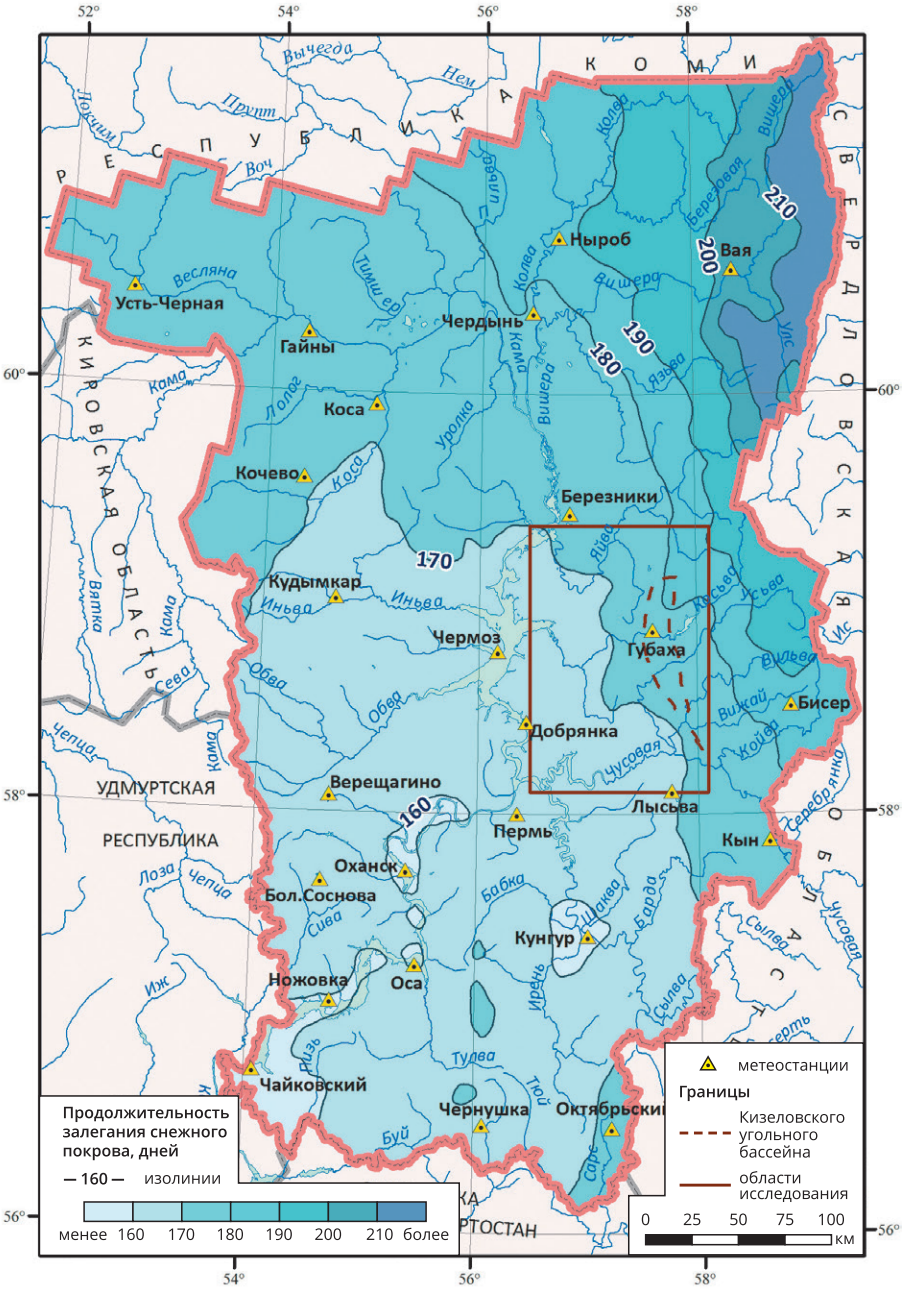


Рисунок 1.13.

Продолжительность залегания снежного покрова

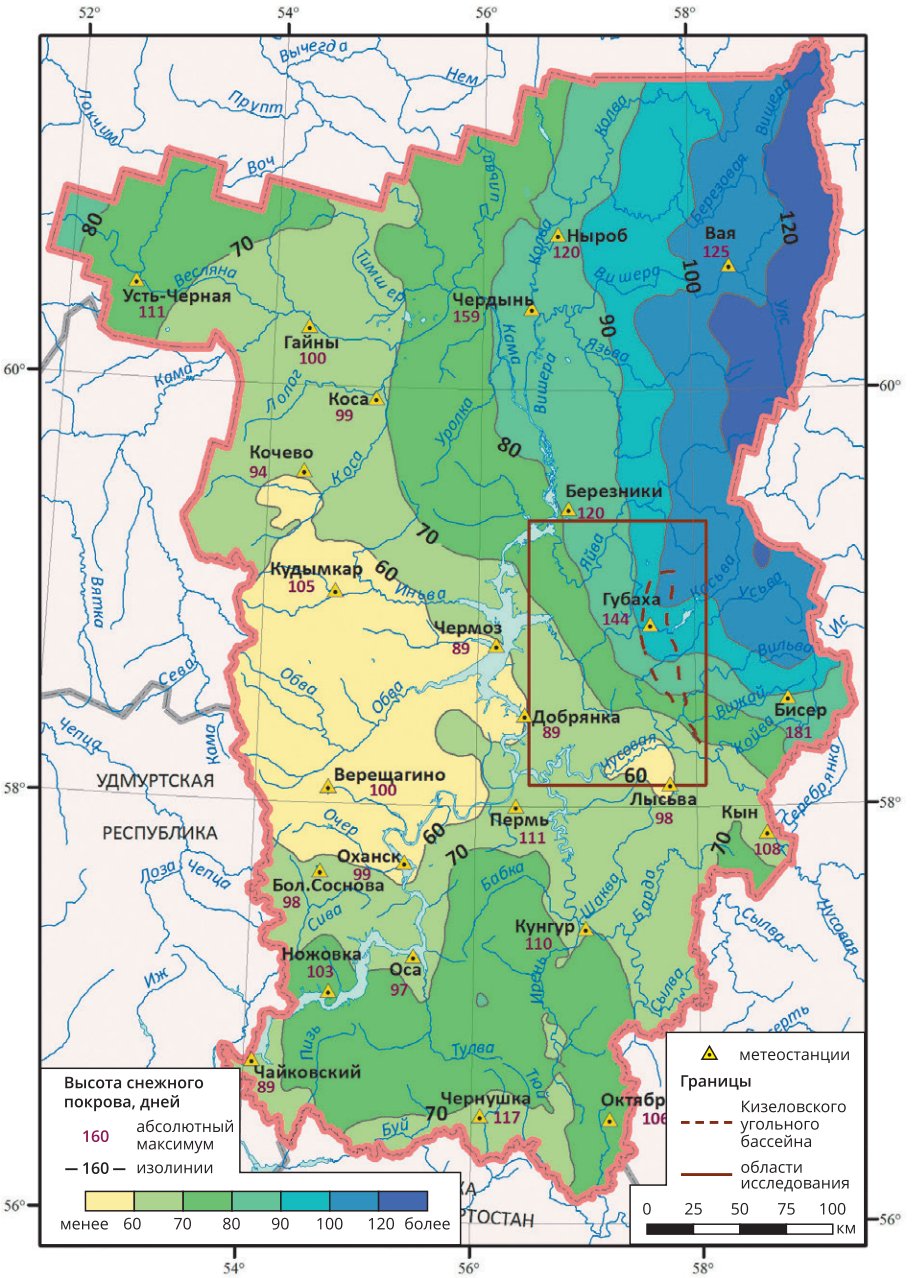


Рисунок 1.14.

Норма максимальной высоты снежного покрова

тренных склонах и вершинах хребтов. В отдельные годы запас воды в снеге (по данным снегомерных съемок на метеостанции Губаха) достигает 450–500 мм.

Опасные метеорологические явления. Для Кизеловского угольного бассейна наиболее характерны такие опасные явления погоды, как сильные морозы (2–3 дня в году с минимальной температурой воздуха –35°С и ниже), очень сильные снегопады (с количеством осадков не менее 20 мм/12 ч), сильные метели, очень сильные дожди (не менее 30 мм/12 ч), шквалы и крупный град. Особенностью данной территории является более высокая, чем в среднем по Пермскому краю, повторяемость сильных осадков как в виде дождя, так и в виде снега. На метеостанции Губаха 25.06.2015 г. был зафиксирован абсолютный максимум полусуточного количества осадков (117 мм) для Пермского края.

1.4. Гидрологическая характеристика

Территория Кизеловского угольного бассейна имеет развитую гидрографическую сеть. Все основные реки, протекающие через данную местность, являются транзитными, относятся к бассейну Камского водохранилища.

Влиянию деятельности угольной промышленности подвержены три бассейна левобережных притоков Камского водохранилища: Яйвы, Косьвы, Чусовой. Территория Кизеловского угольного бассейна характеризуется меридионально вытянутыми широкими увалами, которые пересекаются в широтном направлении глубоковрезанными долинами основных рек: Косьвы, Усьвы, Юж. Вильвы, Вижая, Бол. Кизела. Долины малых рек ориентированы в субмеридиональном направлении. Водный режим рек относится к умеренному типу и характеризуется значительными колебаниями расходов воды в течение года. Истоки рек расположены вблизи осевой части Урала, что оказывает существенное влияние на особенности водного режима, – они имеют сравнительно высокую водность, что объясняется большим количеством выпадающих осадков (800–1000 мм) и незначительной величиной испарения.

На территории Кизеловского угольного бассейна, как и всего Пермского края, наблюдается увеличение модуля стока в направлении с юго-запада на северо-восток. Это обусловлено как пространственным распределением выпадающих осадков, так и орографическими особенностями местности. Среднегодовой модуль стока изменяется от 10 л/с×км^2 на юго-западе до 20 л/с×км^2 на северо-востоке территории. В среднем по водосборам рек Косьвы, Яйвы и Усьвы модуль стока также составляет 1–20 л/с×км^2 [6, 65].

Реки Кизеловского угольного бассейна относятся к преимущественно снеговому типу питания. В объеме годового стока на его долю приходится около 60% (что существенно меньше, чем в среднем по Пермскому краю). Режим

стока рек характеризуется четко выраженным весенним половодьем, многочисленными (часто следующими один за другим) летне-осенними дождевыми паводками, летне-осенней меженью и длительной устойчивой зимней меженью, во время которой наблюдаются минимальные расходы воды.

Весеннее половодье обычно начинается в третьей декаде апреля, в этот период наблюдается резкий рост расходов и уровней воды в реках. Максимальные расходы весеннего половодья на реках Усьве, Яйве, Косьве в среднем формируются во второй пятидневке мая, на р. Чусовой – существенно раньше. Половодье обычно многопиковое, продолжительное (в связи с разновременным таянием снега на разных высотах) и достаточно высокое, на спаде – с накладывающимися дождевыми паводками. Спад половодья обычно длится до июня. В среднем на весенний период приходится около 60% годового стока. Характер весеннего половодья, величины максимальных расходов и уровней воды определяются следующими основными факторами:

- накопленный запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния;
- интенсивность снеготаяния;
- осенние влагозапасы и глубина промерзания почвы;
- осадки на спаде половодья.

В зависимости от разного сочетания этих факторов и прежде всего от погодных условий периода снеготаяния, половодье может иметь один или несколько пиков. В случае возвратов холодов в период снеготаяния обычно формируется невысокое, растянутое половодье, имеющее несколько пиков. Также несколько пиков половодья формируется в случае выпадения большого количества осадков в период его спада. При отсутствии возвратных холодов и высокой температуре воздуха в период снеготаяния наблюдаются высокие однопиковые половодья.

Высоким пикам половодья обычно предшествует холодная погода в апреле. При таких условиях снегонакопление на водосборах может продолжаться до начала мая. Наиболее высокие пики половодья на реках Кизеловского угольного бассейна наблюдались в 1979, 1998 и 2004 гг. Они сопровождались выходом воды на поймы рек и подтоплением населенных пунктов. Наиболее подвержены затоплению такие населенные пункты, как города Чусовой и Александровск, пгт Яйва, поселки Мыс и Бобровка.

Летняя межень на реках, протекающих через территорию КУБа, является неустойчивой. В случае дефицита осадков в летний период межень выражена хорошо, минимальные расходы и уровни воды наблюдаются обычно в августе. При значительном избытке осадков в летний период межень выражена слабо, и дождевые паводки могут следовать один за другим.

В отдельных случаях дождевые паводки имеют разрушительный характер. Наиболее мощный дождевой паводок на реках Кизеловского угольного бассейна наблюдался 12–14 июня 1993 г. 11–12 июня развитию паводка предшествовали сильные ливни (до 79 мм/24 ч), а также быстрое таяние снега в горной части водосборов рек Яйвы и Косьвы. При наложении дождевого паводка на заключительную фазу весеннего половодья произошел резкий подъем уровня воды в реках на 2–4 м. В результате наполнения Широковского водохранилища до критической отметки, сброс воды в нижний бьеф гидроузла был увеличен до 1850 м^3/с, что соответствует расходу весеннего половодья 0,1% обеспеченности. В г. Губахе произошло затопление территорий насосной станции МУП «Водоканал», Кизеловской ГРЭС, ОАО «Губахинский кокс». Была затоплена и выведена из эксплуатации шахта, на которой работало более 1000 человек. Материальный ущерб в результате дождевого паводка только в Губахе составил 1 млрд руб. в ценах 1993 г. Населенные пункты ниже по течению реки Косьвы также подверглись затоплению.

Для осеннего периода характерно увеличение объема стока в связи с уменьшением испарения. В октябре и начале ноября могут наблюдаться высокие снегодождевые паводки, связанные с выпадением интенсивных осадков, формированием и таянием временного снежного покрова. В отдельных случаях (например, 01.11.2013 г.) максимальные расходы воды снегодождевых паводков оказываются выше максимумов весеннего половодья.

В ноябре начинается период зимней межени, которая отличается устойчивостью, низким стоком и большой продолжительностью (в среднем 140–160 дней). Доля зимнего стока составляет в среднем 14% годового.

Водный режим малых рек, берущих начало непосредственно на территории Кизеловского угольного бассейна, отличается рядом особенностей. Во-первых, как и на большинстве малых рек Пермского края, максимальные расходы дождевых паводков на них обычно выше пиков весеннего половодья. Во-вторых, в связи с тем, что КУБ является районом распространения карста, повышается доля подземного стока в питании рек.

Ледовый режим рек. По средним многолетним данным наблюдений на гидропостах, появление ледовых образований в виде заберегов, сала, шуги на реках Кизеловского угольного бассейна происходит в период 22–26 октября. Ледостав на реках устанавливается к концу первой декады ноября. Толщина льда достигает своего максимума в конце марта – начале апреля. В суровые зимы лед может нарастать до 100 см и более, а в теплые – не превышать 30–60 см. Вследствие больших скоростей течения на перекатах на протяжении всей зимы сохраняются полыньи. По этой же причине зимой часто образуется внутриводный

и донный лед, способствующий в весенний период формированию заторов в местах сужений, островов, резких поворотов русла [63].

Процессы вскрытия и очищения рек ото льда начинаются на юго-западе и распространяются на северо-восток территории. Среднемноголетние сроки вскрытия рек – конец второй декады апреля, очищение ото льда в среднем происходит в последних числах апреля. Вскрытие рек сопровождается образованием заторов льда в местах сужений, резких поворотов русла и у мостов. Ледовые заторы образуются у поселков Мыс и Бобровка на р. Усьве. Образование заторов сопровождается резкими подъемами уровней воды. В частности, на р. Чусовой у п. Лямино подъемы уровней достигают 4–5 м.

В целом, гумидный тип климата, характерный для территории Кизеловского угольного бассейна, способствует интенсивной миграции характерных для шахтных вод загрязнителей (*Fe*, *Al*, *Mn*, тяжелых металлов) в природной среде. Избыточное атмосферное увлажнение обеспечивает пополнение запасов подземных вод. Наибольший приток воды в затопленные шахты характерен для периода снеготаяния, в связи с этим весной наблюдается увеличение объемов изливающихся на поверхность кислых шахтных вод. В зимний период объем изливающихся шахтных вод меньше, но концентрация загрязняющих веществ в них оказывается несколько выше.

Сток загрязненных вод с отвалов имеет периодический характер, наиболее интенсивно этот процесс происходит в период снеготаяния. Летом и осенью поверхностный сток с отвалов наблюдается эпизодически, в случае выпадения значительного количества осадков, а зимой полностью отсутствует.

Концентрация загрязняющих веществ, характерных для шахтных вод, в поверхностных водотоках также подчиняется сезонной закономерности. В период прохождения половодья и дождевых паводков она резко снижается, в связи с многократным увеличением расходов воды. Максимальная концентрация загрязняющих веществ может наблюдаться в период летне-осенней и зимней межени.

1.5. Геологические условия

Кизеловский каменноугольный бассейн расположен в пределах Западно-Уральской зоны складчатости, прилегающей к Предуральскому краевому прогибу. Преобладающими формами тектоники района являются складки меридионального и близкого к нему простирания, иногда вытянутые на десятки километров. Складки осложнены многочисленными разрывными нарушениями, которые в большинстве случаев имеют простирание, согласное с простиранием складчатости [27]. Выделяется ряд наиболее крупных складок: антиклина-

ли – Главная Кизеловско-Губахинская, Косьвинская, Раздельная, Гореловская; синклинали – Шумихинская, Ольховская.

Для Кизеловского угленосного района характерны следующие тектонические особенности:

- смена горных пород от древних к более молодым происходит по мере движения с востока на запад;
- петрографический состав горных пород определяет форму складок. Так, например, однородные толстослоистые известняки, доломиты и песчаники смяты в крупные складки, в то время как тонкослоистые глинистые породы – в мелкие сложные остроугольные;
- меридионально вытянутые антиклинальные и синклинальные складки осложнены многочисленными разрывными нарушениями типа надвигов, взбросов и сбросов [47].

В геологическом строении бассейна принимают участие осадочные породы палеозойского возраста от нижнего девона до артинского яруса нижней перми общей мощностью до 3–4 км. Породы представлены песчаниками, аргиллитами, алевролитами, известняками, сланцами, углем, суглинками, супесями и др. Карбонатные породы интенсивно закарстованы, особенно в верхней части разреза. Четвертичные отложения представлены в основном песками, суглинками, глинами, часто с большим содержанием гравия и гальки. Угленосная толща, сложенная кварцевыми песчаниками (40–70%), глинистыми сланцами (10–33%), глинистыми песчаниками (10–20%), известняками (1–3,7%), углем (1,3–2,5%), относится к визейскому ярусу нижнего карбона, имеет среднюю мощность от 150 м на Главной Кизеловской антиклинали до 250 м на Гремячинской синклинали [25]. Она содержит до 20 линзовидных пластов каменного угля мощностью 0,6–1,5 м, из которых 3 пласта являются основными и отрабатывались на полях большинства шахт [28, 66, 121]. Все литологические разновидности пород угольной толщи включают сульфидную и органическую серы, среднее содержание которых в углях составляет 5–8%, максимальное – 12–15%. Это играет важнейшую роль в формировании кислых шахтных вод [74, 75]. Основной формой нахождения серы является пирит, который неустойчив в окислительных условиях. В песчаниках встречаются сульфаты в виде лучистых агрегатов гипса [51, 135]. Состав угля приведен в таблице 1.3. В сухом угле среднее содержания кремния составляет 7,1%, алюминия – 5,6%, железа – 4,4%, кальция – 0,2%, магния – 0,1%, калия – 0,3%, натрия – 0,1% [74]. Следует отметить низкое содержание кальция, по сравнению со средним его содержанием в углях других бассейнов (0,6–3,8%). Угли Кизеловского бассейна весьма насыщены микроэлементами. Среднее

Таблица 1.3.

Состав угля Кизеловского бассейна [52]

Место-рождение	Шахта	Пласт	Состав угля, %				
			Чистый уголь	Минеральные примеси			
				Глина	Пирит	Прочие	Всего
Коспашское	Им. 40 лет ВЛКСМ	13	92	6	1	1	8
		11	77	15	5	3	23
	«Широковская»	13	92	3	4	1	8
		11	88	8	2	2	12
		9	79	16	4	1	21
Главная антиклиналь	«Ключевская»	13	91	2	4	3	9
		11	84	6	8	2	16
		9	88	5	4	3	12
		5	82	9	7	2	18
	«Центральная»	13	74	13	3	10	26
		11	93	4	3	–	7
Усьвинское	Им. 40 лет Октября	5	92	4	2	2	8
Шумихин-ское	«Шумихинская 1»	13	71	18	9	2	29
		11	81	13	5	1	19
Гремячин-ское	«Гремячинская 62»	13	87	10	2	1	13
		11	89	7	3	1	11
Среднее по пластам	–	13	84	9	4	3	16
		11	85	10	4	1	15
		9	83	11	4	2	17
		5	87	7	4	2	13
Среднее по бассейну	–	–	85	9	4	2	15

содержание в углях *Be*, *Sc*, *Ti*, *V*, *Co*, *Ni*, *Cu*, *Ga*, *Ge*, *Y*, *Zr*, *Ag* превышает среднее их содержание для углей в СНГ [74, 114].

Занятая бассейном область земной коры, является западной краевой частью Уральской геосинклинали, стабилизировавшейся к началу мезозоя. На протяжении очень длительного времени (от силура до перми) часть литосферы, соответствующая современным контурам бассейна, погружалась под уровень моря и почти непрерывно заполнялась карбонатными и обломочными осадками, достигшими мощности 4000 м. Опускание бассейна продолжалось в течение почти всего палеозоя. Складчатость проявилась в первой половине пермского периода [27].

Прогибание в значительной мере компенсировалось осадконакоплением. Оно было неравномерным, с замедлениями, остановками и кратковремен-

ными поднятиями. С непродолжительными выходами области накопления на дневную поверхность в раннекарбоновое время (конец турнейского века) было связано образование угленосной толщи. Оно сопровождалось соответствующей сменой палеогеографической обстановки с развитием прибрежно-морских, дельтовых, речных и болотных фаций, т. е. созданием континентальной угленосной формации в огромном по мощности, преимущественно морском, осадочном комплексе среднего и верхнего палеозоя [27].

Негативное воздействие разработки месторождения на геологическую среду проявляется, в основном, в границах нижнего и, отчасти, среднего отделов каменноугольной системы. Залегающий непосредственно под угленосной толщей водоносный горизонт приурочен к отложениям нижнего карбона и верхнего девона, который подразделяется на фаменский и франский ярусы, сложенные преимущественно известняками, переслаивающимися с глинистыми и известково-глинистыми сланцами. Мощность ярусов равна соответственно 95–100 м и 90–100 м. Нижний отдел карбона включает турнейский, визейский и серпуховский ярусы. Турнейский ярус (C_1t) имеет карбонатно-терригенный разрез, сложенный известняками, песчаниками, алевролитами и аргиллитами общей мощностью 350–450 м. В южной части бассейна разрез яруса является исключительно карбонатным. Последнее обстоятельство обусловливает (также, как у девонских отложений) повышенную для Кизеловского бассейна закарстованность турнейских отложений в виде каверн и полостей [28].

Визейский ярус подразделяется на три подъяруса, нижний и средний из которых представлены терригенными отложениями угленосной толщи, а верхний – карбонатными породами. Мощность яруса 320–350 м. Верхневизейский подъярус сложен известняками с прослоями доломитов и доломитизированных известняков, участками эти породы в разной степени окремнены. К подъярусу относится карбонатная часть куртымского горизонта, нижняя терригенная часть которого входит в состав угленосной толщи. Мощность карбонатной части куртымского горизонта 25–30 м, она сложена глинистыми окремненными и битуминозными известняками, которые, по данным бурения многих десятков подземных гидрогеологических скважин, являются практически незакарстованными и неводоносными. Мощность подъяруса 150–200 м. Серпуховский ярус имеет мощность около 100 м и представлен теми же отложениями, что и верхневизейский подъярус, исключая нижнюю пачку последнего [28].

Средний карбон представлен башкирским и московским ярусами. Башкирский ярус имеет неполный разрез, нижняя его часть в основном размыта. Отложения яруса представлены известняками с прослоями в основании известковых конгломерато-брекчий мощностью 40–60 м. Московский ярус под-

разделяется на верхний и нижний подъярусы. Нижний сложен в основном глинистыми известняками и известковистыми аргиллитами мощностью до 130 м, являющимися в бассейне региональным водоупором; верхний подъярус представлен известняками и доломитами. Общая мощность яруса 225–270 м [27].

Выходы палеозойских пород на поверхность перекрыты четвертичными делювиально-элювиальными отложениями мощностью от 5 до 160 м, при характерных значениях 20–40 м. Мощность покровных образований на площади развития карбонатных пород, выполняющих средние части синклинальных структур, в целом значительно больше, чем над выходами угленосной толщи. Представлены четвертичные отложения суглинками и супесями по выходам угленосной толщи, суглинками и глинами – по выходам карбонатных пород [27].

Накопление осадочного материала будущей угленосной толщи (песка, глины, торфа) происходило в условиях огромной плоской и широкой речной дельты очень большой палеореки, текущей в мелководное море. Торфяники возникали в низинных плоских болотах; жаркий и влажный субтропический климат, господствовавший в то время, благоприятствовал зарастанию их преимущественно древесной болотной растительностью. Каменный уголь произошел, главным образом, из спорового и стеблевого материала наземных растений. В спорадически возникавших мелководных, застойных водоемах происходило отложение сапропелей [28].

Существенным моментом в восстановлении условий накопления угленосных отложений Кизеловского бассейна является определение местоположения суши, служившей в угленосное время областью сноса. По этому вопросу существует ряд мнений. А. П. Карпинский (1919) считал, что в каменноугольный период Урал представлял собой цепь островов среди открытого моря. Острова и отмели неоднократно меняли свое положение, обусловливая разнообразие одновременных отложений. В прибрежных частях такого моря в это время происходило накопление угленосных отложений.

Д. В. Наливкин (1942) предполагал, что угленосные отложения Кизеловского бассейна являются дельтовыми отложениями большой реки, стекающей с Сибирского материка, который в нижнекаменноугольную эпоху существовал на месте Западно-Сибирской низменности и Сибирской платформы.

Н. С. Городецкая [36], И. В. Пахомов [134] считают, что снос обломочного материала происходил с запада и северо-запада, со стороны Восточно-Европейской платформы. В. В. Еремеев [51] указывает, что основными источниками сноса терригенного материала угленосной формации были главным образом девонские песчаные породы.

Стратиграфический разрез угленосных отложений, наиболее полный в центральных частях дельты (Кизеловский район), к краевым частям теряет свою четкость. При этом вместе с уменьшением мощности угленосных отложений происходят фациальные ее изменения. Эти изменения состоят в постепенном переходе надводных дельтовых отложений в подводные, а затем в морские отложения [27].

После континентального периода накопления нижнекарбоновой песчано-глинистой угленосной толщи, в средневизейское время снова наступает длительный непрерывный морской режим, продолжавшийся до артинского времени. За период от визе до позднего карбона и сакмарского века включительно, накопилась толща известняков. Только на сравнительно короткий промежуток времени в среднем карбоне море сильно мелело, и его дно подступало близко к дневной поверхности. Это нашло свое отражение в накоплении 40-метровой толщи известково-глинисто-песчанистых осадков с морской фауной, залегающих среди известняков московского яруса. В то время нижнекарбоновая угленосная толща была погружена на глубину около 1,5 км, претерпевая соответствующие геотемпературные изменения [27].

На рубеже между сакмарским и артинским веками спокойный эпейрогенный колебательный режим сменяется резкими и повсеместными изменениями, вызвавшими размыв ранее образовавшихся осадков и отложение артинской толщи, сложной по литологическому составу, со своеобразной фауной. К концу артинского века угольные пласты были погребены под двухкилометровой толщей карбоновых известняков и нижнепермских песчаников. Дальнейшее накопление верхне-пермских морских отложений (кунгурский, казанский и татарский ярусы) происходило в условиях продолжавшихся герцинских тектонических движений, при одновременном прогибании поверхности. Это привело к еще большему погружению нижне-карбоновой продуктивной толщи до глубины 3–5 км, судя по достаточно высокой стадии метаморфизма кизеловских углей (в диапазоне от длиннопламенных до жирных).

Заключительные фазы герцинского орогенеза на границе палеозоя и мезозоя завершили создание всех основных структурных форм бассейна. Последующая длительная денудация при общем поднятии Урала удалила мощный покров вышележащих отложений карбона и перми (возможно, и мезозоя) и вывела продуктивный нижний карбон на дневную поверхность, обнажив угольные пласты в крыльях и замках современных складок.

Под влиянием продолжительного воздействия атмосферных агентов и подземных вод, продолжавшегося параллельно с денудацией со времени кайнозоя, а возможно и с конца мезозоя, угольные пласты и вмещающие их горные

породы претерпели существенные изменения на выходах в зоне окисления, опускающейся до глубины нескольких десятков метров, а иногда до 100 и более метров от дневной поверхности.

Высокое содержание серы обусловлено широким развитием биохимических процессов сульфатредукции, наиболее благоприятные условия для которых существуют при торфонакоплении в прибрежно-морской зоне. Именно сера является одним из главных активных элементов угленосной толщи, который в значительной мере предопределяет *pH* и окислительно-восстановительные условия накопления и изменения осадков, концентрацию элементов на сероводородном барьере и их выщелачивание в зоне окисления [113].

Таким образом, современные экологические проблемы во многом обусловлены фациальными условиями образования угленосной формации и дальнейшей историей геологического развития и освоения территории [111].

Снос терригенного материала из богатой металлогенической зоны определил высокое содержание микроэлементов в угленосной толще – наибольшее в угольных бассейнах бывшего СССР.

Смена континентального режима после формирования угленосной толщи привела к образованию достаточно мощной толщи известняков. Выход ее на поверхность и значительное дробление в период герцинских тектонических движений во многом обусловили в дальнейшем развитие карстовых процессов, которые являются причиной значительных водопротоков в период эксплуатации шахт, а после их закрытия – высоких дебитов изливов.

Такое сочетание неблагоприятных факторов: очень высокое содержание микроэлементов, серы в виде сульфидов, развитие карстовых процессов – не встречается ни на одном из угольных месторождений мира. Разработка месторождения и его закрытие без проведения соответствующих мероприятий привели территорию практически к экологической катастрофе.

1.6. Гидрогеологические условия

На рассматриваемой территории подземные воды связаны с четвертичными и палеозойскими отложениями. Воды четвертичных отложений приурочены к аллювию рек и элювиально-делювиальным супесям и суглинкам. Аллювиальные отложения, представленные галечником, гравием и песком, имеют весьма ограниченное распространение в виде узких полос по руслам и поймам рек, а также сохранившимся речным террасам. Мощность аллювия составляет 6–16 м [29]. Вследствие малой площади распространения и небольшой мощности, аллювиальный водоносный горизонт обладает незначительными запасами

и не используется в бассейне для водоснабжения. Гидрогеологическая карта территории представлена на рис. 1.15.

Элювиально-делювиальные отложения покрывают практически всю территорию бассейна и над карбонатными породами достигают мощности в десятки метров. Сложены они преимущественно глинами и суглинками с низкими фильтрационными свойствами. Вследствие низких фильтрационных свойств элювиально-делювиальных отложений, изменчивости их мощности и литологического состава, в этих отложениях отсутствуют выдержанные водоносные горизонты со значительными запасами. Для данных отложений характерны подземные воды типа верховодки, приуроченные к линзовидным прослоям супеси, питающие периодически действующие источники с дебитом до 1,5 л/с. Ввиду весьма небольших ресурсов подземные воды элювиально-делювиальных отложений не представляют интереса для централизованного водоснабжения. В то же время, сами эти отложения во многом определяют условия питания нижележащих водоносных горизонтов в породах палеозойского возраста.

В соответствии с гидрогеологическим районированием [57] восточная часть Пермского края относится к Большеуральскому сложному бассейну корово-блоковых (пластово-блоковых) и пластовых вод.

Подземные воды в бассейне представлены следующими водоносными комплексами:

- трещинно-карстовые воды карбонатных отложений нижней перми и среднего карбона (верхний надугольный водоносный комплекс);
- трещинно-карстовые воды башкирского яруса среднего карбона и визейского яруса нижнего карбона (нижний надугольный водоносный комплекс);
- трещинно-пластовые воды угленосной толщи;
- трещинно-карстовые воды карбонатных отложений турнейского яруса нижнего карбона и среднего девона (подугольный водоносный комплекс).

Кроме этого, после затопления отработанных шахтных полей в составе угленосной толщи образовался техногенный горизонт шахтных вод [58, 60, 61]. Разрабатываемая угленосная толща расположена между водоносными комплексами трещинно-карстовых вод карбонатных отложений, что обусловило высокую обводненность угольных шахт [140, 141].

Водообильность водоносных горизонтов находится в прямой зависимости от коэффициента закарстованности пород, величина которого варьируется от 0,5 до 8%. Водоносные горизонты надугольных карбонатных отложений характеризуются сотнями миллионов кубических метров статических запасов подземных вод. Водопритоки в горные выработки формировались, главным обра-

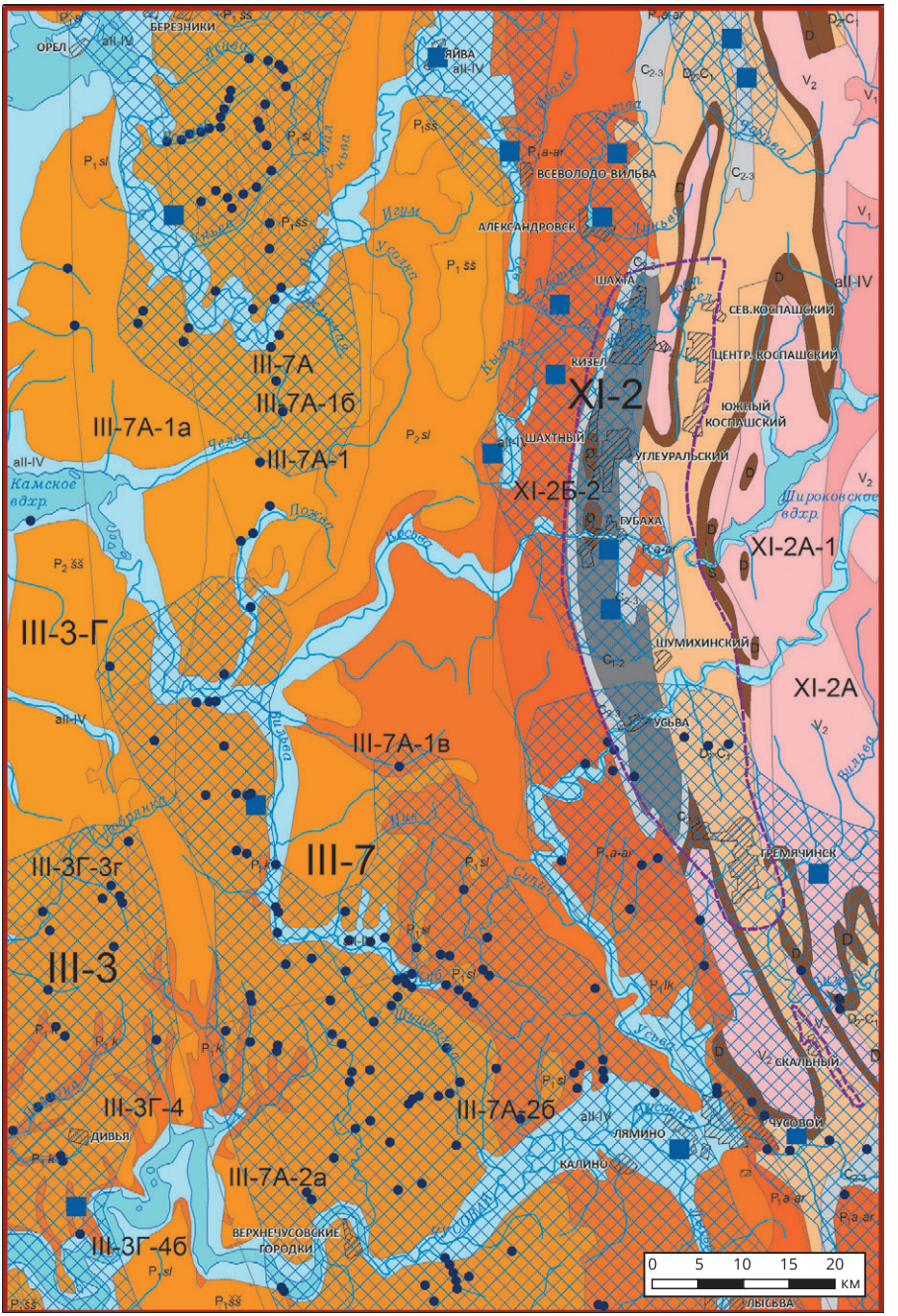

БЕРЕЗНИКИ
ОРЕЛ
ЯЙВА
ВСЕВОЛОДО-ВИЛЬВА
АЛЕКСАНДРОВСК
ШАХТА
СЕВ.КОСПАШСКИЙ
ЦЕНТР. КОСПАШСКИЙ
КИЗЕЛ
ЮЖНЫЙ КОСПАШСКИЙ
ШАХТНЫЙ
УГЛЕУРАЛЬСКИЙ
ГУБАХА
ШУМИХИНСКИЙ
УСЬВА
ГРЕМЯЧИНСК
СКАЛЬНЫЙ
ЧУСОВОЙ
ЛЯМИНО
КАЛИНО
ДИВЬЯ
ВЕРХНЕЧУСОВСКИЕ ГОРОДКИ
ЛЫСЬВА
Камское вдхр
Широковское вдхр
III-7А
III-7А-1б
III-7А-1а
III-7А-1
XI-2
XI-2Б-2
XI-2А-1
XI-2А
III-3-Г
III-7А-1в
III-7
III-3Г-3г
III-3
III-3Г-4
III-7А-2б
III-7А-2а
III-3Г-4б
0 5 10 15 20
КМ

Рисунок 1.15.

Гидрогеологическая карта района исследований

Условные обозначения

Гидрогеологические подразделения

al-IV	Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных образований. Пески, гравий, галечник с прослоями суглинков, глин, супесей
$P_1šš$	Водоносный горизонт шешминских отложений уфимского яруса. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, мергели, известняки
P_1sl	Водоносный горизонт соликамских отложений уфимского яруса. Известняки, мергели, песчаники, алевролиты
P_1k	Водоносный комплекс отложений кунгурского яруса. Гипсы, ангидриты, известняки с прослоями солей, мергелей, глин
$P_1a\text{-}ar$	Водоносный комплекс ассельско-артинских отложений. Песчаники, алевролиты, аргиллиты с линзами мергелей, известняков, конгломератов
$C_{2\text{-}3}$	Водоносный комплекс среднего и верхнего карбона. Известняки, доломиты с прослоями песчаников, алевролитов, аргиллитов, мергелей
$C_{1\text{-}2}$	Водоносный комплекс нижнего и среднего карбона. Известняки, доломиты с прослоями песчаников, алевролитов, аргиллитов, каменных углей
$D_2\text{-}C_1$	Водоносный комплекс карбонатных отложений среднего девона – нижнего карбона. Известняки, доломиты с прослоями песчаников, алевролитов, аргиллитов
D	Водоносный комплекс терригенных отложений девона. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые и кремнистые сланцы
$S\text{-}D_1$	Водоносный комплекс карбонатных отложений силура – нижнего девона. Известняки, доломиты с прослоями глинистых и кремнистых сланцев
V_2	Водоносный комплекс терригенных отложений верхнего венда. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты
V_1	Водоносный комплекс терригенных и метаморфических отложений нижнего венда. Сланцы, алевролиты, аргиллиты, песчаники с прослоями эффузивов, базальтоидов

Бассейны подземного стока (ВСЕГИНГЕО, 1990, 1998)

III	Восточно-Европейская система бассейнов
III-3	Восточно-Русский сложный бассейн
III-3-Г	Камско-Вятский сложный бассейн
III-3Г-3г	Обвинско-Иньвинский бассейн
III-3Г-4	Тулвинская группа бассейнов
III-3Г-4б	Бабкинско-Иреньский бассейн
III-7	Предуральский сложный бассейн
III-7 А	Северо-Предуральский бассейн
III-7А-1	Камско-Чусовская группа бассейнов
III-7А-1а	Западно-Соликамский бассейн
III-7А-1б	Центрально-Соликамский бассейн
III-7А-1в	Восточно-Соликамский бассейн
III-7А-2	Уфимско-Чусовская группа бассейнов
III-7А-2а	Западно-Чусовской бассейн
III-7А-2б	Восточно-Чусовской бассейн
XI	Таймыро-Уральская система бассейнов
XI-2	Большеуральский сложный бассейн
XI-2А	Уральский сложный бассейн
XI-2А-1	Средне-Уральский бассейн
XI-2Б	Западно-Уральский сложный бассейн
XI-2Б-2	Кизеловско-Дружининский бассейн

Водопроявления

- крупные родники (с дебитом более 10 л/с)
- месторождения пресных подземных вод
- площади групп водообильных зон

Границы

- Кизеловского угольного бассейна
- гидрогеологических подразделений
- области исследования

зом, за счет трещинно-пластовых вод угленосной толщи и трещинно-карстовых вод нижнего надугольного водоносного комплекса [49, 127].

Визейско-артинский водоносный комплекс трещинно-карстовых вод на площади Кизеловского бассейна состоит из двух водоносных горизонтов: московско-артинского и визейско-башкирского, разделенных региональным водоупором нижнемосковского подъяруса [47]. Влияние горных работ ограничивается в основном визейско-башкирским горизонтом, который и будет рассматриваться ниже. Данный горизонт является наиболее водообильным. Удельные дебиты вскрывших его скважин превышают в среднем 1 л/с. К горизонту приурочен ряд источников с дебитом более 100 л/с. Трещинно-карстовые воды горизонта в естественных условиях имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и минерализацию до 0,5 г/дм^3. Они используются для водоснабжения городов Кизела и Гремячинска, п. С. Коспашский.

Визейско-башкирский горизонт принимал участие в обводнении большинства шахт бассейна, становясь на многих из них, включая коспашские шахты, основным источником формирования шахтных вод [47]. В результате сработки естественных запасов горизонта, уровень трещинно-карстовых вод на ряде шахтных полей основных месторождений угля понизился на сотни метров от естественного [59, 61]. Исключением является Гремячинское месторождение, где горные работы оказывали сравнительно небольшое влияние на уровенный режим водоносного горизонта. На Коспашском месторождении уровень вод рассматриваемого горизонта понизился от естественного положения на 140 м на полях шахт им. 40 лет ВЛКСМ и «Коспашская» и на 290 м на поле шахты «Широковская». В результате на восточном и южном крыльях шахты «Широковская» визейско-башкирский водоносный горизонт был сдренирован горными выработками полностью.

Таким образом, вследствие дренирующего влияния подземных горных работ на гидродинамический режим визейско-башкирского водоносного горизонта, движение подземных вод горизонта оказалось направленным не в сторону естественных областей разгрузки, а в направлении горных выработок шахт. На основных месторождениях исчезли выходы подземных вод, приуроченные к данному горизонту, в том числе группа источников на поле шахты им. Ленина, источник в русле р. Губашки на Косьвинском месторождении, источник Грифон на Гремячинском месторождении и источники в междуречье рек Полуд. Кизел и Вост. Кизел на Коспашском месторождении.

Продолжительность затопления шахт, расположенных в разных геологических структурах, различна и изменялась от 3 до 10 лет [55]. По мере развития процесса затопления, величина напора и объем притекающих в выработанное пространство подземных вод уменьшаются; соответственно происходит и сни-

жение скорости подъема уровня шахтных вод. Таким образом, после полного затопления выработанного пространства уровень подземных вод, пониженный в результате разработки месторождения, восстановился и принял практически первоначальное положение, а в затопленном выработанном пространстве образовались горизонты загрязненных шахтных вод со статическими и динамическими запасами, областями питания и разгрузки, своим гидрохимическим составом. В зависимости от конкретных горно-геологических условий объемы изливающихся шахтных вод составляют от 15 до 80% величины водопритока в шахты в период их эксплуатации [127].

1.7. Карстовые процессы

Особенностью Кизеловского угольного бассейна является интенсивная закарстованность его территории [5, 94, 158, 168, 177]. Карстующиеся породы занимают более 75% площади района [88, 89].

Развитие современного карста возможно только в пределах структур с активным тектоническим режимом, где в результате положительных движений карстующиеся породы оказываются в зоне активного водообмена. Тектогенез новейшего этапа развития геоструктур находит отражение в особенностях рельефа, мощности зоны активного водообмена и карстования. Карст протекает в зоне гипергенеза и относится к экзогенным процессам, обусловливается не только азональными структурно-геологическими (тектоникой, контролирующей распределение карстующихся пород различного возраста и состава), но и зональными климатическими условиями [34].

Согласно районированию Пермского края, предложенному К. А. Горбуновой, территория относится к Кизеловскому карстовому району карбонатного карста Западно-Уральской складчатой зоны, который простирается с севера, от верхнего течения р. Язьвы и правобережного бассейна р. Вижаихи, на юг, до междуречья рек Усьвы и Вильвы, и имеет площадь в 5405,62 км^2. Также территория бассейна приходится на Чусовской карстовый район (рис. 1.16) [32, 70].

На исследуемой территории наблюдается чередование закарстованных и незакарстованных зон, связанных с различием литологического и химического состава пород (рис. 1.17). Наибольшая закарстованность наблюдается в более чистых (по химическому составу) известняках и доломитах [17].

Современная структура карстовых массивов закладывалась в естественных условиях олигоцен-миоцена в результате деятельности водных потоков, направленных по простиранию трещиноватых известняков к глубоко врезанным речным долинам, что и обусловило их закарстованность до глубины 1000–1100 м [46, 48].

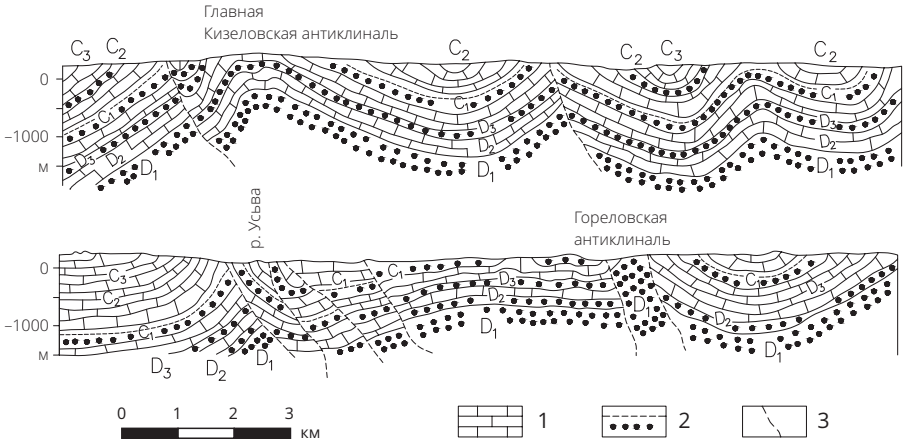


Рисунок 1.16.

Условия залегания карстующихся пород в складчатой зоне Урала [28]

1 – карбонатные породы, 2 – терригенные породы, 3 – разрывные нарушения

Карстующиеся породы – известняки (глинистые, битуминозные, окремненные, доломитизированные, с конкрециями и чистые), доломиты, а также мергели встречаются во всех частях геологического разреза, однако более развиты в его верхних, карбоновой и пермской, частях. Здесь они образуют значительные по мощности (200–600 м) толщи, в которых активно развиваются карстовые процессы. Угленосная толща сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинистыми сланцами, с прослоями известняков. Во всех литологических разностях пород толщи широко распространены включения тонкорассеянного пирита, но встречаются и желваки, весом в несколько килограммов [37]. Наличие в толще сульфидов железа играет важнейшую роль в формировании кислотно-агрессивных свойств вод, просачивающихся через нее.

Карбонатные отложения визейского и серпуховского ярусов на территории Кизеловского бассейна отличаются наиболее высокой закарстованностью. По материалам Уральской карстовой станции, средний объемный коэффициент закарстованности этих отложений составляет 4,67%, достигая в отдельных случаях 20% и более [17].

Развитие карстовых массивов привело к образованию гидродинамически связанной карстовой дренажной системы, объединяющей следующие элементы:

- поверхностные магистральные водотоки (транзитные карстовые реки);
- притоки магистральных дрен, приуроченные к карстово-эрозионным логам (малые реки с подземно-поверхностным потоком);

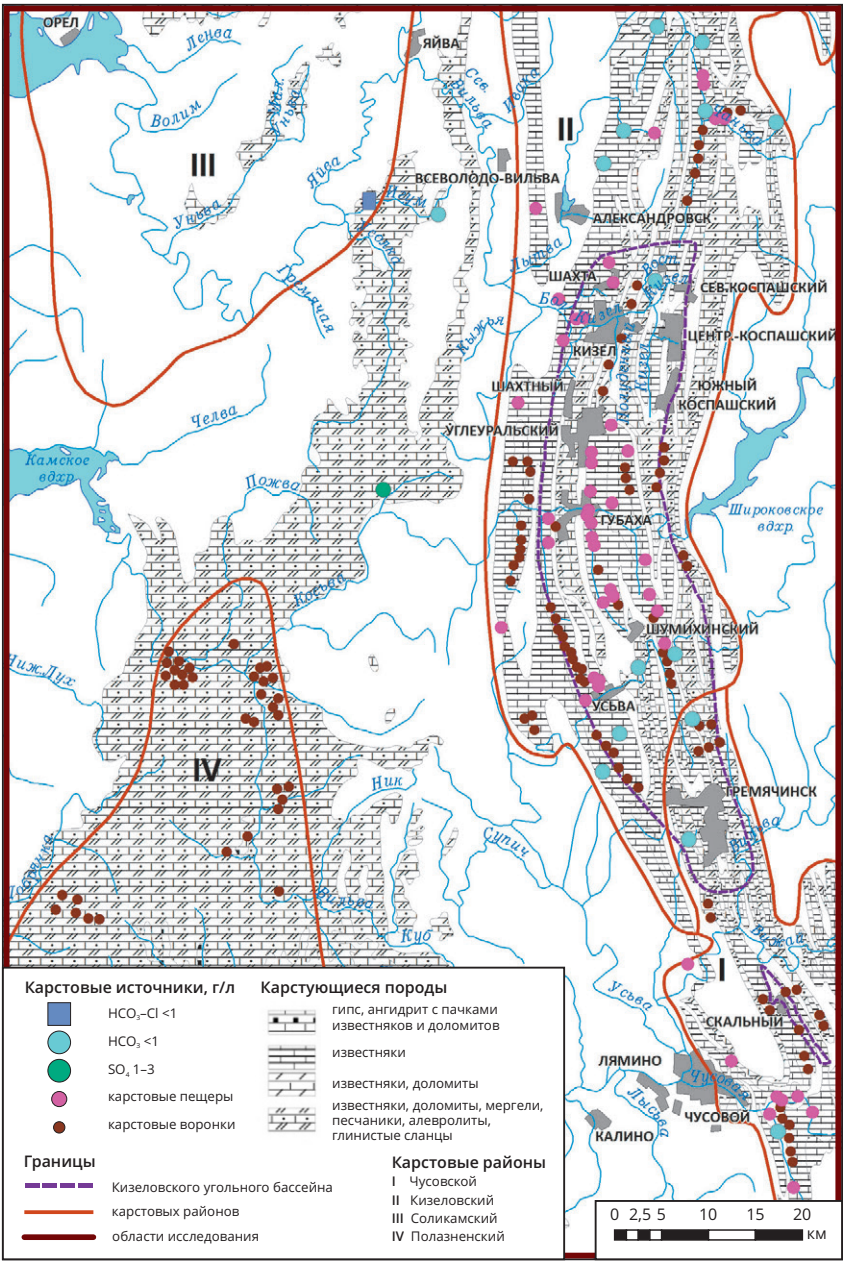


Рисунок 1.17.

Карст Кизеловского угольного бассейна [32]

- подземные водотоки, локализованные вдоль литологических границ и тектонических дизъюнктивов. Подземная химическая денудация (7–17 мкм/год), воздействие органических кислот таежной биомассы и углекислоты породы способствовали формированию HCO_3–*Ca* вод с минерализацией 0,06–1,5 г/л и нейтральной средой (*pH* 7,3–7,5) в карбонатных толщах [69, 209].

Источники из карбонатных отложений угленосной толщи в зоне влияния шахтных полей относятся к периодически действующим. Их дебиты возрастают после дождей, в ряде случаев до 50 л/с, при минимальных значениях 1–3 л/с. Амплитуда колебаний дебитов источников в области выходов карстовых вод за тот или иной период заметно меньше амплитуд изменения расходов поверхностных водотоков в области поглощения за тот же срок [38]. Притоки магистральных дрен отличаются сменой поверхностного стока на подземный и наоборот. Карстовые потоки со смешанным атмосферным и подземным питанием, разгрузкой в виде источников в крупные карстовые реки являются важным звеном в гидродинамической системе карстового массива в частности, и экологической системы региона в целом [69].

Карст региона, по классификации Г. А. Максимовича [91], относится к голому и покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод зоны активной циркуляции от режима атмосферной циркуляции осадков [32]. Территория исследования характеризуется наибольшим количеством атмосферных осадков на Урале, высокой влажностью и малым испарением. Около 30% всех выпадающих осадков проникает на глубину благодаря инфильтрации, питая подземные воды. Источником питания карстовых вод, наряду с выпадающими осадками, являются поверхностные водотоки, теряющие полностью или частично свой расход на благоприятных для водопоглощения участках своего течения [38].

Распространенными формами являются воронки, котловины, карстовые суходолы, пещеры (рис. 1.18) [31].

Здесь зарегистрировано около 1500 карстовых воронок [115] различных форм: блюдцеобразные, воронкообразные и колодцеобразные, диаметром от 2–3 до 30–40 м и более [46]. Средняя плотность воронок на площади распространения карбонатных пород составляет 3,8 форм/км^2, для визейских известняков она достигает 6 форм/км^2 [93]. Поля карстовых воронок чаще приурочены к пологим склонам водоразделов с наклоном 1–20 градусов (с увеличением крутизны поверхности склонов, количество воронок уменьшается) [89], к линиям тектонических разломов и контактам угленосной толщи с известняками.

Более крупными формами являются котловины – депрессии площадью до нескольких квадратных километров [37]. Значительная закарстованность

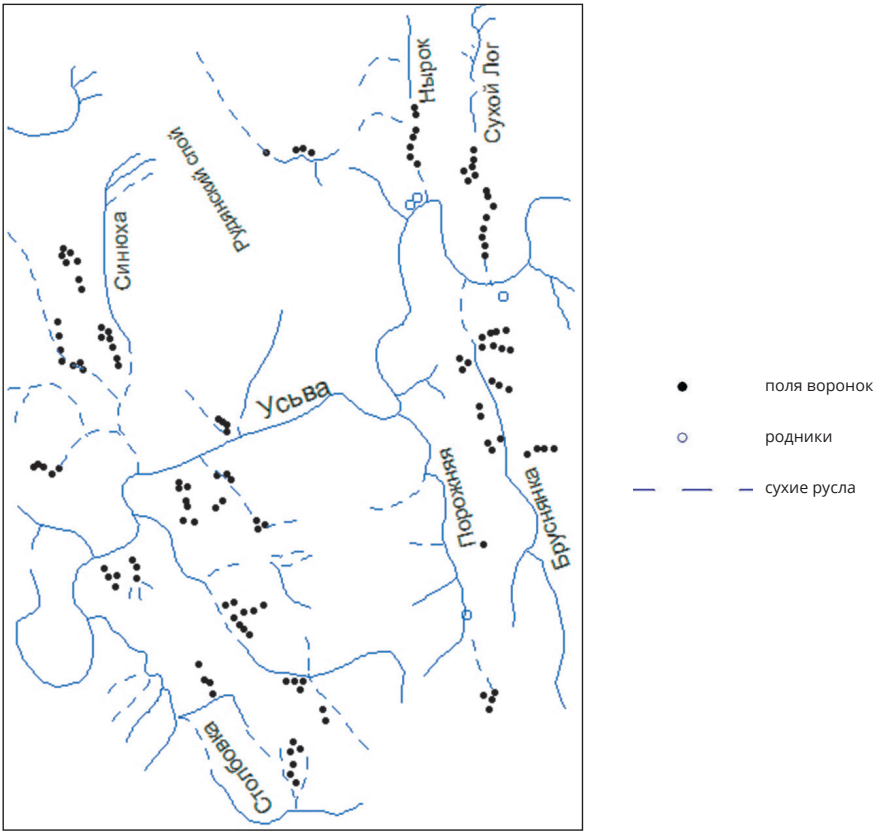


Рисунок 1.18.
Карстопроявления в бассейне среднего течения р. Усьвы [30]

территории обусловливает понижение уровня подземных вод по отношению к руслам мелких боковых притоков, что привело к поглощению поверхностного стока и образованию суходолов на реках [32].

Суходолы в большинстве случаев представляют стадию развития речных долин, покинутых поверхностным потоком, когда под ними имеется только подземный сток вод, поглощенных понорами [92]. Следует различать суходолы-овраги и речные суходолы.

Суходолы, находящиеся на овражной стадии, называются на Урале карстовыми логами, а также карстовыми оврагами. Это начальная стадия развития эрозионных долин в карстовых районах, когда еще не вскрыты подземные воды. От обычных оврагов и логов эти суходолы отличаются тем, что их дно, а

иногда и склоны, осложнены карстовыми воронками. По существу, это эрозионно-карстовые овраги или лога. Развитие таких долин происходит в основном за счет эрозии (и аккумуляции) при участии карста [92].

Речные суходолы являются конечной стадией развития долин в карстовых районах [30]. Они возникают тогда, когда, вследствие перевода поверхностного стока на подземный, водотоки покидают речную долину. Происходит это постепенно, причем обычно длина сухого русла периодически, а затем и постоянно увеличивается от устья к верховью. Такой регрессивный путь развития суходолов обусловлен тем, что река или ручей имеют наибольший объем стока в устьевой части [91].

Подземный карст представлен крупными полостями, кавернами и порами, а также пещерами (рис. 1.19). Встречаются каверны овальные, эллипсоидальные, трубчатые, неправильной формы. Стенки их часто покрыты кристаллами кальцита. Наиболее мелким элементом карста являются поры, в изобилии встречающиеся в слоях доломита. Для известняков характерны единичные и более крупные каверны и полости, для доломитов – скопления каверн и пор. Развита трещиноватость [17, 155].

На территорию Кизеловского угольного бассейна приходится около 30 пещер, многие из них являются памятниками природы и представляют значительный научный и культурный интерес.

Здесь находятся одни из самых глубоких и протяженных пещер Пермского края – пещеры Кизеловская (Виашерская) длиной 7600 м, Геологов-2 – 4000 м, Темная – глубиной 132 м. Наиболее известными являются пещеры Сухого Лога. Уникальный карстовый комплекс располагается между поселками Шумихинский и Юбилейный. На участке находятся девять пещер: Новогодняя, Геологов 1, 2, 3, Печка, Ледяная, Ребристая, Безгодовская, Придорожная и два грота: Стрелы и Треугольный. Площадь памятника природы – 0,4 км^2. Пещеры известны своими кальцитовыми натеками, в них были обнаружены различные остатки млекопитающих. Костные остатки также были найдены в других пещерах Кизеловского карстового района, например, в пещерах Расик, Кизеловской (Виашерской), Медвежьей [26].

Одной из длиннейших пещер Пермского края является пещера Российская (протяженность 1450 м), которая находится на дне карстовой воронки в суходоле Ладейный Лог, в 5,2 км от р. Косьвы (рис. 1.20). В пещере найдены различные натечные образования, криогенные минералы. Недалеко, в 3,5 км от р. Косьвы, находится еще одна пещера – Обвальная [19].

Горнодобывающая деятельность в Кизеловском угленосном районе привела к резкому изменению общей гидродинамической и гидрохимической

Рисунки 1.19, 1.20.

Карстовая пещера Российская (фото Ю. Шурка)

обстановки развития карста, что породило целый ряд причин и механизмов, способствующих как его активизации, так и стабилизации [4, 33, 104].

До начала 30-х гг. XX в. не наблюдалось значительных водопритоков в шахтах, выработки располагались в дренированной зоне, при этом выемка угля осуществлялась с обрушением кровли. С 1930-х гг. стали закладываться выработки на большой глубине: сначала на сотни метров, а позже – более 1 км. Добыча угля в месторождении осложнилась из-за сильной обводненности закарстованных известняков надугольной толщи [32, 77]. Наблюдались значительные водопритоки в шахты – до 1000–2500 м^3/ч и более.

До эксплуатации угольных шахт большое количество рек частично или полностью поглощались карстовыми полостями (рр. Кизел, Вьящер, Полуденный Кизел, Сухой Кизел) [35]. Все малые реки в межень имели расходы до нескольких литров в секунду, а ручьи пересыхали полностью. Сбросы шахтных вод в суходолы и долины рек привели к заполнению карстовых полостей техногенным осадком. В результате многие суходолы в настоящее время имеют поверхностный сток до устьев, а малые водотоки в зимний и летний меженные периоды питаются почти исключительно шахтными водами [105]. Влияние шахтных вод на карстовые процессы можно наблюдать непосредственно в пещерах. Так, в ряде пещер Кизеловского района (например, Желтый Понор) глыбы, лежащие в русле подземного потока, интенсивно корродированы, покрыты следами-микроформами кислотного выщелачивания. В то же время русла пещерных ручьев часто окрашены, как и на поверхности, в красноватые тона. Многие пещеры и подземные полости, поглощавшие шахтные воды, заполнились железистым осадком и прекратили свое существование как таковые (например, пещера Золотой Каньон) [4].

Таким образом, карстовые процессы являются одним из главных факторов, влияющих на формирование экологической обстановки в Кизеловском угольном бассейне [104]. Интенсивная закарстованность пород является основной причиной больших водопритоков в шахты и обусловливает необходимость откачки значительных объемов воды. После закрытия и затопления шахт сформировалась мощная природно-техногенная водоносная система с кислыми шахтными водами, разгружающимися на поверхность и коренным образом меняющими экологическую обстановку.

Глава 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩ

2.1. Геохимические особенности месторождения

Специфика воздействия угольной промышленности на окружающую среду во многом определяется геохимическими особенностями угленосной толщи [95]. Знание закономерностей формирования геолого-геохимических условий территории в значительной степени позволяет прогнозировать развитие неблагоприятных с экологической точки зрения процессов и явлений как при разработке месторождения, так и после его закрытия [22]. Используя историко-геологический подход [111], был проведен анализ экологической ситуации на территории Кизеловского угольного бассейна.

В процессе формирования угленосной формации происходит существенное изменение окислительно-восстановительных, кислотно-щелочных условий, давления, температуры и других, что меняет подвижность и особенности концентрации элементов.

На этапе ***седиментогенеза*** углеобразование связано с возникновением и эволюцией растительности. Вещественный состав толщи определяется тектоническими и фациальными условиями, составом пород сноса. Для платформенных формаций характерна хорошая сортировка по минеральному составу материала с мелкой и средней зернистостью, т. е. механические геохимические барьеры хорошо выражены. Геосинклинальные формации отличаются значительно худшей дифференциацией минерального и гранулометрического состава. Минеральный состав песчаных отложений определяется, главным образом, составом пород областей сноса. Для глинистых отложений эта зависимость выражена слабее, здесь ведущую роль играют фациальные условия. Для морских обстановок характерен гидрослюдистый и гидрохлоритовый первоначальный состав. Для лимнических обстановок типичны каолинитовые и каолин-гидрослюдистые глины [74].

В седиментационных бассейнах активно протекают геохимические и биогеохимические процессы. Например, растительные организмы-торфообразователи извлекают из растворов сульфат-ион, сера которого переходит в состав аминокислот, белков, цистеина и метионина. Так накапливается первичная конституционная сера, которая без изменения содержания переходит в состав бурого и каменного углей [75, 180].

Дальнейшие преобразования угленосной толщи (на этапе ***диагенеза***) характеризуются следующими признаками [74]:

- восстановительной средой, высоким содержанием углекислого газа и органических кислот;
- формированием минеральных новообразований;
- высокой сорбционной активностью органического вещества;

- инфильтрационным привносом в толщу элементов, подвижных в окислительной обстановке;
- развитием сульфатредукции.

Сульфатредукция в бассейнах, содержащих сульфат-ионы, осуществляется по следующей схеме [72]:

$$\left(OB - H^{+}\right) + SO_4^{2-} \rightarrow H_2S + 200 \text{ ккал}$$

где *OB* – органическое вещество.

Следующая стадия углеобразования – ***катагенез*** – характеризуется разнообразными геохимическими условиями и процессами. Преобразование осадков происходит преимущественно в нейтральной, реже – слабокислой или слабощелочной, среде. Высокая восстановительная емкость отложений обусловлена значительным содержанием закисного железа и органики. Восстановительная обстановка с высокой подвижностью двухвалентного железа приводит к его перераспределению в пластах – образуются сидеритизированные горизонты, вторичная пиритизация. Железо может выноситься за пределы угленосной толщи, что ведет к осветлению песчаных отложений и формированию осадочных железных руд на ее периферии.

Наблюдается каолинизация алюмосиликатов, возможны различные катагенетические процессы: оруденение вследствие гидротермальной деятельности, монтмориллонитизация вулканогенно-осадочных пород. Появляется высокая подвижность кальция и вынос его из толщи в результате образования бикарбонатов, отмечается цементация пород осадочными карбонатами, кремнеземом, железом и их переход в минеральную форму. Снижается физико-химическая активность органической части углей, вследствие чего уменьшается содержание элементов, связанных с органической частью, происходит их вынос или переход в минеральную форму.

В зоне раннего ***гипергенеза*** при появлении сульфат-иона в поровых водах возможна его редукция до сероводорода. В итоге появляются сульфиды железа – пирит, марказит, выполняющие трещины в угольных пластах и вмещающих породах.

Под влиянием положительных тектонических движений и эрозионных процессов угольные пласты могут попадать в зону аэрации и подвергаться воздействию вод, несущих окисляющие агенты, что приводит к развитию вторичных окислительных процессов. Метан и другие газы глубокозалегающих угольных формаций вследствие разрушения перекрывающих толщ начинают мигрировать и, в конечном счете, выносятся из угольной толщи. Угленосные отложения попадают в обстановку, резко отличную от условий их формирования.

Процессы окисления, которые можно рассматривать как начало гипергенных изменений толщи, сопровождаются выделением тепла, протекают само-

произвольно и приводят к уменьшению свободной энергии системы [3]. Зона окисления в ряде случаев достигает глубин 100 м и более. Основными факторами, определяющими интенсивность процессов окисления, являются климат, скорость эрозионных процессов, условия залегания пород, стадия метаморфизма углей, их состав и трещиноватость.

В углях и вмещающих породах содержание многих элементов превышает 1%. К ним относятся углерод, водород, кислород, азот, кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий и сера. В углях установлено более 50 малых элементов, причем 12 из них имеют концентрации в 10–1000 раз превышающие фоновые [22, 74, 75]. Из перечисленных элементов наибольшую роль в техногенном преобразовании геологической среды играет сера, входящая в состав как органического, так и минерального вещества.

Сера. Содержание серы в угольном веществе достигает 20%, среднее для месторождений территории бывшего СССР составляет 1,5%, что в 50 раз выше ее кларка в земной коре и в 10 раз больше среднего содержания в осадочных породах. В бассейнах Европейской части среднее содержание серы составляет 3,8%, Сибири – 2,7%, Казахстана – 2,0%, Приморья – 0,4%. Сера находится в сульфидной, органической, сульфатной и элементарной формах.

На долю сульфидной серы приходится около половины валового ее содержания. Наиболее распространены в углях сульфиды железа – пирит FeS_2, реже марказит FeS_2 и тонкодисперсная метаколлоидная разновидность этих минералов – мельниковит. Среди сульфидов встречаются сфалерит *ZnS*, галенит *PbS*, халькопирит $CuFeS_2$, пирротин *FeS* [180]. Содержание сульфидов в углях составляет 0,02–6,5%. Происхождение сульфидной серы связывают с деятельностью сульфатвосстанавливающих бактерий [72, 184].

Органическая сера входит в состав меркаптановых, тиофановых и дисульфидных групп. Валовое ее содержание составляет 1,1–1,6%.

Сульфатная сера находится в большинстве случаев в форме гипса, реже барита. Содержание ее в неокисленных углях 0,1–0,5%. В окисленных углях содержание сульфатной серы увеличивается, и появляются новые формы: ярозит $KFe^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$, сульфаты железа и алюминия.

Элементарная сера установлена на отдельных месторождениях, например, в Донбассе и Кузбассе. Ее содержание составляет 0,03–0,2% [176]. Образование ее связано с деятельностью анаэробных бактерий [72]:

$$H_2S^{2-} + FeSO_4 \xrightarrow{\text{бактерии}} H_2SO_4 + S^0$$

Углерод, водород, азот и кислород входят в состав органического вещества углей и вмещающих пород.

Углерод. Содержание этого элемента в угле 65–95%. Основу составляют органические соединения и его элементарная форма (углерод, графит). Неорганические соединения с содержанием до 2% углерода представлены в основном сидеритом ($FeCO_3$) и кальцитом ($CaCO_3$).

Водород. Содержание водорода в углях – 0,8–6,2% и снижается с увеличением степени метаморфизма. Этот элемент присутствует в органической части в виде воды, в сорбированном состоянии – в виде метана.

Азот. В углях содержится 0,6–2,5% азота, что значительно выше его кларка в земной коре (0,002%). Азот связан с различными органическими соединениями.

Кислород. Концентрация кислорода, составляющая 1,2–2,5%, увеличивается с повышением степени метаморфизации и при вторичном окислении угля. В органической части кислород находится в составе гидроксильных и карбонильных групп. В минеральной части он связан в окислах, силикатах, алюмосиликатах, карбонатах, сульфатах и воде [74].

Алюминий, кремний, железо, кальций, магний, калий и натрий представляют минеральную часть угленосных толщ.

Алюминий. Содержание глинозема в сухом угле достигает 0,5–10%. Большая часть его связана с глинистыми минералами: иллит, галлуазит $Al_4\left(Si_4O_{10}\right)\left(OH\right)_8\left(H_2O\right)_4$, нонтронит $Fe_2^{3+}\left[\left(OH\right)_2 Al_{0.33}Si_{3.67}\cdot O_{10}\right]^{0.33}\cdot Na_{0.33}\left(H_2O\right)_4$, монтмориллонит, среди которых типоморфным является каолинит $Al_4\left(Si_4O_{10}\right)\left(OH\right)_8$. На отдельных месторождениях встречаются гиббсит $Al\left(OH_3\right)$, диаспор $AlO\left(OH\right)$, мелилит $\left(Ca,Na\right)_2\left(Al,Mg\right)\left(Si,Al\right)_2O_7$, давсонит $NaAl\left(CO_3\right)\left(OH\right)_2$ и другие минералы. В зонах окисления углей встречаются калиевые квасцы, алуноген $Al_2\left(SO_4\right)_3\cdot 17H_2O$.

Кремний, содержание которого в углях достигает 1,6–12%, входит, в основном, в состав кварца SiO_2 и его разновидностей. В меньшей степени кремнезем концентрируется в виде глинистых минералов.

Железо содержится в углях в количестве 0,6–3,8% при среднем значении 1,5%. Оно играет значительную роль в окислительно-восстановительных процессах, влияет на миграцию ряда элементов, является катализатором процессов преобразования органических веществ. Основная форма нахождения – пирит FeS_2, реже марказит FeS_2, сидерит $FeCO_3$, органические соединения. Пирит, как правило, приурочен к бассейнам с высокосернистыми углями, сидерит – к низко- и среднесернистым. В зонах окисления углей типичным железосодержащим минералом является ярозит $KFe^{3+}\left(SO_4\right)_2\left(OH\right)_6$, встречаются и другие сульфаты, окислы и гидроокислы железа.

Кальций, магний. Содержание кальция в углях составляет 0,2–3,8%, магния – 0,12–0,6%. В состав углей эти элементы входят в виде карбонатов – кальци-

та $CaCO_3$, доломита $CaMg(CO_3)_2$, анкерита $CaFe(CO_3)_2$, магнезита $MgCO_3$, которые имеют, как правило, вторичное происхождение. Сульфаты (гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) встречаются реже. В бурых углях и в зонах вторичного окисления углей кальций содержится в виде гуматов.

Натрий и калий. Содержание этих элементов в углях равно соответственно 0,1–0,9% и 0,04–3,0%. Калий, в основном, связан алюмосиликатами. Натрий присутствует в минеральной и органической частях углей, причем на некоторых месторождениях отмечается содержание натрия до 15%. Минерализация вод на таких месторождениях достигает 10 г/л. Натрий органической части углей находится в сорбированном состоянии в водорастворимых формах в виде галита *NaCl*, мирабилита $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ [74, 180].

В качестве микрокомпонентов в углях обнаружены почти все химические элементы, кроме инертных газов, металлов платиновой группы, некоторых радиоактивных и редкоземельных элементов. Общее содержание микрокомпонентов в углях, как правило, не превышает 0,1%. Есть месторождения, в которых содержание микрокомпонентов в сотни–тысячи раз выше, чем в их кларках в осадочных породах. Например, содержание лития, скандия – в 550, 360 раз, а тантала и рубидия – в 900 раз выше кларковых. Такие элементы, как мышьяк, ртуть, фтор, свинец, молибден, хром и другие наиболее опасны для окружающей среды [153].

Преобладающую часть ***минеральных включений*** в углях составляют: сульфиды (пирит FeS_2, марказит FeS_2), окислы (гематит α-Fe_2O_3, магнетит Fe_3O_4, кварц, рутил), карбонаты (кальцит, доломит, сидерит), силикаты и алюмокислоты (каолинит, монтмориллонит, иллит, гидрослюды, полевые шпаты), сульфаты (гипс, роценит и др.); в меньшей степени – органо-минеральные соединения (элементоорганические соединения, комплексные гуматы); хлориды (*NaCl*, *KCl*).

Например, для углей Экибастузского бассейна характерно присутствие алюмосиликатов (каолинит), кварца, сидерита, полевых шпатов (альбит, ортоклаз). Аналогичный состав характерен для углей Кизеловского бассейна, в которых отмечено значительное количество пирита.

Высокое содержание в угленосных отложениях железа (прежде всего в форме пирита) обусловлено источником формирования обломочного материала, которым выступали коры выветривания на осадочных породах и выступах кристаллического фундамента [51]. В условиях гумидного осадконакопления железо мигрирует в виде золя $Fe(OH)_3^{3+}$ и в виде коллоидов железоорганических соединений. После захоронения в осадках за счет существования процессов сульфатредукции, формирующихся при разложении органического вещества, происходило осаждение железа на сероводородном геохимическом барьере.

Пирит в угленосных отложениях представлен двумя генерациями. Пирит первой генерации присутствует в виде таблитчатых кристаллов и микроконкреций, приуроченных к поровым и базальным участкам среди глинистого вещества, и развивается по органическим остаткам. Пирит второй генерации развивается по глинистому цементу и заполняет поровые промежутки и участки цемента базального типа [51].

Среднее содержание многих микроэлементов в углях превышает средние концентрации по угольным месторождениям бывшего СССР (рис. 2.1). В результате этого на территории Кизеловского угольного бассейна происходит интенсивное загрязнение окружающей среды микроэлементами.

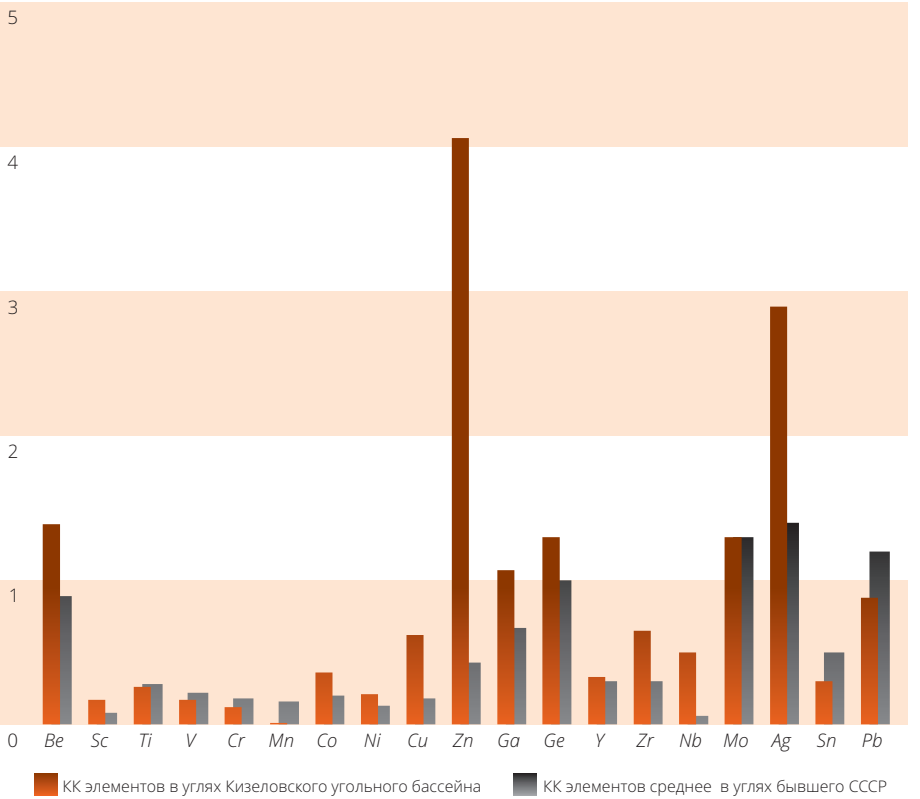


Рисунок 2.1.
Коэффициенты концентраций (КК) микроэлементов в углях Кизеловского бассейна и месторождений бывшего СССР (по данным [75])

2.2. Причины формирования кислых шахтных вод и стоков с отвалов

Шахтные воды, согласно классическому определению – это воды, подземные, поверхностные и технологические, поступившие в подземные горные выработки. Основным их источником являются подземные воды, дренируемые горными выработками, а дополнительным источником может быть фильтрация в горные выработки атмосферных осадков и поверхностных вод из прилегающих водных объектов. Химический состав шахтных вод определяется исходным составом формирующих их подземных вод и может существенно изменяться. Шахтные воды формируются путем смешения подземных вод разных горизонтов, взаимодействия их с рудничной атмосферой и породами, вскрытыми горными выработками. Формирование их химического состава связано с окислением, активизацией выщелачивания горных пород, изменением газового и бактериального состава [44].

Основным фактором, определяющим условия и закономерности формирования шахтных вод, является искусственно созданная окислительная обстановка, в которую попадают подземные воды. После поступления в шахту, вследствие несколько повышенной температуры и хорошего проветривания выработок, нарушается ход естественных химических процессов, ведущих к формированию определенного для соответствующих глубин состава вод. Мировой опыт показывает, что с проблемой кислых шахтных вод и стоков с породных отвалов приходится сталкиваться повсеместно [188, 192, 195, 196, 219, 222].

В бывшем СССР на долю шахтных вод, откачиваемых на поверхность (около 1400 млн м^3/год), приходилась примерно половина общего сброса промышленных вод. Около 90% приходилось на воды, дренируемые шахтами, 10% – на технологические воды, используемые в процессе добычи угля (при бурении шпуров, пылеподавлении, гидротранспорте) [2].

Для сточных вод основными загрязняющими веществами являются органические соединения, взвешенные вещества, нефтепродукты, минеральные соли, в том числе тяжелых металлов. При очистке в прудах-отстойниках, прудах-осветителях скапливаются взвешенные частицы и компоненты, осаждающиеся из раствора. Неочищенные и частично очищенные воды сбрасываются в гидросеть, фильтруются в подземные воды и, таким образом, являются важным фактором миграции веществ в угледобывающих районах.

Сточные воды могут оказывать негативное влияние на окружающую среду и после прекращения разработок угля. Исследования на территории угольных бассейнов показывают, что закрытие шахт в ряде случаев вызывает ухудшение экологической обстановки в результате неконтролируемого поступления

загрязненных подземных вод на поверхность. В Великобритании, например, на территории Йоркширского месторождения угля за 300 лет откачки подземных вод из шахт был обезвожен пласт на глубине от 150 до 600 м [230]. В настоящее время, после прекращения добычи угля, на поверхность с изливами поступает свыше 100 л/с шахтных вод, которые содержат до 100 мг/л общего железа и органические вещества [188].

В Японии на о. Кюсю через 60 лет после закрытия угольного бассейна изливы шахтных вод на поверхность существенно ухудшают качество поверхностных водотоков. Содержание общего железа в них достигает 119 мг/л, а SO_4^2 – 1430 мг/л [218].

Особенности образования угленосных толщ и их состав определяют основные экологические проблемы угольных бассейнов, поскольку извлекаемые из недр вещества и продукты их переработки нередко химически неустойчивы в условиях земной поверхности. Контрастность природных и техногенных геохимических условий приводит к интенсивной миграции вещества и развитию различных химических и физико-химических процессов, которые существенным образом могут повлиять на свойства пород, изменить состав подземных вод, воздействовать на инженерные сооружения [23, 32, 170, 207].

Извлечение горных пород на поверхность из зоны горного давления и кислородного дефицита сопровождается активизацией таких процессов, как физическое выветривание, окисление, растворение, гидролиз, гидратация и др. Это обусловливает возникновение растворимых и нерастворимых продуктов, негативно влияющих на окружающую среду и инженерные сооружения [170].

Окисление. Общая направленность процессов преобразования пород отвалов определяется существенным изменением окислительно-восстановительного потенциала среды – сменой восстановительной обстановки, характерной для большей части угленосных отложений уже на небольшой глубине, окислительной при извлечении их на поверхность. Воздействие кислорода и воды приводит к интенсивному выветриванию пород. Продукты этого процесса транспортируются подземными и поверхностными водами на значительные расстояния [11].

Окислению подвергаются сульфиды и другие минералы с закисными формами атомов.

Физико-химическая модель сернокислотного выветривания может быть представлена в следующем виде:

(1) $2FeS_2 + 2H_2O + 7O_2 \rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$

(2) $4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 2Fe_2\left(SO_4\right)_3 + 2H_2O$

(3) $FeS_2 + 7Fe_2\left(SO_4\right)_3 + 8H_2O \rightarrow 15FeSO_4 + 8H_2SO_4$

Скорость окисления пирита определяется второй стадией, которая зависит от скорости поступления в реакционную зону кислорода (рис. 2.2).

В результате окисления пирита образуются сульфаты двухвалентного железа и серная кислота. При содержании пирита более 4% и отсутствии минералов, способных нейтрализовать серную кислоту (например, карбонатов), воды приобретают кислую реакцию (*pH* 2–3) и сульфатный состав. Высокое содержание сульфидной серы, увеличение водопритока, воздухообмена и объема

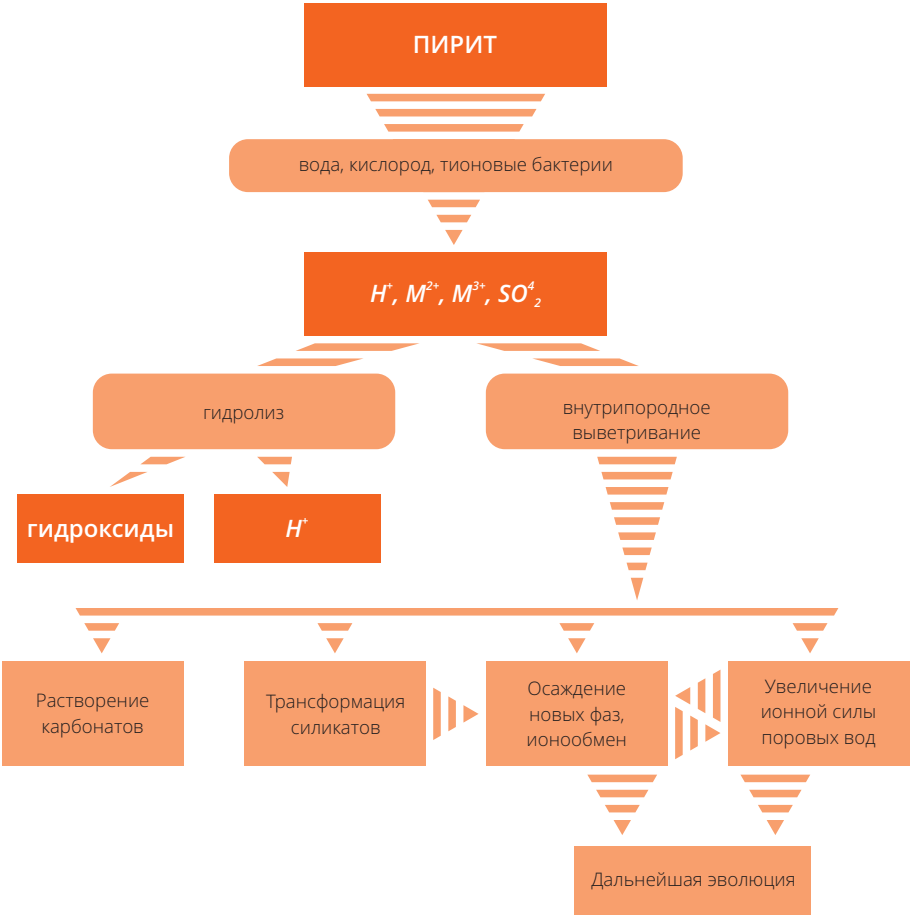


Рисунок 2.2.
Схема сернокислотного выветривания [23]

пород, вовлеченных в геохимические процессы, провоцируют сернокислотное выветривание.

Возникающий сернокислотный процесс увеличивает подвижность многих элементов (железа, алюминия, меди и др.). При разгрузке сернокислых вод на поверхности земли образуются сульфаты калия, железа и алюминия в виде минералов: ярозит $KFe^{3+}\left(SO_4\right)_2\left(OH\right)_6$, алуноген $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 17H_2O$, ромбоклаз $HFe^{3+}\left(SO_4\right)_2 \cdot 4H_2O$ и др.

Разработка месторождений усиливает развитие окислительных процессов в угленосных толщах. Наибольшее влияние на формирование техногенно-геохимических обстановок оказывают элементы с высокими концентрациями в угольной толще. Наличие в грунтах $CaCO_3$ снижает скорость окисления пирита.

Гидролиз. Основным источником ионов водорода, участвующих в этом процессе, служит серная кислота. Меньшая часть ионов H^+ и OH^- образуется при диссоциации воды.

Техногенный гидролиз, как и естественный, протекает стадийно. Преобладающими являются экзотермические реакции с небольшим тепловым эффектом. В первую очередь, гидролизу подвергаются хлорит, альбит, анортит и иллит, в меньшей степени – микроклин [169]. Например, гидролиз альбита идет по схеме:

$$NaAlSi_3O_8 + 6H^+ + 2H_2O \rightarrow 3K_{0.33}Al_{2.33}Si_{3.67}O_{10}OH + 10H_4SiO_4^0 + 6K^+ + 113.15 \text{ кДж/моль}$$

В процессе гидролиза образуются нерастворимые продукты, и происходит экстрагирование растворимых соединений. Нерастворимые продукты реакции образуют на поверхности минерала буферный слой. От скорости диффузии H^+ или OH^- через данный слой зависит скорость гидролиза, растворимые соединения мигрируют за пределы техногенных грунтов.

Метасоматоз. Метасоматические замещения минералов осуществляются в процессе образования нерастворимых продуктов окисления, гидролиза, гидратации; например, пирит замещается гетитом, ортоклаз – каолинитом. Метасоматоз возможен при воздействии растворимых продуктов выветривания на минералы грунтов. По Ф. И. Тютюновой [169], в техногенных грунтах преобладает анионное замещение:

$$CaCO_3 + SO_4^{2-} + H^+ + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + HCO_3^- +$$
$$CaMg\left(CO_3\right)_2 + SO_4^{2-} + 2H^+ + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2HCO_3^- + Mg^{2+}$$

Растворение. На первом этапе выветривания под влиянием атмосферных осадков растворяются хлориды и некоторые сульфаты. При *pH* 5–6 растворяются и карбонаты по схеме:

$$CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$
$$CaMg\left(CO_3\right)_2 \rightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2CO_3^{2-}$$

Кислотное растворение. Появление кислых продуктов выветривания и снижение водородного показателя до 3 является причиной растворения не только карбонатов, но и силикатов:

$$Al\left(Si_4O_{10}\right)\left(OH\right)_8 + 6H^+ \rightarrow 4Al^{3+} + H_4SiO_4 + 8H_2O$$

Выщелачивание. Извлечение из кристаллической решетки атомов без ее разрушения приводит к изменению свойств минералов. Например, при выщелачивании калия иллит приобретает способность к набуханию. Из хлоритов при *pH* 5–6 выщелачивается Mg^{2+}, и они превращаются в смектиты.

Породы шахтных отвалов в результате процессов выветривания приобретают зональное строение. Виггеринг [228] установил зональность в распределении продуктов механического выветривания в отвалах Рура. Продукты замерзания–оттаивания через 3 года образуют горизонт мощностью 20 см, высыхания–увлажнения – до нескольких сантиметров.

Д. Б. Грюнер и В. С. Худ [202] для угольных отвалов в шахте Иллинойс (США) выделили три зоны грунтов по характерным реакциям: верхняя – зона преобладания реакций окисления и гидролиза сульфатов, силикатов; средняя – зона вторичных реакций, таких как кислотное растворение глинистых минералов; нижняя – зона реакций нейтрализации серной кислоты карбонатом кальция подстилающих пород.

Микробиологические процессы. Считается, что бактериальные сообщества кислых шахтных вод и стоков с породных отвалов характеризуются весьма ограниченным числом видов, вследствие меньшего количества используемых для бактериального метаболизма химических реакций. В состав сообщества могут входить гетеротрофные и автотрофные окислители железа и серы, анаэробные окислители серы и восстановители железа (III) [185]. Исследования показали, что состав микробных популяций кислых шахтных вод варьирует как пространственно, так и сезонно и обычно коррелирует с локальными геохимическими условиями (*Eh* и *pH*) [193]. В отходах, содержащих сульфиды, было выделено 60 штаммов *Arthrobacter*, разнообразных по своим свойствам (устойчивости к антибиотикам, утилизации источников *C* и др.). Было сделано предположение о дифференциации природной бактериальной популяции в ответ на экстремальное загрязнение металлами [231].

Рассмотрим роль различных групп микроорганизмов в формировании кислых шахтных вод (КШВ).

Железобактерии. Условия развития и окисления железа железобактериями в природе и лабораторных культурах свидетельствуют о том, что эти микроорганизмы являются важнейшим звеном в круговороте железа в природе,

где их роль сводится к быстрому окислению иона Fe^{2+} и накоплению на своих структурах окисленного железа.

Термин «железобактерии» объединяет значительно различающиеся группы микроорганизмов: автотрофные микроорганизмы, окисляющие ион Fe^{2+} в кислой среде (*Acidithiobacillus*, *Ferroplasma*, *Ferromicrobium*, *Acidimicrobium*, *Leptospirillum*, *Gallionella*, *Metallosphaera*); микроорганизмы, использующие органическую часть комплексных соединений железа (*Seliberia stellata*, *Pedomicrobium*, *Naumaniella neustonica*, *Vibrio extrogenes* и др.), освобождающийся при этом ион Fe^{2+} окисляется химически; собственно железобактерии, образующие скопления охры в условиях нейтральной реакции среды (*Gallionella*, *Siderococcus*, *Toxothrix trichogenes*, *Leptothrix ochracea*) [10]. Например, численность *Acidithiobacillus ferrooxidans* в осадках кислых озер зоны лигнитовых шахт достигала 10^6–10^7 кл/см^3 [221].

В р. Тинто (Иберийский пиритный пояс, Испания), характеризующейся кислой *pH* и высоким содержанием металлов, выявлено присутствие: *Leptospirillum ferooxidans*, *Acidithiobacillus ferooxidans*, *Acidiphilium spp*., *Ferrimicrobium acidiphilium*, *Ferroplasma acidiphilium*, *Thermoplasma acidophilium* [201].

Скорость образования кислых шахтных вод увеличивается благодаря деятельности микроорганизмов. До 75% кислых шахтных вод образовалось вследствие деятельности микроорганизмов. Микроорганизмы КШВ могут влиять и на скорость окисления серы при растворении таких минералов, как пирит, арсенопирит, халькопирит, марказит, сфалерит [185]. Типичная скорость бактериального растворения пирита находилась в пределах 10^{-5}–10^{-7} моль/(м^2·сек), в то время как за счет только химических реакций она была 10^{-6}–10^{-9} моль/(м^2·сек) [194].

Образование швертманита в обогащенных сульфатами водах при *pH* среды в пределах 2,5–4,5 напрямую связывают с бактериальным окислением ионов Fe^{2+}. Осаждение швертманита сопровождается подкислением среды. При *pH* 2 и ниже и при наличии в среде одновалентных катионов швертманит может трансформироваться в ярозит [221].

Железоредукторы. Способность восстанавливать ионы Fe^{3+} широко распространена среди гетеротрофных ацидофильных бактерий, находящихся в условиях лимитирования по кислороду, которые восстанавливают ионы Fe^{3+} за счет окисления молекулярного водорода или органических веществ. Механизмы восстановления ионов железа разнообразны, включая внеклеточный перенос электронов, требующий непосредственного контакта клеток с оксидом, или выработку соединений – хелаторов ионов железа и

переносчиков электронов (например, хинонов). Так, в отличие от *Geobacter*, *Shewanella* не требует непосредственного контакта с поверхностью гидроксида железа [203].

Восстановление окисного железа может осуществляться микроорганизмами и за счет окисления соединений серы. Некоторые микроорганизмы способны использовать не только растворенные ионы Fe^{3+}, но также и входящие в состав минералов – акагенита, гетита, ярозита, натроярозита, магнетита, швертманита и аморфного гидроксида железа [185].

Кристаллические оксиды железа (III) – *α-FeOOH*, Fe_2O_3 – также могут восстанавливаться некоторыми микроорганизмами, например, *Shewanella*. При этом скорость бактериального восстановления оксида железа возрастает с увеличением площади его поверхности, вне зависимости от степени кристаллизации или структурной формы. Так как аморфный водный оксид железа имеет наибольшую площадь поверхности (около 600 м^2/г), то его восстановление идет наиболее интенсивно [200].

Восстановление ионов Fe^{3+}, входящих в состав кристаллических решеток минералов, ведет к их растворению и переходу в раствор ионов Fe^{2+}. Очень часто конечным продуктом восстановления ионов Fe^{3+} разнообразными микроорганизмами является магнетит. Он является единственным продуктом реакции восстановления, если Fe^{2+}/Fe^{3+}менее 0,5. Дальнейшее бактериальное восстановление магнетита зависит от *pH* и концентрации водорастворенных ионов Fe^{2+}. При увеличении соотношения Fe^{2+}/Fe^{3+}, либо при наличии в среде карбонат- или фосфат-ионов, в качестве продуктов восстановления могут также образоваться так называемая зеленая ржавчина, сидерит или вивианит [200].

Скорость образования магнетита железовосстанавливающими бактериями примерно в 5000 раз выше скорости образования магнетита магнетотактическими бактериями [204].

Сероокислители. Окисление серы осуществляется, в основном, автотрофными микроорганизмами (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *T. albertis*, *Sulfobacillus acidophilus*). Возможно и окисление соединений серы в аноксидных условиях ионами Fe^{2+} (*A. ferrooxidans*, *S. acidophilus*) [185].

Сульфатредукторы. Обычно они предпочитают аноксигенные условия с *pH*, близким к нейтральному, но были также обнаружены и в окислительных условиях в кислой среде [197, 198, 199]. Согласно диаграмме *Eh-pH*, именно в этих границах восстановленное железо находится в устойчивом состоянии [85]. Сульфатредукторы были обнаружены и в развившейся на поверхности насыпи пиритной руды слизистой бактериальной пленке, в которой они сосуществова-

ли вместе с другими бактериями [186]. Присутствие сульфатредукторов в породных отвалах не зависело от влажности или содержания органических веществ, а их численность не превышала 10^7 CFU/gdw [199].

Сульфатредукторы способствуют снижению концентрации сульфатов в образующихся кислых водах, вызывают локальное подщелачивание среды и способствуют осаждению сульфидов металлов (в основном железа). Образование моносульфидов железа (*FeS*) – важная геохимическая реакция в низкотемпературных средах, ведущая к образованию пирита. Образование сульфидов железа может влиять на растворимость других металлов (*Cu*, *Zn*, *Pb*, *Cd* и др.) через реакции сорбции и соосаждения [199].

Абиогенная трансформация швертманита в гетит сопровождается увеличением кислотности среды, что, по-видимому, ингибирует деятельность сульфатредуцирующих бактерий. Скорость трансформации возрастает с увеличением *pH* среды (щелочности), вызванной протон-потребляющими процессами, например, бактериальной сульфатредукцией. В природе эти процессы могут уравновешивать друг друга, сохраняя *pH* среды неизменной. При этом скорость сульфатредукции будет лимитирующей для возрастания *pH*, определяя тем самым скорость протекания трансформации швертманита в гетит [221]. Некоторые сульфатредукторы обладают способностью к восстановлению *Fe*(III), и их активность может приводить к образованию конкреций сидерита [191].

Денитрификаторы. Присутствие изотопно легких карбонатов в ассоциации с тонкозернистым магнетитом ($FeO{\cdot}Fe_2O_3$) свидетельствует о его биогенном происхождении (через восстановление Fe^{3+}). Предлагается еще один путь образования – через окисление Fe^{2+} за счет бактериальной денитрификации [190].

Азотфиксаторы. Считается, что фиксация N^2 в аэробных и микроаэрофильных условиях КШВ весьма проблематична вследствие ингибирования нитрогеназы кислородом. Умеренный ацидофил *Acidithiobacillus ferrooxidans* решает эту проблему использованием тетратионата в качестве донора электронов, а ионов Fe^{3+} – в качестве акцептора вместо кислорода. Азотфиксация в условиях низких значений *pH* непосредственно не наблюдалась, но гены нитрогеназы были обнаружены у *Leptospirillum ferriphilum* [185].

2.3. Шахтные воды и изливы

Шахты Кизеловского бассейна в период эксплуатации были одними из самых обводненных в стране. Эксплуатация шахт в условиях водообильности потребовала строительства водоотливных комплексов для откачки шахтных

вод на поверхность и их сброса в ближайший водоток. Очистка шахтных вод проводилась лишь от шлама и частично от взвешенных веществ [61].

Прекращение работы шахтных водоотливов повлекло постепенное восстановление гидродинамического режима подземных вод, которое было нарушено горными работами. Первый этап затопления шахт характеризовался постепенным заполнением горных выработок трещинно-карстовыми водами. Когда отметки затопления горных выработок стали приближаться к уровню трещинно-карстовых вод, начался процесс восстановления гидродинамического режима визейско-башкирского водоносного горизонта. Вследствие затопления горных выработок в отработанных шахтных полях сформировался техногенный горизонт шахтных вод мощностью до 30 м. Разгрузка этих шахтных вод происходит через горные выработки в виде изливов, загрязненных родников.

2.3.1. Характеристика шахтных вод при разработке месторождения

Природные подземные воды на территории Кизеловского бассейна обладают высоким окислительным потенциалом и нейтральной реакцией среды (*pH* 7,3–7,5), гидрокарбонатно-кальциевым составом (рис. 2.3) и минерализацией 0,06–1,5 г/л [113].

В горных выработках природные воды взаимодействуют с богатыми сульфидной и органической серой углем и горными породами и преобразуются в кислые (*pH* 2–3) сульфатные железо-алюминиевые натриево-кальциевые воды. Минерализация их может возрастать до 35 г/л [98].

Шахтные воды формировались в основном за счет трещинно-карстовых вод визейско-башкирского горизонта, в меньшей степени – за счет вод франско-турнейского и девонского водоносных комплексов. Вследствие высокой закарстованности в шахты поступали поверхностные воды, в том числе и через провалы по выходам отработанных угольных пластов. Режим водопритоков имел сезонный характер: во время весеннего снеготаяния и обильных атмосферных осадков объем воды, поступавшей в горные выработки, увеличивался.

По данным комплексных гидрогеологических исследований, проведенных в 1938 г., водопритоки в шахты Кизеловского бассейна достигали 400 м^3/ч (шахта «Капитальная») [71]. В середине 1960-х годов, когда был достигнут пик добычи угля, водопритоки в шахты достигали 1000 м^3/ч (шахта 38) и более, максимальный годовой приток шахтных вод составил 14–15 тыс. м^3/ч. В последующие годы добыча угля значительно снизилась; несмотря на это, существенного снижения величины шахтных водопритоков не наблюдалось. В годы, предшествующие закрытию шахт, максимальные среднегодовые поступления вод в

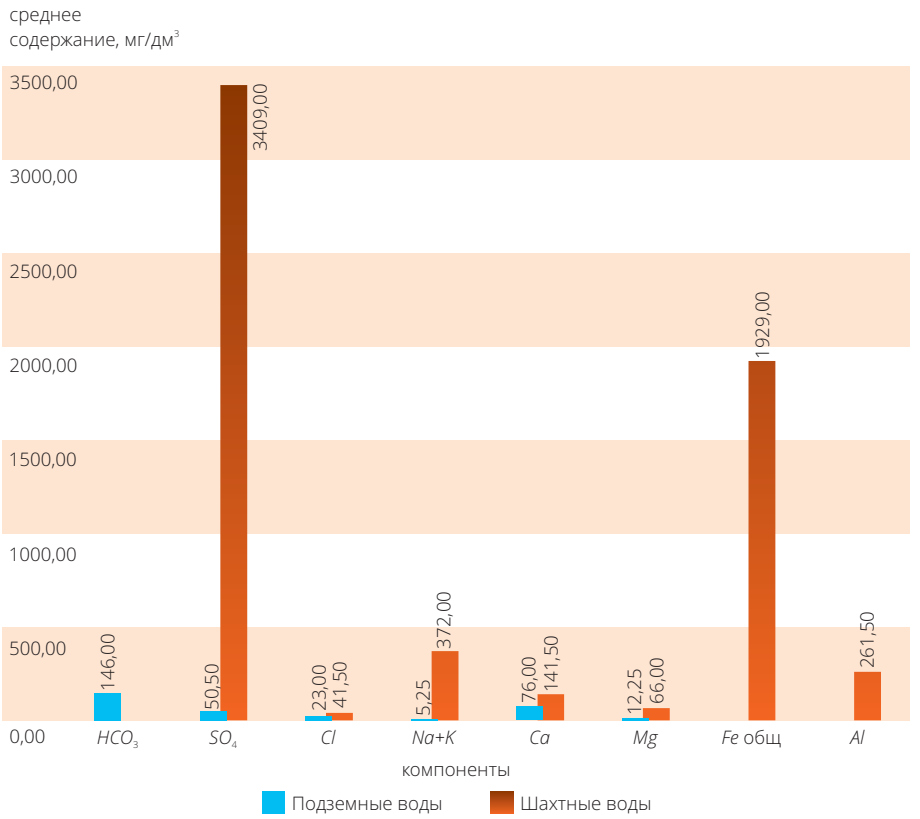


Рисунок 2.3.
Состав подземных и шахтных вод Кизеловского бассейна [178]

горные выработки были отмечены в шахтах: им. Ленина (2751 м³/ч, 1986 г.), «Северная» (1732 м³/ч, 1981 г.), им. 40 лет Октября (1213 м³/ч, 1990 г.), «Ключевская» (1475 м³/ч, 1990 г.). Наименее обводненной считается шахта «Белый Спой», среднегодовые притоки на ней составляли в среднем 80 м³/ч [61].

Минерализация сбрасываемых шахтных вод на большинстве водоотливов достигала 7 г/л, *pH* изменялся от 2,2 до 3,1. Для них было характерно повышенное содержание ионов железа и алюминия (рис. 2.3). Наблюдались повышенные концентрации таких химических элементов, как кобальт, никель, бериллий, ванадий, цирконий, свинец, цинк, скандий, олово, марганец. Максимальные концентрации компонентов были отмечены на «Центральной», «Ключевской», «Широковской» шахтах [178].

В середине 1960-х сброс шахтных вод достиг 131 400 м^3/ч, к концу XX века этот показатель снизился до 103 841 м^3/ч. За период эксплуатации шахт воды сбрасывались в реки практически без очистки, что обусловило поступление в поверхностные и подземные воды Кизеловского бассейна большого количества сульфатов, железа, алюминия и тяжелых металлов.

2.3.2. Изливы кислых вод после ликвидации шахт

Ликвидация шахт в 1990-х гг. не решила экологических проблем. Откачка и сброс кислых шахтных вод сменились их изливами на поверхность. На территории Кизеловского бассейна ведутся замеры расходов изливов шахтных вод на 12 шахтах (табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Изливы шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне

Бассейн	Количество изливов	Шахты
р. Яйвы	6	«Белый Спой», им. Ленина, им. Володарского, «Коспашская»
р. Косьвы	7	Им. Крупской, им. 1 Мая, им. Калинина, им. 40 лет Октября, «Нагорная»
р. Чусовой	3	«Таежная», им. Чкалова, «Усьва-3»
Всего	16	12

Гидродинамический режим изливов шахтных вод носит переменный характер. Основная закономерность режима проявляется в снижении дебита изливов в зимнюю, летнюю межень и увеличении расхода в весенне-осенний период. Их суммарный среднегодовой расход составляет около 2,5 тыс. м^3/ч. По данным мониторинга, из всех изливов КУБа на поверхность поступает 18 млн м^3 шахтных вод в год.

Температура воды в точках изливов варьируется от 3,2°С до 11,4°С. Такая амплитуда по температурному режиму шахтных вод обусловлена различными горнотехническими условиями шахтных полей и сезонными изменениями климата.

Несмотря на длительный период затопления, шахтные воды на вышеуказанных шахтах по-прежнему остаются кислыми, с минерализацией более 1000 мг/дм^3. Анализ данных мониторинга показывает, что наиболее загрязненными являются воды, изливающиеся из штольни шахты им. Калинина, трубного ходка шахты им. Крупской, из вспомогательного и 8 стволов шахты им. В. И. Ленина

и северной штольни шахты «Таежная». Здесь отмечено превышение предельно допустимых концентраций (в соответствии с требованиями для водоемов хозпитьевого и культурного-бытового водопользования) для таких компонентов, как магний (в 4 раза), железо (8200 раз), алюминий (620 раз), бериллий (218 раз), кадмий (2 раза), кобальт (5 раз), литий (37 раз), никель (40 раз), марганец (198 раз), свинец (4 раза) (табл. 2.2).

Таблица 2.2.

Химический состав шахтных вод в изливах наиболее загрязненных шахт Кизеловского угольного бассейна

Шахты	*pH*	Жесткость ммоль/дм³	Сух. ост.	Макрокомпонентный состав						
				Средние значения показателей химического состава, мг/дм³						
				SO_4	*Cl*	*Ca*	*Mg*	*Na+K*	*Fe*	*Al*
Им. Ленина	3,6	40,7	10685	5767	20	430	233	164	2466	98
Им. Калинина	2,95	27,8	7180	4400	20	345	128	91	1933	49
Им. Крупской	3	15,3	6010	3609	20	194	67	80	1297	123
«Таежная»	3,15	9,15	3640	2190	20	115	41	45	737	47

Шахты	Макрокомпонентный состав							
	Средние значения показателей химического состава, мг/дм³							
	Be	*Cd*	*Co*	*Li*	*Ni*	*Mn*	*Pb*	*Zn*
Им. Ленина	0,044	0,0020	0,521	0,945	0,789	19,857	0,039	0,307
Им. Калинина	0,023	0,0013	0,215	0,578	0,395	15,293	0,039	0,277
Им. Крупской	0,025	0,0022	0,343	1,116	0,648	9,691	0,028	0,813
«Таежная»	0,027	0,0003	0,299	0,394	0,526	7,060	0,019	0,193

Таким образом, на поверхность поступает в среднем 24 306 т железа, 1125 т алюминия, 248 т марганца, 13 т никеля, 8 т кобальта в год. При взаимодействии шахтных вод с речными образуется осадок, что приводит к загрязнению рек на протяжении десятков километров вплоть до самых устьев. Этого не наблюдалось при работе шахт. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых практически выведены из водопользования. Более детальная характеристика изливов дана в главе 3.

2.4. Роль отвалов в загрязнении окружающей среды

2.4.1. Процессы преобразования вещества в отвалах

Одним из источников загрязнения окружающей среды являются твердые отходы – отвалы, образующиеся при добыче и переработке угля. Породы, идущие в отвал, формируются за счет проходки выработок (52%), их ремонта и восстановления (48%); они складируются вблизи стволов шахт в виде терриконов высотой до 60–80 м и отвалов хребтовидной формы (92%), а также плоских отвалов (8%). Отвалы состоят: из аргиллитов на 60–80%, алевролитов – 10–30%, песчаников – 4–10%, известняков – до 6%, угля – 6–20%, пирита – до 10%; содержат древесину, металлические предметы (трубы, провода и др.). Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб [2, 166].

Извлечение горных пород на поверхность из зоны горного давления и кислородного дефицита сопровождается активизацией таких процессов, как физическое выветривание, окисление, растворение, гидролиз, гидратация и др. Это обусловливает возникновение растворимых и нерастворимых продуктов, негативно влияющих на окружающую среду и инженерные сооружения.

Перемещение горных пород из зоны кислородного дефицита, разгрузка их от горного давления создают условия, при которых осуществляется ***техногенное выветривание***. В зоне выветривания техногенные грунты следует рассматривать как сложные системы, в которых образуются растворимые и нерастворимые продукты, влияющие на окружающую среду и инженерные сооружения.

Интенсивность выветривания техногенных грунтов значительно выше естественных. Кроме геохимического контраста это связано с неоднородным гранулометрическим составом, невысокой плотностью грунтов и, как следствие, высокой проницаемостью для воды и газа. Рассмотрим основные процессы, сопровождающие выветривание.

Механическое выветривание. Разрушение обломков пород происходит под влиянием нагрузки, вышележащих пород, замораживания, кристаллизации солей, горении. Высыхание–увлажнение также сопровождаются разрушением пород за счет давления, возникающего при набухании и усадке слоистых силикатов. В результате механического выветривания увеличивается удельная поверхность обломков, повышается плотность, снижается проницаемость.

Химическое выветривание. В грунтах под влиянием кислорода, атмосферных осадков и грунтовых вод осуществляются первичные геохимические процессы: окисление, растворение, выщелачивание, метасоматоз, гидролиз, гидратация.

Реакции окисления идут с выделением тепла и сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением пород, фумарольными процессами.

При горении выделяются сернистый газ, окислы азота, оксид углерода, сероводород и др. Концентрации диоксида углерода и оксидов серы на расстоянии 300 м от горящего отвала могут достигать 125 мг/м^3 и 1,65 мг/м^3 соответственно. Максимальный уровень загрязнения отмечен в радиусе до 500 м. Твердая фаза газового дыма представлена сажей, коксом, силикатными шариками, кристаллами гипса и органическими остатками, осаждающимися на поверхность.

Можно выделить ***механическую***, ***водную***, ***воздушную*** и ***биологическую*** миграцию вещества отвалов. К механической миграции относятся оползание склонов отвалов, развеивание пород, перенос частиц временными и постоянными потоками (при отсыпке на пойму и в русло). Перенос вещества осуществляется в виде твердых частиц. Часть компонентов отвала переносится водными агентами. При фильтрации через отвалы атмосферные, поверхностные и подземные воды обогащаются ионами и коллоидами, которые переносятся на значительные расстояния. Часть их, например гидроокислы железа, может осаждаться и мигрировать механически.

К воздушным мигрантам относятся газы, выделяющиеся из отвалов, особенно при их горении. Причиной горения отвалов во многих случаях являются реакции окисления органической серы и пирита в сульфаты и с образованием серной кислоты. Дальнейшее окисление сопровождается выделением тепла и самовозгоранием отвалов. Терриконы и хребтовидные отвалы, в которых обеспечивается необходимый для горения приток воздуха, более подвержены самовозгоранию, чем плоские отвалы. На участках горения температура может достигать 1000°С.

Средний горящий отвал в течение года выделяет от 620 до 1280 т SO_2, 3000–5000 т CO, 230–290 т H_2S, 11–30 т NO_x, 14 400 т CO_2 [2]. Окислы серы, взаимодействуя с атмосферной влагой, образуют серную кислоту, которая выпадает с осадками на земную поверхность. Горение отвалов может продолжаться годами, иногда – десятилетиями.

При горении отвалов происходит вторичное минералообразование. При изучении минералогии горелых угольных отвалов Челябинского угольного бассейна Б. В. Чесноков с соавторами [176] выделял следующие процессы минералообразования:

- переплавление пород и образование минералов классов силикатов, сульфидов и карбонатов, характерных для магматических пород;

- интенсивное абиогенное окисление и формирование минералов класса оксидов;
- дегидратация водных минералов и образование пневматолитов, гидротерм и минералов из класса сульфатов, хлоридов и фторидов;
- обжиг и перекристаллизация минералов;
- возгонка угольного (органического) вещества.

При дефиците кислорода происходит восстановление оксидов и кристаллизация безводных силикатов, сульфидов и других минералов. Образуются базальтоподобные породы, состоящие из основного плагиоклаза, моноклинного пироксена, оливина с примесью пирротина, троилита, магнетита Fe_3O_4 , самородного железа и других.

Тугоплавкие породы в очаге горения и низкоплавкие в прилегающей к нему зоне подвергаются обжигу (термальному метаморфизму); в процессе обжига происходит дегидратация, перекристаллизация, выделение летучих компонентов.

Аргиллиты, состоящие из каолинита, иллита, хлорита, карбонатов, кварца и углеродистого вещества, вблизи очага преобразуются в кирпично-красную породу, состоящую из андалузита, шпинели, гематита, магнетита и кварца; при более низкой температуре они становятся вишнево-красными и представлены кордиеритом, муллитом, гематитом и магнетитом.

Сульфиды железа химически окисляются и превращаются в магнетит, гематит с выделением сернистого газа (пневматолита). Уголь и углистые породы в этой зоне превращаются в «черные блоки», состоящие из шунгита, графита и сульфидов. Термальный метаморфизм известняков заканчивается образованием портландита, вторичного кальцита; при метаморфизме доломита образуются периклаз, портландит, брусит, вторичный кальцит.

Компоненты отвалов участвуют в биологическом круговороте химических элементов. Существенную роль играют микробиологические процессы при выветривании пород отвалов. Можно говорить об активной биологической миграции элементов при самопроизвольном зарастании и рекультивации отвалов.

За время работы КУБа более чем в 70 отвалах накоплено свыше 35 млн м^3 пород [81]. Породы отвалов неоднородны, что определяется литологией угленосной толщи, технологией добычи и складирования, возрастом отвалов.

Для выявления закономерностей геохимических процессов в породных отвалах Кизеловского угольного бассейна было проведено изучение их минерального состава. Исследование проведено с применением оптического, рентгеноструктурного, термического, электронно-микроскопического, микро-

зондового методов. Изучались исходные пробы грунтов отвалов, отдельные кристаллы и их агрегаты, монофракции минералов, корочки, различные выцветы, примазки. Оптическое изучение проводилось с применением бинокулярных микроскопов МБС-9, МБС-10, поляризационных микроскопов Полам Р-112, Полам Р-211. Рентгеноструктурный анализ выполнен В. Г. Шлыковым на аппарате ДРОН УМ-1в лаборатории геологического факультета МГУ, а также операторами П. В. Хворовым и Т. М. Рябухиной на дифрактометре ДРОН-2.0, CuKα-излучение в лаборатории комплексных методов исследования минералов Института минералогии УрО РАН. Расшифровка рентенограмм проводилась по картотеке ASTM рентгеновских данных минералов. Термический анализ осуществлялся на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ З. А. Кривошеевой и в Институте минералогии на дериватографе системы Паулик и Эрдеи Т. А. Корниловой. Электронно-микроскопические исследования проведены в МГУ Л. Б. Грановским на сканирующем электронном микроскопе, совмещенном с микроанализатором «Канскан»; В. Н. Соколовым на «Хитачи» и А. Ю. Сасовым на «Jeol ism50A» на кафедре инженерной геологии и охраны окружающей среды, а также на сканирующем электронном микроскопе LEO 1430VP, снабженном EDX спектрометром OXFORD, Т. А. Титовым в ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск).

На основании проведенных исследований в породных отвалах КУБа установлено около 60 минералов, среди которых выделены первичные, характерные для угленосной толщи и вмещающих пород: каолинит, иллит, серицит, монтмориллонит, мусковит, кварц, хлорит, пирит, марказит, кальцит, сидерит, олигоклаз, ортоклаз, арагонит, муассанит, циркон, ставролит, гиперстен, рутил, эпидот, цоизит, гранат, турмалин, анатаз, корунд, хромшпинелид, барит, магнетит, ксенотим. Вторичные минералы, образующиеся в породных отвалах, представлены серой, гематитом, маггемитом, тридимитом, кристобалитом, известью, портландитом, гетитом, гиббситом, ярозитом, алунитом, эпсомитом, гипсом, ангидритом, мелантеритом, ссомольнокитом, метабазалюминитом, роценитом, копиапитом, галотрихитом, билинитом, пиккерингитом, калинитом, калиевыми квасцами, сидеротилом, чермигитом, флюорэллестадитом, муллитом [144, 145, 147].

Приведем описание ряда установленных вторичных минеральных образований в горелых угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна в порядке, соответствующем общепринятой химической классификации минералов.

Самородные элементы.

Сера – *α-S* (ромбическая сингония). Дипирамидальные кристаллы размером до 1 мм желто-зеленого цвета найдены в породе отвалов шахт им. 40 лет ВЛКСМ, им. 1 Мая, «Северная». В отвале шахты «Владимирская» в фумаролах

найдены светло-зеленые кристаллы серы размером до 1,5 см. Определение подтверждено рентгенометрически; главные линии на рентгенограмме: 3.85; 3.447; 3.213; 3.110; 3.084; 2.847.

Оксиды и гидроксиды.

Тридимит – SiO_2 (гексагональная сингония). Встречен в горелых отвалах шахты «Северная» в обожженной глине в ассоциации с муллитом и кристобалитом. Продукт обжига кварца. Главные линии рентгенограммы: 4.332; 4.103; 3.730.

Кристобалит – SiO_2 (тетрагональная сингония). Диагностирован рентгенометрически в ассоциации с тридимитом и муллитом в обожженной каолинитовой глине отвалов шахты «Северная». Основные линии: 4.103; 2.544; 2.192; 2.050.

Гематит – $\alpha\text{-}Fe_2O_3$ (тригональная сингония). Основной минерал горелых породных отвалов. При высоких температурах образует псевдоморфозы по пириту, магнетиту. Встречен в виде слабомагнитных шариков серого, красного цвета размером до 0,2 мм. Блеск металлический, черта вишнево-красная. Тонкодисперсный гематит придает породам отвалов кирпично-красную окраску. Главные линии рентгенограммы: 3.68; 2.698; 2.518; 2.207; 1.842.

Маггемит — $\gamma\text{-}Fe_2O_3$ (кубическая сингония). Найден в горелых породах шахты им. 40 лет ВЛКСМ. Диагностирован рентгенографически.

Гетит — $\alpha\text{-}FeO(OH)$ (ромбическая сингония). Найден в виде охристых налетов, примазок на кусках обожженных пород в ассоциации с гипсом, алунитом, аморфными гидроксидами железа на отвалах шахт «Центральная», им. Урицкого, им. Калинина, им. Серова, «Северная», «Ключевская». Главные линии рентгенограммы: 4.95; 4.168; 2.453; 2.203; 1.717.

Гиббсит – $Al(OH)_3$ (моноклинная сингония). Обнаружен в отвалах шахты им. 1 Мая, им. 40 лет ВЛКСМ. Диагностирован термически и рентгенометрически. Главные линии рентгенограммы: 4.799; 4.340; 2.279. Пик на термограмме соответствует 355°С.

Сульфаты.

Ярозит – $KFe^{3+}\left(SO_4\right)_2\left(OH\right)_6$ (тригональная сингония). Распространенный минерал породных отвалов. Цвет светло-желтый до желтого. Встречается в виде налетов, корочек на поверхности пород (особенно аргиллитов), придавая им желтую окраску. Образует таблитчатые, размером до 5 мм (шахта им. Крупской), и листоватые кристаллы (рис. 2.4). Основные линии рентгенограммы: 5.935; 5.710; 5.092; 3.115; 3.084; 1.980.

В одном из отвалов шахты им. Серова рентгенометрически был диагностирован натроярозит.

Алунит – $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ (тригональная сингония). Найден в виде белых налетов на поверхности пород отвалов шахт «Центральная», им. Урицкого, «Нагорная», им. 40 лет ВЛКСМ, «Ключевская». Образует ромбоэдрические кристаллы. Встречается в ассоциации с гипсом, гематитом. Главные линии рентгенограммы: 4.959; 3.498; 2.990; 1.908.

Гипс – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (моноклинная сингония). Встречен на многих отвалах в виде светло-желтых скрытокристаллических масс, отдельных бесцветных кристаллов размером до 3 см и их агрегатных сростков. Облик кристаллов – от тонко- до толстотаблитчатых (рис. 2.5).

Спайность совершенная по (010). Основные линии рентгенограммы: 7.56; 4.270; 3.793; 3.062; 2.870; 2.682; 1.899. Ассоциирует с алунитом, в горелых породах – с ангидритом, гематитом.

Ангидрит – $CaSO_4$ (ромбическая сингония). Найден на обгоревших породах шахт «Северная», «Ключевская» в виде корочек, «натеков» желтого цвета. Облик кристаллов – от толстотаблитчатых до призматических. Вероятно, образуется в результате дегидратации гипса под действием высоких температур при горении отвалов. Ассоциирует с гипсом, кальцитом. Диагностируется рентгенографически по следующим рефлексам: 3.51; 2.858; 1.855; 2.332; 2.090; 1.994.

Калиевые квасцы – $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (кубическая сингония). Найдены на поверхности

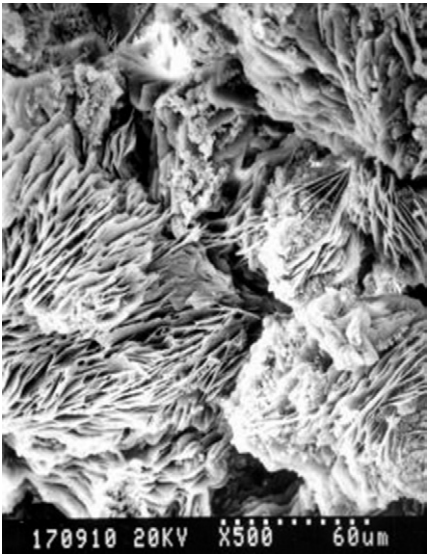


Рисунок 2.4.
Пластинчатые кристаллы ярозита с отвала шахты «Ключевская»

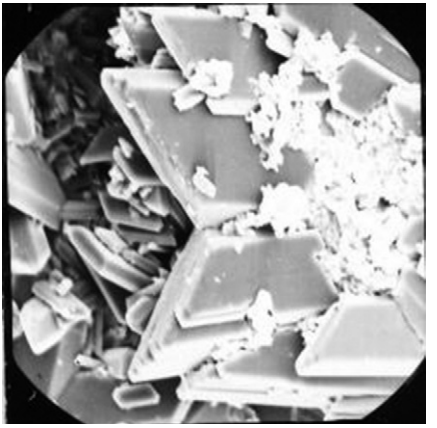


Рисунок 2.5.
Кристаллы гипса с отвала шахты «Ключевская»

отвалов на шахтах им. Калинина и им. 40 лет Октября. Диагностированы рентгенометрически. Основные линии: 4.296; 4.064; 2.950. Сульфат калия и алюминия с меньшим количеством гидратированной воды – $KAl\left(SO_4\right)_2 \cdot 6H_2O$ встречен в отвалах шахт «Ключевская» и им. Калинина. Главные линии рентгенограммы: 4.66; 4.22; 4.06; 3.77; 3.68; 3.599; 3.170. Растворяются в воде. Более подробное описание калиевых квасцов опубликовано в статье [146].

Калинит – $KAl\left(SO_4\right)_2 \cdot 11H_2O$ (моноклинная сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности в виде волокон до 1 мм длиной совместно с меланте-ритом, чермигитом, копиапитом на отвалах шахт «Владимирская», им. Крупской. Главные линии рентгенограммы: 9.55; 6.04; 4.81; 4.598; 4.323; 4.080; 3.773; 3.500; 2.890; 2.672. Растворим в воде.

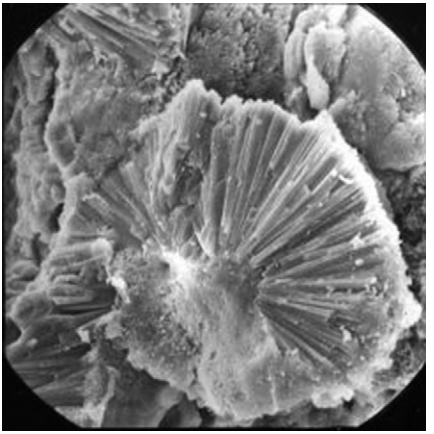


Рисунок 2.6.
Агрегат кристаллов алуногена с отвала шахты «Ключевская»

Алуноген – $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 17H_2O$ (триклинная сингония). В зоне фумарол на отвалах шахты «Владимирская» в месте взаимодействия газовых струй с обломками карбонатных пород образуются корки, на которых растут иголочки алуногена белого и красноватого цвета (рис. 2.6). Основные линии рентгенограммы: 13.4; 4.49; 4.386; 3.500; 3.360; 3.048. Найден совместно с пиккерингитом, галотрихитом, билинитом. Растворим в воде. В ассоциации с алуногеном были обнаружены соединения: $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 12H_2O$; $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 14H_2O$; $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 16H_2O$. Некоторые исследователи считают, что эти соединения можно считать алуногеном. Но все они дают разную картину дифракции, что свидетельствует об их разной кристаллической структуре. Главные линии рентгенограммы соединения $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 12H_2O$: 4.38; 4.31; 4.05; 3.898; 3.681; 3.014; 2.495. Соединение $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 14H_2O$ имеет на рентгенограмме рефлексы: 6.01; 4.202; 4.05; 3.89; 3.681, а соединение $Al_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 16H_2O$ имеет следующие межплоскостные расстояния: 4.48; 4.377; 4.314; 4.05; 3.972; 3.90; 3.49. Б. И. Сребродольский [162] выделяет их как самостоятельные минералы, все они растворимы в воде.

Метабазалюминит – $Al_4\left(SO_4\right)\left(OH\right)_{10}$ (сингония не определена). В виде налетов, корок белого цвета обнаружен в фумаролах на отвале шахты «Нагорная» совместно с кокимбитом и роценитом. В зоне нахождения минерала от-

мечались повышенная температура пород и выходы газов. Главные линии на рентгенограмме: 8.255; 6.746; 4.380; 4.330; 3.674; 3.470. Растворим в воде.

Чермигит – $(NH)_4 Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (кубическая сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности шахты «Владимирская» совместно с мелантеритом. Главные линии рентгенограммы: 7.07; 5.48; 4.994; 4.323; 4.079; 3.694; 3.060; 2.968; 2.736. Растворим в воде.

Мелантерит – $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (моноклинная сингония). Определен рентгенометрически в углефицированной породе отвала шахты им. Урицкого в ассоциации с ссомольнокитом и пиритом. Также встречен совместно с калинитом, пиритом, чермигитом в зоне фумарольной деятельности отвала шахты «Владимирская». Главные линии рентгенограммы: 5.48; 4.89; 4.01; 3.77; 3.73; 3.21. Растворим в воде.

Сидеротил – $FeSO_4 \cdot 5H_2O$ (триклинная сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности совместно с галотрихитом, билинитом, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ на отвале шахты «Владимирская». Главные линии на рентгенограмме: 5.80; 5.52; 5.04; 4.92; 4.56; 4.35; 3.94; 2.95; 2.84; 2.73; 2.08. Растворим в воде.

Роценит – $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ (моноклинная сингония). Найден в виде белых присыпок по пириту на отвалах шахт «Нагорная», им. Серова, «Ключевская», им. 40 лет Октября. Образует дощатые кристаллы размером до 1 мм (рис. 2.7). Главные линии рентгенограммы: 6.88; 5.495; 4.777; 4.499; 4.00; 3.410; 3.240; 2.290; 2.970; 2.580, 2.430; 2.270. Растворим в воде.

Рисунок 2.7.
Призматические кристаллы роценита на поверхности пирита с отвала шахты «Ключевская»

Ссомольнокит – $FeSO_4 \cdot H_2O$ (моноклинная сингония). Образует присыпки по пириту. Диагностирован рентгенометрически в ассоциации с роценитом и пиритом на отвалах шахт им. Урицкого, им. Калинина, «Центральная», «Ключевская», им. Серова, им. 40 лет Октября. Главные линии рентгенограммы: 4.877; 4.780; 3.460; 3.360; 3.290; 3.140; 2.583; 2.532. Вероятно, образуется при дегидратации роценита. Медленно растворяется в воде.

Копиапит – $Fe^{2+}Fe_4^{3+}(SO_4)_6(OH)_2 \cdot 20H_2O$ (триклинная сингония). Образуется в местах выхода фумарол на поверхность. Найден в виде корочек на отвалах

Рисунок 2.8.
Кристаллы копиапита с отвала шахты им. Крупской

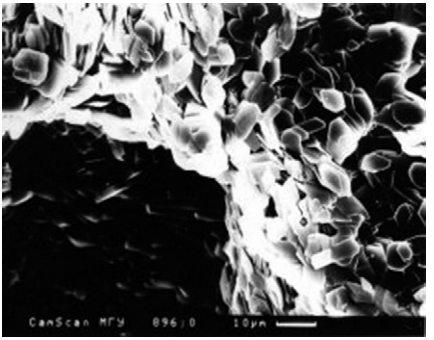


Рисунок 2.9.
Гексагональные таблички кристаллов кокимбита с отвала шахты им. Крупской

шахт им. 40 лет ВЛКСМ, им. Крупской, «Коспашская». Дает удлиненные кристаллы желтого цвета (рис. 2.8). Ассоциирует с кокимбитом, галотрихитом, пиккерингитом и другими сульфатами. Легко растворяется в воде, дает желтый раствор. При комнатной температуре постепенно переходит в кокимбит. Диагностирован рентгенометрически, основные линии: 9.13; 6.858; 6.109; 5.569; 5.340; 4.210; 4.025; 3.580; 3.516.

Кокимбит – $Fe_2\left(SO_4\right)_3 \cdot 9H_2O$ (тригональная сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности на отвалах шахт им. Крупской и «Нагорная». Образует почковатые агрегаты желтого цвета. Электронно-микроскопическое исследование показало, что эти агрегаты состоят из гексагональных табличек (рис. 2.9). По данным качественного микрозондового анализа, минерал состоит из железа и серы. Характерные линии рентгенограммы: 9.47; 8.53; 8.29; 5.50; 4.61; 3.65; 3.37; 2.77. Легко растворим в воде. Образуется при дегидратации копиапита или пнавматолитовым путем.

Билинит – $Fe^{2+}Fe_2^{3+}\left(SO_4\right)_4 \cdot 22H_2O$ (моноклинная сингония). Найден в виде волокнистых кристаллов в местах взаимодействия струй газа с карбонатными породами в ассоциации с галотрихитом, пиккерингитом, алуногеном на отвале шахты «Ключевская» и в фумаролах шахт «Владимирская», им. 40 лет ВЛКСМ, «Центральная». Главные линии рентгенограммы: 4.95; 4.31; 4.119; 3.500; 3.260; 2.890; 2.718. Растворим в воде.

Пиккерингит – $MgAl_2\left(SO_4\right)_4 \cdot 22H_2O$, галотрихит $Fe^{2+}Al_2\left(SO_4\right)_4 \cdot 22H_2O$ (моноклинная сингония). Между пиккерингитом и галотрихитом существует непрерывная серия изоморфных замещений магния и железа. Минералы имеют волокнистый облик (рис. 2.10). Они встречаются в виде радиальных или спутанных

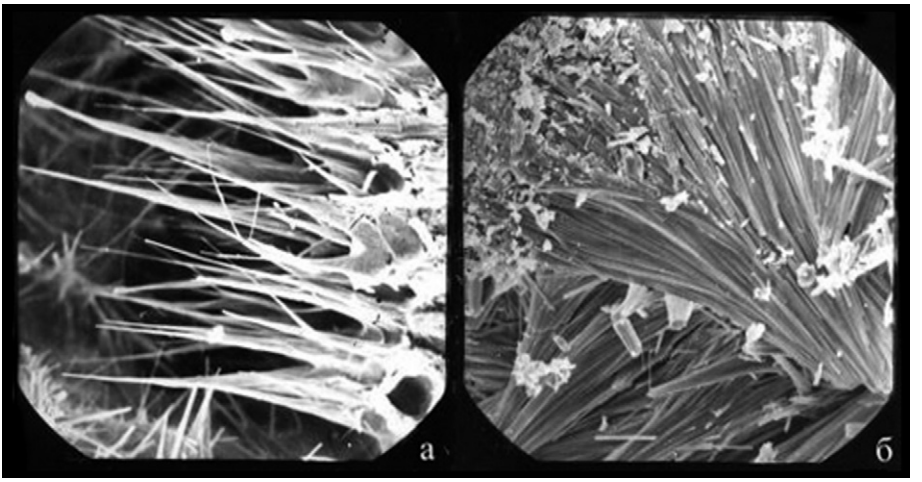


Рисунок 2.10.
Морфология кристаллов галотрихита с отвалов шахты им. Крупской (а) и шахты «Ключевская» (б).

агрегатов игольчатых или волосовидных кристаллов, а также в виде корочек и налетов. Более толстые кристаллы бывают полыми. Кристаллы имеют вертикальную штриховку. Цвет пиккерингита белый, галотрихита – белый, зеленоватый. Легко растворимы в воде. Обнаружены в отвалах шахт «Владимирская», им. 40 лет ВЛКСМ, им.Крупской, «Ключевская» совместно с билинитом, копиапитом. Характерные линии рентгенограммы пиккерингита: 9.78; 6.11; 4.98; 4.84; 4.33; 4.19; 3.79; 3.522; галотрихита: 9.60; 6.04; 4.799; 4.305; 3.770; 3.498; 2.851.

Флюорэллестадит – $Ca_{10}\left[\left(SO_4\right)_3\left(SiO_4\right)_3\right]6F_2$ (гексагональная сингония). Фтористый конечный член подгруппы эллестадита. Флюорэллестадит обнаружен в кусках обожженного известняка в останце спека на склоне некогда горящего террикона шахты «Ключевская». Кристаллы его прозрачны, зернистые агрегаты просвечивают. Твердость – 4: флюорэллестадит оставляет черту (не царапину!) на флюорите, а флюорит, в свою очередь, оставляет черту на флюорэллестадите, т. е. твердости флюорита и флюорэллестадита одинаковы. В *HCl* сначала слабо вскипает, а затем медленно разлагается. При нагревании до 1000°С устойчив, наблюдается лишь слабый эндотермический эффект при 150°С. Дифрактограмма продукта прокаливания до 1000°С аналогична таковой для флюорэллестадита. Анализ, проведенный на сканирующем электронном микроскопе LEO 1430VP, снабженном EDX спектрометром OXFORD, показал следующее содержание элементов в флюорэллестадите: *F* – 10.84, *Si* – 7.44, *S* – 6.93, *Ca* – 19.56, *O* – 55.23 ат. %. Главные линии флюорэллестадита на рентгеноограм-

ме: 3.476; 3.091; 2.827; 2.797; 2.733; 2.647; 2.272. Подробное описание флюорэллестадита приведено в статье С. С. Потапова с соавторами [4]. Материалы по калиевым квасцам и флюорэллестадиту из Кизеловского угольного бассейна вошли в монографию Е. В. Белогуб, Е. П. Щербаковой и Н. К. Никандровой «Сульфаты Урала» [14].

Муллит – $AlSi_2O_{13}$ (ромбическая сингония). Обнаружен в горелых и перегоревших отвалах шахт «Ключевская», им. 40 лет Октября, им. Калинина, «Северная» в ассоциации с кристобалитом. Является продуктом обжига каолинита. Образует червеобразные и призматические кристаллы белого, красноватого, коричневого цветов (рис. 2.11). Кристаллизуется в ячейках и пустотах силикатных шлаков. Диагностирован рентгенометрически. Характерные линии: 5.354; 3.414; 3.381; 2.688; 2.544; 2.207; 2.122.

Полученные результаты дают возможность судить о процессах минералообразования на горелых угольных отвалах. Найденные минералы образовались путем возгонки угольного вещества и сульфидов (сера); при интенсивном биогенном и абиогенном окислении (мелантерит, гетит); в результате абиогенного окисления при высоких температурах (гематит); пнематолито-гидротермальным путем (копиапит, билинит, кокимбит, алуноген); при дегидратации водных минералов (кокимбит, роценит, ссомольнокит, ангидрит); в результате обжига и перекристаллизации минералов (муллит, кристобалит, тридимит, маггемит, гематит); при ионных замещениях (галотрихит, пиккерингит, ярозит, алунит).

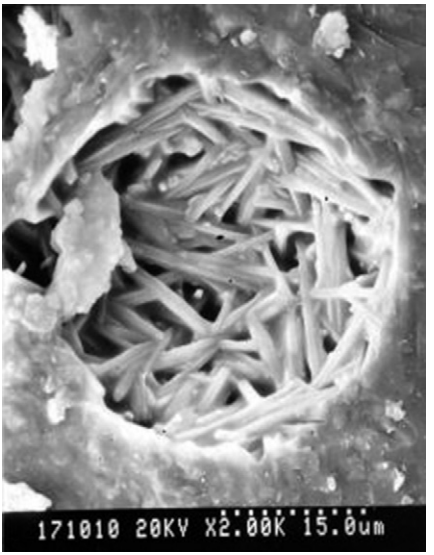


Рисунок 2.11.
Кристаллы муллита в пустотах спекшихся силикатных пород из горелого отвала

Таким образом, породные отвалы представляют собой сложное геохимически неустойчивое образование, в котором достаточно быстро протекают процессы, существенно влияющие на окружающую среду.

При взаимодействии с атмосферными водами происходит интенсивная миграция загрязняющих компонентов.

Отметим также, что породные отвалы стихийно использовались и используются в качестве дорожных

строительных материалов (для отсыпки дорог, планирования территории и т. д.). В результате это приводит к попаданию в подземные воды элементов, агрессивных к строительным конструкциям, снижая срок их эксплуатации [100, 106].

Приведенные геохимические особенности отвалов показывают, что они требуют особого внимания при экологической реабилитации территории КУБа.

2.4.2. Характеристика стоков с отвалов

Стоки с отвалов образуются в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала. Наиболее интенсивно они формируются во время обильных дождей или весеннего снеготаяния [11, 12].

В породных отвалах КУБа активно развиваются сернокислотные процессы, и стоки с них по составу близки к шахтным водам.

Ввиду неравномерного поступления осадков в течение года, наличия продолжительного периода с отрицательными температурами, объемы стоков очень неравномерны. В отличие от шахтных вод, концентрация загрязняющих веществ может существенно возрастать в маловодные периоды.

Горение отвалов и связанные с ним процессы преобразования вещества вносят некоторые изменения в состав стоков.

Водные вытяжки из грунтов шахтных отвалов имеют в основном сильнокислую реакцию среды *pH* 1,8–4,3, в отвалах, содержащих карбонаты, водородный показатель увеличивается до 5,2–7,8. Содержание сульфат-иона достигает 91 г/л, Fe^{2+} – 1 г/л, Fe^{3+} – 6 г/л; Al^{3+} – 11 г/л. Химические анализы водных вытяжек из негорелых грунтов отвалов показывают высокое содержание сульфат-иона (78,89%), железа двухвалентного (4,43%), трехвалентного железа (8,89%), кальция (3,03%), натрия с калием (2,43%); минерализация – 5699 г/кг, *pH* среды – 2,8. В составе водных вытяжек из горелых грунтов отвалов преобладают сульфат-ион – 75,81%, кальций – 6,27%, натрий и калий – 5,91%, алюминий – 5,54%, железо трехвалентное – 2,54%, железо двухвалентное – 1,95%, магний – 0,99%.

Таким образом, в горелых грунтах отвалов повышается содержание растворимых соединений *Al* в 15 раз, *Na+K* в 2 раза, *Ca* в 2 раза; уменьшается содержание Fe^{2+} в 2 раза, Fe^{3+} – в 3 раза.

Увеличение содержания алюминия, по-видимому, связано с его высвобождением из алюмосиликатов в процессе горения и образованием растворимых сульфатов (алунит $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$, алуноген $Al_2(SO_4)_3 \cdot 17H_2O$, к-квасцы $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ и др.). Увеличение содержания кальция, возможно, связано с обжигом известняков и образованием окиси кальция (*CaO*), не устойчивой к воздействию воды. Снижение концентрации железа в водных вытяжках из по-

род горелых отвалов, скорее всего, связано с образованием в процессе горения значительного количества гематита Fe_2O_3 – минерала, устойчивого при взаимодействии с водой.

Разовые пробы стоков с отвалов показывают крайнюю неравномерность их химического состава (табл. 2.3).

В отвалах 50-летнего возраста, по сравнению с 5-летними, содержание сульфат-иона в стоках уменьшается примерно в 500 раз, а *pH* увеличивается в 2 раза (до 3,5) [129]. Стоки с отвалов служат источником загрязнения поверхностных и подземных вод. Их инфильтрация в зону аэрации отражается на химическом составе подземных вод, физико-механических и фильтрационных свойствах грунтов. Воды приобретают агрессивность к бетону. С извлечением пород на поверхность многие элементы из-за своей неустойчивости в условиях земной поверхности переходят в подвижные формы и легко мигрируют в водных растворах.

Более детальная харатеристика стоков приводится в главе 3.

Таблица 2.3.

Химический состав стоков с отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна

Место отбора (шахта)	Содержание компонентов, мг/кг									Минерализация	*pH*
	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	$Na+K$	NH_4^+	Fe^{3+}	Fe^{2+}		
1989–1991											
«Ключевская»	2065,3	117,3	160,3	60,8	497,5		–	217,0	40,0	3157,9	2,77
«Центральная»	9905,6	17,7	248,5	253,3	–	–	–	0,0	874,9	11280,0	2,35
Им. Серова	29971,2	106,4	200,4	151,9	4203,5		–	302,0	7348,0	42283,4	1,79
2006											
«Таежная»	3430,8	35,4	300,6	91,1	175,3	353,1	10	0,0	237,3	4635,6	2,75
«Гремячинская»	2039,9	46,1	300,6	60,7	0,0	200,4	1,2	0,0	209,4	2862,1	2,44
«Усьва-3»	57,64	25,5	14,03	3,6	–	15,1	0,0	0,6	0,2	117,1	3,62
Им. 40 лет Октября	9968,3	140,3	460,9	182,9	364,2	575,8	3,2	27,9	1870,9	13600,5	2,20
«Шумихинская»	26427	69,4	340,6	279,5	2091	615,2	5,6	1745,3	3351,0	34935,5	1,99
«Нагорная»	12981,7	93,6	460,9	413,1	13335,5	959,8	12,6	97,7	363,0	16720,1	2,70
«Центральная»	2781,9	99,2	140,2	85,0	267,1	234,9	5,1	0,0	96,3	3711,4	2,87
«Широковская»	500,9	35,4	95,1	15,1	9,4	30,3	2,8	0,0	30,7	721,3	2,90
«Коспашская»	5099,9	53,8	260,5	72,9	202,3	399,5	5,0	363,3	586,4	7047,7	2,39

2.5. Донные отложения

Одной из экологических проблем КУБа является накопление значительных объемов техногенного осадка в отложениях рек и водоемов, формирующихся за счет компонентов кислых шахтных вод и стоков с отвалов, а также смыва с поверхности отходов добычи и обогащения угля. Перенос водотоками техногенных отложений вниз по течению значительно увеличивает зону негативного влияния КУБа, вплоть до Камского водохранилища, поскольку они являются мощным источником вторичного загрязнения.

На загрязненных участках рек ежесуточно образуются десятки тонн техногенных донных осадков, представленных в основном аморфными гидроксидами железа и алюминия, с высоким содержанием *Mn*, *Cu*, *Ni*, *Zn*, *Pb* и др.

Донные отложения рек КУБа, выше по течению от источников загрязнения, представлены естественной минеральной ассоциацией с преобладанием кварца (70–80%), полевых шпатов (10–20%) и глинистых минералов. Сумма водорастворимых солей для них не велика и составляет 0,3–0,6 г/кг. Водная вытяжка имеет гидрокарбонатно-натриевый и гидрокарбонатно-кальциевый состав, и водородный показатель близкий к 7.

Основным источником загрязнения донных отложений являются шахтные воды и твердые отходы деятельности КУБа. При разбавлении шахтных вод и стоков с отвалов речными водами, происходит увеличение водородного показателя и выпадение гелеобразных техногенных осадков, представленных в основном рентгеноаморфными гидроксидами железа – до 90% и более. В раскристаллизовавшейся массе осадка часто присутствуют ярозит и гетит, иногда лепидокрокит и другие вторичные минералы. Состав техногенных осадков коренным образом отличается от донных отложений рек на фоновых участках. Техногенные осадки содержат значительное количество водорастворимых солей – 5–25 г/кг. Вытяжка имеет сульфатно-железистый состав и часто – кислые значения водородного показателя. Содержание подвижных форм загрязнителей в десятки и сотни раз превышает фоновые концентрации и составляет (мг/кг): сульфаты – 16 700, двухвалентное железо – 4550, трехвалентное железо – 720, марганец – 280, алюминий – 160, медь – 33, цинк – 23, никель – 18, кобальт – 12 и т. д.

Отвалы угольных шахт и отходы обогащения угля влияют на состав донных отложений за счет образующихся кислых стоков и размыва пород, особенно при складировании по берегам рек. В грубообломочной, песчаной и алевритовой фракциях донных отложений, ниже участков складирования, содержится значительное количество угольно-породных частиц (до 22%) и других техногенных включений. Особенно интенсивно смыв происходит в паводковый период.

Более подробно характеристика техногенных донных отложений водотоков и водоемов, расположенных на территории исследования, дана в главе 3.

Таким образом, экологические проблемы КУБа во многом обусловлены геохимическими особенностями угольной толщи. Высокое содержание серы в сульфидной форме вызывает развитие сернокислотного процесса как в разрабатываемой толще, так и в породных отвалах. Из формирующихся кислых вод, при попадании их в реки, выпадают железисто-алюминиевые взвеси с высоким содержанием микроэлементов, которые разносятся на значительные расстояния. Воды речных систем приобретают агрессивные свойства к конструкциям (мосты, гидротехнические сооружения и др.), что угрожает их безопасности.

Глава 3

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

3.1. Методика анализа загрязнения рек

Воздействию от закрытых шахт КУБа подвержены бассейны крупных левобережных притоков Камского водохранилища – рек Яйвы, Косьвы, Чусовой (рис. 3.1).

Для характеристики загрязнения речных систем района исследований использован бассейновый принцип, в основу которого положено деление территории на речные бассейны, которые имеют четкие границы – водоразделы, являющиеся природными барьерами. Водосбор является частью речного бассейна, развитие которой определяется системой энергетически сопряженных динамических процессов. Техногенное преобразование водосборных пространств приводит к трансформации не только геоэкосистемы водосбора, но и в целом речных систем. Это: изменение величины стока, нарушение гидрохимического и гидрологического режимов водных объектов, ухудшение качества поверхностных вод, перестройка структуры водных биоценозов [21, 112].

Характеристика состояния поверхностных вод и источников их загрязнения (изливов кислых шахтных вод, стоков с породных отвалов, загрязненных подземных родников) составлена по результатам мониторинга, проводимого «Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий» в период с 2006-го по 2013 г.

Характеристика состояния поверхностных вод и источников их загрязнения составлена по результатам работ лаборатории геологии техногенных процессов Естественнонаучного института Пермского университета с 1984-го по 2018 г., данным мониторинга, проводившегося «Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий» в 2006–2013 гг. Также использованы фондовые и опубликованные материалы результатов исследований ООО «МНИИЭКО ТЭК» и других организаций. При обработке и анализе информации использовались возможности ГИС-технологий и результаты обработки данных ДЗЗ.

В Пермском крае все поверхностные водные объекты являются рыбохозяйственными объектами; при анализе экологического состояния поверхностных водных объектов использовался перечень нормативов для рыбохозяйственных водоемов (далее – $ПДК_{рх}$) [149].

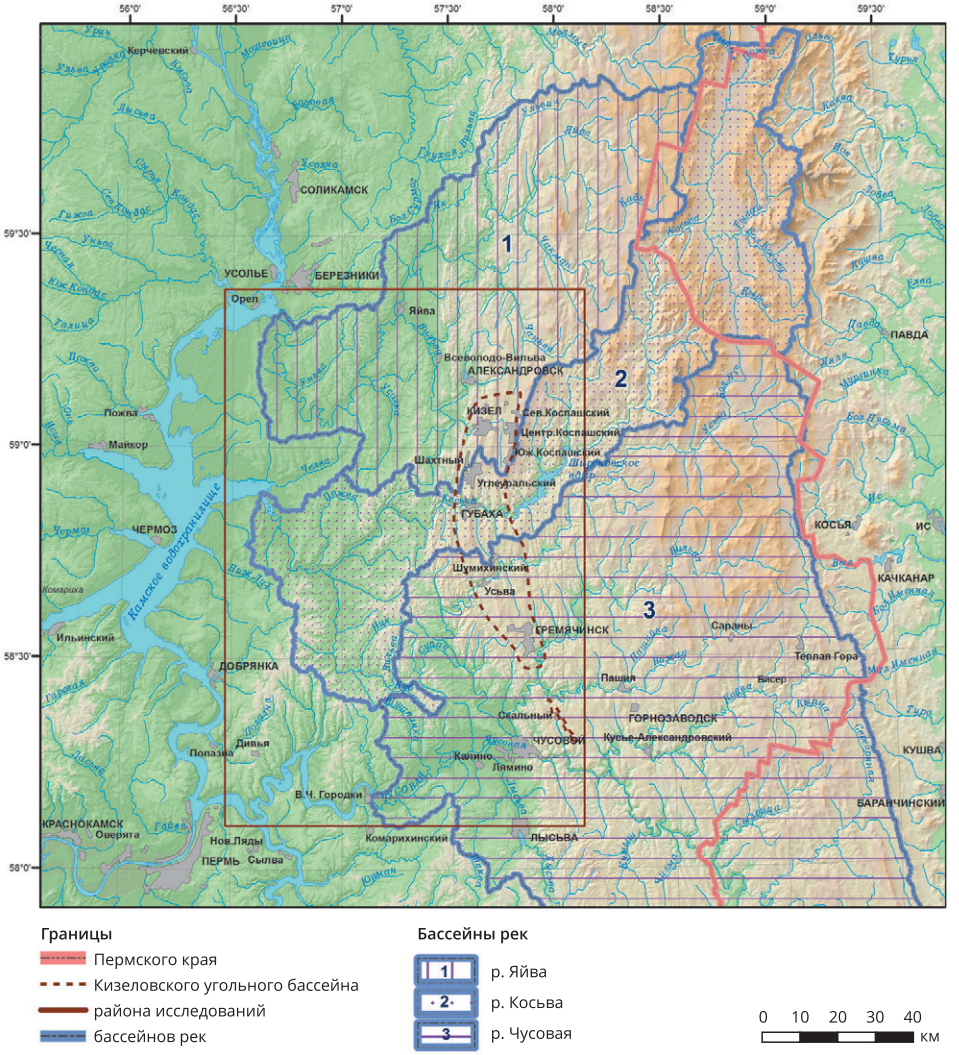
Удельный комбинаторный индекс загрязненности (УК ИЗВ) воды был рассчитан по действующему руководящему документу за 2013 г. [157].

На основе значений УК ИЗВ поверхностные воды делятся на 5 классов, в зависимости от их загрязненности (табл. 3.1).

Регламентирующий качество поверхностных вод прочего назначения, а также подземных вод, документ ГН 2.1.5.1315-03 [148] (далее – $ПДК_{хп}$) явился

основополагающим для оценки загрязнения подземных вод (родников), состава вод, изливающихся из шахт и стекающих с отвалов.

При анализе состояния донных отложений использованы фоновые значения, так как нормативов для оценки их экологического состояния не существует. Образцы были отобраны в аналогичных природных условиях и ми-



Границы

- Пермского края
- Кизеловского угольного бассейна
- района исследований
- бассейнов рек

Бассейны рек

- 1 — р. Яйва
- 2 — р. Косьва
- 3 — р. Чусовая

0 10 20 30 40 км

Рисунок 3.1.

Поверхностные воды Кизеловского угольного бассейна

нимальном техногенном воздействии [15]. Этим условиям отвечает проба на р. Сев. Кизел, она была отобрана в среднем течении. При анализе химического состава донных отложений также учтены общие параметры, характерные для рек и ручьев Пермского края: гидрокарбонатно-кальциевая фация, содержание солей менее 1000 мг/кг и нормальная кислотность.

Таблица 3.1.

Оценка состояния поверхностных вод

Класс	Разряд	Текстовое описание	Общая гидроэкологическая оценка состояния водотоков [53]
1		Условно чистая	Норма
2		Слабо загрязненная	Риск
3	а	Загрязненная	Кризис
	б	Очень загрязненная	
4	а	Грязная	
	б	Грязная	
	в	Очень грязная	
	г	Очень грязная	
5		Экстремально грязная	Катастрофа

3.2. Бассейн реки Яйвы

3.2.1. Краткая физико-географическая характеристика

Река Яйва берет начало в горах Северного Урала (хр. Кваркуш), впадает в Камское водохранилище на 879 км от устья, образуя Яйвинский залив. В верховьях р. Яйва – горная река с многочисленными перекатами и порогами. Вблизи Тулумских порогов значительно увеличивается скорость течения. В нижнем течении долина реки неглубокая, берега покрыты елово-пихтовой тайгой, сосновыми борами и болотами; река спокойная, пойма широкая, часто встречаются острова, поросшие кустарником и деревьями. Русло реки очень извилистое, на своем пути она принимает большое количество притоков. Основные гидрографические характеристики р. Яйвы и ее притоков приведены в таблице 3.2.

Сток р. Яйвы в 1963 г. был зарегулирован, образовавшееся водохранилище используется для технического водоснабжения Яйвинской ГРЭС.

Характерные значения стока за многолетний период, наблюдавшиеся на гидрологическом посту д. Лубнище (1958–1968 гг.): средний многолетний расход – 94 м^3/с, максимальный расход – 108 м^3/с, минимальный расход – 72,2 м^3/с.

Таблица 3.2.

Основные гидрографические характеристики р. Яйвы и ее притоков, подверженных влиянию закрытых шахт КУБа

Характеристики	Река					
	Яйва	Бол. Кизел	Сев. Вильва	Вьящер	Полуд. Кизел	Вост. Кизел
Длина водотока, км	304	24	107	4,8	17	5,1
Площадь водосбора, км^2	6250	260	1204	32	111	32
Средняя высота водосбора, м	315	347	263	296	393	385
Средний уклон водосбора, град	–	4,18	3,6	3,6	2,6	2,6
Заболоченность, %	<1	0	0	0	0	0
Лесистость, %	88	73	94	67	85	85
Озерность, %	0,06	0,01	0	0	0	0,02
Закарстованность, %	–	67	–	–	57	54
Густота речной сети по карте 1:1 000 000, км/км^2	–	0,44	0,16	0,5	0,3	0,3

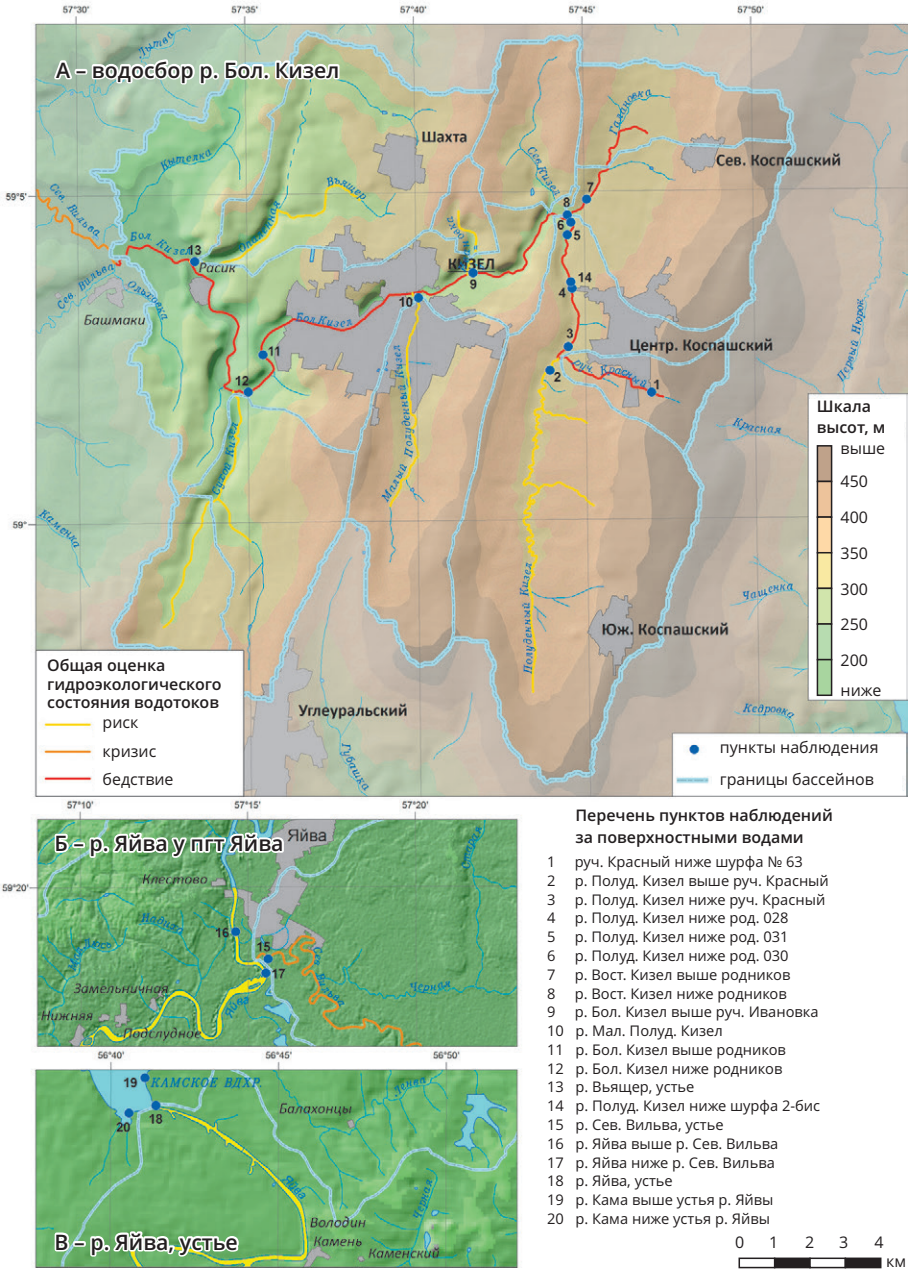
На р. Яйве расположен ряд населенных пунктов, наиболее крупный из них – пгт Яйва [126].

В пределах территории КУБа находится лишь юго-восточная часть водосбора р. Яйвы (рис. 3.1). Наиболее крупный приток 1-го порядка – р. Сев. Вильва, ее длина составляет около 107 км.

Практически все источники загрязнения, связанные с добычей угля, расположены на водосборе правого притока р. Сев. Вильва – р. Бол. Кизел, начинающейся от места слияния рек Полуд. Кизел и Вост. Кизел. Протяженность р. Бол. Кизел составляет 24 км, основные притоки: р. Полуд. Кизел с притоком руч. Красный, р. Вост. Кизел с притоком Галановка, р. Ивановка, р. Мал. Полуд. Кизел, р. Сухой Кизел, р. Опаленная с притоком р. Вьящер.

3.2.2. Оценка экологического состояния

На водосборе р. Яйвы и ее притоков основными источниками загрязнения поверхностных вод являются изливы шахтных вод, загрязненные родники и стоки с породных отвалов. В бассейне этой реки расположены 6 изливов шахтных вод, 20 породных отвалов и 6 загрязненных родников, за которыми ведутся наблюдения. Пункты наблюдения за поверхностными водными объектами показаны на рисунке 3.2.



Перечень пунктов наблюдений за поверхностными водами

1 руч. Красный ниже шурфа № 63
2 р. Полуд. Кизел выше руч. Красный
3 р. Полуд. Кизел ниже руч. Красный
4 р. Полуд. Кизел ниже род. 028
5 р. Полуд. Кизел ниже род. 031
6 р. Полуд. Кизел ниже род. 030
7 р. Вост. Кизел выше родников
8 р. Вост. Кизел ниже родников
9 р. Бол. Кизел выше руч. Ивановка
10 р. Мал. Полуд. Кизел
11 р. Бол. Кизел выше родников
12 р. Бол. Кизел ниже родников
13 р. Вьящер, устье
14 р. Полуд. Кизел ниже шурфа 2-бис
15 р. Сев. Вильва, устье
16 р. Яйва выше р. Сев. Вильва
17 р. Яйва ниже р. Сев. Вильва
18 р. Яйва, устье
19 р. Кама выше устья р. Яйвы
20 р. Кама ниже устья р. Яйвы

0 1 2 3 4 км

Рисунок 3.2.

Пункты наблюдения за поверхностными водами в бассейне р. Яйвы

По результатам расчета УК ИЗВ за 2013 г. по 14 компонентам, степень загрязненности воды в анализируемых створах колебалась от грязной (4-й класс «а») до слабозагрязненной. По этому показателю было выделено несколько градаций общего гидроэкологического состояния водотоков: норма, риск, кризис, бедствие (рис. 3.2). Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды вносят соединения железа, алюминия, бериллия, лития, марганца, что относит их к критическим показателям. На рисунке 3.3 приведены максимальные превышения $ПДК_{рх}$ в пунктах наблюдения; наибольшие значения наблюдаются на р. Полуд. Кизел (ниже родника 030): *Fe* – 9450, *Al* – 639, *Mn* – 1118, *Be* – 56. Загрязнение поверхностных вод происходит по цепочке рек: Полуд. Кизел, Бол. Кизел, Сев. Вильва, Яйва, вплоть до Камского водохранилища.

Река Большой Кизел. Вода р. Бол. Кизел в период работы шахт и сброса шахтных вод в местную гидрологическую сеть (основные источники загрязнения вод приведены на рисунке 3.4), на выходе с территории Кизеловского месторождения (ниже устья р. Опаленной), обладала кислой реакцией среды

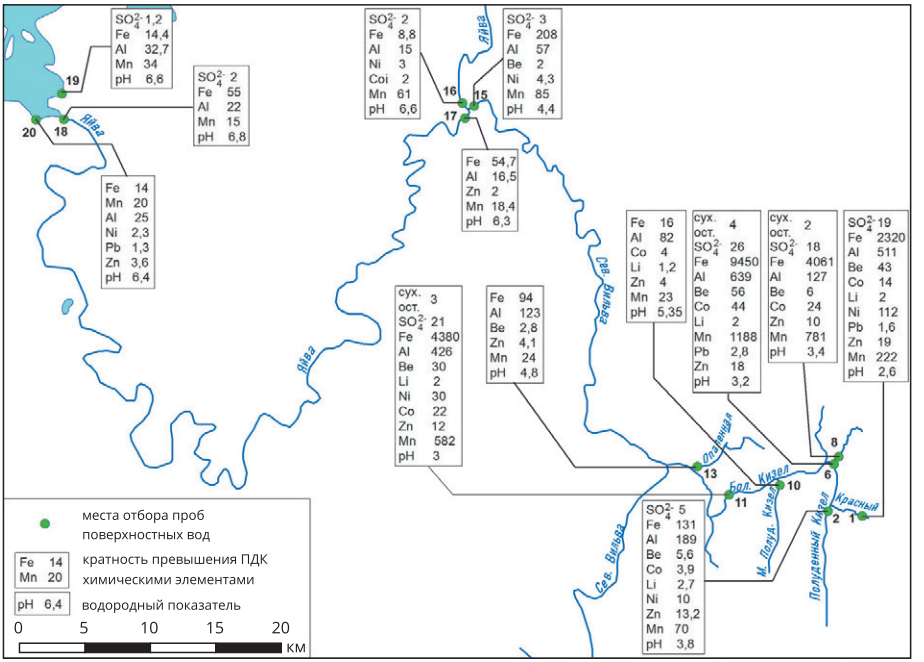


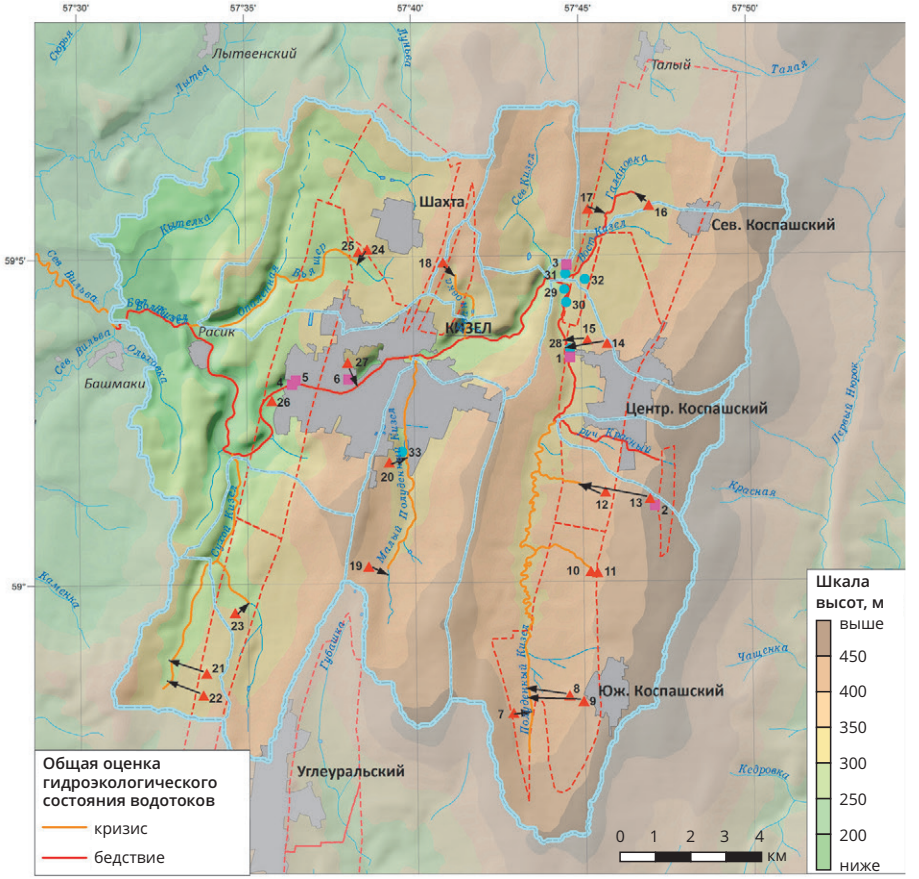
Рисунок 3.3.

Схема гидрохимического опробования рек бассейна р. Яйвы после закрытия шахт и максимальные превышения $ПДК_{рх}$ и СанПиН 2.1.5.980-00 (2006–2013 гг.)

(*pH* 2,8), сухой остаток – 1430 мг/дм^3, содержание железа – до 130 мг/дм^3, алюминия – до 50 мг/дм^3. После прекращения сброса кислых шахтных вод показатель *pH* повысился до 4,2–5,8, содержание железа снизилось до 7–20 мг/дм^3, алюминия – до 0,5–8,5 мг/дм^3, сухой остаток не превышал 420 мг/дм^3 [81]. Несмотря на снижение уровня загрязнения, состав вод р. Бол. Кизел после закрытия шахт был далек от нормативных показателей.

Ситуация резко изменилась в худшую сторону в мае 2001 г., когда начался излив вод из стволов шахты им. Ленина (рис. 3.5).

Изменение химического состава шахтных вод, после затопления шахт, в сторону роста минерализации и содержания двухвалентного железа привело к значительному увеличению протяженности загрязненных участков рек, даже в сравнении с периодом активной работы бассейна.



Еще один источник загрязнения – породный отвал шахты им. Ленина, размещен на берегу р. Бол. Кизел и периодически затапливается водой. Такое местоположение отвала является одним из самых неудачных, так как создает условия для дополнительного поступления загрязнителей.

Все это обусловливает сложную экологическую обстановку вод р. Бол. Кизел на всем ее протяжении.

Для составления характеристики источников загрязнения, влияющих на р. Бол. Кизел и ее притоки, проанализированы данные по стокам с породных отвалов и изливам шахтных вод (рис. 3.6), их характеристики представлены в таблице 3.3.

Суммарный объем шахтных вод, изливающихся непосредственно в р. Бол. Кизел (не считая водосбора притоков) – в среднем 302 м^3/час, что со-

Перечень источников загрязнения поверхностных вод

№ на карте	Тип	Наименование
1	Излив	Шурф № 2-бис
2	Излив	Шурф № 63 шахтного участка «Белый Спой»
3	Излив	Шурф № 58
4	Излив	Вспомогательный ствол шахты им. Ленина
5	Излив	Ствол № 8 шахты им. Ленина
6	Излив	Штольня шахты им. Володарского
7	Стоки с отвалов	КПО шахтного участка № 26-бис
8	Стоки с отвалов	КПО шахты «Широковская»
9	Стоки с отвалов	ППО шахты «Широковская»
10	Стоки с отвалов	КПО шахты № 32
11	Стоки с отвалов	ППО шахты № 32
12	Стоки с отвалов	КПО шахтного участка № 38-бис
13	Стоки с отвалов	КПО шахты «Белый Спой»
14	Стоки с отвалов	КПО шахты «Коспашская»
15	Стоки с отвалов	ППО шахты «Коспашская»
16	Стоки с отвалов	ППО шахты № 41
17	Стоки с отвалов	КПО шахты № 42
18	Стоки с отвалов	ППО шахты «Владимирская»

№ на карте	Тип	Наименование
19	Стоки с отвалов	КПО шахты «Рудничная»
20	Стоки с отвалов	ППО шахты № 9 «Делянка»
21	Стоки с отвалов	КПО шахты «Ключевская»
22	Стоки с отвалов	ППО шахты «Ключевская»
23	Стоки с отвалов	КПО шахты «Октябренок»
24	Стоки с отвалов	КПО шахты «Северная»
25	Стоки с отвалов	ППО шахты «Северная»
26	Стоки с отвалов	ППО шахты им. Ленина
27	Стоки с отвалов	ППО шахты им. Володарского
28	Загрязненный родник	Родник 028
29	Загрязненный родник	Родник 030
30	Загрязненный родник	Родник 031
31	Загрязненный родник	Родник 027
32	Загрязненный родник	Родник 029
33	Загрязненный родник	Родник 021

Источники загрязнения

- изливы шахтных вод
- породные отвалы
- загрязненные источники
- направление стока с отвалов
- границы бассейнов рек
- шахтное поле

Рисунок 3.4.

Источники загрязнения поверхностных вод р. Бол. Кизел

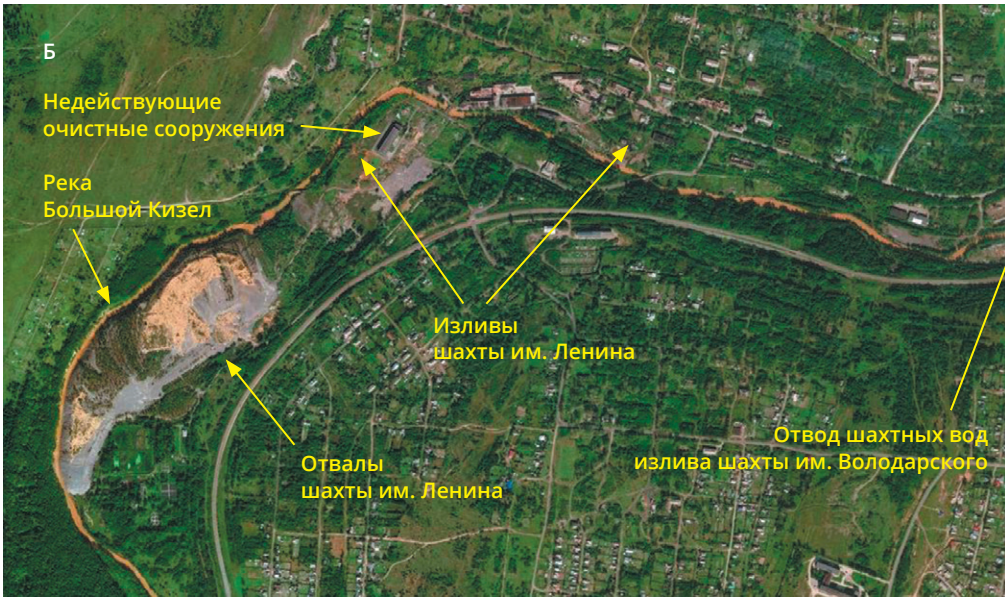


Рисунок 3.5. **Изливы кислых шахтных вод в бассейне р. Бол. Кизел**

А – район излива ствола № 8 шахты им. Ленина

Б – р. Бол. Кизел в районе шахт им. Ленина и им. Володарского

Рисунок 3.6.

Изливы кислых шахтных вод

А – впадение излива вод ствола № 8 шахты им. Ленина в р. Бол. Кизел;
Б, В – шахта «Белый Спой»; Г – шахта им. Ленина, вспомогательный ствол;
Д – траншея для отвода вод вспомогательного ствола шахты им. Ленина

ставляет приблизительно 25% от годового стока реки. Около 89% загрязненных шахтных вод изливаются из ствола № 8 шахты им. Ленина, максимальный зафиксированный расход – 587 м^3/час.

Расходы воды в изливах подвержены значительным сезонным колебаниям, динамика средних за период наблюдений расходов шахтных вод показана на рисунке 3.7.

Таблица 3.3.

Объемы изливов шахтных вод в р. Бол. Кизел и ее притоки

Место излива шахтной воды	Река	Средний расход, м³/час	Максимальный расход, м³/час	Минимальный расход, м³/час
Вспомогательный ствол шахты им. Ленина	Бол. Кизел	21,2	86,0	5,0
Ствол № 8 шахты им. Ленина	Бол. Кизел	268,0	587,0	94,0
Штольня шахты им. Володарского	Бол. Кизел	13,4	40,0	1,0
Шурф 2-бис шахты «Коспашская»	Полуд. Кизел и руч. Красный	165,5	337,0	42
Шурф 63 шахты «Белый Спой»	р. Полуд. Кизел и руч. Красный	59,7	147,0	22,0
Итого		527,8	1197	164

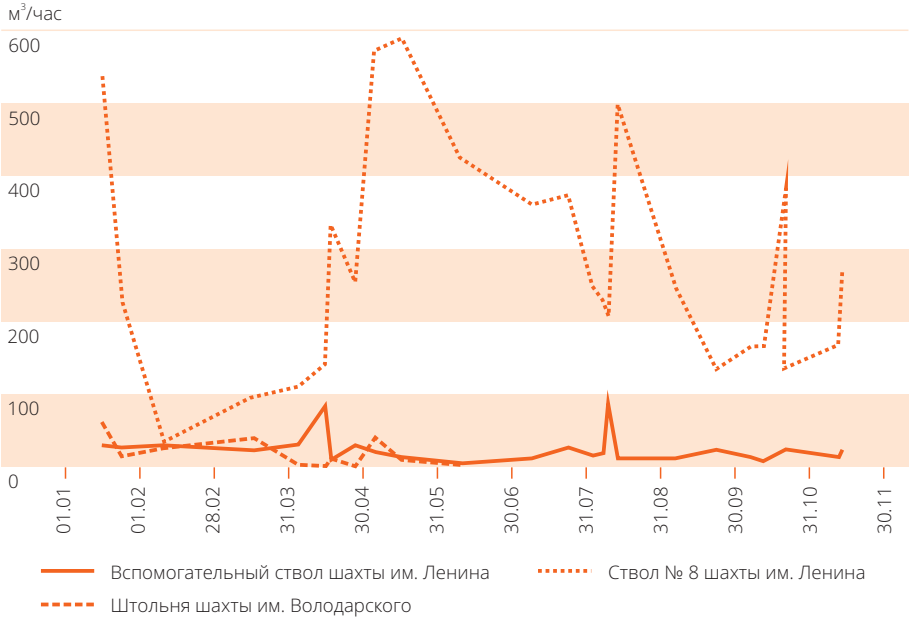


Рисунок 3.7.

Сезонная динамика расходов воды на изливах шахтных вод, влияющих непосредственно на р. Бол. Кизел (2006–2013 гг.)

Характерный для территории Кизеловского угольного бассейна максимум изливающихся вод в период весеннего половодья и летне-осенних паводков, а минимум – в зимнюю межень, хорошо прослеживается на изливе из ствола № 8 шахты им. Ленина, для которого характерны очень большие расходы. На двух других изливах отмечается слабо выраженный максимум объемов изливающихся вод в период весеннего половодья (рис. 3.8).

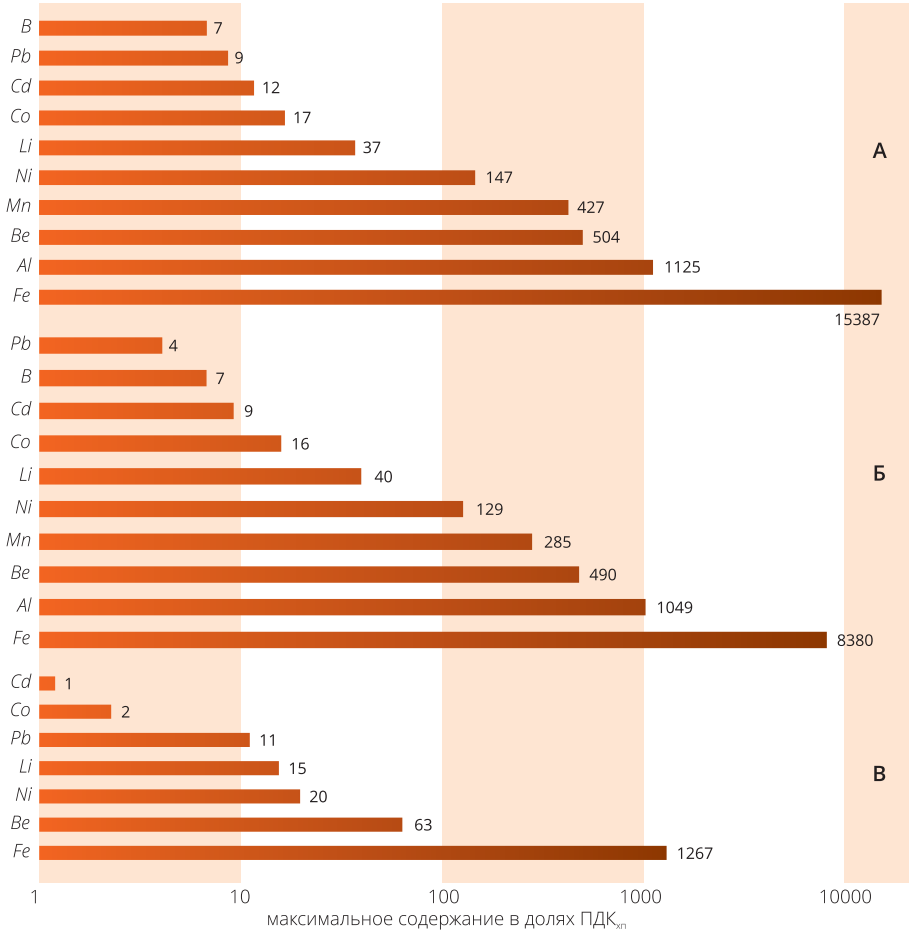


Рисунок 3.8.

Максимальные концентрации микроэлементов в водах изливов, поступающих в р. Бол. Кизел (в сравнении с ПДК$_{хп}$)

А – вспомогательный ствол шахты им. Ленина, Б – ствол № 8 шахты им. Ленина, В – штольня шахты им. Володарского

Для них характерна кислая реакция среды (*pH* 3–4), сульфатный состав, чрезвычайно высокие концентрации ряда микроэлементов, прежде всего железа, алюминия, марганца, бериллия, содержание которых превышает $ПДК_{хп}$ в сотни и тысячи раз.

В среднем за год непосредственно в р. Бол. Кизел (не считая загрязненных притоков) поступает почти 15 300 тонн сульфатов, 6000 тонн железа, 400 тонн алюминия, 57 тонн марганца; количество других загрязнителей значительно меньше. Диаграммы, демонстрирующие объемы поступления загрязнителей, представлены на рисунке 3.9.

На восемнадцати породных отвалах проводятся наблюдения за объемом и составом сточных вод, характеристика которых представлена в таблице 3.4.

Максимальные величины объема стоков наблюдаются с отвалов шахт им. Володарского и «Коспашская», они составляют 20 и 22 $м^3$/час соответственно. Стоки с отвалов характеризуются очень высоким содержанием загрязняющих веществ и кислой реакцией среды (*pH* меньше 3). В результате инфильтрации атмосферных осадков из породных отвалов вымываются в больших

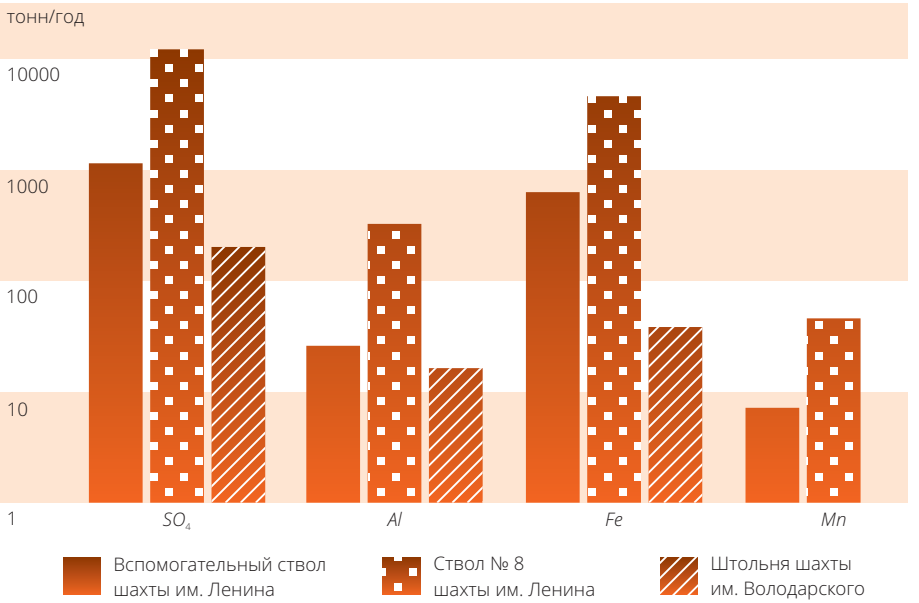


Рисунок 3.9.

Поступление загрязнителей с водами изливов в р. Бол. Кизел (без учета притоков)

Таблица 3.4.

Объемы стоков с отвалов, поступающих в р. Бол. Кизел и ее притоки (2007–2013 гг.)

Шахта	Река	Вид отвала	Объем стока, м³/час		
			минималь-ный	макси-мальный	средний
Им. Ленина	Бол. Кизел	плоский	2,5	15,0	5,8
Им. Володарского	Бол. Кизел	плоский	0,03	20,0	5,0
26-бис	Полуд. Кизел	конусный	–	–	0,05
«Широковская»	Полуд. Кизел	конусный	–	–	4,0
«Широковкая»	Полуд. Кизел	плоский	0,02	12,3	5,5
32-бис	Полуд. Кизел	конусный	0,15	6,0	2,1
32-бис	Полуд. Кизел	плоский	0,01	0,5	0,17
38	Полуд. Кизел	конусный	0,01	1,0	0,25
«Белый Спой»	Полуд. Кизел	конусный	0,03	1,6	0,54
«Коспашская»	Полуд. Кизел	плоский	0,1	22,0	7,9
«Коспашская»	Полуд. Кизел	конусный	0,01	18,0	3,9
42	Вост. Кизел	конусный	0,02	1,5	0,43
41 (им. 40 лет ВЛКСМ)	Вост. Кизел	плоский	0,01	7,0	1,6
«Ключевская»	Сухой Кизел	плоский	0,5	12,0	5,0
«Ключевская»	Сухой Кизел	конусный	0,85	4,0	2,2
«Октябренок»	Сухой Кизел	конусный	0,01	1,0	0,5
«Северная»	Вьящер	плоский	0,01	1,6	0,9
«Северная»	Вьящер	конусный	0,08	0,5	0,3
Итого			4,34	124	46,14

концентрациях железо, алюминий, бериллий и марганец, их содержание превышает $ПДК_{хп}$ в сотни и тысячи раз, что приводит к деградации ландшафтов (рис. 3.10). В меньшем количестве, но также повсеместно, обнаруживаются тяжелые металлы (кадмий, кобальт, никель). Эпизодически в пробах воды с отвалов встречаются свинец и цинк, превышение по которым составляет от 2 до 70 $ПДК_{хп}$.

Наибольшей степенью загрязненности отличаются стоки с конусного и плоского отвалов шахты «Коспашская»: железо – 2083–6157 $ПДК_{хп}$, алюми-

Рисунок 3.10.
Породные отвалы шахт, расположенные на водосборе р. Бол. Кизел
А – шахта «Северная», Б – шахта № 41

ний – 5245–10 955 ПДК$_{хп}$, марганец – 250–880 ПДК$_{хп}$, показатель *pH* – стабильно менее 3,0.

Учитывая приведенные гидрохимические характеристики, значительные объемы стоков с породных отвалов и вынос загрязнителей речными водами, можно сделать вывод, что они вносят заметный вклад в загрязнение вод р. Бол. Кизел.

Вода в реке выше устья р. Ивановки (пункт 9, рис. 3.2) имеет реакцию среды от слабокислой до кислой (*pH* 3,3–4,7). Величина сухого остатка изменяется от 685 до 2810 мг/дм^3. Среднее содержание железа равно 277,5 мг/дм^3 при максимальном значении – 458 мг/дм^3 (4580 ПДК$_{рх}$), алюминия – 9,7 мг/дм^3 (максимум – 13,5 мг/дм^3 или 337,5 ПДК$_{рх}$), марганца – 4,7 мг/дм^3 (максимум – 9,98 мг/дм^3 или 998 ПДК$_{рх}$), бериллия – 0,0054 мг/дм^3 (максимум – 0,0077 мг/дм^3 или 25,6 ПДК$_{рх}$). Приведенные данные показывают, что в р. Бол. Кизел (рис. 3.11), выше устья р. Ивановки, наблюдается экстремальное загрязнение по содержанию железа, алюминия, марганца.

На территории водосбора р. Бол. Кизел регулярные наблюдения за расходом воды и химическим составом проводились также на 5 родниках (рис. 3.5.), все они являются в разной степени загрязненными. Их основные характеристики приведены в таблице 3.5.

В июле 2007 г. устье шурфа 2-бис обвалилось, что привело к прекращению выхода шахтных вод на земную поверхность и образованию нескольких родников: ***028***, ***031*** – на правом берегу и ***030*** – на левом берегу р. Полуд. Кизел, общим дебитом более 100 м^3/час. Кроме того, возникло несколько родников в

Таблица 3.5.

Основные характеристики родников – объектов мониторинга в бассейне р. Бол. Кизел

Номер родника	Дебит, м³/час			*pH* (среднее)	Сухой остаток (среднее)	*Fe*, мг/дм³ (среднее)	*Al*, мг/дм³ (среднее)
	среднее	максимум	минимум				
027	6,5	15,0	1,0	3,6	1857,1	100,5	13,4
028	38,3	60,0	26,0	3,7	9635,3	2278,2	73,7
029	183,0	800,0	21,0	4,3	9761,8	1983,4	8,8
030	3,0	5,0	1,0	3,0	4793,6	1083,5	25,7
031	45,8	80,0	3,0	6,4	6148,9	841,4	1,7

русле реки. Регулярные наблюдения за расходом воды и ее химическим составом на данном участке были организованы с 2010 г.

Вода этих родников по составу близка к водам шахтных изливов. Она характеризуется высокой минерализацией (до 12 г/дм³), кислой реакцией (*pH* до 2,4), чрезвычайно высокими концентрациями железа (до 9200 ПДК$_{хп}$), алюминия (до 350 ПДК$_{хп}$), бериллия (до 230 ПДК$_{хп}$), марганца (до 550 ПДК$_{хп}$) и некоторых других микроэлементов. В 2012–2013 гг. на правом берегу р. Полуд. Кизел на участках рассредоточенного выхода загрязненных подземных вод отмечалось значительное увеличение площади деградированных земель.

В р. Вост. Кизел попадают воды родников ***027*** и ***029***, приуроченных к визейско-башкирскому водоносному горизонту. Состав воды родников заметно отличается. Вода в роднике ***029***, расположенном на левобережье, значительно загрязнена: минерализация в среднем составляет 9,7 г/дм³, содержание железа – 6600 ПДК$_{хп}$, алюминия – 44 ПДК$_{хп}$, среднее значение водородного показателя 4,3 соответствует слабокислой среде. Подземные воды с такими показателями разгружаются на поверхность со средним дебитом 183 м³/час, стекают в р. Вост. Кизел, загрязняя на своем пути земли и изменяя природный ландшафт. Влияние загрязненных вод родника ***027*** заметно меньше.

Родники, а также рассредоточенные выходы подземных вод в общем объеме поступления загрязняющих веществ в поверхностные водотоки имеют тенденцию к снижению, что обусловлено некоторым уменьшением дебитов. При этом концентрации характерных для шахтных вод загрязнителей стабильно высоки.

Рисунок 3.11.
Река Бол. Кизел в районе г. Кизела

Река Северная Вильва. Рекогносцировочное обследование р. Сев. Вильва показало, что ее вода ниже устья р. Бол. Кизел с правого берега приобретает ржавый оттенок (рис. 3.12), а через 500 м ниже по течению он распространяется по всей ширине реки. Изменение цвета вод р. Сев. Вильва после впадения в нее р. Бол. Кизел видно на космоснимке (рис. 3.13). В пробе воды, отобранной в этой точке, несмотря на допустимую величину сухого остатка (371 мг/дм^3) и близкий к нейтральному показатель *pH* (7,65), обнаружено высокое содержание взвешенных веществ (74,6 мг/м^3), превышения ПДК$_{рх}$ по железу, алюминию, кобальту.

Качество вод р. Сев. Вильва, согласно действующей системе мониторинга, на участке впадения в нее р. Бол. Кизел, не контролируется, наблюдательный пункт расположен в приустьевой части р. Сев. Вильва (рис. 3.2). В течение периода с 2006-го по 2013 г. качество вод реки в этом створе показало максимальные превышения по железу (208 ПДК$_{рх}$), алюминию (57 ПДК$_{рх}$) и марганцу (85 ПДК$_{рх}$).

Многолетняя динамика содержания основных загрязнителей (рис. 3.14), оцененная по наивысшим за год концентрациям, показывает, что количество железа и алюминия в р. Сев. Вильва имеет слабую тенденцию к снижению, содержание марганца – остается на одном уровне.

Рисунок 3.12.

Река Сев. Вильва в районе п. Всеволодо-Вильва

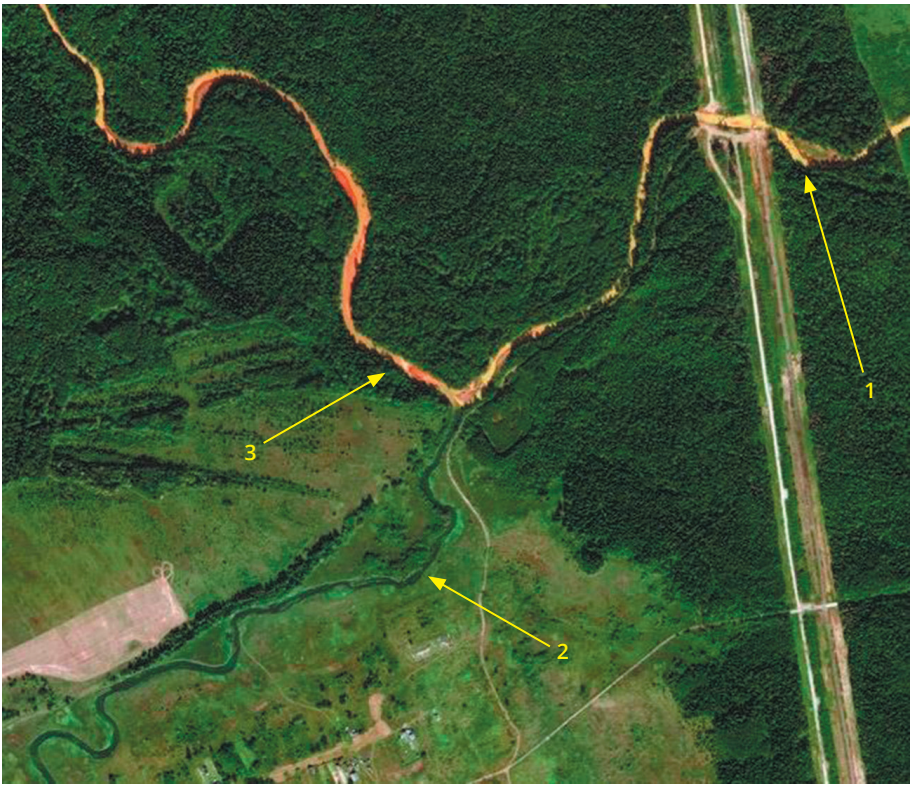


Рисунок 3.13.

Место впадения р. Бол. Кизел в р. Сев. Вильва

1 – р. Бол. Кизел, 2 – р. Сев. Вильва, 3 – р. Сев. Вильва после впадения р. Бол. Кизел

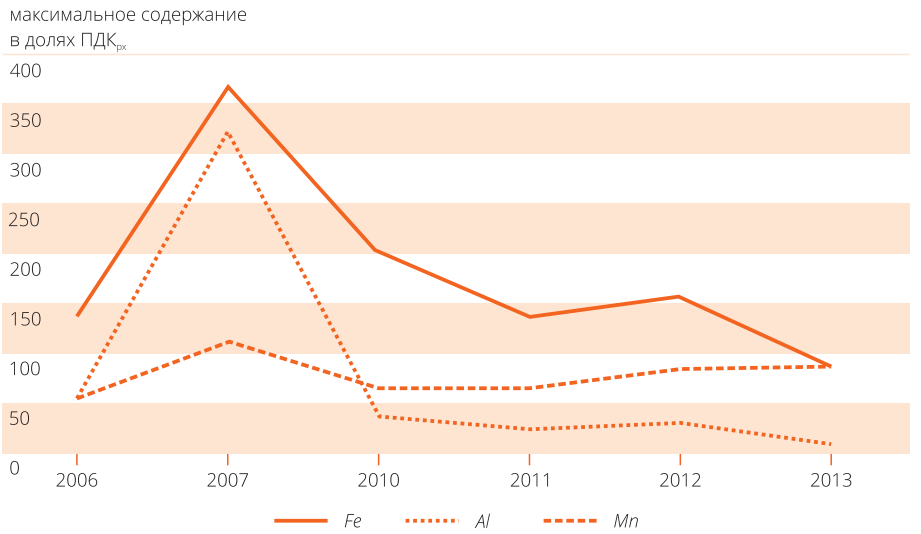


Рисунок 3.14.
Многолетняя динамика изменения содержания загрязняющих веществ в р. Сев. Вильва (приустьевая часть)

Таким образом, р. Сев. Вильва испытывает негативное влияние своего притока – р. Бол. Кизел – ниже места ее впадения и до своего устья. Степень загрязнения вод р. Сев. Вильва в зависимости от объема загрязнителей, поступающих с водой р. Бол. Кизел, и гидрологических условий изменяется в значительных пределах.

Река Яйва. Река Яйва, являясь одним из наиболее крупных притоков р. Камы, с одной стороны, испытывает загрязнение от различного рода источников, расположенных на ее водосборе, с другой – обладает высокой самоочищающей способностью.

Системой мониторинга поверхностных вод Кизеловского угольного бассейна предусмотрены регулярные наблюдения за составом вод р. Яйвы в устьевой части, перед впадением в р. Каму, а также до и после впадения р. Сев. Вильва, которая составляет около 10% от годового стока р. Яйвы. Результаты исследований, проведенных с 2006-го по 2013 г., свидетельствуют о наличии негативного влияния р. Сев. Вильва, которое прослеживается вплоть до впадения в р. Каму (рис. 3.15).

Вода р. Яйвы, в створе выше р. Сев. Вильва, имеет нейтральную среду (*pH* варьирует в пределах 6,6–8,6) и значение сухого остатка (50–510 мг/дм^3) соответствующее природному; редкие и несущественные превышения нормативов

Рисунок 3.15.

Место впадения р. Сев. Вильва в р. Яйву

1 – р. Яйва до впадения р. Сев. Вильва, 2 – р. Яйва после впадения р. Сев. Вильва, 3 – р. Сев. Вильва

отмечены по сульфатам (до 1,7 ПДК$_{рх}$), аммоний-иону (до 1,6 ПДК$_{рх}$), кобальту (до 1,8 ПДК$_{рх}$), никелю (до 3,1 ПДК$_{рх}$), свинцу (до 1,8 ПДК$_{рх}$). Повышенные концентрации стабильного характера прослеживаются по трем компонентам: железу, алюминию и марганцу. Наивысшие и средние из названных значений в долях ПДК$_{рх}$ показаны на рисунке 3.16.

Вода р. Яйвы в устьевой части пресная (сухой остаток в среднем равен 287,6 мг/дм^3), имеет нейтральную реакцию (средняя величина *pH* 7,58), в ионном составе преобладают гидрокарбонаты, кальций и натрий, что соответствует природным характеристикам. В микроэлементном составе имеется ряд отклонений, однако степень превышения ПДК$_{рх}$ меньше, чем в ранее описанном створе. Разбавления чистыми водами притоков и самоочищающей способности реки было недостаточно, чтобы до нормативных значений снизилось содержание железа, алюминия, марганца, количество которых в устьевой части р. Яйвы в разной степени, но стабильно повышено.

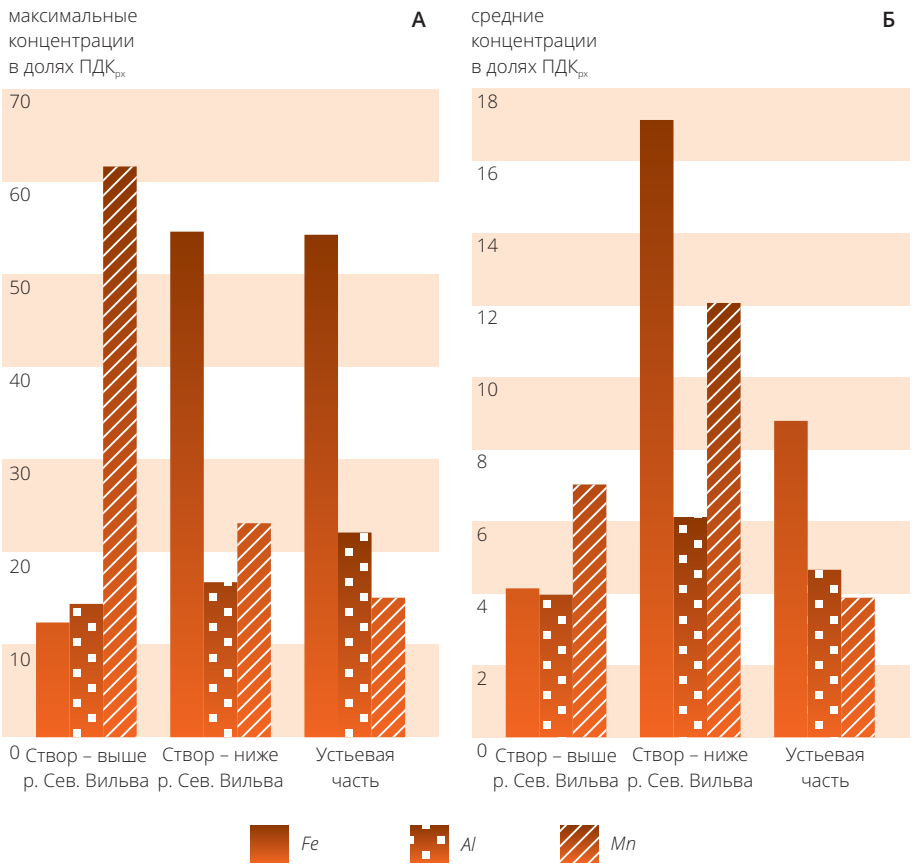


Рисунок 3.16.
Динамика содержания основных загрязнителей по длине р. Яйвы
А – максимальные концентрации, Б – средние концентрации

Гидрохимические наблюдения за составом вод р. Яйвы, которые проводились в трех створах, позволяют выявить загрязнение реки в многолетнем аспекте. Оценка выполнена путем сравнения максимальной измеренной концентрации загрязняющих веществ за разные годы (рис. 3.17).

Анализ данных по створу, расположенному выше загрязняющего влияния р. Сев. Вильва, показывает, что наивысшие за год концентрации железа, алюминия, марганца стабильно выше уровня ПДК$_{рх}$, тенденции к снижению количества загрязнителей не прослеживается (рис. 3.17 А). Наибольшие отклонения от нормативных значений отмечаются по марганцу, максимальное содер-

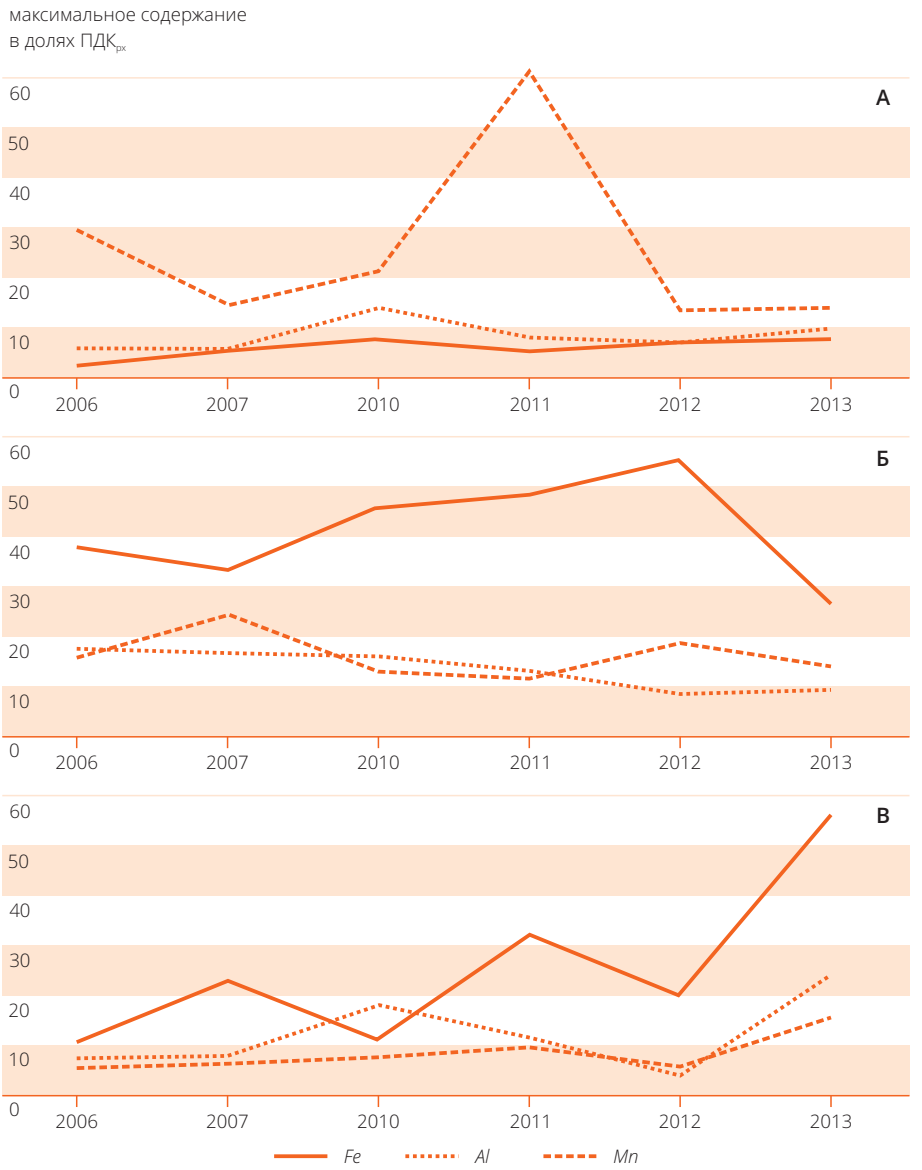


Рисунок 3.17.

Многолетняя динамика содержания загрязняющих веществ в р. Яйве до и после источника загрязнения

А – створ – выше устья р. Сев. Вильва, Б – створ – ниже устья р. Сев. Вильва, В – створ – устьевая часть

жание которого было зафиксировано в августе 2011 г. и составило 0,615 мг/дм^3 (или 61,6 ПДК$_{рх}$).

Другая картина изменения максимальных концентраций характерна для створа, расположенного ниже устья р. Сев. Вильва (рис. 3.17 Б). Обращает на себя внимание заметное увеличение содержания всех анализируемых компонентов, особенно железа. Именно по этому компоненту в створе наблюдаются наивысшие превышения нормативного значения. Если в створе выше устья р. Сев. Вильва наивысшие концентрации этого компонента за период наблюдений достигали 0,88 мг/дм^3 (или 8,8 ПДК$_{рх}$), то в створе ниже устья р. Сев. Вильва максимальная концентрация железа составила 5,47 мг/дм^3 (или 57 ПДК$_{рх}$). Динамика максимальных концентраций железа, алюминия, марганца во временном масштабе показывает слабую тенденцию к их снижению.

Таким образом, основная река рассматриваемого бассейна – р. Яйва испытывает воздействие источников загрязнения, размещенных на ее водосборе, несмотря на то, что эти источники удалены на сотни километров и ограничены местными водоразделами. Основное негативное влияние их осуществляется через приток – р. Сев. Вильва, в которую впадают загрязненные воды р. Бол. Кизел.

3.2.3. Характеристика пойм и донных отложений

В поймах и руслах рек бассейна р. Яйвы накопились тысячи тонн техногенных донных отложений, представленных в основном аморфными гидроксидами железа и алюминия, имеющих характерный рыжий цвет (рис. 3.18), места их аккумуляции хорошо различимы на космоснимке (рис. 3.19) [116, 117, 119, 133, 211].

С одной стороны, при сезонном затоплении поймы рек подвергаются значительному загрязнению, происходит накопление техногенных осадков, а грунты пойм насыщаются загрязненными речными водами, с другой стороны, происходит смыв уже отложившегося осадка, что приводит к увеличению зоны распространения загрязнения [205]. Для оценки загрязнения пойм использовались космические снимки со спутников серии LANDSAT за период максимального подъема уровня воды при прохождении весеннего половодья (был использован снимок за 23 мая 1998 г). Для построения «маски» воды был использован алгоритм неуправляемой классификации снимка IZODATA, по ближнему и среднему инфракрасным каналам (в которых водная поверхность успешно отделяется от всех объектов суши). Площадь, занимаемая руслом реки в летний период, оценивалась по топографическим картам масштаба 1:1 000 000. Путем вычитания площади водной поверхности в весенний и летний периоды была

Рисунок 3.18. **Техногенный осадок в руслах и поймах рек**
А, Б – руч. Красный, В – р. Бол. Кизел

определена зона сезонного затопления (рис. 3.20). Общая ее площадь составляет 34,7 км^2, из них 9,71 км^2 приходится на пойму р. Сев. Вильва, а остальная часть относится к пойме р. Яйвы. По р. Бол. Кизел и ее притокам аналогичные расчеты не проводились, поскольку площадь затопления в пойме р. Бол. Кизел незначительна, и не может быть объективно определена по снимку с пространственным разрешением 30 м.

В зонах периодического затопления кислыми водами наблюдается угнетение растительных сообществ, происходящее, вероятно, вследствие подкисления почвы; на отдельных участках наблюдается гибель лесной растительности (рис. 3.21).

Результаты рентгеноструктурного анализа, химического состава водной вытяжки и содержание микроэлементов в подвижной форме донных отложений рек бассейна р. Яйвы (рис. 3.22) приведены в таблицах 3.6–3.8.

Анализируя таблицы, можно проследить четкую цепочку распространения загрязнений и в донных отложениях рек: Полуд. Кизел, Бол. Кизел, Сев. Вильва, Яйва, вплоть до Камского водохранилища.

Глинистые донные отложения р. Бол. Кизел более чем на 90% состоят из рентгеноаморфных гидроксидов железа и алюминия; присутствует ярозит – до 4%.

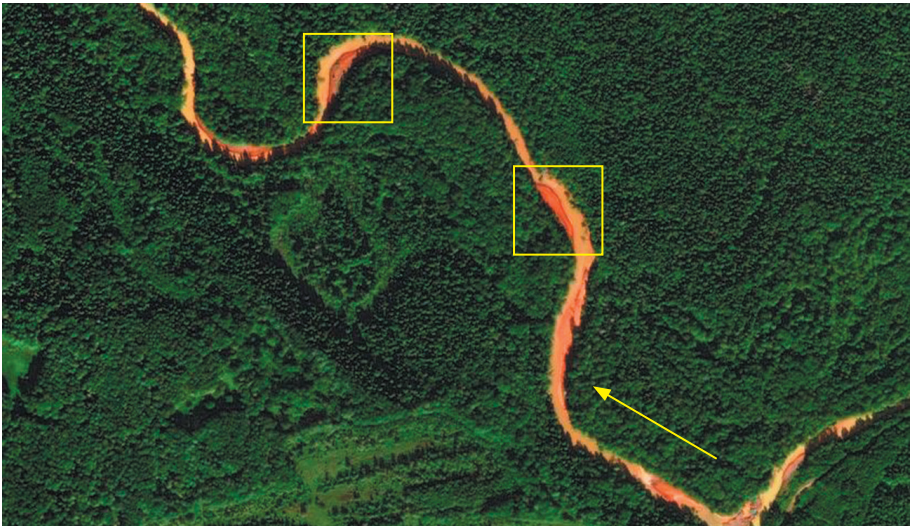


Рисунок 3.19.

Зоны аккумуляции техногенного осадка р. Сев. Вильва

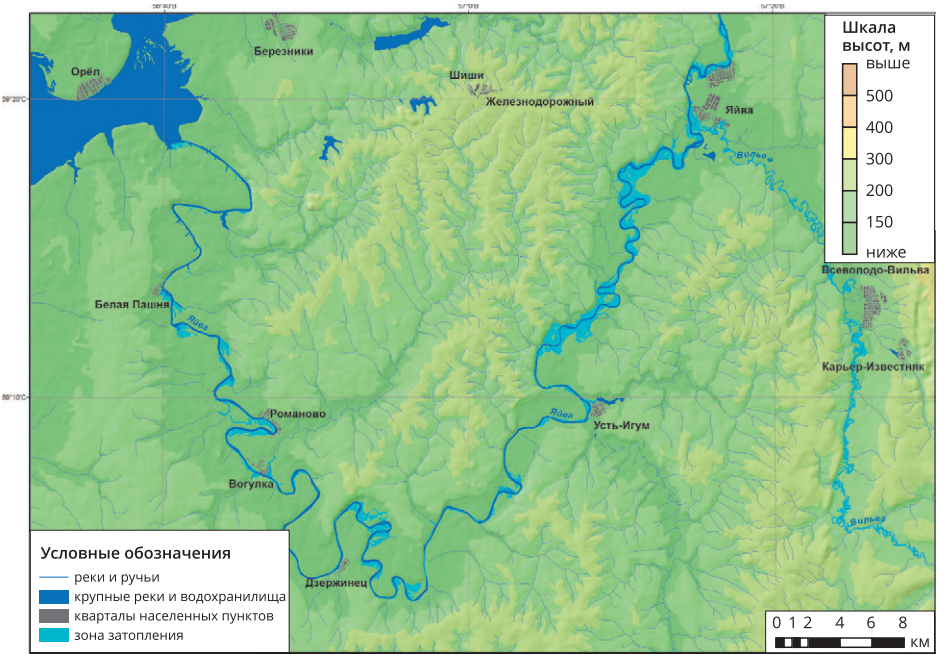


Рисунок 3.20.

Зона сезонного затопления загрязненных рек в бассейне р. Яйвы

Рисунок 3.21.

Участки лесных насаждений, погибших вследствие подтопления в долине р. Вост. Кизел и р. Полуд. Кизел кислыми шахтными водами

Состав водной вытяжки донных отложений отражает существующую техногенную нагрузку: вытяжка имеет сульфатно-кальциевый состав, высокое содержание водорастворимых солей (9,3 г/кг), немного сдвинутый в сторону кислотности *pH* (6,07), существенные превышения над фоном по железу, аммоний-иону, нитратам, нитритам и некоторым другим компонентам (табл. 3.7). Содержание подвижных форм *Li* (0,29 мг/кг), *Cu* (26,85 мг/кг) и *Zn* (19,74 мг/кг) значительно превышает фоновые значения (табл. 3.8).

Негативное влияние расположенных по берегам породных отвалов визуально прослеживается по содержанию в грубообломочной фракции донных отложений пород отвалов, а также на отдельных участках встречаются несмытые в паводок глинистые отложения лимонитового состава, которые начинают постепенно покрываться растительностью (рис. 3.23).

Особый интерес представляют донные отложения спущенного пруда на р. Бол. Кизел в районе г. Кизел, который был создан в 1786 г. С момента создания он подвергался загрязнению: сначала это были стоки с железоделательного завода, затем – мелких угольных шахт. Основное загрязнение связано с развитием угледобывающей промышленности. Всего в разные годы через Кизеловский пруд проходил поток загрязняющих веществ с 17 шахт. Шахтные воды поступали как непосредственно в пруд, так и с загрязненными водами притоков, которые, в свою очередь, тоже были приемниками шахтных вод. В начале 1950-х гг. пруд был спущен (рис. 3.24).

Исследование донных отложений Кизеловского пруда было проведено в 2001 г. ФГУП МНИИЭКО ТЭК. Протяженность участка с накопленными осадка-

Таблица 3.6.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений рек бассейна р. Яйвы

№ пробы	Река	Минеральный состав, %				
		Кварц	Плагиоклаз	Ярозит	Гетит	РАВ*
39	Сев. Кизел	52	23	–	–	10
40	Полуд. Кизел	15	–	–	2	77
41	Вост. Кизел	13	–	–	15	68
43	Опаленная	25	7	3	2	49
44	Бол. Кизел	5	–	4	–	91
46	Сев. Вильва	15	–	11	9	55
47	Сухой Кизел	36	10	–	7	39

Примечание: * Рентгеноаморфное вещество.

Таблица 3.7.

Химический состав водной вытяжки донных отложений рек бассейна р. Яйвы, август 2001 г.

№ точки (см. рис. 3.22)	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водорастворимых солей	pH
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
39	р. Сев. Кизел, фон, дорога	85,4	134,5	19,5	н.о.	0,20	14,1	8,5	62,1	10,8	н.о.	1,15	0,05	336,2	7,50
35	р. Мал. Полуд. Кизел, устье	125,1	787,7	58,5	н.о.	0,20	267,6	74,8	6,9	4,5	н.о.	0,80	0,10	1326,1	7,07
43	р. Опаленная, устье	195,3	843,0	23,1	43,9	0,15	271,6	58,4	85,1	1,2	н.о.	н.о.	н.о.	1521,4	6,35
47	р. Сухой Кизел, устье	286,8	1491,4	44,3	н.о.	0,15	503,0	75,9	118,1	7,9	н.о.	1,00	н.о.	2528,8	6,83
41	р. Вост. Кизел, устье	н.о.	7452,0	143,6	н.о.	0,30	414,9	188,4	26,5	100,9	2830,7	28,85	91,0	11280,3	3,50
40	р. Полуд. Кизел, выше устья р. Сев. Кизел	н.о.	16702,7	443,2	9,95	0,40	796,6	7242	79,3	588,3	4550,7	721,40	144,1	24768,2	3,43
42	р. Ивановка, пруд	н.о.	2367,9	159,6	н.о.	0,15	164,4	6025	100,0	139,7	688,3	н.о.	29,4	3711,8	3,56
44	р. Бол. Кизел, устье	765,8	4404,4	489,3	1017,6	11,30	1762,5	152,5	403,5	252,6	74,1	н.о.	н.о.	9333,4	6,07
46	р. Сев. Вильва, 500 м ниже устья р. Бол. Кизел	756,6	2168,6	154,2	23,2	3,10	992,0	75,4	85,1	21,1	44,6	2,50	н.о.	4326,2	6,72

Примечание: CO_3^{2-} – не обнаружено.

ми составляет 2 км, занимает площадь около 0,3 км^2. Ширина его варьирует в пределах 70–320 м. Мощность изменяется как в поперечном сечении, так и по длине. Наименьшая мощность (0,5 м) сохраняется в верховье пруда и вдоль береговой линии. По мере приближения к плотине, мощность накопленных осадков постепенно увеличивается, достигая 0,9 м на расстоянии 200 м от плотины и 1,5 м – непосредственно у плотины. По мере удаления от берега, в каждом поперечном сечении мощность осадков увеличивается, достигая максимума при-

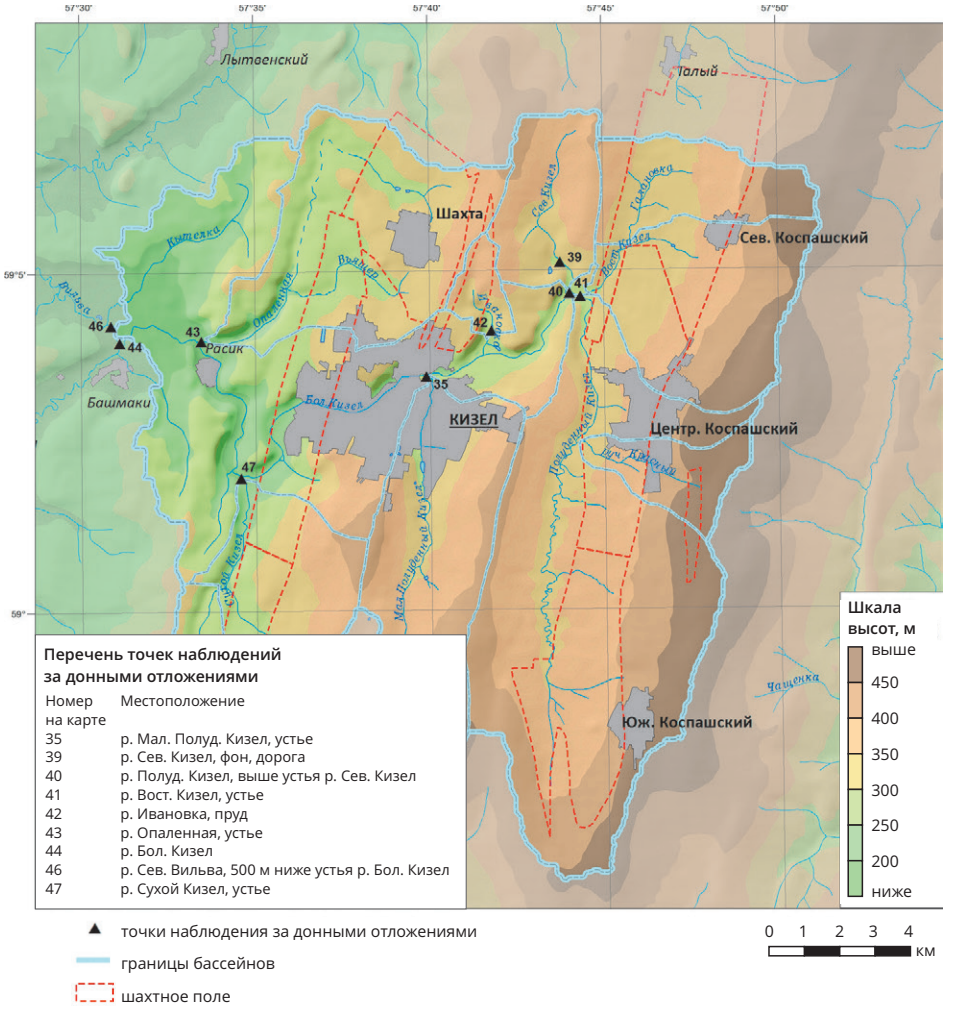


Рисунок 3.22.

Пункты наблюдения за донными отложениями в бассейне р. Яйвы

мерно на середине пруда. Если максимальная мощность в верховье бывшего пруда не превышает 0,75 м, то далее по простиранию увеличивается до 4–5 м и в 200 м от плотины составляет 6,5–7,0 м.

Проведенные замеры позволили рассчитать среднюю мощность донных осадков Кизеловского пруда: в верховье она равна 0,6 м, у дамбы – 4,7 м. Полученные данные позволили выполнить расчет объема накопленных осадков, который составляет 1,2 млн м^3.

Таблица 3.8.

Содержание микроэлементов в подвижной форме в донных отложениях рек бассейна р. Яйвы

№ пробы	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг							
		Cd	*Co*	*Li*	*Mn*	*Cu*	*Ni*	*Pb*	*Zn*
39	р. Сев. Кизел, фон, дорога	0,125	1,271	0,090	171,8	0,832	2,09	1,134	2,79
44	р. Бол. Кизел, устье	0,161	0,823	0,291	19,0	26,85	2,95	0,574	19,74
46	р. Сев. Вильва, 500 м ниже устья р. Бол. Кизел	0,139	0,872	0,254	11,4	33,48	2,73	1,106	22,65

Рисунок 3.23.
Техногенный осадок в пойме р. Вьящер

Рисунок 3.24.
Зона влияния накопленных донных отложений спущенного Кизеловского пруда

Состав накопленной толщи донных отложений пруда характеризуют, в первую очередь, величина водородного показателя водной вытяжки, содержание железа, алюминия и других микроэлементов.

Верхние слои накопленных осадков (0–0,6 м) характеризуются высокой кислотностью (*pH* водной вытяжки 2,25–3,83). Прослеживается тенденция увеличения кислотности с приближением к плотине. Снижение кислотности осадков отмечается на глубине 1,2 м – здесь водородный показатель несколько повышается, но не превышает 4,3.

Донные отложения пруда отличаются высоким содержанием железа (до 22%), которое является основным компонентом в составе проб. Содержание железа в донных отложениях изменяется как по глубине, так и по простиранию пруда. Верхние слои содержат больше железа, с глубиной отмечается его уменьшение. По простиранию пруда концентрации железа уменьшаются при удалении от плотины, наиболее интенсивно это происходит в нижней половине бывшего пруда. Если около плотины содержание железа, в зависимости от глубины отбора проб, колеблется в пределах 16–20%, то в 650 м от плотины уменьшается примерно в 2 раза и составляет 9–11%. В верхней половине пруда (650–1600 м от плотины) продолжается снижение количества железа (в общем объеме оно не превышает 2%).

Вторым по содержанию компонентом является алюминий (до 5,5%). Содержание алюминия мало изменяется и по глубине, и по простиранию пруда, включая верховье, и составляет 4–5%. Аналогичная стабильность содержания прослеживается по кальцию и магнию.

Гранулометрический состав донных отложений в основном представлен частицами менее 0,1 мм. Анализ данных по гранулометрическому составу показал, что он изменяется по глубине и по простиранию. Дисперсность осадков увеличивается по мере приближения к плотине. С увеличением глубины залегания содержание тонкодисперсных частиц снижается.

Донные осадки, оставшиеся на месте Кизеловского пруда, являются потенциальным источником экологической опасности для окружающей среды и в настоящее время (рис. 3.25).

В глинистой фракции донных отложений р. Сев. Вильва (точка наблюдения – ниже устья загрязненной р. Бол. Кизел) содержится значительное количество вторичных минералов водных гидроксидов и гидроксидсульфатов железа и алюминия (табл. 3.6).

Водная вытяжка донных отложений имеет сульфатно-кальциевый состав, нейтральную реакцию среды, повышенные относительно фона концентрации сульфатов, железа (табл. 3.7). Содержание водорастворимых солей составляет 4,3 г/кг, что ниже почти в 2 раза по сравнению с донными отложениями устья р. Бол. Кизел, но заметно выше условных значений. Содержание подвижных форм определяемых микроэлементов несколько ниже, чем в устье р. Бол. Кизел; исключение составляют медь и цинк (33,5 мг/кг и 22,7 мг/кг соответственно), количество которых в десятки раз выше фоновых значений (табл. 3.8).

Загрязнение р. Сев. Вильва визуально прослеживается до самого устья, где при некотором подпоре наблюдается значительное накопление загрязненных донных осадков, смыв которых происходит в половодье.

Отсутствие наблюдательных пунктов не позволяет представить характеристику состава донных отложений р. Яйвы и оценить влияние на них последствий угледобычи. Имеющиеся же данные о донных отложениях р. Яйвы свидетельствуют о том, что водная вытяжка донных осадков нижнего течения реки (с. Романово, д. Володин Камень – далеко за пределами угольного месторождения) характеризуется пестрым составом (от гидрокарбонатно-кальциевого до сульфатно-натриевого), немного повышенным, относительно фона, содержанием солей (662–1073 мг/кг), нормальной кислотностью (7,0–7,8); общее количество железа составляет 3,2–3,5 мг/кг.

Зоной аккумуляции осадка, по данным А. П. Красавина [81], является протяженный участок р. Яйвы с наименьшими уклонами – ниже устья р. Сев. Вильва, до Камского водохранилища. При этом зона интенсивного загрязнения донных отложений может продвинуться к Камскому водохранилищу. Многократное разбавление и множество плесовых участков с низкими скоростями течения спо-

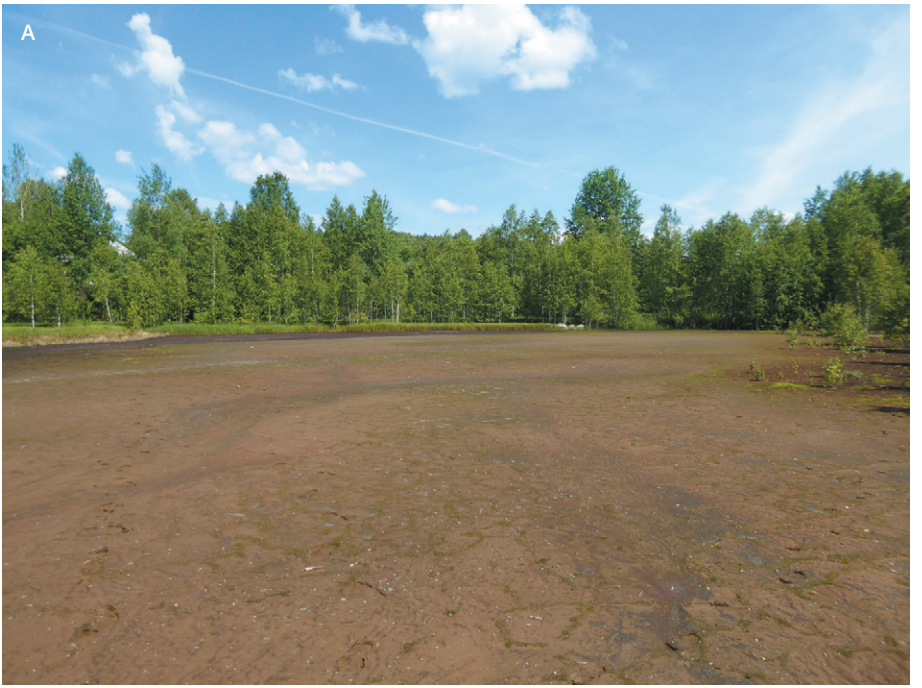


Рисунок 3.25.

Спущенный пруд на р. Бол. Кизел

А – вид на пруд с северо-востока, Б – техногенный осадок,

В – отбор пробы техногенного осадка

собствуют очищению р. Яйвы (что положительно сказывается на составе донных отложений), и в нижнем течении, в районе д. Вогулка, загрязнение реки заметно снижается.

Выполненные исследования показали, что на участках рек, расположенных ниже по течению от перечисленных источников загрязнения, изменяется минеральный состав как алеврито-глинистых, так и песчано-гравийных отложений.

По сравнению с фоновыми участками, наблюдается снижение содержания основных минералов естественной минеральной ассоциации: за счет увеличения содержания рентгеноаморфного вещества (РАВ), вторичных минералов (для алеврито-глинистых отложений) и техногенных включений песчано-гравийной размерности.

Так, для алеврито-глинистых отложений содержание кварца снижается с 52–77% до 4–34%, полевых шпатов – с 4–23% до 0–12%. Увеличивается содержание, либо появляются новые вторичные минералы техногенного происхождения. Содержание гетита, которое на фоновых участках составляет около 1%, может возрастать до 15%. Появляются лепидокрокит – до 4% и ярозит – до 11%. На отдельном участке с оптимальными условиями образования ярозита его содержание достигает 45%. В единичных пробах обнаружены базалюминит (8%) и копиапит (2%).

Содержание РАВ увеличивается с 10% (фон) до 39–91% на загрязненных участках. По данным термического анализа, в гелевидных осадках ярко-рыжего и ржавого цвета РАВ представлено смесью 3-х фаз: полностью аморфный гель *Fe-O-OH* – ферригидрит (по Ф. В. Чухрову); «протогидрогетит» α-$FeOOH \cdot nH_2O$, в котором намечаются кристаллизационные связи; «протолепидокрокит» γ-$FeOOH \cdot nH_2O$. Фаза ферригидрита явно преобладает и составляет около 65% от суммарного содержания гидроксидов *Fe*.

Значительная часть грубообломочных техногенных продуктов поступает в аллювиальные отложения за счет непосредственного размыва пород отвалов, особенно при складировании их по берегам рек. В песчано-гравийной фракции донных отложений исследованных рек, ниже участков складирования, содержится значительное количество угольно-породных частиц (до 22%), шлаков (до 3%), гидрогетита (до 4%), магнетита и магнитных сферул (до 1%).

Таким образом, на исследуемой территории происходит формирование нового генетического подтипа осадков – техногенно-аллювиального, являющегося существенным источником вторичного загрязнения речных систем.

3.3. Бассейн реки Косьвы

3.3.1. Краткая физико-географическая характеристика

Река Косьва берет начало на западе Свердловской области, в северной части Среднего Урала, на западном склоне у Косьвинского Камня, от которого она и получила свое название [76]. Образуется от слияния двух рек – Бол. Косьвы и Тылая, ее длина составляет 283 км. Косьва – типичная горная река с довольно быстрым течением, перекатами и порогами; характеризуется ящикообразной долиной, с камнями-бойцами; уклоны водосбора иногда достигают величин 60‰.

В среднем течении р. Косьвы расположено Широковское водохранилище, объемом 0,53 км^3, используемое для водоснабжения городов Губаха и Кизел, а также промышленных предприятий. Основными правобережными притоками р. Косьвы являются реки Тылай, Тыпыл, Пожва, Няр, Нюр; левобережными – Бол. Ослянка, Бол. Косьва, Вива, Вильва, Лялинская Рассоха, Кырья. Притоки Шумиха, Губашка, Ладейный Лог, Берестянка и Каменка, на которых расположены основные источники загрязнения, являются очень малыми реками, их гидрографические характеристики приведены в таблице 3.9.

Значения стока за многолетний период (1932–1937, 1956–1984, 1987 гг.), наблюденные на гидрологическом посту д. Останино, составляют: средний многолетний расход – 86,3 м^3/с, максимальный расход – 122 м^3/с, минимальный

Таблица 3.9.

Основные гидрографические характеристики р. Косьвы и ее притоков, подверженных влиянию закрытых шахт КУБа

Характеристики	Река					
	Косьва	Шумиха	Губашка	Ладейный Лог	Каменка	Берестянка
Длина водотока, км	283	4,75	16	15	10	18
Площадь водосбора, км^2	6300	9,8	19,2	35,7	12,6	53,7
Средняя высота водосбора, м	404	336	360	362	256	335
Средний уклон водосбора, град	–	2,4	3,6	5,9	4,2	4,5
Заболоченность, %	<1	0	0	0	0	0
Лесистость, %	78	96	85	87	100	92
Озерность, %	<1	0	0	1,12	0	0
Закарстованность, %	–	85	85	55,36	74,3	75,2

расход – 53,1 м^3/с. На р. Косьве расположен ряд населенных пунктов, наиболее крупный из них – г. Губаха [126].

Район, по территории которого протекает р. Косьва, характеризуется развитыми карстовыми процессами, водосбор закарстован на 28–29%. Поверхностные формы карста представлены воронками, котловинами, карстовыми логами. Встречаются также пещеры и подземные реки. Поверхностный сток частично или полностью поглощается карстовыми воронками, образуя суходолы на значительных участках долины; следуя по карстовым полостям, воды разгружаются в виде источников в долине реки.

Например, р. Ладейный Лог, расположенная в междуречье рек Косьвы и Усьвы, образует самый протяженный в Пермском крае карстовый суходол – Ладейный Лог, который является особо охраняемым природным ландшафтом. Подробно характеристика этих объектов приведена в разделе 3.3.4.

3.3.2. Оценка экологического состояния

На водосборе р. Косьвы и ее притоков расположены изливы шахтных вод, родники и стоки с породных отвалов, являющиеся основными источниками загрязнения (рис. 3.26).

По результатам расчета УК ИЗВ за 2013 г. по 14 компонентам, степень загрязненности воды в створах р. Косьвы колебалась от загрязненной (3-й класс «а») до слабо загрязненной. На водосборах притоков, где располагаются основные источники загрязнения, створы отсутствуют (рис. 3.27). Имеющиеся данные позволяют проследить четкую зависимость превышений значений ПДК$_{рх}$ по соединениям железа, алюминия, бериллия, лития, марганца после впадения рек Шумиха, Губашка, Ладейный Лог, Каменка, Берестянка (рис. 3.28).

Максимальные превышения ПДК$_{рх}$ наблюдаются в пункте 2, после поступления в р. Косьву изливов шахт им. Калинина, им. 1 Мая и выхода вод шахты им. 40 лет Октября: *Fe* – 363, *Mn* – 85, *Al* – 39; минимальное, зафиксированное в этом створе, значение водородного показателя – 3,8.

Рассмотрим экологическое состояние притоков р. Косьвы, подверженных влиянию угледобычи.

Река Шумиха является левым притоком р. Косьвы. Ее долина, протяженностью 4,75 км, имеет эрозионно-карстовое происхождение. В 50-е годы XX века, до сброса шахтных вод, водный поток отмечался только в верхней части долины, поглощаясь одной из карстовых воронок. Затем поверхностный поток проходил под долиной р. Шумихи и разгружался в р. Косьву в виде источника дебитом 150 л/с [87]. В настоящее время река имеет преимущественно поверхностный сток.

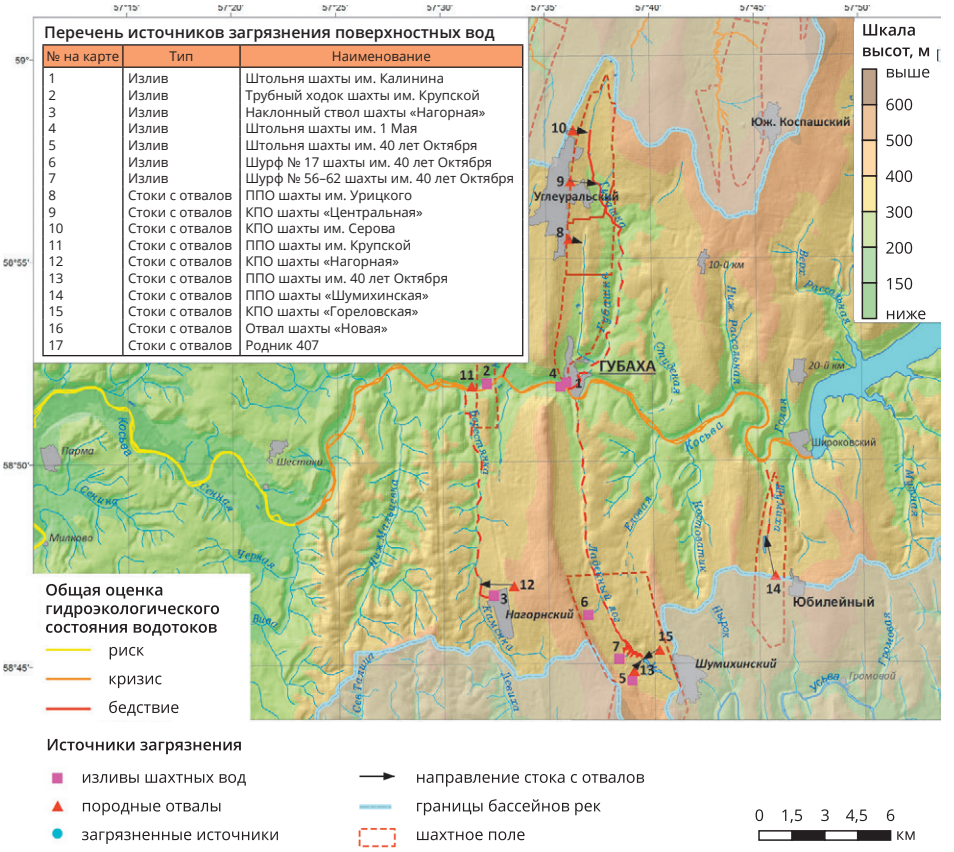
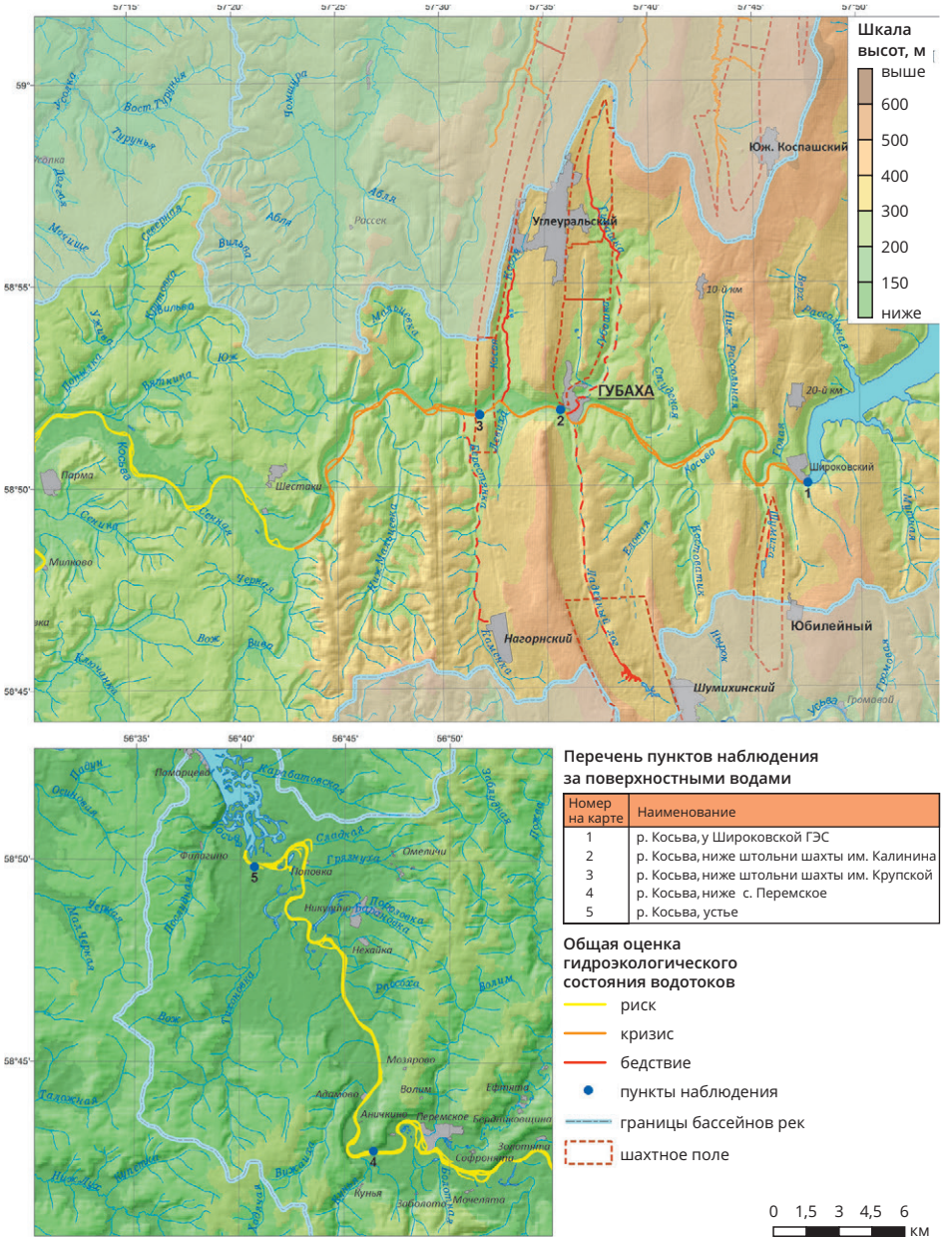


Рисунок 3.26.

Источники загрязнения поверхностных вод бассейна р. Косьвы

Мониторинг за состоянием вод не ведется. По данным 2005 г., вода от истока до устья оставалась кислой (*pH* 2,4–3,4), русло и берега покрыты слоем техногенного осадка. Река на всем протяжении имеет поверхностный сток. Содержание микроэлементов (литий, марганец, бериллий, ванадий, кобальт, цинк, никель и др.) в ее водах превышает $ПДК_{рх}$ в десятки и сотни раз. Ежегодно с водами р. Шумихи в р. Косьву поступает не менее 70 тонн железа и 50 тонн алюминия. Левый берег р. Косьвы, при впадении в нее р. Шумихи, покрыт техногенным осадком. Несмотря на прекращение сброса шахтных вод, р. Шумиха остается значительным источником загрязнения р. Косьвы. В настоящее время постоянным источником загрязнения реки является шламонакопитель, оборудованный в ее русле. Длина его 960 м, ширина – 100–300 м, мощность шлама – до 4,7 м; площадь накопителя составляет 20,0 га, объем – 127 400 м^3 [81].


Шкала высот, м
выше
600
500
400
300
200
150
ниже
Юж. Коспашский
Углеуральский
ГУБАХА
Широковский
Юбилейный
Нагорнский
Шумихинский
Парма
Шестаки
Милково
Россеч
10-й км
20-й км
Косьва
Вижай
Вижаиха
Вилва
Чусовая
Громовой
Перемское
Мозарово
Волим
Ефимята
Аничково
Безденежная
Золотуха
Софроненка
Кунья
Заболотье
Монетта
Поморцево
Карабатовская
Фирсино
Грязнуха
Омелчи
Нововка
Никулино
Подъелка
Нехайка
Адамово
Поляна
Осинцы
Ошвинская
Ошвинский
Ошвинка
Ошвинская
Ошвинская
Ошвинская

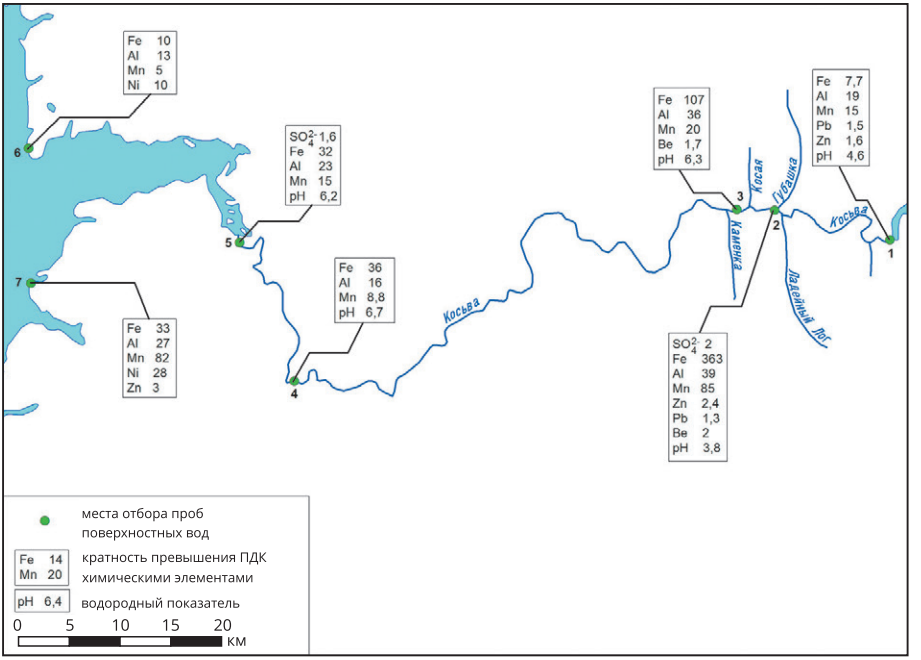


Рисунок 3.28.

Схема гидрохимического опробования рек бассейна р. Косьвы после закрытия шахт и максимальные превышения ПДК$_{рх}$ (2006–2013 гг.)

За долгие годы производственной деятельности шахты «Шумихинская» произошло накопление достаточно мощного слоя техногенного осадка, загрязненного соединениями железа, алюминия и шламом обогатительной установки.

Еще один источник загрязнения – плоский породный отвал (площадью – 21,9 га, высотой – 23,8 м, объемом – 1221 тыс. м^3) шахты «Шумихинская», находящийся в верховьях реки, в 300 м западнее поселка Юбилейный. Стоки с него поступают в русло р. Шумихи и далее – в шламонакопитель (рис. 3.29).

Объем стоков варьируется от 0,3 до 3,0 м^3/час. По данным наблюдений, стоки с породного отвала характеризуются как кислые (*pH* 3), имеют сульфатный алюминиево-железистый состав, отличаются высоким содержанием железа – 432 мг/л и алюминия – 1194 мг/л, что превышает ПДК$_{хп}$ в десятки тысяч раз (рис. 3.30). Содержание бериллия, лития, марганца и других элементов превышает ПДК$_{хп}$ в десятки и сотни раз. Суммарная площадь зоны негативного влияния отвала – 21,25 га.

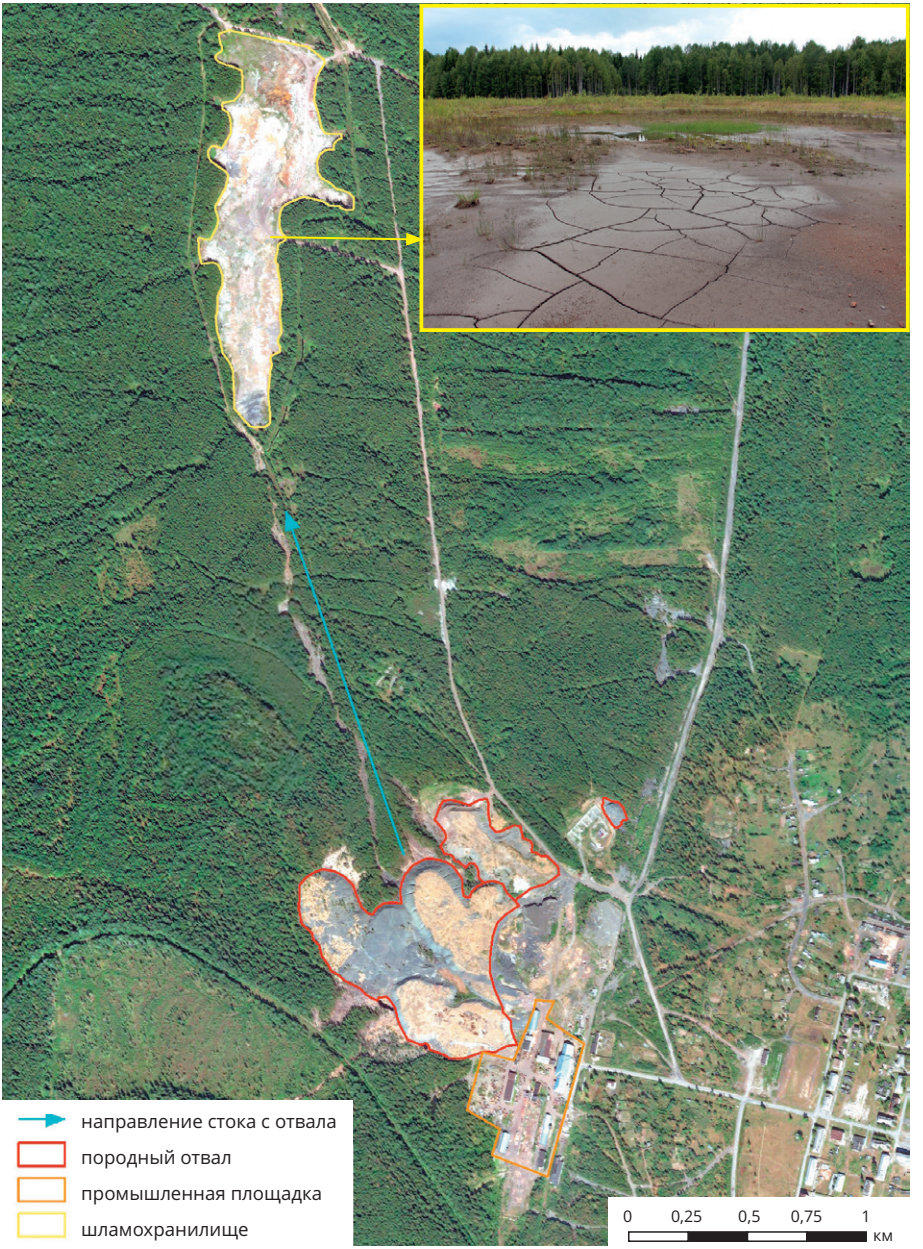


Рисунок 3.29.

Источники загрязнения р. Шумихи

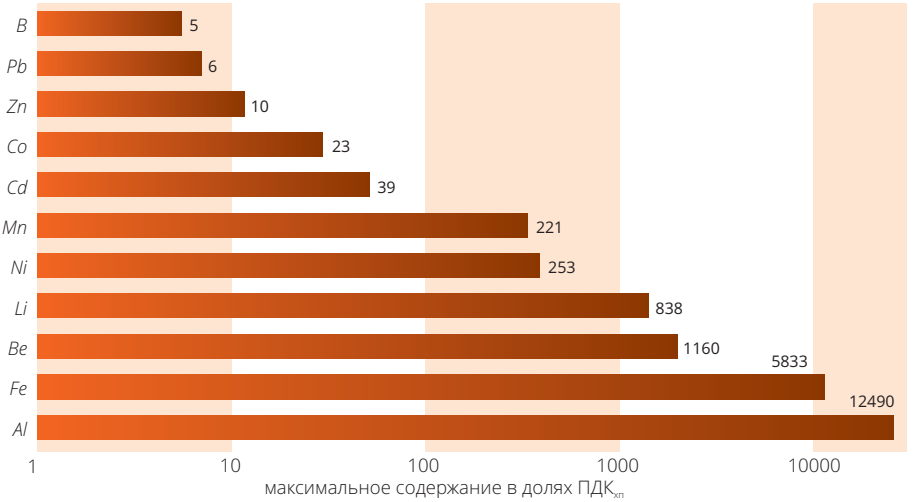


Рисунок 3.30.

Максимальные концентрации элементов в стоках породного отвала шахты «Шумихинская», в сравнении с ПДК$_{хп}$ (2007–2013 гг.)

Река Губашка является правым притоком р. Косьвы. Длина ее 16 км, она протекает в направлении с севера на юг по территории Губахинского района (рис. 3.31), исток расположен севернее поселка Углеуральский. Долина реки расположена вдоль западного крыла Косьвинской антиклинали, в районе развития известняков среднего карбона, интенсивно закарстованных на данном участке.

В естественных условиях река, до сброса в нее шахтных вод, полностью поглощалась карстовой воронкой в 7 км от устья, у п. Старая Половинка. В долине, по данным Е. А. Кротовой [86], отмечено 20 воронок, приуроченных ко дну и бортам. Воронки конусообразной и блюдцеобразной формы, глубиной от 0,3 до 7,5 м, диаметром от 1 до 21 м.

В пределах водосбора р. Губашки находится объединенное поле шахт «Центральная», им. Серова и им. Урицкого. Шахтное поле эксплуатировалось с 1907-го по 1996 г. Сейчас источниками поступления загрязняющих веществ в р. Губашку являются стоки с породных отвалов этих шахт (рис. 3.26).

Отвал шахты им. Серова находится на правом берегу р. Губашки, в 100 м от ее русла, занимает площадь 1 га и имеет объем 6 тыс. м^3. По данным наблюдений, стоки, расходом около 1–2 м^3/ч, характеризуются как сульфатные железисто-кальциевые, *pH* 2.

Ниже по течению в реку поступают стоки отвала шахты «Центральная», объемом в среднем 1 м^3/ч, имеющие сульфатный железисто-алюминиевый состав и *pH* 2.

На расстоянии около 2 км от ее русла расположен породный отвал шахты им. Урицкого, стоки которого поглощаются карстовой воронкой (рис. 3.32). Средний расход стока, по данным наблюдения, составляет 2 м^3/ч, химический состав сульфатный кальциево-алюминиевый, *pH* 3.

Концентрации железа и алюминия в стоках породных отвалов шахт превышают ПДК$_{хп}$ в тысячи раз, бериллия и марганца – в сотни раз, кобальта, лития, цинка – в десятки раз (рис. 3.33).

Река Берестянка с левым притоком р. Каменкой. На водосборной площади р. Каменки находится шахта «Нагорная», расположенная в 500 м северо-восточнее поселка Нагорнский. Шахта действовала с 1956-го по 1999 г. Добыча угля велась в условиях значительных водопритоков, достигающих 268 м^3/ч.

В мае 2013 г. затопление шахты завершилось, в месте ликвидированной горной выработки наклонного ствола появился излив шахтных вод – их расход в месте выхода достигает 83 м^3/ч. На склонах лога было отмечено появление родников.

Воды излива сульфатно-железистые, кислые (*pH* 3–4), концентрации железа и алюминия превышают ПДК$_{хп}$ в 8000 и 2250 раз соответственно. Содержание марганца, лития, бериллия и других микроэлементов в десятки и сотни раз превышает ПДК$_{хп}$.

Рисунок 3.31.
Река Губашка в районе остановочного пункта Губаха-Верхняя

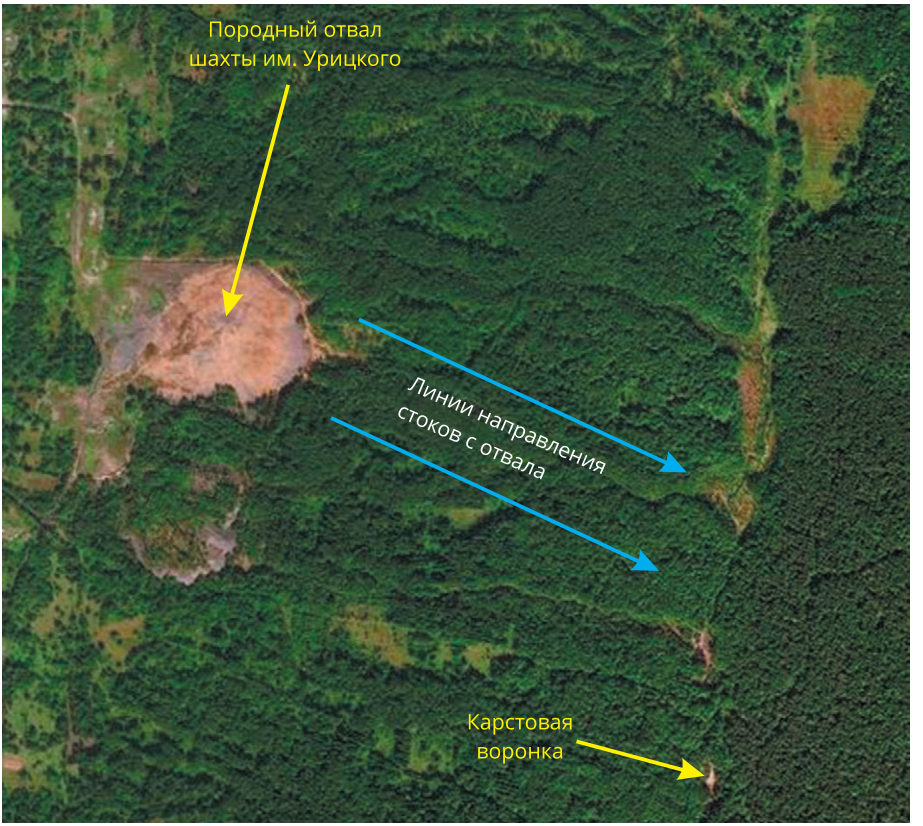


Рисунок 3.32.
Породный отвал шахты им. Урицкого

В период с 1945-го по 2000 г. в бассейне р. Каменки был отсыпан отвал шахты «Нагорная» объемом 248,5 тыс. м^3 и площадью 3,9 га. Отвал имеет коническую форму, в высоту достигает 40 м. В 2009 г. была проведена рекультивация, сейчас отвал частично покрыт растительностью, присутствуют следы горения (рис. 3.34). Однако и на сегодняшний момент стоки с отвала остаются кислыми – *pH* 2–3.

Помимо загрязненных шахтными водами притоков, непосредственными источниками загрязнения р. Косьвы являются изливы шахт им. 1 Мая, им. Крупской и объединенный излив шахт им. Калинина, им. Урицкого и «Центральная» (выход шахтных вод осуществляется через штольню шахты им. Калинина) (рис. 3.35, 3.36, 3.37, 3.38). Расходы изливов подвержены значительным сезонным колебаниям.

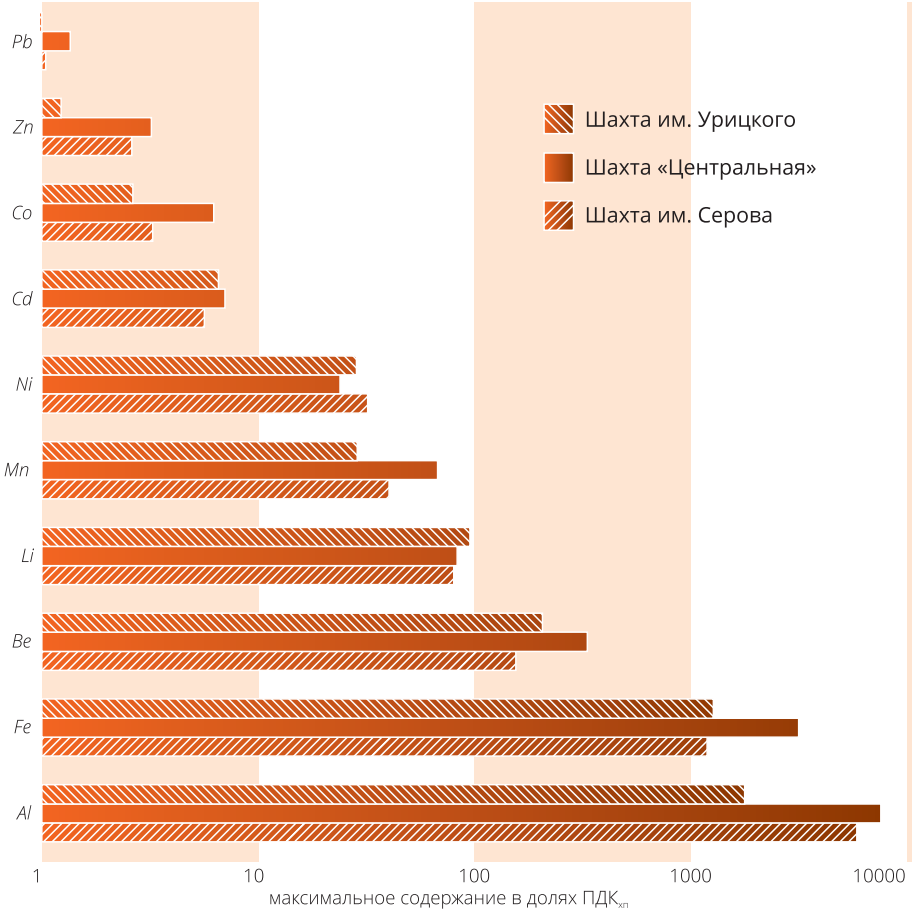


Рисунок 3.33.

Максимальные концентрации элементов в стоках породных отвалов, находящихся в пределах водосбора р. Губашки

На рисунке 3.39 представлены максимальные концентрации микроэлементов в составе изливов на территории бассейна р. Косьвы. Ионы железа – до 11 520 ПДК$_{хп}$, алюминия – до 948 ПДК$_{хп}$, бериллия – до 237 ПДК$_{хп}$, марганца – до 379 ПДК$_{хп}$.

Наиболее высокий уровень загрязнения характерен для изливов из ***штольни шахт им. Крупской и им. Калинина***. В составе излива из штольни шахты им. Крупской концентрации основных загрязнителей колеблются в следующих пределах: ионы железа – до 2156 мг/дм^3, алюминия – до 189,6 мг/дм^3, бериллия – до 0,047 мг/дм^3, марганца – до 22,5 мг/дм^3.

В составе излива штольни шахты им. Калинина наблюдаются максимальные для бассейна р. Косьвы концентрации железа (до 11 500 ПДК$_{хп}$) и марганца (до 348 ПДК$_{хп}$). Расходы излива из штольни шахты им. Калинина – одни из самых больших на территории водосбора р. Косьвы (в среднем 395 м^3/час), что приводит к поступлению в местную гидросеть значительного количества железа, марганца и других компонентов. На рисунке 3.40 показаны средние, за

Рисунок 3.34.

Стоки с отвала шахты «Нагорная»

А – отвал, Б – траншея для отвода стоков с отвала

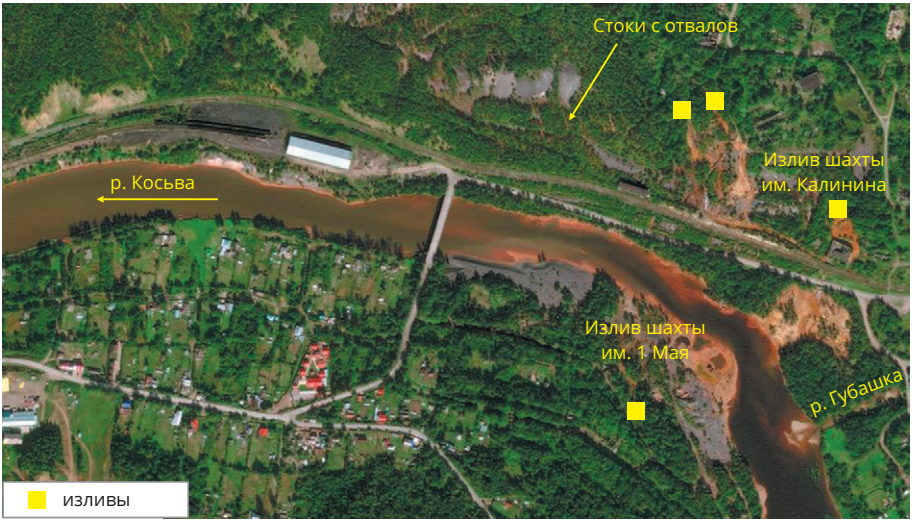


Рисунок 3.35.

Источники поступления загрязняющих веществ в р. Косьву в районе г. Губахи

Рисунок 3.36.

Изливы кислых вод. А – шахты им. 1 Мая, Б – шахты им. Калинина

Рисунок 3.37.
Излив шахты им. Калинина

Рисунок 3.38.
Река Косьва в районе излива вод шахты им. 1 Мая

7-летний период наблюдений, объемы поступающих загрязнителей. Ландшафт возле этого излива имеет специфические техногенные черты.

Разгрузка трещинно-карстовых вод визейских отложений приурочена к участку пересечения р. Косьвой тектонических положительных структур (район г. Губахи). В местах, где подземные воды подвержены влиянию затопленных шахт, отмечаются высокие концентрации сульфатов, железа, алюминия, марганца, лития, никеля, бериллия, кобальта. Обобщенная характеристика режима родниковых вод долины р. Косьвы представлена в таблице 3.10.

Роль родников в общем объеме загрязняющих веществ, поступающих в р. Косьву, заметно ниже, чем изливов, при этом состав вод родника ***407*** отличается от других родников. При минерализации подземных вод менее 400 мг/дм^3, в составе вод отмечаются высокие концентрации железа (в среднем 61 ПДК$_{хп}$), марганца (в среднем 9,2 ПДК$_{хп}$), повышенная кислотность (*pH* 4,8).

Постоянным источником загрязнения являются породные отвалы, расположенные на берегах водотоков, например, породный отвал шахты им. Крупской на берегу р. Косьвы (рис. 3.41).

Несмотря на сравнительно небольшие объемы стоков с породных отвалов, их состав характеризуется очень высоким содержанием загрязняющих веществ и кислой реакцией среды. Показатель *pH* изменяется в пределах 2,0–3,1. Сухой остаток варьирует от 1850 до 27 264 мг/дм^3. Содержание железа – до 7280 ПДК$_{хп}$, алюминия – до 15 250 ПДК$_{хп}$, бериллия – до 1785 ПДК$_{хп}$, марганца – до 555 ПДК$_{хп}$. В меньшем количестве, в составе стоков с породных отвалов, присутствуют кадмий, кобальт, никель и другие микрокомпоненты.

Анализ результатов наблюдений за составом вод р. Косьвы выявляет зоны неоднородности гидрохимического состава. Вблизи Широковской ГЭС воды характеризуются *pH* 5,9–7,7, минерализация составляет 50–104 мг/дм^3.

На участке интенсивного влияния изливов шахтных вод (рис. 3.42), загрязненных родниковых вод, стоков с отвалов, воды р. Косьвы характеризуются стабильно высоким содержанием железа (до 363 ПДК$_{рх}$), повышенным содержанием алюминия, бериллия, марганца и других микроэлементов, *pH* 3,8–6,3.

За счет боковой приточности чистых вод и самоочищающей способности реки, в устьевой части р. Косьвы прослеживается улучшение качества вод: сухой остаток изменяется в пределах 64–390 мг/дм^3; кислотность снижается (*pH* 6,2–7,9); концентрации железа уменьшаются, оставаясь выше допустимого уровня (0,5–3,2 мг/дм^3 или 5–32 ПДК$_{рх}$) (рис. 3.43).

В р. Косьве динамика концентраций основных загрязнителей (железо, алюминий, марганец) в зависимости от фазы водного режима не прослеживается (рис. 3.44). В течение гидрологического года отмечается несколько пиков максимальных значений снижения концентраций компонентов.

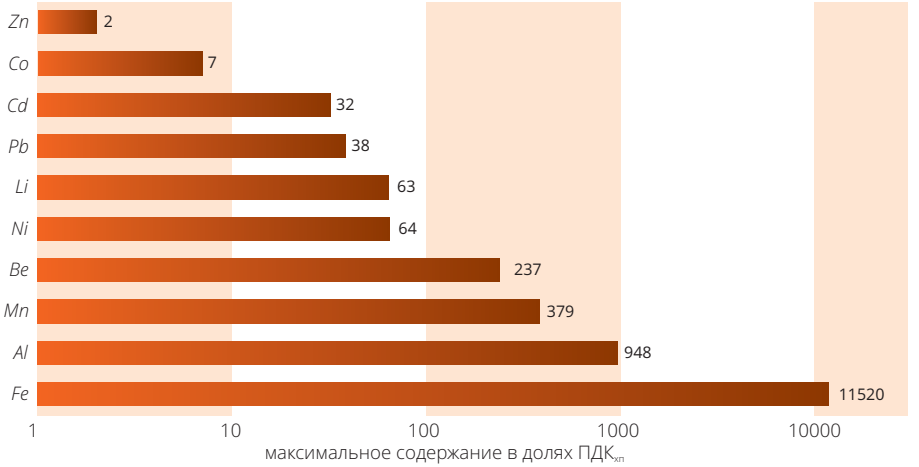


Рисунок 3.39.

Максимальные концентрации микроэлементов в воде шахтных изливов бассейна р. Косьвы

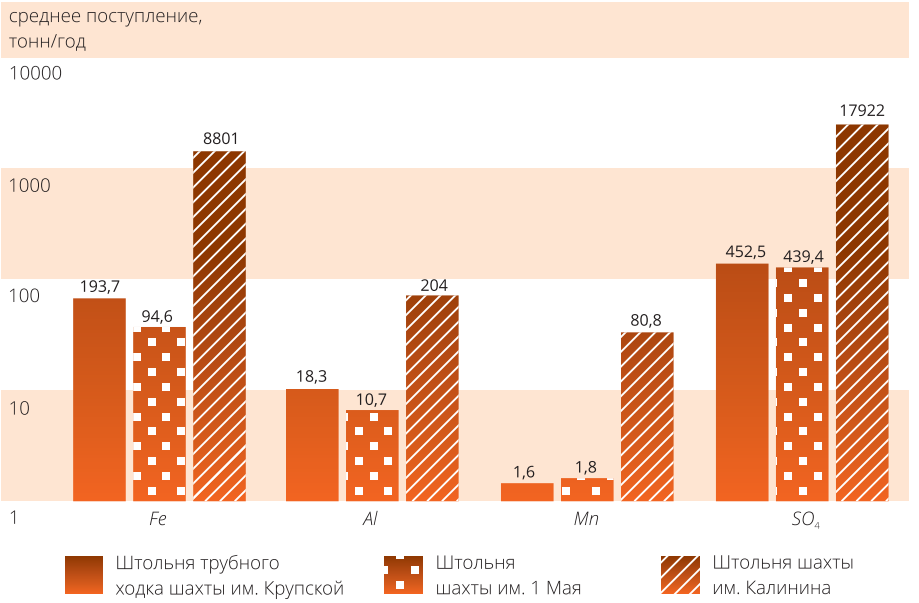


Рисунок 3.40.

Поступление некоторых химических элементов от шахтных изливов на водосбор р. Косьвы

Таблица 3.10.

Характеристики родников в бассейне р. Косьвы (2000–2013 гг.)

Номер родника	Шахта	Дебит, м³/час			Средние значения			
		сред-нее	макси-мум	мини-мум	*pH*	Сухой остаток	*Fe*, мг/дм³	*Al*, мг/дм³
01	им. Крупской	63,0	79,0	15,0	7,79	168,7	0,28	0,14
643	им. Крупской	71,0	156,0	1,0	7,63	149,8	0,18	0,20
407	им. 1 Мая	1279,1	1907,0	708,0	4,83	399,5	18,5	0,32
05	им. Калинина	659,6	1892,0	1,0	7,13	307,2	0,33	0,56

Рисунок 3.41.

Район отвала шахты им. Крупской

А, Б – породный отвал на берегу р. Косьвы; В, Г – стоки с отвала

Рисунок 3.42.
Впадение излива шахты им. Крупской в р. Косьву

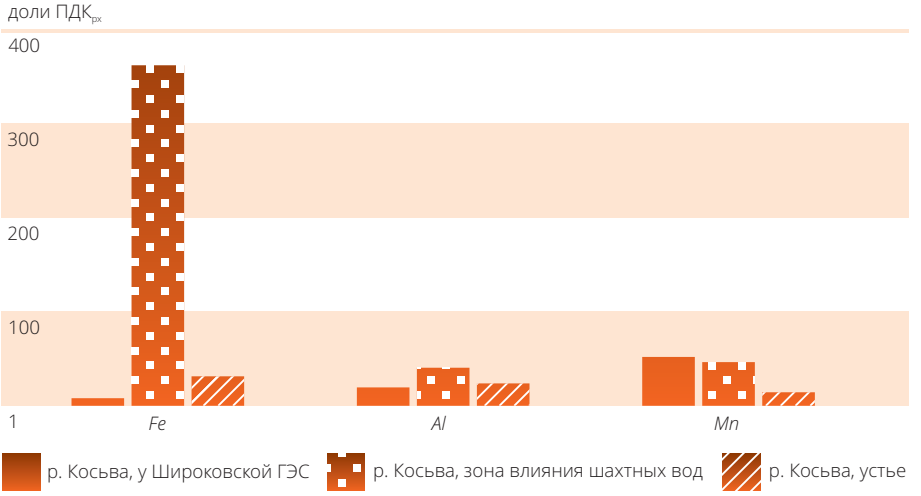


Рисунок 3.43.
Максимальные концентрации характерных загрязнителей по длине р. Косьвы (в долях ПДК$_{рх}$)

Несмотря на отсутствие четкой сезонной закономерности изменений концентраций компонентов, можно отметить, что в зоне влияния шахтных вод минимальные концентрации железа приурочены к периоду весеннего половодья (рис. 3.44 Б), когда происходит интенсивное разбавление талыми водами. Содержание железа, алюминия, марганца в р. Косьве, изменяясь в значительных пределах, в течение различных фаз водного режима постоянно оставалось в разной степени выше ПДК$_{рх}$.

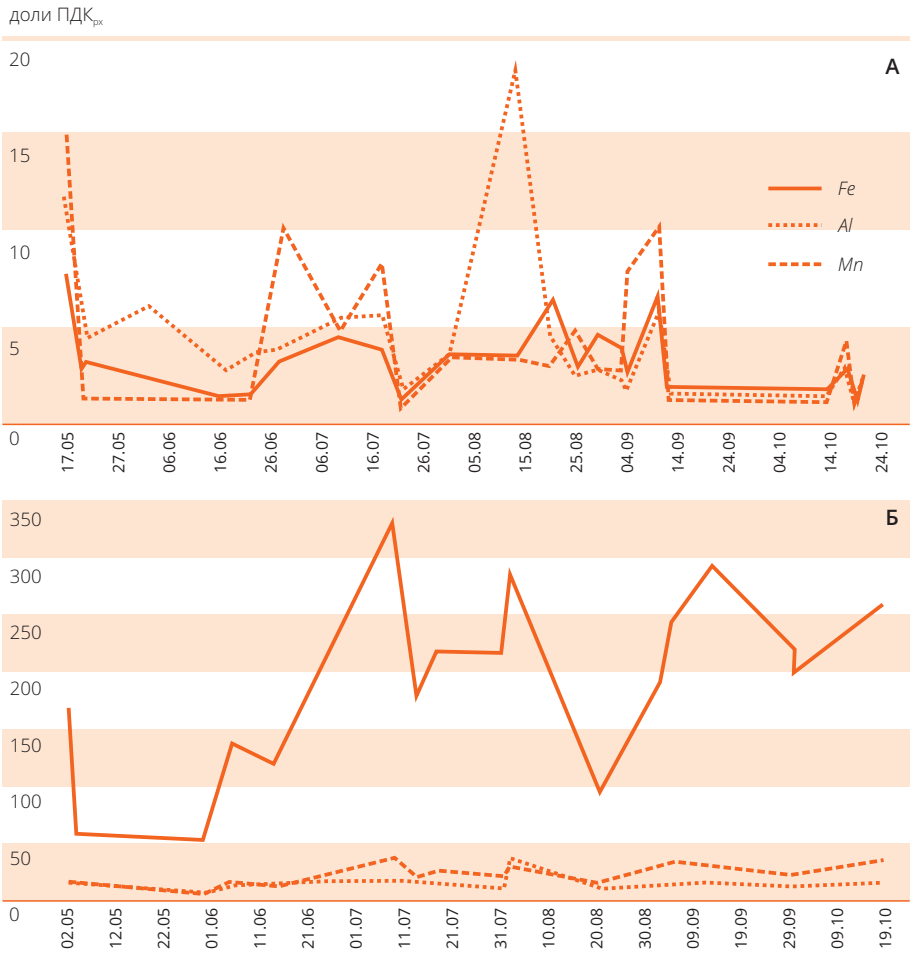


Рисунок 3.44.

Концентрации загрязняющих веществ в р. Косьве (2006–2013 гг.)

А – створ около ГЭС, Б – створ в зоне влияния шахтных вод

Многолетняя динамика загрязнения водотоков бассейна р. Косьвы оценивалась путем сравнения максимальной измеренной концентрации загрязняющих веществ за период наблюдений (2006–2013 гг.).

Динамика за период наблюдений показывает, что уровень загрязнения вод остается стабильно высоким, тенденция к снижению максимальных концентраций загрязняющих компонентов не прослеживается. Подобная ситуация свидетельствует о постоянных источниках загрязнения, интенсивность которых не уменьшается с годами (рис. 3. 45).

Химический состав вод р. Косьвы и других рек с кислыми водами отрицательно сказывается на состоянии железобетонных и металлических конструкций мостовых сооружений, пересекающих реку. В 2010 г. было проведено обследование моста (постройки 1957 г.) через р. Косьву на автодороге п. Первомайский – Верхняя Губаха, в Губахинском районе [16]. Мост представляет собой трехпролетную балочную сталежелезобетонную неразрезную систему. В поперечном сечении каждый пролет состоит из четырех составных металлических балок двутаврового сечения и железобетонной плиты проезжей части. Береговые и промежуточные опоры моста железобетонные, массивные.

В ходе обследования были обнаружены дефекты, оказывающие негативное влияние на долговечность, безопасность и грузоподъемность сооружения.

- Выщелачивание бетона из плиты проезжей части, с образованием сталактитов, разрушение защитного слоя бетона (на 80%) нижней поверхности плиты проезжей части на глубину до 5 см, с оголением и коррозией рабочей арматуры.
- Вымывание цементного раствора из тела опоры и разрушение защитного слоя бетона промежуточных и крайних опор в зоне переменного и постоянного уровня воды на глубину до 7 см, с оголением и коррозией рабочей арматуры.
- Сплошная, поверхностная и пластовая коррозия металла балок пролетных строений, толщина продуктов коррозии 6–20 мм.
- Вскрытие защитного слоя бетона, для установления наличия коррозии арматуры внутри неразрушенного бетона плиты проезжей части, выявило наличие ослабления коррозией поперечного сечения рабочей арматуры на 20%.
- Из-за интенсивной коррозии металла балок пролетных строений, в местах соединения полок со стенками, и монтажных блоков произошло «выпучивание» соединительных накладок и разрушение заклепочных соединений.

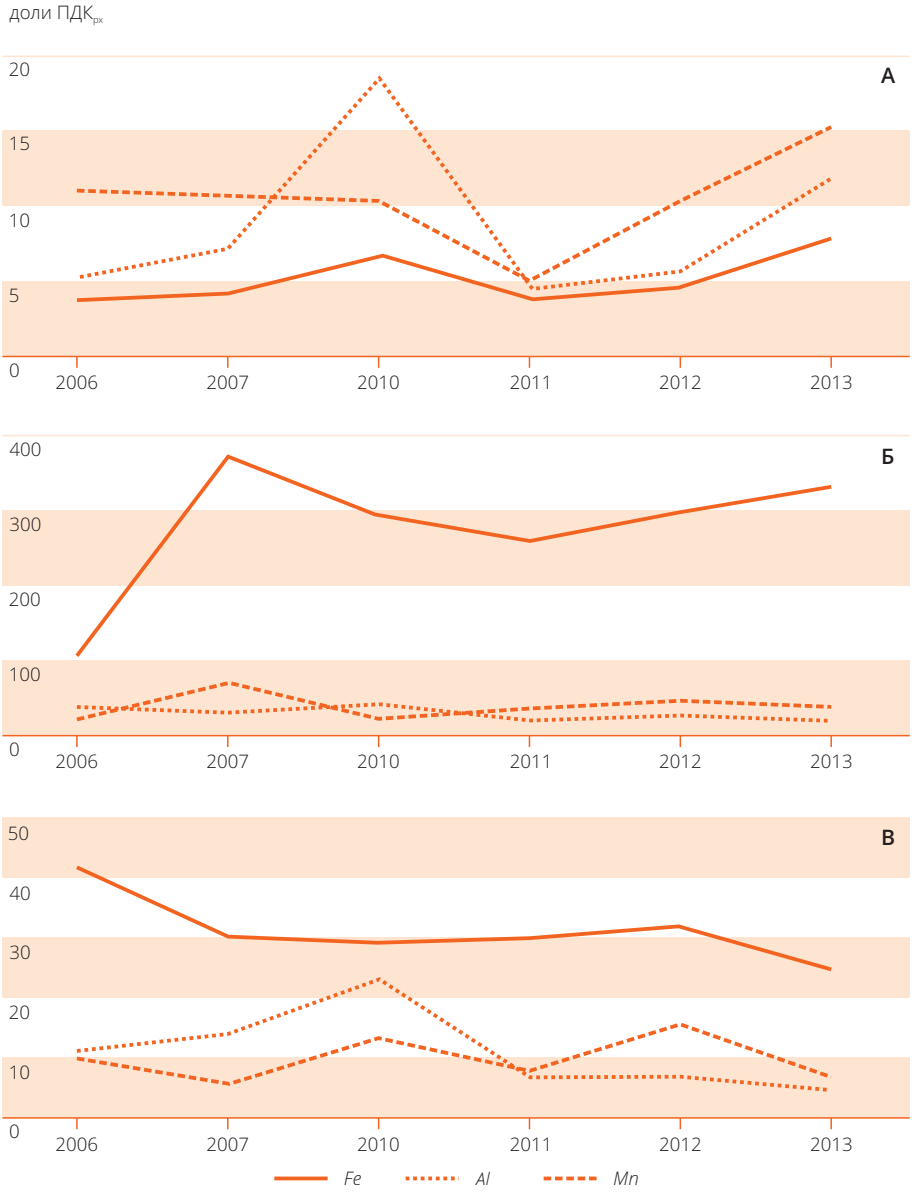


Рисунок 3.45.

Максимальные концентрации загрязняющих веществ в р. Косьве (2006–2013 гг.)
А – створ около Широковской ГЭС,
Б – створ в зоне влияния шахтных вод, В – створ в устье

По ярко-оранжевому окрасу бетона промежуточных опор отчетливо виден уровень перепада воды в реке в створе мостового перехода, в пределах которого зафиксированы максимальные разрушения бетона и арматуры (рис. 3.46).

По результатам обследования можно сделать вывод: сооружение находилось в аварийном состоянии, а грузоподъемность сооружения снижена на 20%. Основная часть имеющихся дефектов является следствием разрушения железобетонных и металлических конструкций моста из-за воздействия кислых шахтных вод сбрасываемых в реку.

Рисунок 3.46.
Автодорожный мост через р. Косьву в районе п. Первомайский

3.3.3. Характеристика пойм и донных отложений

В поймах и руслах рек бассейна р. Косьвы накопилось огромное количество техногенных донных отложений, представленных в основном аморфными гидроксидами железа и алюминия, имеющими характерный рыжий цвет, – места их аккумуляции хорошо различимы на космоснимке (рис 3.47).

Зона сезонного затопления в бассейне р. Косьвы показана на рисунке 3.48. Общая площадь территории, подверженной затоплению загрязненными водами в бассейне р. Косьвы, составляет 770 га.

В бассейне р. Косьвы влияние угледобычи отмечается на донные отложения ее притоков – ***рек Шумиха, Губашка, Ладейный Лог, Каменка, Берестянка***

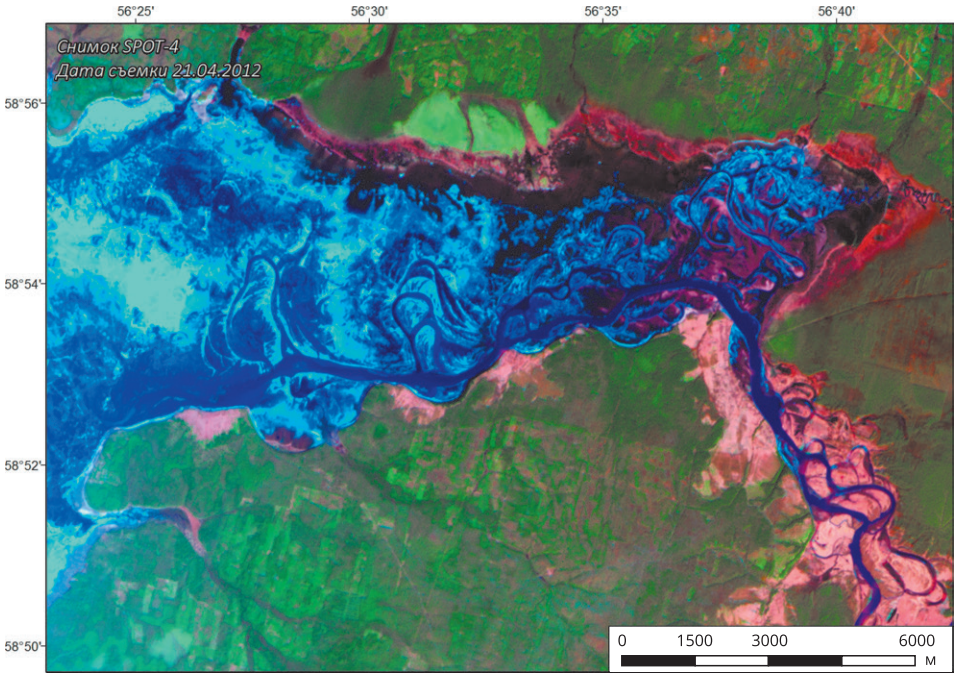


Рисунок 3.47.

Загрязненная техногенными осадками устьевая часть р. Косьвы (апрель)

и саму ***р. Косьву***. Для оценки степени влияния был изучен состав отложений и водных вытяжек из них [110, 116, 117, 118, 119, 210]. Схема опробования приведена на рисунке 3.49.

Река Шумиха, до сброса в нее шахтных вод, являлась карстовым суходолом; после сброса – произошла закупорка карстовых каналов, формирование поверхностного стока и накопление техногенных отложений. Кроме сброса кислых вод, источником негативного техногенного воздействия является шламонакопитель обогатительной фабрики.

Под воздействием кислых вод существенно изменился состав отложений прирусловой зоны реки. Водные вытяжки донных отложений, исследованные в период водоотлива (1992 г.), имели кислую среду (*pH* 3,4–2,85), повышенное содержание солей (1963–4426 мг/кг), сульфатный железо-алюминиево-натриевый состав, высокие концентрации железа (до 318 мг/кг), алюминия (до 169 мг/кг), сульфатов (до 3845 мг/кг). Наибольшее накопление загрязнителей отмечено на расстоянии 1–2,2 км от водоотлива. Загрязнение донных отложений прослежено до устья р. Шумихи, где отмечено их наибольшее закисление (*pH* 2,85).

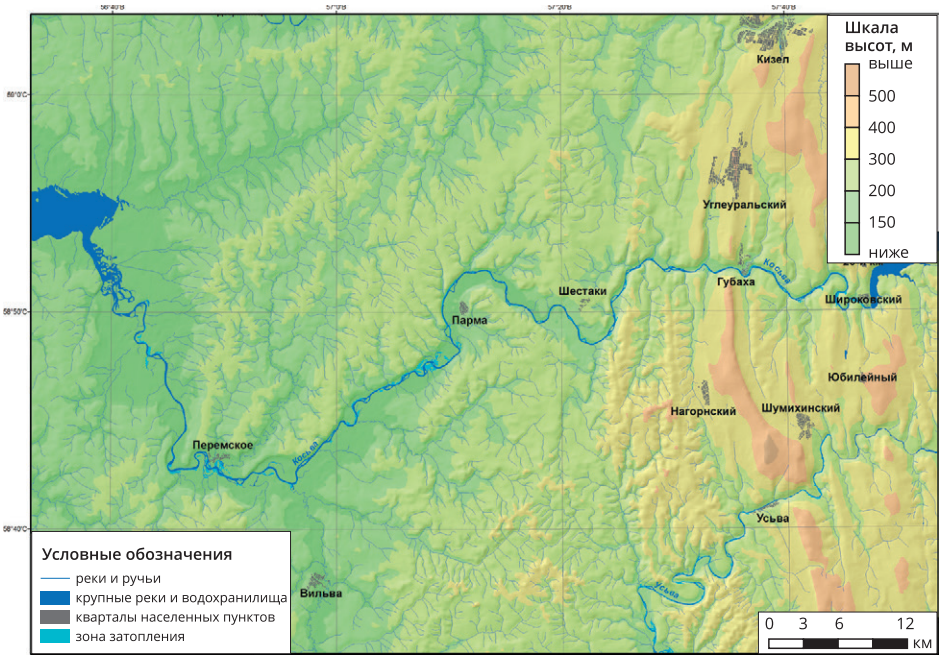


Рисунок 3.48.

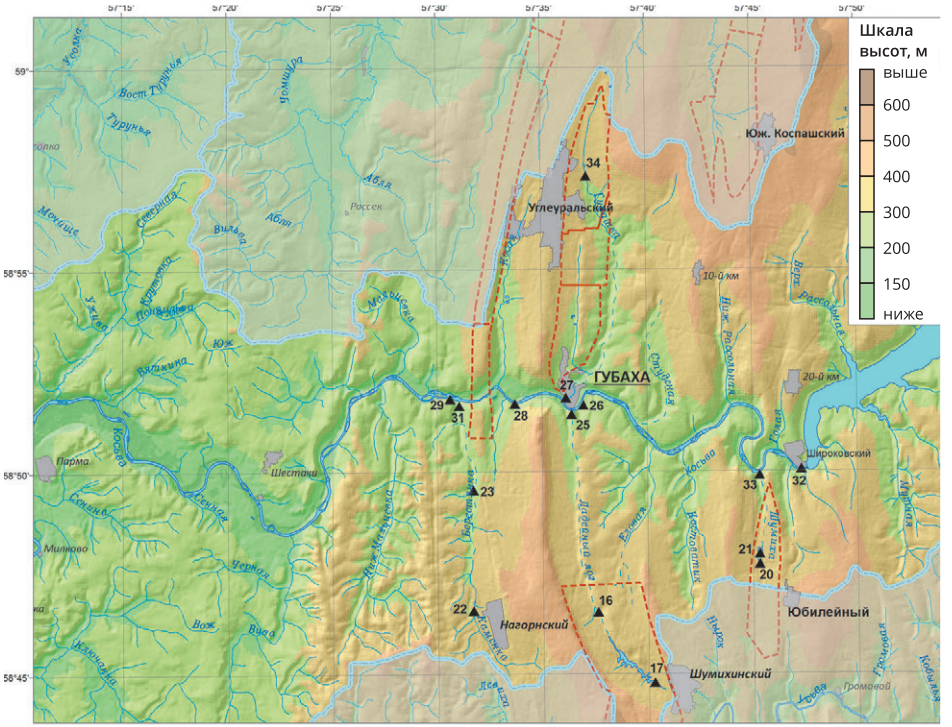
Зона сезонного затопления пойм загрязненных рек в бассейне р. Косьвы

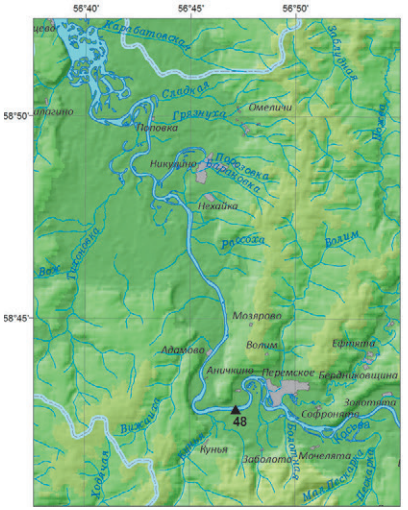
Отобранные из шламонакопителя пробы донных отложений, показывают высокую степень их загрязнения: кислая реакция среды (*pH* 2,62), содержание водорастворимых солей – 27 090 мг/кг, сульфатов – 19 212 мг/кг, железа – 6215 мг/кг, алюминия – 155 мг/кг. В настоящее время эти отложения являются постоянным источником загрязнения окружающей среды.

Гранулометрический состав шлама отличается по простиранию и по глубине. Основная часть шлама представлена фракцией 2,0–1,0 мм, в верховье преобладает более крупная фракция – 5,0–2,0 мм. Показатель *pH* водной вытяжки составляет 4–4,5, содержание ионов железа колеблется в пределах 3000–3800 мг/дм^3, алюминия – 400–600 мг/дм^3 [81].

По данным рекогносцировочного обследования (1992 г.), площадь кислых загрязненных грунтов р. Шумихи составляла 7,8 га. В долине реки отмечалась деградация растительности, вымирание леса.

Исследование водной вытяжки донных отложений р. Шумихи в 2001 г. показало, что песчаная фракция состоит из угольно-породных частиц (95%), в небольших количествах присутствуют шлаки и магнитные сферулы (до 0,9% и 0,1% соответственно). Угольно-породные частицы концентрируются в составе





Перечень точек наблюдений за донными отложениями

Номер на карте	Местоположение
21	р. Шумиха, отстойник (центр)
20	р. Шумиха, отстойник (начало)
33	р. Шумиха, устье
34	р. Губашка, фон, выше а/д на п. Широковский
27	р. Губашка, устье
25	р. Ладейный Лог, устье, разгрузка из карстового источника
17	р. Ладейный Лог, фон
16	р. Ладейный Лог, место исчезновения в карстовой воронке
22	р. Каменка, фон
23	р. Каменка, ст. Губаха-Пассажирская
31	р. Каменка, устье
32	р. Косьва, фон, п. Широковский
26	р. Косьва, 100 м выше карстового источника г. Ладейной
28	р. Косьва, 50 м ниже а/д моста
29	р. Косьва, у ж/д моста
48	р. Косьва, с. Перемское

▲ точки наблюдения за донными отложениями

границы бассейнов рек

шахтное поле

0 1,5 3 4,5 6 км

Рисунок 3.49.

Точки наблюдения за донными отложениями в бассейне р. Косьвы

как легкой, так и тяжелой фракции [119]. В составе тяжелой фракции (плотность более 2,9 г/см^3) на них отмечается желтоватый налет, что придает им выраженный полуметаллический блеск – это связано с присутствием пирита (чем и объясняется их более высокая плотность). Среди естественных минеральных зерен отмечены кварц (3,6%) и тальк (0,9%).

Водная вытяжка донных отложений отражает существующую техногенную нагрузку: сульфатно-железистый состав, содержание водорастворимых солей – 5,4–27 г/кг, водородный показатель изменяется от 5,4 (верховье шламонакопителя) до 2,62 (центральная часть шламонакопителя). В водной вытяжке присутствует значительное количество подвижных форм сульфатов, железа, алюминия, аммоний-иона. Донные отложения устьевой части р. Шумихи содержат значительное количество рентгеноаморфных гидроксидов железа и алюминия (31–52%), а также вторичных минералов (базалюминит – 8%, ярозит, гетит – 1%).

В устьевой части реки содержание водорастворимых солей – повышенное (349 мг/кг), присутствует значительное количество сульфатов (2025 мг/кг), железа (807 мг/кг), аммоний-иона (179 мг/кг), слабокислая среда (*pH* 5,44). Приведенные показатели, характеризующие загрязнение донных отложений от последствий угледобычи, в устье значительно меньше, чем в шламонакопителе, но далеки от природных (табл. 3.11–3.13).

Таким образом, сброс кислых шахтных вод в р. Шумиху, которая в естественных условиях являлась суходолом, способствовал формированию загрязненных донных отложений. Оборудованный на реке в период добычи угля, шламонакопитель представляет собой довольно мощный слой осадков, которые значительно загрязнены железом, алюминием и шламом обогатительной установки. Эти осадки были и остаются значимым источником загрязнения природной среды. В настоящее время водоотлив не производится, однако речная вода и донные отложения загрязняются стоками с породных отвалов. Последствия угледобычи (как в минеральном составе, так и в составе водной вытяжки) прослеживаются не только на территории бывшего шламонакопителя, но и распространяются до устья р. Шумихи.

Источниками загрязнения донных отложений р. Губашки в настоящее время являются шахтные отвалы, расположенные на ее водосборной площади. Кроме этого, в районе устья реки, на отдельных участках с правого борта, обнаружено высачивание кислых шахтных вод.

Результаты исследований донных отложений р. Губашки (проведены в августе 1992 г.) показали, что в ее верховье (пруд шахты «Центральная») содержание растворимых солей достигает 335 мг/кг, состав отложений – гидрокарбонатно-кальциевый, реакция среды – слабокислая (*pH* 5,5). Ниже сброса шахтных вод шахты им. Серова, донные отложения р. Губашки характеризовались сульфатно-

Таблица 3.11.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Шумихи (май–июнь 1992 г.)

Расстояние от водоотлива, км	Содержание компонентов, мг/кг											Сумма водорастворимых солей, **мг/кг**	*pH*
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	$Fe_{общ}$	Al^{3+}		
1,0	0	1275	135	0	0,3	82	23	44	7	318	75	1963	3,42
2,2	0	3845	85	17	0,4	199	115	335	18	131	169	4426	2,92
3,2	0	2041	142	0	0,4	72	94	20	8	133	142	2662	2,90
4,2	0	1938	110	0	0,5	78	38	203	9	307	71	2615	2,85

Таблица 3.12.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Шумихи (август 2001 г.)

Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водораствори-мых солей, **мг/кг**	*pH*
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
отстойник (начало)	н.о.	3407,8	141,8	н.о.	0,15	236,5	20,7	46,0	114,9	1432,5	н.о.	14,6	5415,0	4,39
отстойник (центр)	н.о.	19212,3	143,6	н.о.	0,20	258,5	117,9	967,9	4,6	1531,4	4684,2	154,9	27090,9	2,62
устье	125,1	2024,5	156,0	н.о.	0,10	82,2	12,8	102,3	178,9	807,0	н.о.	1,8	3490,5	5,44

Таблица 3.13.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений р. Шумихи

№ пробы	Минеральный состав, %											
	Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Иллит + гидросл.	Каолинит	Смектит	Фосфат	Пирит	Ярозит	Базалюминит	Гетит	РАВ
20	15	1	1	14	15	2	пр.	3	1	–	1	47
21	20	–	–	9	15	1	пр.	3	–	–	–	52
33	27	8	2	3	10	9	–	–	1	8	1	31

Примечание:
По данным термического анализа, в гелевидных осадках ярко-рыжего и ржавого цвета рентгеноаморфное вещество (РАВ) представлено смесью 3-х фаз: а) полностью аморфный гель *Fe-O-OH* – ферригидрит (по Ф. В. Чухрову); б) «протогидрогетит» α-$FeOOH \cdot nH_2O$, в котором намечаются кристаллизационные связи; в) «протолепидокрокит» γ-$FeOOH \cdot nH_2O$.
Фаза а) явно преобладает и составляет около 65% от суммарного содержания гидроксидов *Fe*.

кальциевым составом, содержание солей увеличилось, по сравнению верховьем, в 2 раза, водородный показатель снизился до 4,17. Ниже водоотлива шахты «Центральная» состояние донных отложений ухудшается: *pH* 2,55–4,03, содержание солей 7395–9665 мг/кг, состав – сульфатный железо-алюминиево-натриевый, содержание железа 645–1010 мг/кг, алюминия – 58–356 мг/кг (табл. 3.14).

Исследования, проведенные в 2001 г., показали, что донные отложения верховья р. Губашки близки к природным показателям: содержание водорастворимых веществ составляло 250 мг/кг, состав водной вытяжки – гидрокарбонатный натриево-кальциевый, количество подвижных форм железа и алюминия невелико (1,45 и 0,55 мг/кг соответственно), реакция среды близка к нормальной (*pH* 6,26) (табл. 3.15). Состав донных отложений устьевой части р. Губашки характеризуют следующие показатели: содержание водорастворимых веществ – 2,4 г/кг (почти в 10 раз больше, чем в верховье в этот же период), состав – сульфатно-кальциевый, содержание железа – 15,1 мг/кг (в 10 раз больше, чем в верховье) и алюминия – 0,15 мг/кг, показатель *pH* нейтральный (6,86).

Река Берестянка (рис. 3.50) и ее приток р. Каменка, до сброса в них шахтных вод, были суходолами, их сток частично проходил по подземным карстовым полостям. В период, когда эти реки являлись приемниками водоотлива шахты «Нагорная», они имели поверхностный сток на всем протяжении, что способствовало накоплению техногенных донных отложений, которые содержали большое количество загрязнителей.

Таблица 3.14.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Губашки (август 1992 г.)

Расстояние от устья, км	Содержание компонентов, мг/кг											Сумма водорастворимых солей, мг/кг	*pH*
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	$Fe_{общ}$	Al^{3+}		
Исток	778	125	20	20	0,6	160	30	120	5	4	0	1250	7,79
14,2*	143	75	25	5	0,2	45	45	20	10	4	0	335	5,50
12,2**	79	310	20	40	0,4	90	90	30	5	1	0	605	4,17
9	0	5740	60	0	0,3	205	105	860	35	645	58	7735	2,55
6	0	7530	95	0	1,1	335	135	155	30	1010	346	9665	2,55
4	0	5870	55	0	0,2	235	115	30	25	688	356	7395	2,60
1	0	5810	610	0	0,2	275	135	540	45	713	233	8385	2,62
0	0	2690	100	0	0,2	140	65	55	25	74	344	3490	4,03

Примечания:
* Пруд шахты «Центральная».
** Выше водоотлива шахты «Центральная».

Таблица 3.15.

Химический состав водной вытяжки донных отложений рек бассейна р. Губашки (август 2001 г.)

№ проб-ы	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водорас-творимых солей, мг/кг	*pH*
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
34	р. Губашка, фон, выше а/д на Широковский	94,60	74,5	16,0	–	0,25	23,01	14,0	25,3	н.о.	н.о.	1,45	0,55	249,6	6,26
27	р. Губашка, устье	215,3	1488,9	30,1	1,65	0,25	453,9	132,5	34,5	8,5	12,3	2,75	0,15	2380,7	6,83

В настоящее время в р. Каменке загрязнение донных отложений формируют стоки с породного отвала и шахтные воды излива шахты «Нагорная» (табл. 3.16).

Влияние загрязненных вод притоков на р. Косьву и ее донные отложения демонстрируют данные, приведенные в таблице 3.17.

Исследования, проведенные в 2001 г., позволяют рассмотреть изменение состава донных отложений реки от точки, расположенной выше по течению от участка разработки угольной залежи (фоновая точка – нижний бьеф Широковского водохранилища), до точки наблюдения, заложенной ниже территории угольного месторождения (с. Перемское).

В фоновой точке наблюдения (32, рис. 3.49) в составе песчаной фракции донных отложений, на фоне доминирующего кварца (69,1%) и значительного содержания карбонатов (11,4%), наблюдается присутствие зерен хлорита (2,0%), амфиболов (1,8%), эпидота (1,4%), хромита (0,9%), пироксенов (0,9%), гематита (0,5%), гидрогетита и лейкоксена (0,2%). Водную вытяжку характеризуют гидрокарбонатно-кальциевый состав, содержание водорастворимых солей – 0,6 г/кг, *pH* 7,6. Железа и алюминия не обнаружено, либо их количество незначительно.

Рисунок 3.50.
Река Берестянка в районе остановочного пункта Губаха-Пассажирская

Таблица 3.16.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Каменки (июнь 1991 г.)

Расстояние от точки сброса, км	Содержание компонентов, мг/кг										Сумма водорастворимых солей, мг/кг	pH
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	$Fe_{общ}$	Al^{3+}		
2,3	0	4205	51	0	393	60	447	8	51	322	5544	2,96
3,3	0	10460	136	0	320	242	900	62	691	786	13625	2,55
5,2	0	4935	25	0	221	106	120	7	144	503	6076	2,60
7,3	0	2330	20	0	192	226	353	7	14	0	3146	3,10
9,2	0	1156	46	0	99	139	158	7	4	0	1612	3,55
11,0	397	3271	7	34	759	433	31	8	1	0	4942	7,05

Таблица 3.17.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Косьвы на участках впадения притоков, период водоотлива (1988–1989 гг.)

Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг										Сумма водораство-римых солей, мг/кг	pH
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	$Fe_{общ}$		
Выше устья р. Ладейный Лог (около плотины Широковской ГЭС)	308,2	24,0	24,8	н.с.	н.с.	81,2	18,3	9,2	н.с.	2,8	477,2	7,77
500 м ниже устья р. Ладейный Лог	0,0	4570,2	44,3	н.с.	н.с.	190,4	141,6	56,5	н.с.	317,1	5379,8	3,75
30 м выше устья р. Губашки	61	440	14	0	1,0	81	25	21	49	20	712	5,53
30 м ниже устья р. Губашки	0,0	1364	96	0	0,4	311	63	117	61	16	2029	3,57

Донные отложения р. Косьвы, в точке наблюдения выше р. Ладейный Лог (26, рис. 3.49), сложены кварцево-полевошпатовыми минералами (66%), содержание рентгеноаморфного вещества – 22%. Водная вытяжка имеет черты, свойственные карстующимся породам: содержание водорастворимых солей 2,03 г/кг, состав вытяжки – сульфатно-кальциевый, *pH* – нейтральный. Определены следующие содержания подвижных форм микроэлементов (мг/кг): *Cd* – 0,071; *Co* – 0,049; *Li* – 0,722; *Mn* – 29,9; *Cu* –2,34; *Ni* – 0,607; *Pb* <0,050; *Zn* – 2,73.

Участок р. Косьвы, в районе г. Губахи, характеризуют точки наблюдения 28 (пересечение реки и автодороги на Соликамск) и 29 (пересечение реки и ж/д на Соликамск) (рис. 3.49). В составе донных отложений прослеживается влияние последствий угледобычи. Среди минералов присутствует большое количество рентгеноаморфных гидроокислов железа и алюминия (65–66%), кварцево-полевошпатных пород (22–24%), глинистых минералов. Проведенное в точке наблюдения 29 исследование песков прирусловой отмели показало, что наряду с зернами естественных минералов, в значительных количествах присутствуют образования, обусловленные особенностями техногенного воздействия: угольно-породные (19,8%) и шлаковые (6,5%) частицы, магнитные сферулы (1,1%). Минеральные зерна покрыты рыжей рубашкой гидроксидов железа.

Среди шлаковых частиц, представляющих собой пористые угловатые образования, выделяются стекловидные и металловидные образования. Металловидные шлаки обладают выраженной магнитностью. Магнитные сферулы имеют вид темно-серых образований с шероховатой или гладкой поверхностью, аналогичны широко распространенным в донных отложениях рек Урала в зонах техногенного воздействия; они составляют около 70% тяжелой фракции. Их образование связано с процессами сжигания угольного топлива, за счет минеральных веществ, остающихся при горении. Они являются составной частью топливных зол и шлаков. Сферулы по минеральному составу отвечают магнетиту, гематиту и маггемиту.

Алеврито-глининистые отложения р. Косьвы, ниже г. Губахи, окрашены в черный цвет – за счет высокого содержания угольно-породных частиц. На территории города они характеризуются присутствием значительного количества рентгеноаморфных веществ (66%).

Содержание водорастворимых солей в донных отложениях р. Косьвы, ниже г. Губахи (точки 28, 29, рис. 3.49), составляет 2,05–4,6 г/кг, что в 3,3–7,6 раз выше фонового. Вытяжка имеет сульфатно-железистый и сульфатно-кальциевый состав, водородный показатель составляет 6,2–6,7. Содержание подвижных форм железа и алюминия высокое – 94–691 мг/кг и 0,65–1,0 мг/кг соответственно. По сравнению с фоновым, также заметно увеличивается содержание подвижных форм практически всех определяемых микроэлементов: *Cd* – в 1,5 раза; *Co* – 14,4; *Mn* – 9,5; *Cu* – 2,0; *Ni* – 9,2; *Pb* – 16,2; *Zn* –1,2.

Последствия угледобычи прослеживаются по составу донных отложений р. Косьвы на значительном удалении от территории Кизеловского угольного бассейна, что подтверждают результаты опробования реки в с. Перемское (точка 48, рис. 3.49). Здесь минеральный состав донных отложений на 90% представлен рентгеноаморфными гидроксидами железа оранжевого цвета, их загрязнение видно при визуальном наблюдении (рис. 3.51, 3.52). Содержание водорастворимых солей составляет 4,6 г/кг, что в 7,6 раз выше фонового. Вытяжка имеет гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый состав, водородный показатель – нейтральный (7,3). Присутствует значительное количество сульфатов и железа. В донных отложениях увеличено содержание ряда микроэлементов, не только по сравнению с фоновой точкой, но и в сравнении со створом, расположенным ниже г. Губахи (табл. 3.18, 3.19).

Таблица 3.18.

Содержание микроэлементов в подвижной форме в донных отложениях р. Косьвы

№ пробы	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг							
		Cd	*Co*	*Li*	*Mn*	*Cu*	*Ni*	*Pb*	*Zn*
26	100 м выше излива шахты им. 40 лет Октября	0,071	0,049	0,722	29,90	2,338	0,607	<0,050	2,731
29	Около ж/д моста Чусовой–Соликамск	0,109	0,706	0,070	283,62	4,593	5,614	0,808	3,260
48	Село Перемское	0,219	8,030	0,379	274,88	2,714	13,292	<0,050	22,91

Таблица 3.19.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений р. Косьвы

№ пробы	Минеральный состав, %									
	Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Кальцит	Иллит + гидросл.	Каолинит	Смектит	Пирит	Гетит	РАВ
26	58	8	3	5	1	1	1	сл	<1	22
28	20	2	1	–	4	5	3	–	–	65
29	20	4	1	–	3	3	2	–	<1	66
48	10	–	–	–	–	–	–	–	–	90

Примечание:

По данным термического анализа, в гелевидных осадках ярко-рыжего и ржавого цвета рентгеноаморфное вещество (РАВ) представлено смесью 3-х фаз: а) полностью аморфный гель *Fe-O-OH* – ферригидрит (по Ф. В. Чухрову); б) «протогидрогетит» α-$FeOOH \cdot nH_2O$, в котором намечаются кристаллизационные связи; в) «протолепидокрокит» γ-$FeOOH \cdot nH_2O$.

Фаза а) явно преобладает и составляет около 65% от суммарного содержания гидроксидов *Fe*.

Рисунок 3.51.
Техногенный осадок в русле р. Косьвы ниже г. Губахи

Рисунок 3.52.
Техногенный налет на аллювиальных отложениях р. Косьвы

3.3.4. Техногенное воздействие на карстовые суходолы на примере Ладейного Лога

Воздействие на окружающую среду угледобычи на территории КУБа в ряде случаев приобретает своеобразные черты, обусловленные интенсивным развитием карстовых процессов. Одним из интересных объектов является Ладейный Лог – самый протяженный (12 км) в Пермском крае карстовый лог-суходол в известняках, являющийся особо охраняемым природным ландшафтом регионального значения [132]. Рассмотрим его более подробно.

Лог представляет собой сухое русло одноименной реки – левого притока р. Косьвы, с разнообразными карстовыми формами рельефа: воронками, котловинами, исчезающими ручьями, а также пещерами. В верхней и средней частях Ладейный Лог имеет широкое дно, которое прорезано логами глубиной 20–30 м. Его нижняя часть, протяженностью около 2 км, отличается резким углублением дна и симметричным сужением долины. Здесь известно около 30 карстовых пещер, в том числе пещеры Российская (протяженностью 1450 м) и Обвальная (500 м). В Ладейном Логу описано более 100 воронок, основная часть которых приурочена к его дну. Плотность воронок составляет 25 на 1 км^2. Воронки блюдцеобразной и конусообразной формы имеют глубину 0,75–1 м и 2–18 м соответственно; диаметр конусообразных – от 5 до 76 м. В нижней части суходола воронки встречаются и на склонах.

По дну суходола Ладейный лог, в его верхней части, протекает ***ручей***, который далее впадает в ***Рахматульский водоем*** (рис. 3.53). В районе северо-западного окончания водоема, где избыток воды переливается через дамбу, по дну лога протекает, по направлению к р. Косьве, ее приток – ***р. Ладейный Лог***. Через 1,2 км ее воды исчезают в карстовой воронке, и на протяжении следующих 10 км она имеет подземное течение. Зона ниже участка поверхностного стока характеризуется сохранением естественного режима и представляет собой суходол. Разгрузка вод карстовой системы происходит в ***р. Косьву*** (рис. 3.54). Рахматульский водоем образовался в начале 1970-х гг. в результате сброса кислых вод шахты им. 40 лет Октября в карстовую воронку; при взаимодействии кислых шахтных вод с нейтральными природными водами произошло осаждение гидроокислов железа и алюминия.

Образование осадка вызвало закупорку карстовых каналов и формирование водоема протяженностью около 1,7 км и шириной до 250 м.

На схеме (рис. 3.55) представлен процесс возникновения техногенного Рахматульского водоема, путем сопоставления данных топографических карт масштаба 1:25 000 1950–1960-х гг. и космического снимка со спутника Landsat-8, полученного в 2014 г. [64, 150]. С течением времени появлялись новые источники загрязнения. Вследствие накопления осадка в карстовых воронках и не-

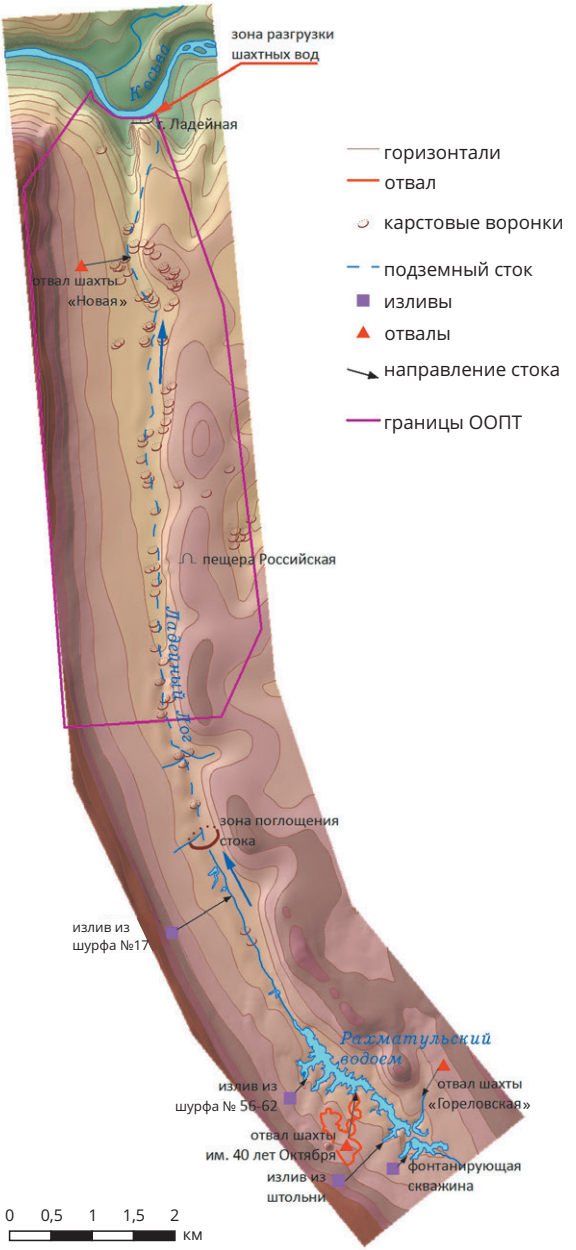


Рисунок 3.53.

Источники загрязнения Ладейного Лога

прерывного поступления кислых шахтных вод, объем техногенного Рахматульского водоема (табл. 3.20, 3.21) закономерно возрастал (рис. 3.56).

В настоящее время площадь водоема остается относительно постоянной и составляет около 0,31 км^2, незначительные ее изменения отмечены в периоды весеннего снеготаяния и обильных дождей. Средняя глубина составляет 5 м, максимальная – 13 м (рис. 3.57, 3.58).

На поверхности водоема минерализация воды имеет значения 490–670 мг/л. Содержание железа достигает 250 ПДК$_{рх}$, алюминия – 300 ПДК$_{рх}$. В придонном слое минерализация увеличивается до 12 000 мг/л, содержание железа находится в пределах до 32 000 ПДК$_{рх}$, алюминия – 2500 ПДК$_{рх}$. Концентрации бериллия и марганца в сотни, цинка и кадмия – в десятки раз превышают ПДК$_{рх}$. В несколько раз превышены концентрации по никелю, кобальту, барию, литию, титану и свинцу [113].

Эксплуатация шахтного поля велась с 1954 г. до реструктуризации и окончательного закрытия шахты им. 40 лет Октября (2000 г). До 1989 г. шахтные воды характеризовались как сульфатные железисто-кальциевые, кислые (*pH* 3,6). Концентрация железа в 2350 раз превышает ПДК$_{хп}$, алюминия – в 1813, марганца – в 315, цинка, никеля, кобальта, бериллия – в десятки раз.

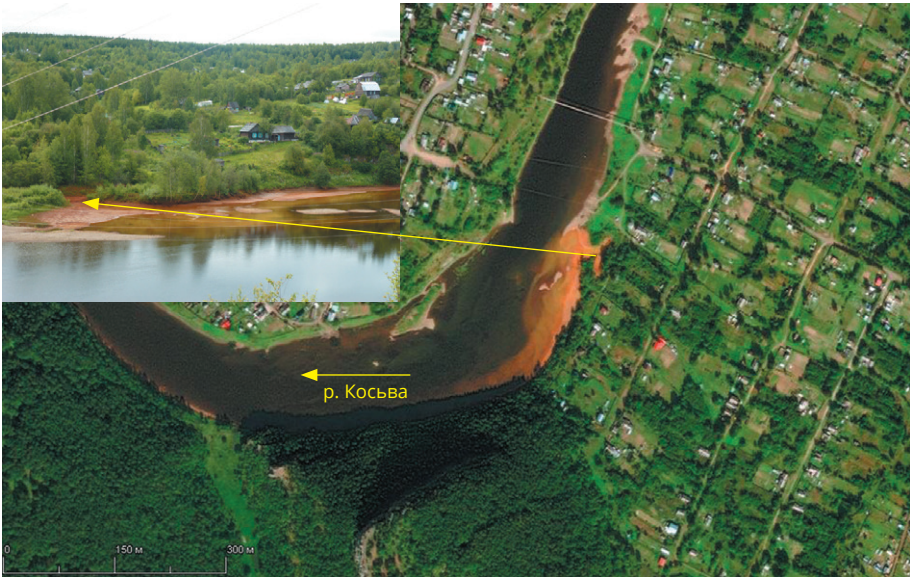


Рисунок 3.54.
Разгрузка вод Ладейного Лога в р. Косьву (выше г. Губахи)

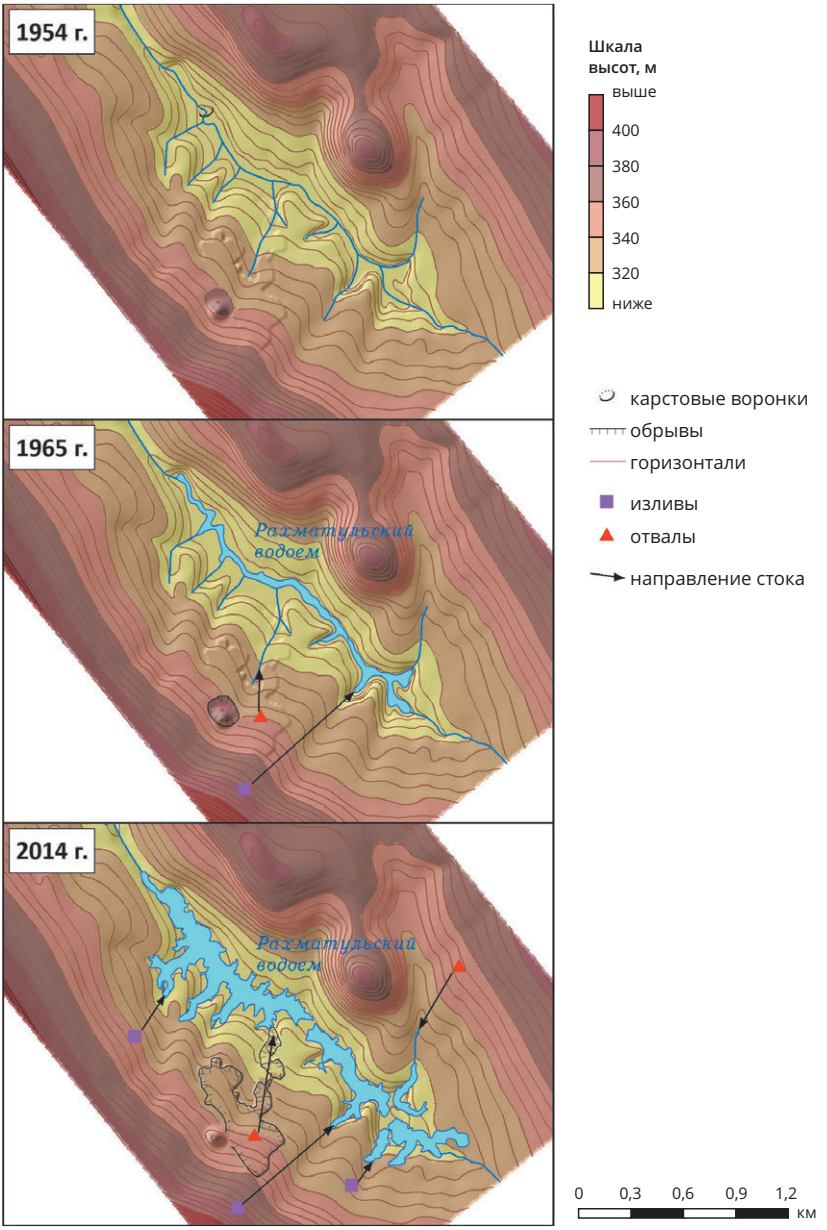


Рисунок 3.55.

Изменение морфометрических характеристик р. Ладейный Лог и карстового суходола Ладейный Лог

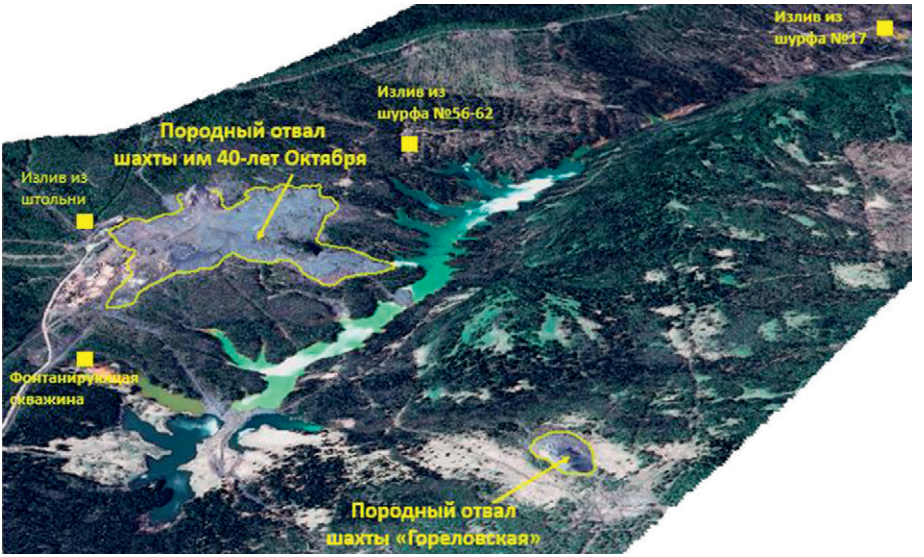


Рисунок 3.56.
Источники загрязнения Рахматульского водоема и р. Ладейный Лог

По данным химических анализов, проведенных с 1990-го по 1993 г., в период работы шахты воды, изливающиеся через штольню, характеризовались как сульфатные железисто-натриево-калиевые, кислые (*pH* 2,9), концентрация железа и алюминия превышали $ПДК_{хп}$ в сотни раз.

В настоящее время основное загрязнение реки происходит за счет поступления кислых вод из штольни шахты им. 40 лет Октября, шурфов № 17 и № 56-62. Также известно, что в водоем поступают кислые воды из фонтанирующей скважины.

По данным исследования, проводившегося в период с 2000-го по 2003 г., шахтные воды, изливающиеся из штольни и шурфов № 17 и № 56-62, имеют расход от 180 $м^3$/ч (в меженный период) и до 400 $м^3$/ч (в период дождевых паводков) [113]. Воды изливов характеризуются как сульфатно-железистые, с кислой средой. Самый низкий водородный показатель имеют воды штольни – 2,8. Максимальная концентрация железа была обнаружена в водах шурфа № 17 (превышение $ПДК_{хп}$ в 4876 раз), минимальная концентрация – в изливе штольни (786 $ПДК_{хп}$) (рис. 3.58). Воды, изливающиеся из скважины, были отобраны в 2002 г.; по данным химического анализа они имеют сульфатно-железистый состав и кислую реакцию среды, содержание железа в 4468 раз превышает $ПДК_{хп}$. Высокие концентрации марганца (3460 $ПДК_{хп}$) были обнаружены в шурфе № 17.

Таблица 3.20.

Химический состав водной вытяжки техногенного осадка, накопившегося в Рахматульском водоеме (14.11.02)

Содержание компонентов, мг/кг												Минерализация, мг/кг	*pH*
HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
н.о. *	5368	83	н.о.	н.о.	150	91	113	14	2094	251	30	8197	2,9

Примечание:
* Компонент химическим анализом не обнаружен.

Таблица 3.21.

Микроэлементный состав техногенного осадка, накопившегося в Рахматульском водоеме (14.11.02)

Номер пробы	Содержание компонентов, мг/кг																			
	Ni	*Co*	*Cr*	*Mn*	*V*	*Ti*	*Sc*	*Cu*	*Zn*	*Pb*	*Ag*	*Mo*	*Ba*	*Sr*	*Be*	*Zr*	*Ga*	*Y*	*Yb*	*Nb*
Валовое содержание																				
25	30	9	150	100	150	7000	1,5	100	100	30	0,2	2	300	150	10	300	20	60	6	30
ПДК валового содержания в почвах	50	50	100	1500	150	–	–	55	100	32	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Подвижные формы																				
25	0,81	0,81	0,08	27,1	0,03	0,3	0,02	27,1	27,1	0,04	н.о.*	0,005	0,8	0,8	0,108	0,14	0,01	0,4	0,04	0,03

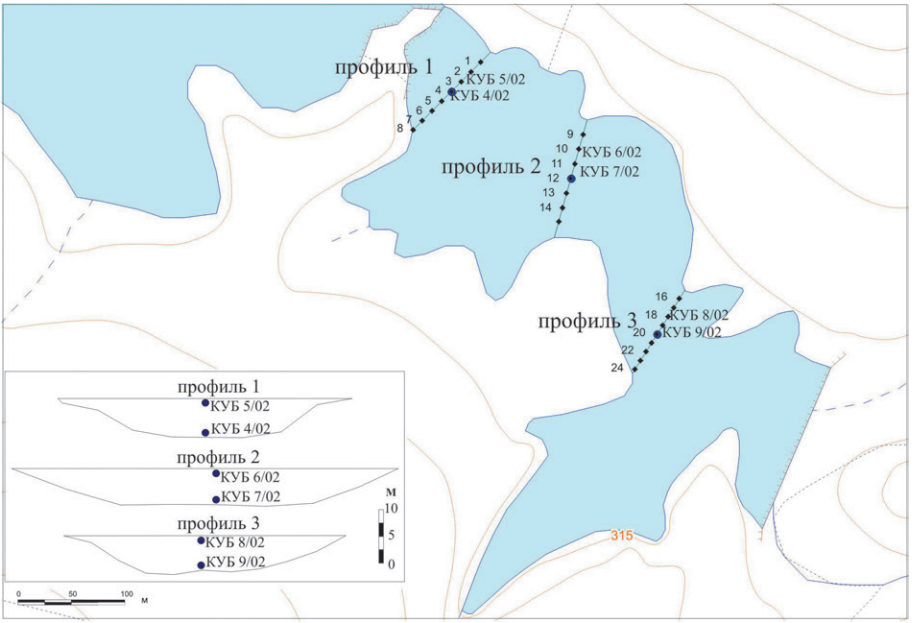
Примечание:
* Элемент спектральным анализом не обнаружен.
Ge, As, Sb, Cd, Bi, W, La, Li – не обнаружены.

Содержание бериллия, кобальта, никеля, цинка в изливах также превышает $ПДК_{хп}$ в десятки раз.

Наибольший вклад в загрязнение реки вносит излив шурфа № 17: его объемы достигают 3640 тыс. м³/год. С водами шурфа № 17 в реку за год поступает 1420 тонн железа, 34 тонны алюминия, 22 тонны марганца, одна тонна цинка и другие химические элементы (рис. 3.59, 3.60). Минимальные объемы отмечены у шурфа № 56–62 – 43 тыс. м³/год.

Суммарный объем шахтных вод, поступающих в Рахматульский водоем, составляет 4586 тыс. м³/год. Количество железа, растворенного в водах изливов, достигает в год 1500 тонн, алюминия – 47 тонн, марганца – 23 тонны, также на поверхность ежегодно поступают тысячи килограммов кобальта, лития, никеля и цинка, сотни килограммов свинца и бериллия (табл. 3.22).

Во время весеннего снеготаяния и обильных дождей, в Рахматульский водоем поступают стоки с породных отвалов шахт «Гореловская» и им. 40 лет Октября. Данные рентгеноструктурного анализа показывают, что в минераль-



Условные обозначения

КУБ 7/02 проба воды и ее номер

7 точка промера глубин и ее номер

Рисунок 3.57.

Распределение глубин по профилям в Рахматульском водоеме

ном составе грунтов отвала шахты им. 40 лет Октября в большом количестве присутствуют серосодержащие минералы – ярозит (5%), качественно обнаружены водные сульфаты железа и алюминия – галлотрихит, алуноген, пиккерингит, гипс, пирит (табл. 3.23). По данным 1990–1992 гг., химический состав водной вытяжки грунтов сульфатно-железистый, отмечены высокое содержание алюминия (111 мг/кг), сильнокислая реакция среды (*pH* 3,09), высокая минерализация (7870 мг/кг). Многолетнее складирование пород шахты привело к формированию загрязненной зоны вокруг отвала площадью 20 га. Грунты здесь имеют кислую реакцию водной вытяжки, а также повышенное содержание загрязняющих компонентов, по сравнению с фоновыми значениями (табл. 3.24).

По данным мониторинга, стоки с отвала шахты им. 40 лет Октября характеризуются как сульфатно-кальциево-железистые, кислой реакцией среды (*pH* 2,7) и величиной сухого остатка до 4995 мг/л. Содержание железа достигает 44 500 $ПДК_{хп}$, алюминия – 3037, марганца – 1187. Содержание бериллия, кобальта, лития, никеля превышает $ПДК_{хп}$ в десятки раз, содержание цинка – в сотни.

На правом борту лога находится породный отвал шахты «Гореловская», стоки с которого поступают в Рахматульский водоем. Они характеризуются

Рисунок 3.58.
Рахматульский водоем

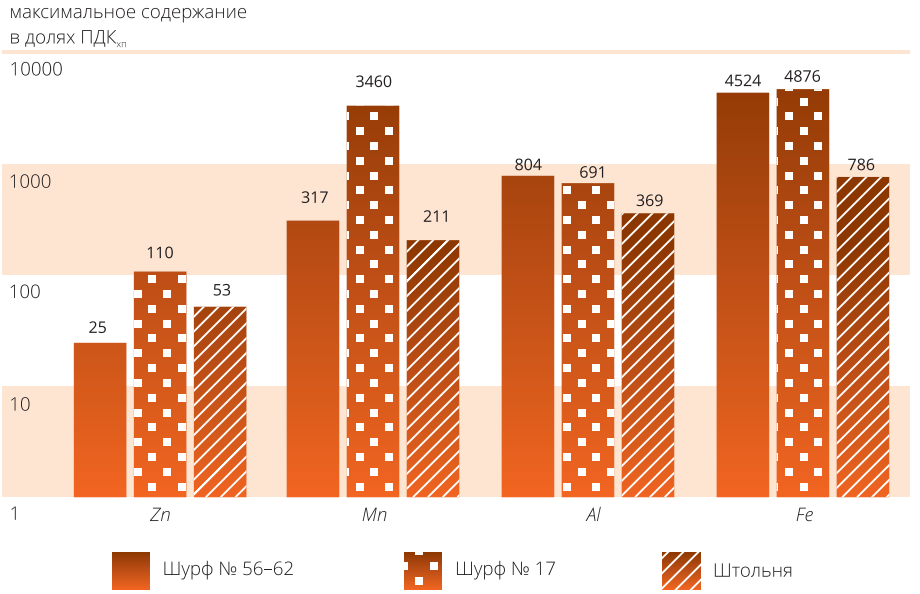


Рисунок 3.59.

Максимальные концентрации элементов в изливах вод в районе шахты им. 40 лет Октября

кислой реакцией среды (*pH* 2,9), величина сухого остатка достигает 3845 мг/л. Содержание железа в стоках ниже, по сравнению с отвалом шахты им. 40 лет Октября, и превышает ПДК$_{хп}$ в 629 раз, тогда как концентрация алюминия значительно выше и превышает ПДК$_{хп}$ в 5620 раз. Содержание лития, бериллия, кобальта, никеля составляет десятки ПДК$_{хп}$, марганца и цинка – сотни.

В 1,2 км выше устья лога находится отвал шахты «Новая», стоки с которого поступают в р. Ладейный Лог. По данным исследований 1990–1991 гг., рентгеноструктурным анализом в его грунтах было обнаружено высокое содержание пирита, ярозита и гипса. Данные химического анализа водной вытяжки из грунтов отвала показывают, что они обладают сильнокислой реакцией среды (*pH* 3,5), содержание в них солей составляет 20 700 мг/кг. Концентрация общего железа достигает 337 мг/кг, что превышает ПДК$_{хп}$ в 3370 раз, концентрация алюминия составляет 48 325 ПДК$_{хп}$. По данным 2000–2013 гг., стоки с отвала имеют сульфатно-натриево-алюминиевый состав, сильнокислую реакцию среды (*pH* 2,8), высокое содержание железа (452 ПДК$_{хп}$), алюминия (2043 ПДК$_{хп}$) (рис. 3.61).

В результате сброса шахтных вод существенно изменился гидрохимический режим р. Ладейный Лог. По данным химических анализов, проведенных в

1992 г., естественный состав воды в реке гидрокарбонатно-кальциевый, с минерализацией 95 мг/л, реакция среды слабощелочная (*pH* 7,8), содержание железа не превышает 0,2 мг/л.

На участке излива шахтных вод в Рахматульский водоем, минерализация увеличивается до значений 640 мг/л. Состав воды становится сульфатно-железисто-кальциевым, содержание железа и алюминия в сотни раз превышает $ПДК_{рх}$. Водородный показатель соответствует сильнокислой среде (*pH* 2,9). В месте перелива вод Рахматульского водоема через дамбу и в воронке, поглощающей эти воды, минерализация снижается до 522 мг/л, вода остается сильнокислой (*pH* 3), сульфатно-кальциево-железистой. Концентрация железа снижается, но по-прежнему превышает $ПДК_{рх}$ в сотни раз.

На участке лога ниже карстовой воронки, поглощающей кислую воду, вода в ручьях характеризуется как ультрапресная, с минерализацией 47–64 мг/л. Водородный показатель находится в пределах 5,0–6,3.

Опробование источника в месте разгрузки шахтных вод в р. Косьву показывает, что процесс нейтрализации при контакте кислой воды с карбонатными

Рисунок 3.60.

Отвод кислых вод, изливающихся из шурфа № 17 шахты им. 40 лет Октября

Таблица 3.22.

Химический состав вод р. Ладейный Лог с изливами шахты им. 40 лет Октября

Место отбора	Шурф № 56–62, т/год	Шурф № 17, т/год	Штольня шахты, т/год	Итого по водосбору, т/год
Сухой остаток	73	6993	680	7746
SO_4	20	3221	432	3673
Cl	0,8	90	19,7	110,5
$NH_4+NO_2+NO_3$	0,02	3,7	0,3	3,9
Ca	2,6	500	31,8	534,4
Mg	0,7	150	8,8	159,5
K	0,4	51	1,8	53,2
Na	0,2	24	1,1	25,3
Al	0,03	34	13	47
Fe	7	1420	73	1500,4
Mn	0,094	22	1,76	23,85
Be	0,00003	0,021	0,006	0,03
Cd	0,00001	0,002	0,0003	0,002
Co	0,001	0,6	0,099	0,7
Li	0,002	0,52	0,078	0,6
Ni	0,002	0,76	0,13	0,9
Zn	0,002	1,28	0,41	1,7
Pb	0,0002	0,0002	0,002	0,002

Таблица 3.23.

Минеральный состав грунтов отвала шахты им. 40 лет Октября (1992 г.)

№ пробы	Минеральный состав, %						
	Ярозит	Гипс	Пирит	Гематит	Иллит	Каолинит	Кварц
903	11,4	–	–	–	7,1	13,0	–
904	3,6	0,4	–	12,8	0,1	–	76,3
906	4,5	–	14,5	–	0,3	6,9	68,2

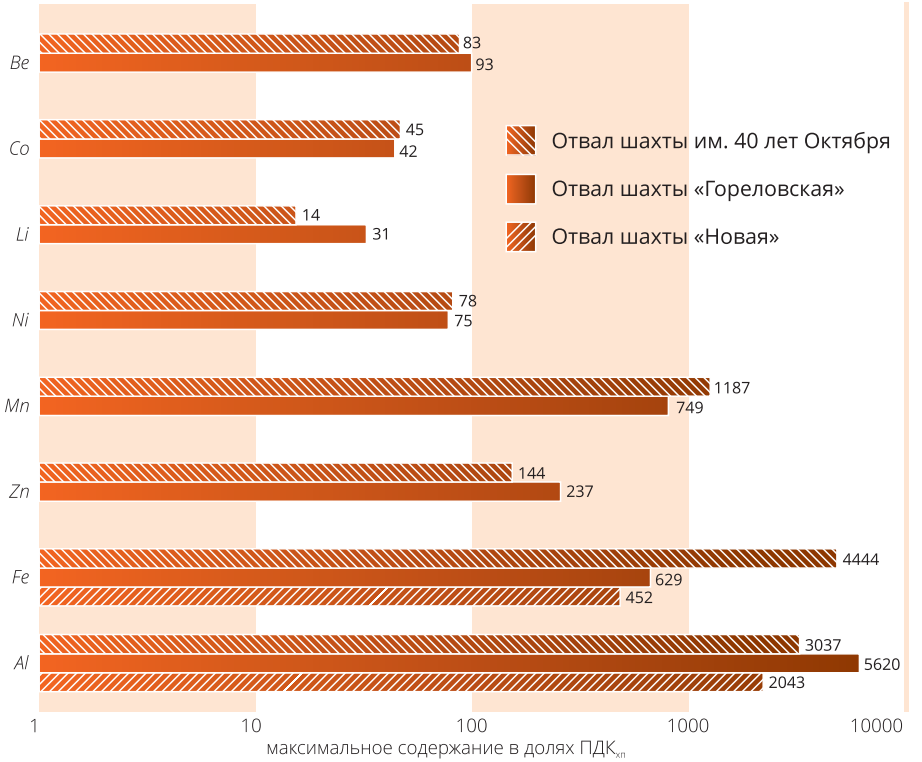


Рисунок 3.61.

Максимальные концентрации элементов в стоках с отвалов, в долях ПДК$_{хп}$ (2000–2013 гг.)

породами идет медленно, скорее всего, из-за покрытия поверхности карбонатов гидроокислами железа. Вода имеет сульфатно-натриево-калиевый состав, сильнокислую реакцию среды (*pH* 3,8). Минерализация составляет 2517 мг/л, а концентрация железа в 50 раз превышает ПДК$_{рх}$.

В период разработки месторождения в р. Ладейный Лог осуществлялся водоотлив, что обусловило формирование донных отложений, загрязненных компонентами, характерными для шахтных вод. На участке сброса шахтных вод в 1992 г. прослеживалось существенное загрязнение отложений прирусловой зоны. Содержание солей здесь составляло 4681 мг/кг, алюминия – 11 мг/кг, железа – 347 мг/кг, аммония – 38 мг/кг, *pH* составлял 2,93. В связи с поступлением стоков с отвала шахты «Новая», отмечено закисление отложений (*pH* 3,05) и резкое возрастание характерных для шахтных вод компонентов (алюминий, железо, сульфаты) (табл. 3. 25).

Таблица 3.24.

Химический состав водной вытяжки грунтов отвала шахты им. 40 лет Октября (1990–1992 гг.)

Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг										Минерализация, **мг/кг**	*pH*
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	$NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
Отвал	6,8	5755	37	8,3	407	8	516	308	714	111	7870	3,09
Зона влияния отвала	20	405	16	12,25	50	9,5	33,5	н.о	2	22	559,5	3,56
Фон	268	70	21	26	22	13	92	н.о	11	н.о.	522	6,15

Таблица 3.25.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Ладейный Лог (май–июнь 1992 г.)

Расстояние от точки сброса, км	Содержание компонентов, мг/кг											Сумма водорастворимых солей, **мг/кг**	*pH*
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	$Fe_{общ}$	Al^{3+}		
0,7	0	3345	254	0	1,0	178	118	389	38	347	11	4681	2,93
3,0	0	2488	321	0	1,0	146	29	161	2	191	23	3362	2,85
4,4	43	812	20	0	0,4	183	10	52	1	17	3	1185	4,00
6,5	226	113	44	13	0,5	31	10	102	0	2	14	571	6,52
13,9	0	1804	144	0	1,0	72	132	401	3	55	6	2627	3,05
14,6	0	523	59	11	0,3	76	38	102	0	2	9	830	3,85
15,6	268	70	21	23	1,0	22	13	92	0	11	2	522	6,15

Исследования донных отложений р. Ладейный Лог, проведенные в 2001 г., подтвердили загрязнение донных отложений, которое неравномерно распространяется по длине реки. В верховье, выше по течению от источников загрязнения (фоновая точка), донные отложения сложены преимущественно кварцем и полевыми шпатами (табл. 3.26); состав водной вытяжки гидрокарбонатный натриево-кальциевый с содержанием водорастворимых солей 515 мг/кг, водородный показатель нейтральный (7,2), подвижных форм железа и алюминия не обнаружено (табл. 3.27).

Донные отложения р. Ладейный Лог, ниже Рахматульского водоема, в месте поглощения поверхностного стока карстовой воронкой, представле-

Таблица 3.26.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений р. Ладейный Лог

№ пробы	Минеральный состав, %								
	Кварц	Плагио-клаз	КПШ	Иллит + гидросл.	Хлорит	Каолинит	Смектит	Гетит	РАВ
17	70	12	6	–	–	<1	2	1	8
16	68	17	6	1	1	<1	4	3	–
25	30	12	4	2	1	2	2	3	44

Таблица 3.27.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Ладейный Лог (август 2001 г.)

№ пробы	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водорастворимых солей	pH
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
17	Фон	274,6	72,1	31,90	7,45	0,20	45,1	27,4	48,3	7,5	н.о.	н.о.	н.о.	514,4	7,19
16	Участок поглощения карстовой воронкой	39,7	312,2	17,8	12,4	0,15	78,2	31,6	19,6	12,7	н.о.	н.о.	0,65	524,9	4,65
25	Устье, разгрузка из карстового источника	н.о.	878,9	42,6	12,7	0,10	204,4	49,2	54,0	2,9	н.о.	0,3	18,3	1264,3	4,03

ны кварцем, полевыми шпатами и глинистыми минералами, присутствует гетит (3%) (табл. 3.26). Реакция среды – слабокислая (*pH* 4,65), содержание алюминия – 0,65 мг/кг (табл. 3.27).

Донные отложения, в месте выхода р. Ладейный Лог на поверхность, содержат значительное количество рентгеноаморфных гидроксидов железа и алюминия (44%), которые отличает ржавый цвет; присутствует гетит (до 3%) (табл. 3.26). Содержание водорастворимых солей составляет 1,26 г/кг, что в 2,5 раза выше фонового. Вытяжка имеет сульфатно-кальциевый состав, водородный показатель низкий (4,03). Содержание алюминия составляет 18,3 мг/кг, что в 28 раз больше, чем в месте поглощения стока карстовой воронкой (табл. 3.27).

Таким образом, карстовый суходол Ладейный Лог подвергается существенной трансформации в результате угледобычи в этом районе. Продолжение излива кислых шахтных вод приведет к заполнению воронок и каналов на дне лога, образованию техногенных водоемов и уничтожению уникального карстового ландшафта, включая пещеры, и деградации особо охраняемой природной территории (рис. 3.62).

Рисунок 3.62.
Гибель леса в районе шахты им. 40 лет Октября (фото В. Лягушкина)

3.4. Бассейн реки Чусовой

3.4.1. Краткая физико-географическая характеристика

Река Чусовая – крупный левобережный приток р. Камы, впадающий в нее в 18 км от г. Перми. Она берет свое начало от слияния двух рек – Полдневной и Западной Чусовой, на восточном склоне Уральского хребта, протекая по территории Челябинской, Свердловской областей и Пермского края. Длина реки – 592 км [79]. Большая часть бассейна р. Чусовой расположена вне влияния Кизеловского угольного бассейна; Гремячинское и Скальнинское месторождения приурочены к его нижней части (рис. 3.1).

Основные гидрографические характеристики р. Чусовой и ее притоков, на которые оказывают влияние закрытые шахты КУБа, приведены в таблице 3.28.

Характерные значения стока, за многолетний период (1882–1955 гг.), наблюденные на гидрологическом посту д. Нижние Шалыги, составляют: средний многолетний расход – 226 м^3/с, максимальный расход – 389 м^3/с, минимальный расход – 113 м^3/с [126]. На р. Чусовой расположен ряд населенных пунктов, наиболее крупные из них – г. Ревда, г. Первоуральск, г. Чусовой.

3.4.2. Оценка экологического состояния

На водосборе р. Чусовой и ее притоках основными источниками загрязнения поверхностных вод являются изливы шахтных вод, загрязненные родни-

Таблица 3.28.

Основные гидрографические характеристики р. Чусовой и ее притоков

Характеристики	Река						
	Чусовая	Усьва	Южная Вильва	Глухая	Половинка	Большая Гремячая	Рудянка
Длина водотока, км	592	266	170	13,3	6,8	17	3,6
Площадь водосбора, км^2	23000	6170	3020	67,6	14,6	51,8	–
Средняя высота водосбора, м	356	46	391	301	319	340,6	–
Средний уклон водосбора, град.	–	–	–	3,7	2,7	4,7	–
Заболоченность, %	0	0	0	0	0	0	–
Лесистость, %	88	83	92	90,6	84	72,35	–
Озерность, %	0	0	0	0	0	0	–
Закарстованность, %	–	–	–	77,7	79,15	74,83	–

ки и стоки с породных отвалов. В бассейне реки расположены: 3 излива шахтных вод, 5 породных отвалов и 4 загрязненных родника, за которыми ведутся наблюдения (рис. 3.63). Пункты наблюдения за поверхностными водными объектами показаны на рисунке 3.65.

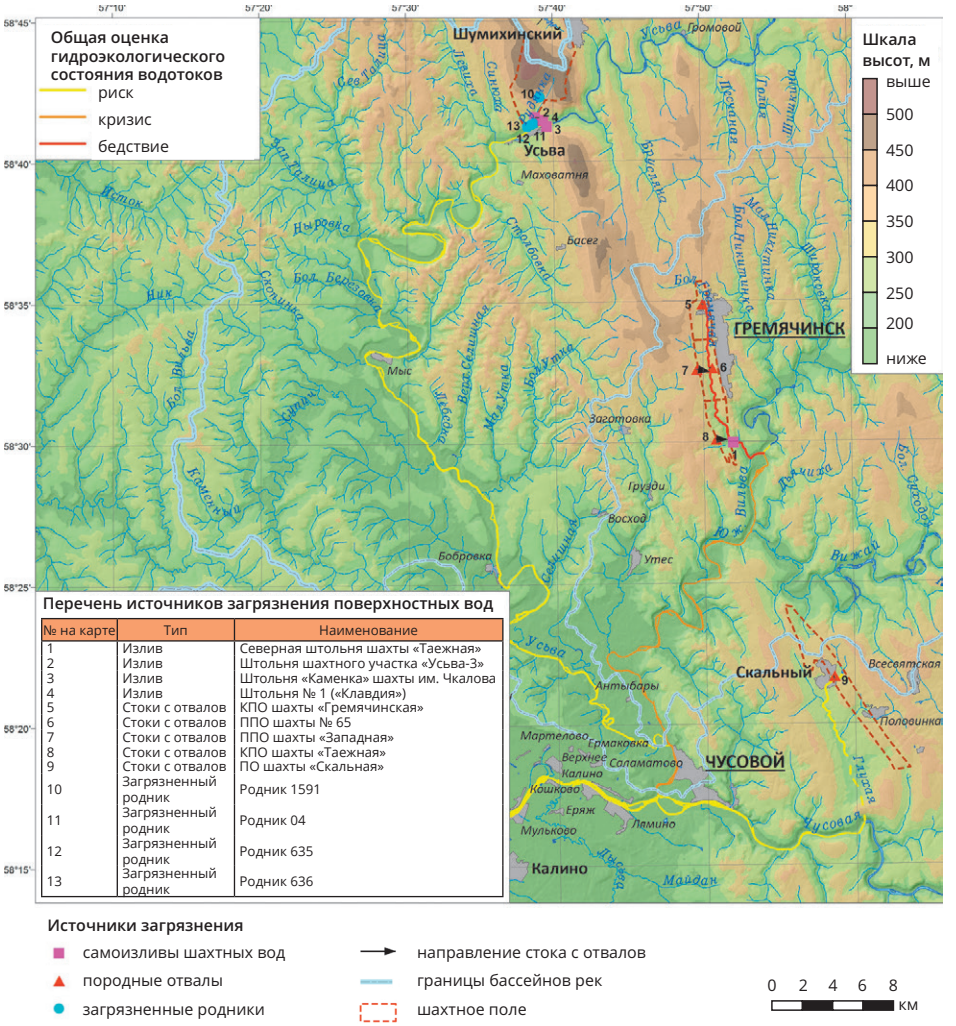


Рисунок 3.63.

Источники загрязнения поверхностных вод бассейна р. Чусовой

По результатам расчета УК ИЗВ за 2013 г., по 14 компонентам степень загрязненности воды в анализируемых створах колебалась от грязной (4-й класс) до слабо загрязненной (2-й класс).

На рисунке 3.64 приведены максимальные превышения $ПДК_{рх}$ в пунктах наблюдения. Наибольшие значения отмечаются на р. Бол. Гремячая, ниже излива вод шахты «Таежная»: $Fe_{общ}$ – 8018, *Al* – 1236, *Mn* – 706; минимальное, зафиксированное в этом створе, значение водородного показателя – 2,8. Основная часть загрязняющих веществ поступает с водосборов малых рек: Бол. Гремячая, Рудянка, Половинка, Глухая.

Река Усьва. Негативное влияние КУБа на качество воды в р. Усьве наблюдается на двух участках. Первый расположен в районе изливов вод шахт им. Чкалова и «Усьва-3» загрязненного правого притока – р. Рудянки и родников, второй – расположен вниз по течению, при впадении р. Юж. Вильва, в 4 км от устья (рис. 3.66).

Вода р. Усьвы, выше участков поступления загрязняющих веществ, соответствует нормативам практически по всем компонентам. Ниже по течению от

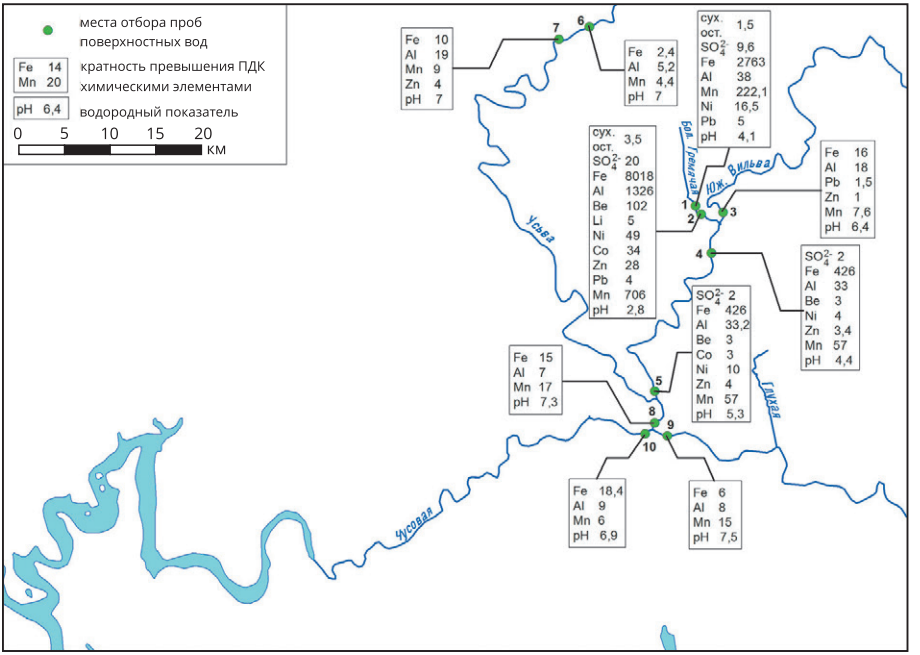
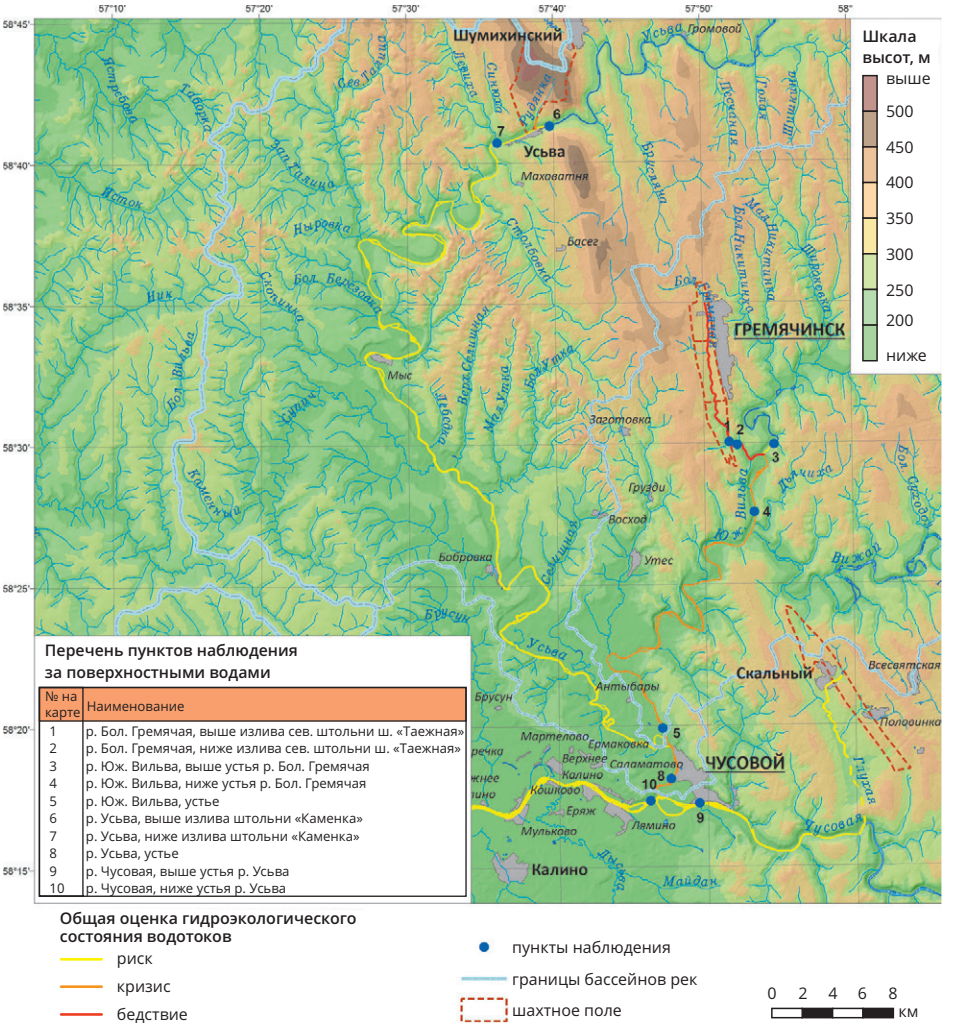


Рисунок 3.64.

Схема гидрохимического опробования рек бассейна р. Чусовой после закрытия шахт и максимальные превышения $ПДК_{рх}$ (2006–2013 гг.)



Перечень пунктов наблюдения за поверхностными водами

№ на карте	Наименование
1	р. Бол. Гремячая, выше излива сев. штольни ш. «Таежная»
2	р. Бол. Гремячая, ниже излива сев. штольни ш. «Таежная»
3	р. Юж. Вильва, выше устья р. Бол. Гремячая
4	р. Юж. Вильва, ниже устья р. Бол. Гремячая
5	р. Юж. Вильва, устье
6	р. Усьва, выше излива штольни «Каменка»
7	р. Усьва, ниже излива штольни «Каменка»
8	р. Усьва, устье
9	р. Чусовая, выше устья р. Усьва
10	р. Чусовая, ниже устья р. Усьва

Общая оценка гидроэкологического состояния водотоков

- риск
- кризис
- бедствие

- пункты наблюдения
- границы бассейнов рек
- шахтное поле

0 2 4 6 8 км

Рисунок 3.65.

Пункты наблюдения за поверхностными водами в бассейне р. Чусовой

первого участка качество воды резко ухудшается: содержание железа возрастает до 56 ПДК$_{рх}$, алюминия – до 135 ПДК$_{рх}$. Перед впадением в р. Чусовую, вода р. Усьвы превышает нормативы по содержание железа до 28 ПДК$_{рх}$, алюминия – до 25 ПДК$_{рх}$, повышаются концентрации лития, марганца, меди и цинка [81].

Река Рудянка относится к очень малым водотокам. Состав вод в истоке соответствует нормативным значениям по всем показателям, за исключением

Рисунок 3.66.
Река Усьва ниже изливов вод шахт им. Чкалова и «Усьва-3» (фото В. Лягушкина)

pH 4,0–5,8, что связано, вероятно, с естественными факторами – исток реки заболочен. В результате поступления кислых шахтных вод, состав реки претерпевает существенные изменения, приближаясь к составу шахтных вод: *pH* снижается до 2,8–3,0, содержание железа увеличивается до 5800 ПДК$_{рх}$, алюминия – до 500 ПДК$_{рх}$. Шахтные воды составляют до 70% от стока р. Рудянки.

Средний суммарный расход изливов шахтных вод составляет 83,4 м^3/час, наибольший расход наблюдается из штольни шахты «Усьва-3» (табл. 3.29, рис. 3.67, 3.68).

Расход воды в изливах шахтных вод подвержен значительным сезонным колебаниям (рис. 3.69.) – в весеннее половодье происходит его увеличение, в межень – уменьшение.

Шахтные воды штольни шахты «Усьва-3» и шахты им. Чкалова близки по составу, минерализация шахтных вод и содержание сульфатов невысоко. Водородный показатель изменяется от 2,5 до 4,3. Максимальные превышения отмечаются по содержанию железа, алюминия, бериллия и других микроэлементов (рис. 3.70).

В среднем за год в р. Усьву с изливами шахтных вод поступает 276,2 т сульфатов, 63,8 т железа, 18 т алюминия.

Рисунок 3.67.
Впадение излива шахты «Усьва-3» в р. Рудянку

В пределах рассматриваемого водосбора периодически изливаются воды штольни № 1 – объемом до 200 м³/час. Несмотря на непродолжительный период излива, за полмесяца в р. Усьву поступает 14 т железа и 5 т алюминия [81].

На берегу р. Рудянки расположен породный отвал шахты «Усьва-3» (рис. 3.71).

Отсутствие регулярных наблюдений за стоком с отвала не позволяет составить полную характеристику этого источника загрязнения. Разовое

Таблица 3.29.
Расход изливов шахтных вод на территории водосбора р. Усьвы и р. Рудянки

Место излива шахтной воды	Средний расход, м³/час	Максимальный расход, м³/час	Минимальный расход, м³/час
Штольня шахты «Усьва-3»	71,9	270,0	4,0
Штольня «Каменка» шахты им. Чкалова	11,5	33,0	0,01
Итого по бассейну р. Усьва	83,4	303,0	4,01

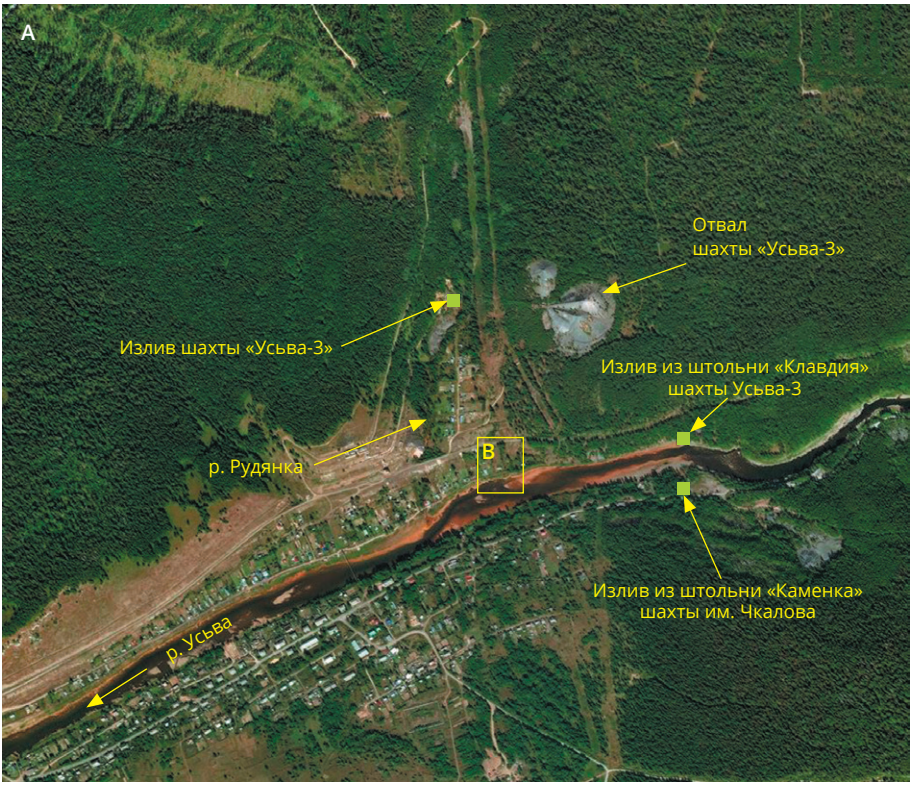


Рисунок 3.68.

Излив шахты «Усьва-3»

А – район излива, Б – р. Рудянка, В – впадение р. Рудянки в р. Усьву

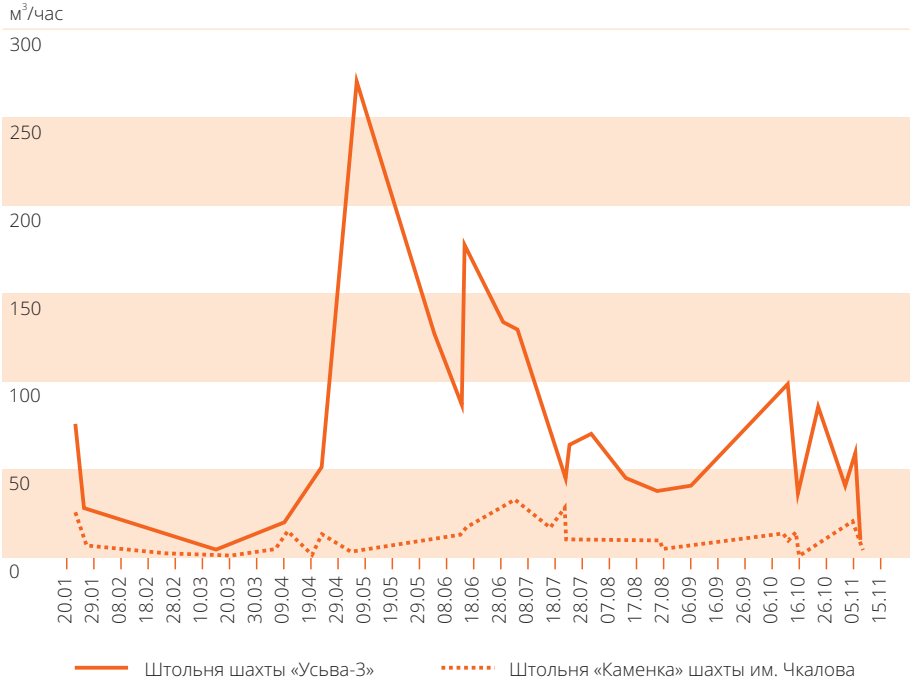


Рисунок 3.69.

Сезонное изменение расходов изливов шахтных вод на водосборе р. Усьвы

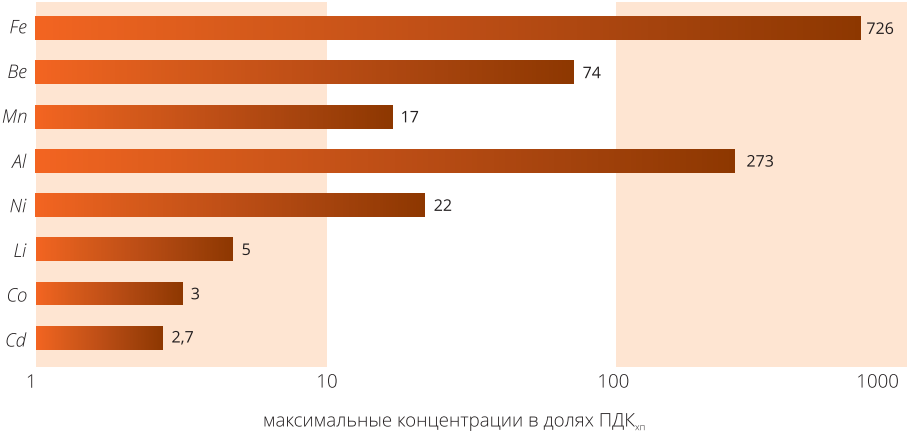


Рисунок 3.70.

Максимальные концентрации микроэлементов в воде шахтных изливов в пределах бассейна р. Усьвы

обследование (июль 2007 г.) показало, что стекающие воды отличает невысокая минерализация, сульфатный состав, кислая реакция среды (*pH* 3,98), большое количество алюминия – 294,6 $ПДК_{хп}$, повышенное содержание марганца – 17,2 $ПДК_{хп}$ и железа – 2,3 $ПДК_{хп}$.

В пределах водосбора р. Усьвы ведутся наблюдения за загрязненными родниками (табл. 3.30).

Наиболее высокодебитным является родник ***1591*** (в среднем 9,3 м³/час). Усредненное, за период наблюдений, содержание загрязняющих веществ в нем в большинстве случаев не превышает $ПДК_{хп}$.

Дебит родника ***04*** невысок – в среднем 1,9 м³/час. Однако состав разгружающихся вод принципиально отличается от других исследованных родников. Воды родника 04, как и излив шахты «Усьва-3», отличаются невысокой минерализацией (в среднем 447,3 мг/дм³) и относительно малым содержанием сульфатов (в среднем 238,5 мг/дм³), значение водородного показателя варьирует-ся от 3,8 до 4,4, содержание алюминия изменяется от 18,5 $ПДК_{хп}$ до 248 $ПДК_{хп}$. Количество остальных компонентов невысоко: содержание железа в среднем равно 0,14 мг/м³ (в пределах $ПДК_{хп}$), марганца –14,4 $ПДК_{хп}$, лития – 14,3 $ПДК_{хп}$, бериллия – 21 $ПДК_{хп}$. Результаты наблюдений за составом загрязненных вод родника 04, в течение рассматриваемого периода, показывают снижение концентраций загрязняющих веществ.

В пределах участка шахты им. Чкалова ведутся наблюдения за родником ***636***, также имеются некоторые сведения о дебите и составе вод родника ***635*** (рис. 3.63). Минерализация и содержание сульфатов в них невысоки, содержание алюминия – до 1,8 $ПДК_{хп}$, концентрации остальных контролируемых компонентов либо изменяются в пределах нормативных значений, либо несущественно отличаются от них.

Таблица 3.30.

Основные характеристики родников в бассейне р. Усьвы (в том числе р. Рудянки)

Номер родника	Дебит, м³/час			Средние значения				
	сред-нее	макси-мум	мини-мум	*pH*	Сухой остаток	*Fe*, мг/дм³	*Al*, мг/дм³	*Mn*, мг/дм³
1591	9,3	19,0	2,0	5,71	73,8	0,11	0,31	0,04
04	1,9	4,0	0,05	3,98	447,3	0,14	27,7	1,44
636	6,5	30,0	1,0	7,62	192,6	0,06	0,073	0,0039
635	5,9	16,0	1,5	5,73	68,7	0,14	0,18	0,013

Рисунок 3.71.

Отвал шахты «Усьва-3» на берегу р. Рудянки
А – породный отвал, Б – р. Рудянка

Наблюдения за составом поверхностных вод рассматриваемого бассейна выполняются в створах, расположенных на р. Усьве: выше и ниже источников загрязнения (изливы из штольни «Каменка» шахты им. Чкалова и устья р. Рудянки) и в устьевой части (рис. 3.72).

Створ, расположенный в устьевой части р. Усьвы, контролирует влияние источников загрязнения, расположенных на водосборе р. Юж. Вильва. Качество вод реки в данном створе характеризуется по УК ИЗВ как грязная, и относится к 3-му классу (рис. 3.64).

В составе вод р. Усьвы, за счет постоянно действующих источников загрязнения, в течение периода 2006–2013 гг. содержание железа, алюминия и марганца было стабильно выше $ПДК_{рх}$.

Река Южная Вильва является левым притоком р. Усьвы. На водосборе ее правого притока, р. Бол. Гремячая, расположено несколько источников загрязнения – породные отвалы и излив вод шахты «Таежная». До сброса шахтных вод река являлась карстовым суходолом, имела участки с подземным течением [81]. Шахтные воды способствовали заполнению подземных полостей суходола тех-

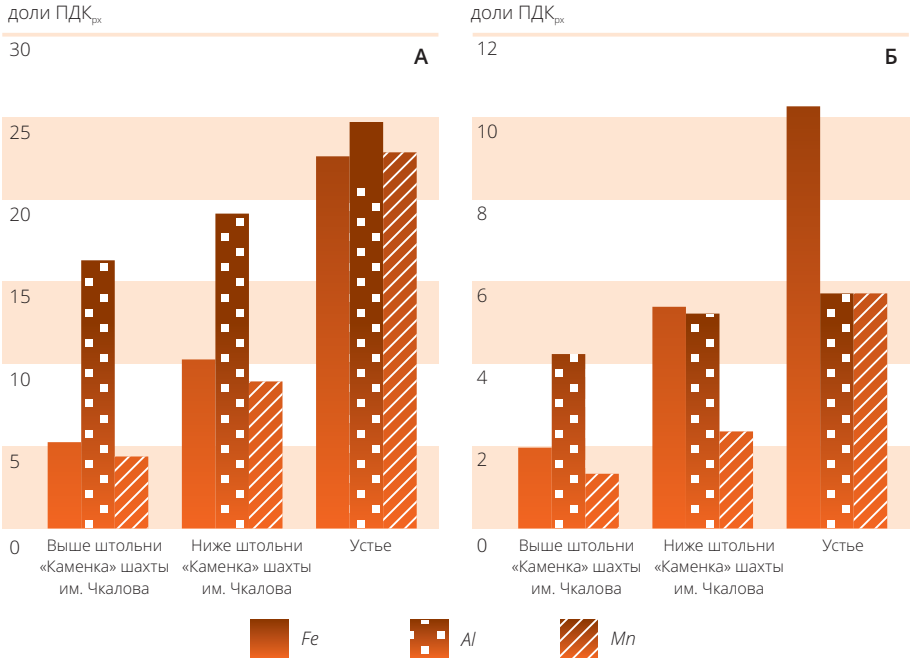


Рисунок 3.72.

Изменение концентраций характерных загрязнителей в составе вод р. Усьвы
А – максимальные концентрации, Б – средние концентрации

ногенным осадком и существенно увеличивали поверхностный сток, который прослеживался до устья. После начала излива вод шахты «Таежная» в 1999 г., в устьевой части реки показатель *pH* снизился до 2,7–3,0, содержание железа возросло до 2060 $ПДК_{хп}$, алюминия – до 410 $ПДК_{хп}$. В месте излива образовался небольшой водоем, из которого шахтная вода переливается в р. Бол. Гремячая.

Состав вод р. Юж. Вильва, выше зоны влияния излива шахтных вод, отличается малой минерализацией (50–80 мг/дм^3), нейтральной средой (*pH* 6,9–7,0), небольшим превышением содержания железа и алюминия. После впадения р. Бол. Гремячая ситуация резко ухудшается. Более подробно экологическое состояние р. Юж. Вильва рассмотрено в разделе 3.4.4.

Реки Глухая и Половинка. Река Глухая берет начало в окрестностях п. Скальный, через 6 км поглощается карстовой воронкой, и на протяжении 5,5 км представляет собой суходол. Разгрузка вод происходит в виде восходящего источника (воклюза) Голубое озеро, которое является гидрогеологическим памятником природы Пермского края [26, 32, 132]. Голубое озеро располагается на территории ландшафтного памятника природы регионального значения Глухие Камни. Свое название воклюз получил за цвет воды с голубым оттенком в период летней межени. Котловина озера представляет собой устьевую воронку, разработанную коррозией восходящего источника, питающегося из подводной пещеры, в зоне вертикальной разгрузки карстовых вод (рис. 3.73) [26, 54].

Исследование подводной части озера началось в 1979 г., когда С. С. Евдокимов погрузился до глубины 23 м. Позднее, в июне 1987 г., он же достиг глубины 56 м (рекордной, среди подобных погружений, для СССР в то время) [45]. В 2017 г. Голубое озеро исследовала команда Владимира Федорова – удалось достигнуть дна и установить новую глубину: 88 м. Температура воды в поверхностном слое озера 6–7°С, на глубине 6–8 м – 5,5°С. В химическом составе воды озера преобладают ионы-гидрокарбонаты (36–73 мг/дм^3), сульфаты (36–53 мг/дм^3) и кальций (18–32 мг/дм^3). Общая минерализация изменяется от 142 до 166 мг/дм^3. Кроме того, Голубое озеро исключительно интересно по своим биологическим характеристикам: здесь сформировался уникальный биоценоз, благодаря чему оно не имеет аналогов на Западном Урале.

В пределах водосборов малых рек Глухой и Половинки разрабатывалось месторождение Скальнинское – шахтой «Скальная». Породный отвал шахты в настоящее время является единственным источником загрязнения поверхностных вод.

В период работы шахты «Скальная» в р. Глухую осуществлялся сброс шахтных вод, что негативно отражалось на качестве вод в реке. Они характеризовались кислой реакцией среды (*pH* 3,0), повышенной минерализацией (1900 мг/дм^3), высоким содержанием железа (до 2400 $ПДК_{рх}$), алюминия (1625 $ПДК_{рх}$) и ряда микроэлементов [26].

Рисунок 3.73.

Голубое озеро. А – зимний вид на воклюз, Б – схема возникновения Голубого озера

После закрытия шахты качество вод р. Глухой заметно улучшилось. В 2000-е гг. на участке бывшего водосброса шахтных вод реакция среды стала нейтральной (*pH* 6,25–7,5), нормализовался сухой остаток (290 мг/дм^3), заметно уменьшилось количество железа (до 100 ПДК$_{рх}$) и алюминия (до 105 ПДК$_{рх}$).

По некоторым данным, прогнозируется излив вод шахты «Скальная» в районе р. Половинки. В случае его возникновения, качество воды в р. Глухой ухудшится. Излив шахтных вод приведет к выпадению железистого осадка и загрязнению донных отложений. Накопление осадка в карстовых полостях может вызвать появление поверхностного стока р. Глухой, в районе загрязнения окажутся такие памятники природы, как Глухие Камни и Голубое озеро.

Величина расходов стоков с комбинированного отвала шахты «Скальная» (рис. 3.74) в период 2007–2013 гг. была небольшой – 0,01–0,8 м^3/час, при среднем значении 0,18 м^3/час. Их состав отличался очень кислой реакцией среды и высоким содержанием загрязняющих компонентов.

В течение рассматриваемого периода водородный показатель стоков с породного отвала был около 2,5. Содержание железа изменялось в пределах 53–2850 ПДК$_{хп}$, алюминия – 95–1595 ПДК$_{хп}$, марганца – 18–43 ПДК$_{хп}$, бериллия – 27,5–165 ПДК$_{хп}$, сухой остаток составлял 3114–7576 мг/дм^3. Кроме того, в стекающих с отвалов водах много сульфатов, никеля, лития, кадмия и др. Отсутствие регулярных наблюдений за составом вод рек Глухой и Половинки не позволяет оценить их влияние на качество вод р. Чусовой.

Река Чусовая. Наибольшее негативное влияние оказывают стоки с породных отвалов и излив, которые находятся на водосборе р. Бол. Гремячая.

Рисунок 3.74.
Отвал шахты «Скальная»
А – породный отвал; Б, В – стоки с отвала

Загрязняющие вещества, несмотря на разбавление водами чистых притоков, мигрируют вниз по течению и достигают р. Чусовой (рис. 3.75). Гидрохимический профиль демонстрирует воздействие излива шахты «Таежная» и пространственное распространение загрязняющих веществ на расстояние более 50 км от верховья р. Бол. Гремячая до р. Чусовой – ниже устья р. Усьвы. Пик резкого увеличения концентраций железа, алюминия, марганца и др. приходится на участок впадения р. Бол. Гремячая.

Ниже впадения р. Усьвы, содержание железа, алюминия, свинца, цинка, в русле р. Чусовой периодически имеет значения выше $ПДК_{рх}$.

Наиболее заметно это воздействие выражается в увеличении концентрации железа, среднее значение которого возрастает в 3,6 раза (рис. 3.76).

Изменение содержания в р. Чусовой железа, за период наблюдений 2006–2013 гг., показано на рисунке 3.77.

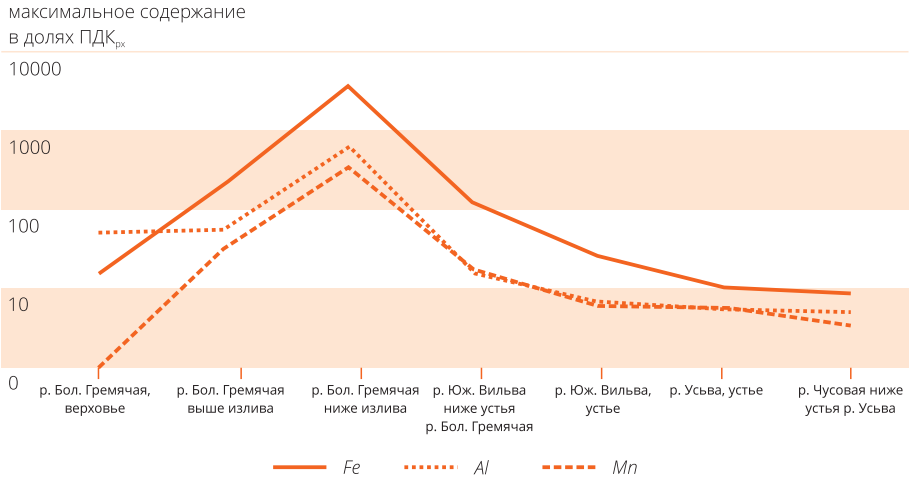


Рисунок 3.75.

Гидрохимический профиль содержания основных загрязнителей от верховья р. Бол. Гремячая до р. Чусовой

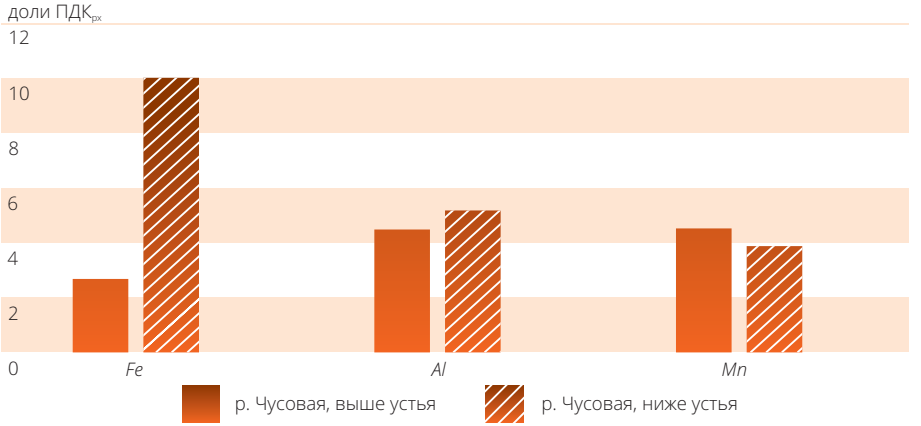


Рисунок 3.76.

Максимальные концентрации железа, алюминия, марганца в р. Чусовой выше и ниже устья р. Усьвы

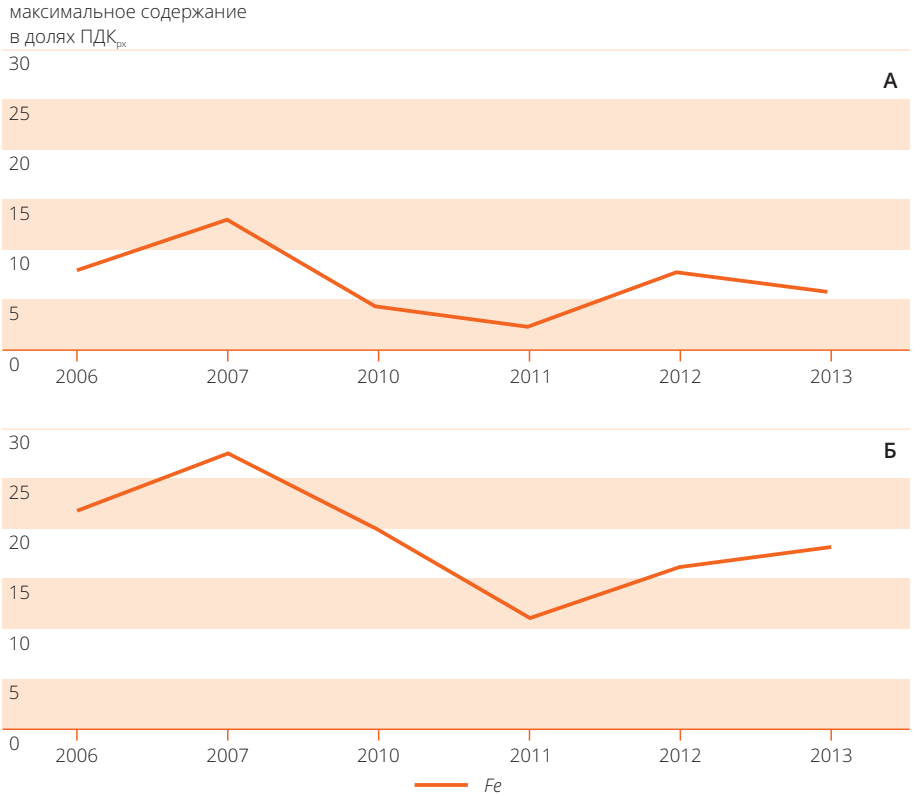


Рисунок 3.77.
Загрязнение р. Чусовой
А – створ выше устья р. Усьвы, Б – створ ниже устья р. Усьвы

3.4.3. Характеристика пойм и донных отложений

При сезонном затоплении пойм рек на них накапливаются техногенные отложения, в которых содержится значительное количество загрязнителей. Зоны сезонного затопления пойм рек бассейна р. Чусовой показаны на рисунке 3.78. Общая площадь территории, подверженной затоплению загрязненными водами в бассейне р. Чусовой, составляет 5405 га, из них 605 га приходится на пойму р. Юж. Вильва, 1325 га – на пойму р. Усьвы, остальная часть – на пойму р. Чусовой.

На космических снимках, полученных в период летней межени, в русле и пойме р. Юж. Вильва, ниже места впадения в нее р. Бол. Гремячая, хорошо различимы техногенные донные осадки, имеющие рыжий цвет (рис. 3.79).

На рисунке 3.80 показано устье р. Усьвы и ее донные отложения рыжеватого цвета. Космический снимок показывает, что донные отложения р. Усьвы загрязнены по всей длине реки; они являются вторичным источником ее загрязнения. На рисунке 3.81 показана зона смешения речных и кислых шахтных вод

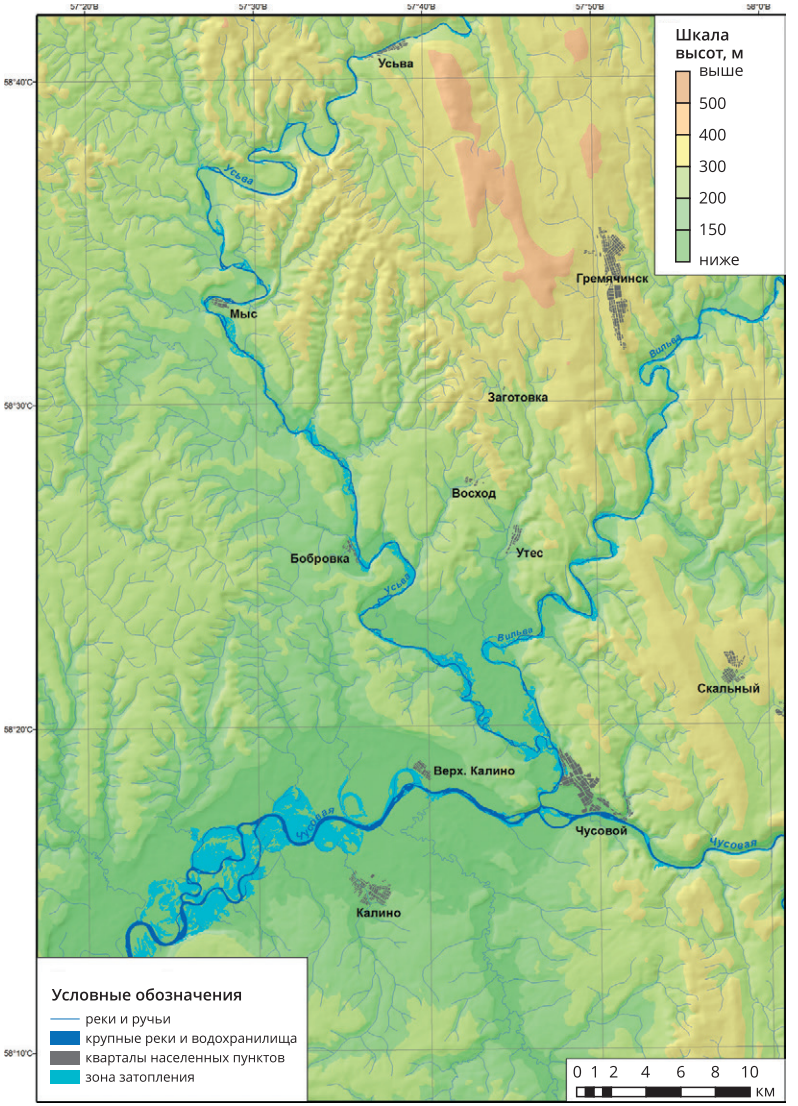


Рисунок 3.78.

Зоны сезонного затопления пойм рек в бассейне р. Чусовой

в р. Усьве – далее происходит образование и осаждение техногенного осадка, состоящего в основном из гидроокислов железа и алюминия.

В конце 1990-х – начале 2000 гг. было выполнено комплексное исследование донных отложений в реках, протекающих в зоне влияния КУБа (рис. 3.82) [15, 109, 116, 117, 118, 119, 133].

Реки Вильва и Большая Гремячая. Для характеристики донных отложений, вне влияния КУБа, были отобраны фоновые пробы на р. Бол. Гремячая, выше по течению от закрытых шахт и г. Гремячинска. По данным рентгеноструктурного анализа, они представлены в основном кварцем и полевыми шпатами, на их долю приходится более 90% минерального состава (табл. 3.31). В небольшом количестве присутствуют глинистые минералы, преимущественно – смектит, еще меньше вторичных минералов (табл. 3.31). Водная вытяжка донных отложений р. Бол. Гремячая, в фоновой точке, характеризуется преимущественно гидрокарбонатно-натриевым составом, суммой водорастворимых солей 225,8 мг/кг, водородным показателем 6,57; здесь отмечается несколько повышенное содержание двухвалентного железа – 6,6 мг/кг и присутствие алюминия (табл. 3.32), что, по-видимому, связано со стихийным загрязнением территории КУБа отходами угледобычи.

Рисунок 3.79.
Русло р. Юж. Вильва, загрязненное техногенными отложениями

Рисунок 3.80.

Место впадения р. Усьвы (донные отложения загрязнены техногенными отложениями) в р. Чусовую

Рисунок 3.81.
Зона смешения речных и кислых шахтных вод, р. Усьва, ниже впадения р. Рудянки

Естественную минеральную ассоциацию песков прирусловой отмели р. Юж. Вильва (фоновый створ – выше устья р. Бол. Гремячая) представляют (в %): кварц (67,7–82,1), обломки пород (8,3–15,8), тальк (3,5–9,4), полевые шпаты (2,0–2,9), хлорит (1,8–2,0), минералы группы эпидота (0,5–3,8), амфиболы (0,5–1,4), пироксены (0,2–1,2), лейкоксены (до 0,4), гидрогетит (0,2–0,5), магнетит (0,1–0,7), актинолит (0,1–0,4), гематит (0,04–0,5), хромит (0,06–0,13), ильменит (0,02–0,3) (табл. 3.34).

Глинистые отложения р. Юж. Вильва, в фоновом створе, представлены преимущественно кварцем и полевыми шпатами (около 90%), а также глинистыми минералами гидрослюдистого и монтмориллонитового состава (табл. 3.31). Водную вытяжку донных отложений фоновой точки характеризуют гидрокарбонатно-натриевый состав, невысокое содержание солей (288 мг/кг), нормальная кислотность среды (*pH* 6,6) (табл. 3.32). В донных отложениях определены содержания 8 микроэлементов в подвижной форме, которые приняты за условный фон состава донных отложений р. Юж. Вильва. Обращает внимание повышенное содержание марганца – 68,9 мг/кг (табл. 3.33).

Ниже участка влияния шахтных вод прослеживаются существенные изменения как в минеральном составе, так и в составе водной вытяжки донных отложений р. Бол. Гремячая. Обнаружены вторичные минералы – ярозит, копиапит, гетит. Так, содержание ярозита в зоне разгрузки шахтных вод может достигать 45% (табл. 3.31, рис. 3.83). Донные отложения, на участке излива шахты «Таежная», характеризуются значительным количеством рентгеноаморфных

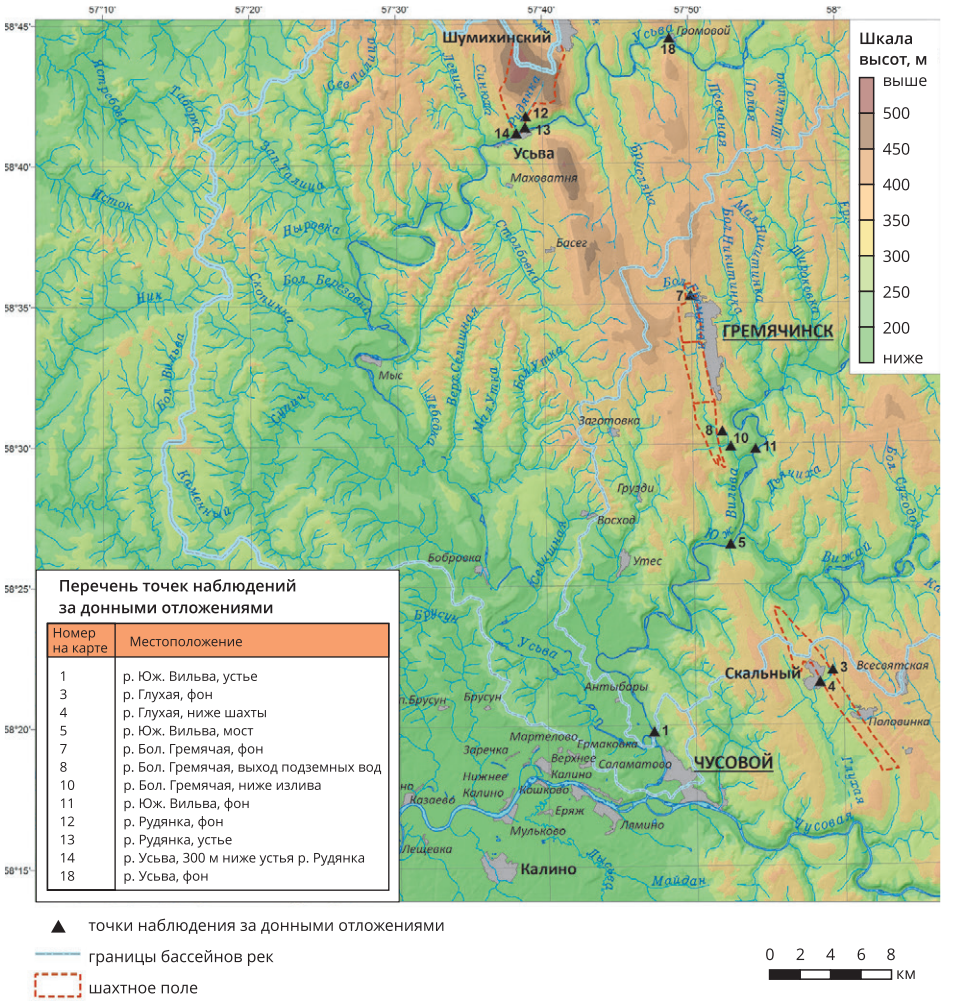


Рисунок 3.82.

Точки наблюдения за донными отложениями на водосборе р. Чусовой

гидроксидов железа и алюминия (75%). Водная вытяжка донных отложений приобретает сульфатно-железистый состав, содержание водорастворимых солей, по сравнению с фоновым, возрастает в десятки раз и достигает 8893 мг/кг. Значение *pH* снижается до 3,26. Основными загрязнителями донных отложений являются сульфаты, железо, алюминий, их количество достигает 5816,5 мг/кг; 819,5 мг/кг; 50,5 мг/кг соответственно (табл. 3.32).

В донных отложениях р. Юж. Вильва, ниже устья р. Бол. Гремячая, прослеживается ряд негативных изменений. В их песчаной фракции отмечено присутствие угольно-породных частиц (до 0,11%). Минеральные зерна покрыты тонкой рубашкой гидроксидов железа. Глинистая фракция почти на 90% представлена рентгеноаморфными гидроксидами железа рыжего цвета (табл. 3.31, рис. 3.84). Содержание водорастворимых солей в них составляет 7404 мг/кг, что в 26 раз превышает фоновые значения. Состав вытяжки сульфатно-кальциевый, водородный показатель – 6,4. Содержание сульфатов (4135 мг/кг) в десятки, а железа (215 мг/кг) в сотни раз превышает фоновые

Таблица 3.31.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений рек Юж. Вильва и Бол. Гремячая

№ пробы	Река	Минеральный состав, %												
		Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Амфибол	Иллит + гидросл.	Хлорит	Каолинит	Смектит	Ярозит	Копиапит	Гетит	Лепидо-крокит	РАВ
11	Юж. Вильва, фон	70	18	–	1,5	5	1	–	4	–	–	<1	сл.	–
5	Юж. Вильва, мост	10	–	–	–	<1	–	–	–	–	–	1	–	88
1	Юж. Вильва, устье	4	3	сл. *	–	–	–	–	–	–	–		1–2	90
7	Бол. Гремячая, фон	83	5	3	–	<1	–	1	5	2	–	1	–	–
8	Бол. Гремячая, выход подземных вод	34	3	–	–	1	–	1	1	45	–	–	–	15
10	Бол. Гремячая, ниже излива	15	–	2	–	2	–	2	2	–	2	–	–	75

Примечание:
По данным термического анализа, в гелевидных осадках ярко-рыжего и ржавого цвета рентгеноаморфное вещество (РАВ) представлено смесью 3-х фаз: а) полностью аморфный гель *Fe-O-OH* – ферригидрит (по Ф. В. Чухрову); б) «протогидрогетит» α-$FeOOH \cdot nH_2O$, в котором намечаются кристаллизационные связи; в) «протолепидокрокит» γ-$FeOOH \cdot nH_2O$.
Фаза а) явно преобладает и составляет около 65% от суммарного содержания гидроксидов *Fe*.

значения (табл. 3.32). Содержание алюминия составляет 1,3 мг/кг. В микроэлементном составе донных отложений, по сравнению с фоновым, повысилось содержание подвижных форм меди – в 3,8, никеля – в 2,4 раза, свинца – в 1,8 раз (табл. 3.33).

В устье р. Юж. Вильва (около 40 км ниже устья р. Бол. Гремячая) в составе песков прирусловой отмели присутствуют магнитные сферулы (до 0,25%) (табл. 3.34). Здесь, как и в доустьевой части, минеральные зерна покрыты тонкой рубашкой гидроксидов железа, и глинистая фракция на 90% представлена рентгеноаморфными гидроксидами железа. Из раскристаллизовавшейся части можно отметить содержание до 2% лепидокрокита – вторичного минерала, оксигидроксида железа оранжевого цвета (табл. 3.31).

Состав водной вытяжки донных отложений устьевой части р. Юж. Вильва, по сравнению с предыдущей точкой наблюдения, несколько улучшается с экологической точки зрения, но далек от фонового. Здесь содержание водорастворимых веществ, по сравнению с предыдущим створом, снижается почти в 2 раза, однако превышает фоновое значение в 14 раз. Водородный показатель составляет 7,1. Состав вытяжки сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый. Содержание сульфатов составляет 1449 мг/кг, что в 22 раза превышает фон. Содержание железа снижается до 5,7 мг/кг, алюминия – до 0,6 мг/кг (табл. 3.32). В устье р. Юж. Вильва наблюдается значительное увеличение подвижных форм практически всех определяемых микроэлементов, особенно велики концентрации марганца – 137,5 мг/кг, никеля – 18,3 мг/кг, цинка – 15,3 мг/кг, кобальта – 12,2 мг/кг (табл. 3.33).

Донные отложения р. Рудянки, выше влияния излива вод шахты «Усьва-3», характеризуются высоким содержанием кварца и полевых шпатов (до 82%); глинистые минералы, представленные гидрослюдой и каолинитом, составляют 8%. В небольших количествах присутствуют гетит (1%) и рентгеноаморфное вещество (8%) (табл. 3.35).

Реки Усьва и Рудянка. Содержание водорастворимых солей в фоновой пробе донных отложений р. Рудянки невысоко (479 мг/кг), состав вытяжки – сульфатно-натриевый. Водородный показатель 5,6 соответствует слабокислой среде. Содержание железа составляет 22,5 мг/кг, алюминия – 0,4 мг/кг, сульфатов – 221 мг/кг (табл. 3.36). Проба может считаться фоновой с определенной степенью условности, так как выше по течению, судя по составу воды и донных отложений, предположительно имеется источник загрязнения, связанный с угледобычей.

Донные отложения в устье р. Рудянки характеризуются принципиально другими показателями. В них содержится большое количество рентгеноамор-

Таблица 3.32.

Химический состав водной вытяжки донных отложений рек бассейна р. Юж. Вильва

№ точки (на рис. 3.82)	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водорастворимых солей, мг/кг	*pH*
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
7	р. Бол. Гремячая, фон	79,30	62,45	19,5	н.о.	0,15	13,1	4,3	28,8	11,50	6,6	–	0,20	225,8	6,57
8	р. Бол. Гремячая, участок выхода подземных вод	н.о. *	1861,2	28,4	н.о.	0,20	214,5	65,0	5,8	10,15	43,4	7,0	160,3	2399,4	3,26
10	р. Бол. Гремячая, ниже излива	н.о.	5816,5	361,6	н.о.	0,25	595,2	144,0	790,9	302,85	819,5	8,9	50,5	8893,0	3,59
11	р. Юж. Вильва, фон	125,4	64,85	19,5	н.о.	н.о.	14,1	8,5	42,6	12,95	н.о.	0,25	н.о.	288,1	6,57
5	р. Юж. Вильва, автомобильный мост	750,5	4135,5	391,8	н.о.	1,25	1109,2	74,8	42,6	685,75	199,9	15,4	1,3	7407,8	6,36
1	р. Юж. Вильва, устье	1449,2	1424,1	83,3	н.о.	0,30	654,3	198,1	117,6	25,50	3,9	1,8	0,6	3958,3	7,12

Примечания:
* Не обнаружено.
CO_3^{2-} не обнаружено.

Таблица 3.33.

Содержание микроэлементов в подвижной форме в донных отложениях р. Юж. Вильва

№ проб	Место отбора	Микроэлементы, мг/кг							
		Cd	*Co*	*Li*	*Mn*	*Cu*	*Ni*	*Pb*	*Zn*
11	р. Юж. Вильва, фон	0,055	1,068	0,047	68,94	0,569	1,172	0,821	1,630
5	р. Юж. Вильва, мост	0,053	0,247	0,034	46,10	2,156	2,769	1,492	1,519
1	р. Юж. Вильва, устье	0,108	12,21	0,340	137,50	1,119	18,34	<0,050	15,32

Таблица 3.34.

Минералогический состав песков прирусловой отмели р. Юж. Вильва (фракция 0,25–0,1 мм)

Состав, масс. %	Точки наблюдения		
	Фон, проба 11	Мост, проба 5	Устье, проба 1
Кварц	67,67	82,13	75,05
Полевые шпаты	2,89	1,96	–
Хлорит	–	1,96	1,75
Тальк	9,40	3,91	3,49
Карбонаты	–	–	–
Минералы группы эпидота	0,96	0,51	3,82
Актинолит	–	0,11	0,38
Амфиболы	0,60	0,47	1,40
Пироксены	1,20	0,18	0,51
Лейкоксен	–	–	0,38
Гидрогетит	0,18	0,20	0,51
Магнетит	0,66	0,13	0,38
Гематит	0,48	0,04	0,13
Хромит	0,06	–	0,13
Ильменит	0,18	0,02	0,25
Магнитные сферулы	–	–	0,25
Угольно-породные частицы	–	0,11	–
Шлак	–	–	–
Обломки пород	15,78	8,27	11,56

Рисунок 3.83.
Излив шахты «Таежная»
А – техногенное минералообразование, Б – техногенный осадок в канале излива

Рисунок 3.84.

Техногенное воздействие кислых шахтных вод на реки бассейна р. Чусовой
А – железистый налет на аллювиальных отложениях, Б – техногенный осадок

Таблица 3.35.

Результаты рентгеноструктурного анализа донных отложений р. Усьвы и р. Рудянки

№ пробы	Река	Минеральный состав, %										
		Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Иллит + гидросл.	Хлорит	Каолинит	Смектит	Фосфат	Ярозит	Гетит	РАВ
12	Рудянка, фон	77	4	1	4	–	4	<1	–	–	1	8
13	Рудянка, устье	27	1	1	3	–	6	2	1	–	1	58
18	Усьва, фон	66	5	2	2	3	1	1	–	–	2	18
14	Усьва, 300 м ниже устья р. Рудянки	15	3	<1	5	2	3	2	–	1	1,5	67

Примечание:
По данным термического анализа, в гелевидных осадках ярко-рыжего и ржавого цвета рентгеноаморфное вещество (РАВ) представлено смесью 3-х фаз: а) полностью аморфный гель *Fe-O-OH* – ферригидрит (по Ф. В. Чухрову); б) «протогидрогетит» α-$FeOOH \cdot nH_2O$, в котором намечаются кристаллизационные связи; в) «протолепидокрокит» γ-$FeOOH \cdot nH_2O$.
Фаза а) явно преобладает и составляет около 65% от суммарного содержания гидроксидов *Fe*.

фных гидроксидов железа (58%), присутствуют кварц и полевые шпаты (29%), глинистые минералы (10%) (табл. 3.35). Вытяжка донных отложений приобретает сульфатно-железистый состав и кислую реакцию среды (*pH* 2,9). В донных отложениях устьевой части р. Рудянки резко увеличивается ряд показателей: содержание водорастворимых солей возрастает до 7463 мг/кг (в 16 раз выше фона), железа – до 950 мг/кг (в 42 раза выше фона), алюминия – до 152 мг/кг (в 380 раз выше фона) (табл. 3.36).

Река Усьва, в фоновом створе у п. Громовой, характеризуется естественной минеральной ассоциацией песчаной фракции донных отложений, типичной для этой области. Она представлена в основном кварцем (85%), обломками пород (5%), тальком (3,9%), полевыми шпатами (2%), хлоритом (2%), амфиболами (0,9%), минералами группы эпидота (0,6%), пироксенами (0,3%), гидрогетитом и магнетитом (0,14%). В незначительных количествах (0,07–0,04%) присутствуют гранаты, рутил, лейкоксен, гематит, ильменит (табл. 3.37). Для глинистой фракции также характерна естественная минеральная ассоциация, с преобладанием кварца, полевых шпатов и глинистых минералов (табл. 3.35). Содержание водорастворимых солей в донных отложениях р. Усьвы составляет 0,2 г/л. Водородный показатель равен 6,76,

Таблица 3.36.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р. Усьвы и р. Рудянки (август 2001 г.)

№ точки (на рис. 3.82)	Место отбора	Содержание компонентов, мг/кг												Сумма водорастворимых солей, мг/кг	*pH*
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	NH_4^+	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}		
12	р. Рудянка, фон	94,6	221,0	21,3	н.о.	0,55	31,1	9,1	69,0	10,4	20,5	1,95	0,4	479,6	5,61
13	р. Рудянка, устье	н.о.*	5103,1	235,8	11,3	1,25	181,4	110,0	603,5	102,9	844,1	104,6	152,7	7463,2	2,95
18	р. Усьва, фон	76,3	60,1	8,9	н.о.	0,15	13,040	7,3	27,6	5,3	н.о.	н.о.	н.о.	198,5	6,76
14	р. Усьва, 300 м ниже устья р. Рудянки	299,0	2812,2	544,2	19,5	0,50	342,7	148,3	152,9	223,3	768,7	41,5	8,55	5361,3	5,77

Примечания:
* Не обнаружено.
CO_3^{2-} не обнаружено.

состав вытяжки – гидрокарбонатно-натриевый, железа и алюминия – не обнаружено (табл. 3.36).

В составе песчаной фракции донных отложений р. Усьвы, ниже устья р. Рудянки (рис. 3.85) отмечено появление угольно-породных частиц (до 0,5%), магнитных сферул и шлака (до 0,15%) (табл. 3.37). Глинистая фракция донных отложений на 67% состоит из рентгеноаморфных веществ. Присутствуют вторичные минералы – ярозит, гетит. Общее содержание кварца, полевых шпатов и глинистых минералов, которые характерны для фоновых проб, составляет около 30% (табл. 3.35). Содержание водорастворимых солей, по сравнению с фоно-

Таблица 3.37.

Минералогический состав песков прирусловой отмели р. Усьвы (фракция 0,25–0,1 мм)

Состав, масс. %	Место отбора пробы	
	р. Усьва, около п. Громовой (фон)	р. Усьва, правый берег, 300 м ниже устья р. Рудянка
Кварц	84,91	68,49
Полевые шпаты	1,93	3,7
Хлорит	1,93	2,78
Тальк	3,86	3,7
Минералы группы эпидота	0,56	1,34
Гранаты	0,07	0,07
Рутил	0,04	0,07
Актинолит	0,11	0,3
Амфиболы	0,81	0,97
Пироксены	0,28	0,45
Лейкоксен	0,07	0,37
Гидрогетит	0,14	0,67
Магнетит	0,14	1,04
Гематит	0,07	0,15
Ильменит	0,04	0,22
Магнитные сферулы	–	0,15
Угольно-породные частицы	–	0,51
Обломки пород	–	5,05

Рисунок 3.85.
Река Усьва ниже устья р. Рудянки

вым, возрастает в 27 раз (до 5361 мг/кг). Вытяжка имеет сульфатно-железистый состав и водородный показатель 5,8. В пробе присутствует значительное количество сульфатов, железа и алюминия (табл. 3.36).

Отсутствие наблюдений за составом донных отложений р. Чусовой не позволяет представить характеристику их состава и провести оценку влияния последствий угледобычи.

3.4.4. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод на примере р. Южная Вильва

Рассмотрим более подробно экологическую ситуацию на территории водосбора р. Юж. Вильва. На ее правом притоке – р. Бол. Гремячая – расположен единственный излив вод северной штольни шахты «Таежная» (рис. 3.86). Этот излив отличается значительными расходами: средняя их величина – 487,3 м^3/час, максимальное значение – 886,0 м^3/час, минимальное – 168,0 м^3/час, что в среднем составляет около 85% объема всех изливов, расположенных на водосборе р. Чусовой.

Расходы изливающихся шахтных вод подвержены значительным сезонным колебаниям: как правило, максимальный объем приурочен к периодам ве-

сеннего половодья и осенних паводков, а минимум приходится на период зимней межени. Сезонная динамика средних за период наблюдений расходов шахтных вод на территории водосбора р. Юж. Вильва показана на графике (рис. 3.87).

Изливающиеся на поверхность из северной штольни шахты «Таежная» воды, имеют минерализацию 3,7–5,8 г/дм^3, кислую среду (*pH* 2,8–3,6),

Рисунок 3.86. **Район излива шахты «Таежная»**
А – излив северной штольни шахты «Таежная», Б – р. Бол. Гремячая ниже излива, В – впадение излива шахты «Таежная» в р. Бол. Гремячая

высокие концентрации подвижных форм ряда микроэлементов: железа, содержание которого выше $ПДК_{хп}$ до 3780 раз, алюминия (436 $ПДК_{хп}$), бериллия (215 $ПДК_{хп}$), марганца (150 $ПДК_{хп}$). Содержание остальных микроэлементов (никель, литий, кобальт и др.) превышает нормативные значения несущественно (рис. 3.88).

В среднем на территорию водосбора р. Юж. Вильва только из излива шахты «Таежная» в год поступает около 3650,6 т железа, 230,3 т алюминия, 34,2 т марганца и других компонентов.

На водосборе р. Юж. Вильва находятся четыре породных отвала, регулярные наблюдения за объемом и составом сточных вод проводятся на трех. Все отвалы расположены около русла р. Бол. Гремячая. Наиболее неудачным расположением отличается отвал шахты «Гремячинская» – в период высоких вод он частично затапливается (рис. 3.89).

Величина объема стоков с породных отвалов изменялась в пределах от 0,01 до 4,0 $м^3$/час, в зависимости от свойств отвалов и условий увлажнения. Наибольшие объемы стоков поступают в местную гидрологическую сеть от конусного отвала шахты «Западная» (табл. 3.38).

Стоки с отвалов отличаются высоким содержанием загрязняющих веществ и кислой реакцией среды (3,6 до 2,1). Содержание железа в стоках было стабильно

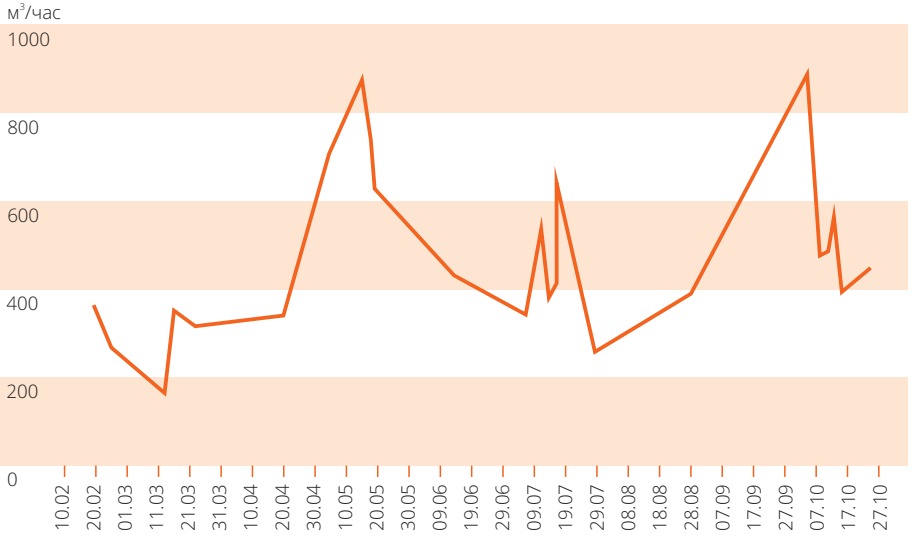


Рисунок 3.87.

Расходы излива шахтных вод из северной штольни шахты «Таежная» и его сезонная динамика

высоким – от 27,2 до 1843,0 мг/дм^3 (90,7–6143 ПДК$_{хп}$), концентрации алюминия составили – 9,4–544,4 мг/дм^3 (47–2722 ПДК$_{хп}$), бериллия – 0,0018–0,0867 мг/дм^3 (9–433 ПДК$_{хп}$), марганца – 0,88–13,4 мг/дм^3 (8,8–134 ПДК$_{хп}$.). Превышение концентраций наблюдается и по содержанию солей, ионов сульфатов, тяжелых металлов (литий, никель, кадмий, кобальт, цинк). Наибольшей загрязненностью отличаются воды, стекающие с отвалов шахт «Западная» и «Гремячинская».

На водосборе р. Юж. Вильва ведутся наблюдения за гидрохимическим составом поверхностных вод – в пяти створах, два из них находятся на р. Бол. Гремячая (рис. 3.65).

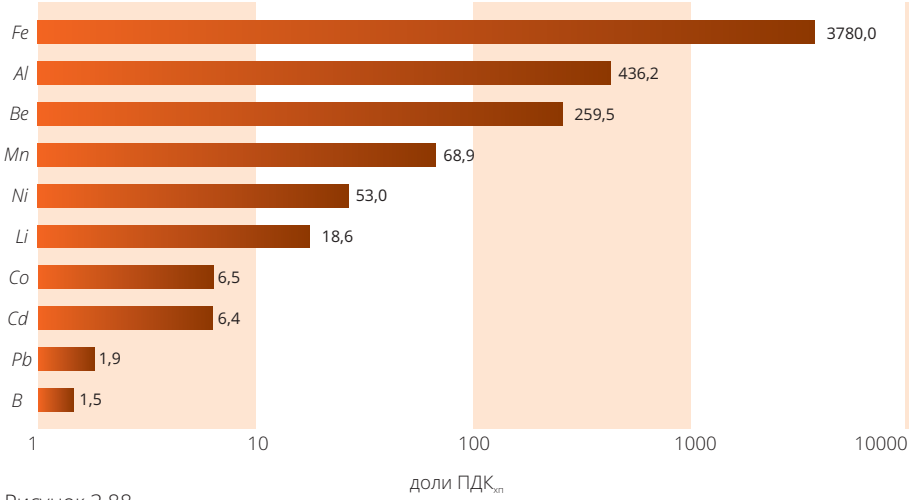


Рисунок 3.88.

Максимальные концентрации микроэлементов в воде излива северной штольни шахты «Таежная»

Таблица 3.38.

Объемы стоков с отвалов, расположенных на водосборе р. Юж. Вильва и Бол. Гремячая

Шахта	Вид отвала	Расходы стока, м^3/час		
		минимальный	максимальный	средний
«Гремячинская»	Конусный	0,01	3,5	0,74
№ 65	Плоский	0,03	1,5	0,54
«Западная»	Плоский	1,0	4,0	1,9
«Таежная»	Конусный	–	–	–

Негативное влияние излива шахты «Таежная» прослеживается с момента его возникновения в 1999 г. Качество вод р. Бол. Гремячая, ниже излива, резко ухудшается. До излива речные воды характеризовались: нейтральной средой (*pH* 6,1–8,5), малой минерализацией (сухой остаток до 330 мг/дм^3). Концентрации железа изменялись, от нормативных, до 33 ПДК$_{рх}$, алюминия – от 1 до 97,5 ПДК$_{рх}$, марганца – от 2 до 117 ПДК$_{рх}$, бериллия – до 2,7 ПДК$_{рх}$.

Сопоставление средних (за период наблюдений) показателей состава вод р. Бол. Гремячая, выше и ниже излива соответственно: водородный показатель с 7 снижается до 3,2, среднее содержание железа возрастает с 221 ПДК$_{рх}$ до 3677 ПДК$_{рх}$, алюминия – с 57,3 ПДК$_{рх}$ до 602,5 ПДК$_{рх}$, марганца – с 32 ПДК$_{рх}$ до 355 ПДК$_{рх}$.

Рисунок 3.89.
Породный отвал шахты «Гремячинская» на берегу р. Бол. Гремячая

Загрязненные воды р. Бол. Гремячая оказывают влияние на р. Юж. Вильва. Ниже места впадения загрязненных вод р. Бол. Гремячая наблюдаются стабильно высокие концентрации железа (до 426 $ПДК_{рх}$), алюминия (до 33 $ПДК_{рх}$), марганца (57 $ПДК_{рх}$), периодически – бериллия, кадмия, никеля, водородного показателя (рис. 3.79). На космоснимке четко выделяется участок впадения р. Бол. Гремячая в р. Юж. Вильва: по характерному ржавому оттенку (рис. 3.90).

В устье р. Юж. Вильва, удаленном от р. Бол. Гремячая на расстояние 30–40 км, прослеживается снижение загрязнения, однако, превышения нормативов в десятки раз сохраняются. Изменение максимальных концентраций основных загрязнителей, по длине р. Юж. Вильва, показывают гидрохимические профили (рис. 3.91).

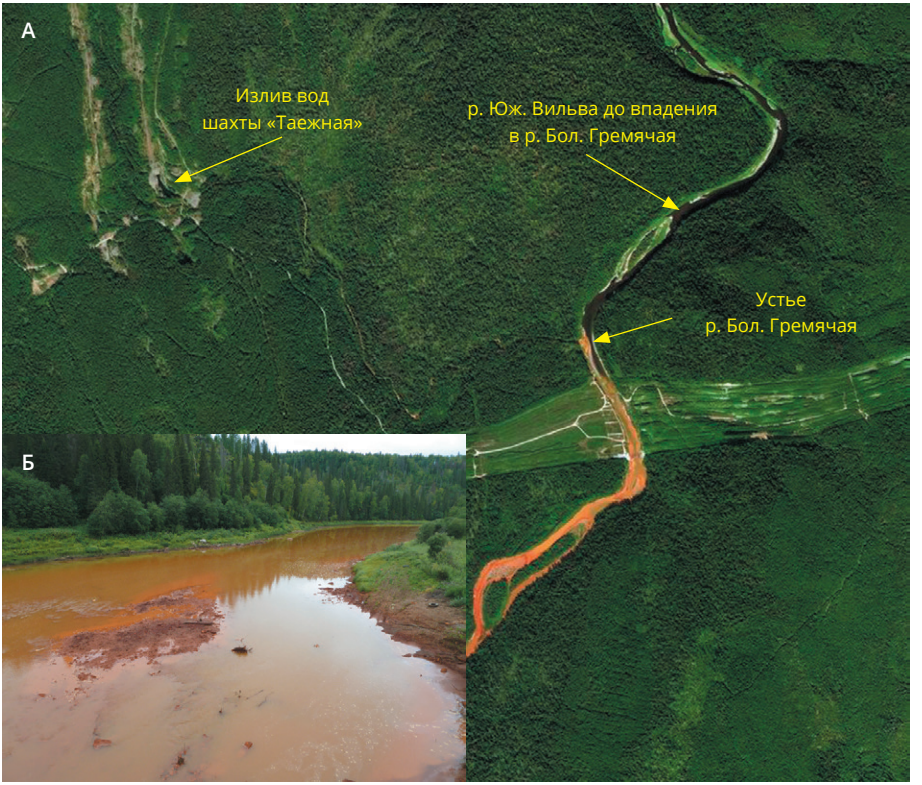


Рисунок 3.90.

Место впадения р. Бол. Гремячая в р. Юж. Вильва

А – источники загрязнения, Б – р. Юж. Вильва после впадения р. Бол. Гремячая

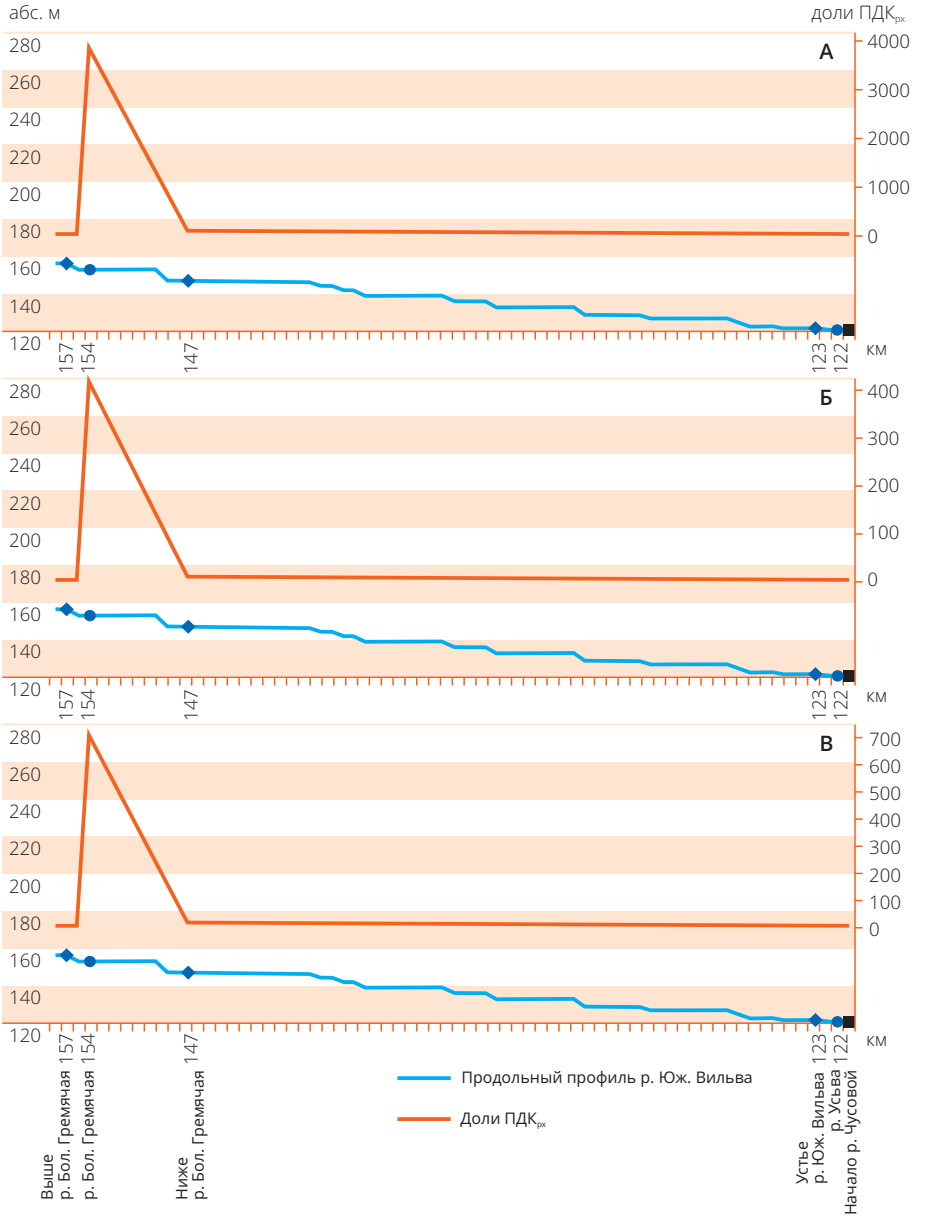


Рисунок 3.91.

Гидрохимические профили р. Юж. Вильва по основным загрязняющим компонентам А – железо, Б – марганец, В – алюминий

На рисунке 3.92 показан годовой ход изменения концентраций основных загрязнителей (железо, алюминий, марганец, бериллий). После впадения р. Бол. Гремячая в р. Юж. Вильва, ее экологическое состояние резко ухудшается, что подтверждается как химическими анализами, так и визуально (рис. 3.93).

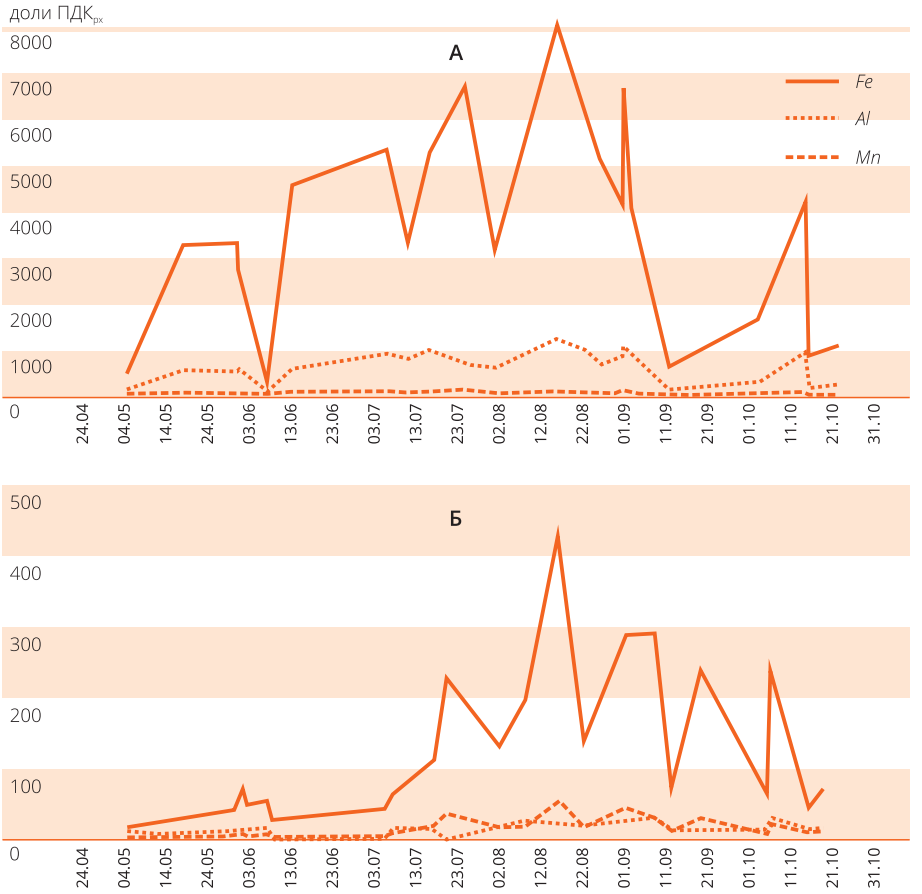


Рисунок 3.92.

Сезонная динамика концентрации загрязняющих веществ в р. Бол. Гремячая и р. Юж. Вильва. А – р. Бол. Гремячая ниже по течению от излива, Б – р. Юж. Вильва ниже устья р. Бол. Гремячая

Рисунок 3.93.

Река Юж. Вильва в районе автомобильного моста

А, Б – межень, В – половодье

Б

В

Таким образом, можно отметить, что сброс кислых шахтных вод в поверхностные водные объекты в течение длительного периода, во время работы шахт, оказал резко отрицательный эффект на речные системы. В настоящее время за счет изливов шахт, кислых стоков с отвалов и загрязненных родников вода в этих реках имеет устойчивую кислую реакцию среды и высокую минерализацию, содержание сульфатов, железа, алюминия, цинка, марганца, меди, бериллия, свинца, лития, кобальта, хрома и других микроэлементов превышает $ПДК_{рх}$. Поймы рек и их донные отложения также загрязнены, что делает невозможным их использование без проведения комплекса мероприятий, восстанавливающих экосистему.

Глава 4

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

4.1. Необходимость новых подходов к решению экологических проблем

Попытки найти пути решения экологических проблем КУБа предпринимались достаточно давно, однако фактически не имели успеха. Начиная с 30-х гг. XX в., в «Главугле», а затем в «Наркомугле» разрабатывались мероприятия по борьбе с кислыми шахтными водами. В то время проблема имела не экологический, а в основном технический и экономический аспекты – насосы и трубопроводы быстро изнашивались, и для откачки таких вод требовалось дорогостоящее кислотостойкое оборудование [41].

В дальнейшем масштабы негативного воздействия на окружающую среду стали ощутимо увеличиваться, освоение все более глубоких горизонтов приводило к увеличению объемов откачиваемых вод. За все годы работы шахт воды сбрасывались в гидрологическую сеть без очистки [128]. Рост объема породных отвалов усилил загрязнение, прежде всего, поверхностных вод и атмосферы. Закрытие шахт и появление изливов привело к ухудшению ситуации – в основном за счет изменения состава вод в худшую, с экологической точки зрения, сторону [114].

Основной причиной, почему экологические проблемы не решены к настоящему времени, является отсутствие комплексного подхода, непонимание причин и масштабов бедствия. В течение последних 70 лет разработаны десятки проектов, в основном направленных на очистку шахтных вод. Но само по себе это мероприятие не имеет большого смысла без очистки русел рек от миллионов тонн накопленных техногенных донных отложений, являющихся источником вторичного загрязнения, а также без решения проблемы очистки стоков с отвалов. Рекультивация отвалов в том виде, в котором она проводилась, несмотря на большие затраты, практически не снижает миграцию загрязняющих веществ из них.

Анализ сложившейся к настоящему времени горно-технической, геологической, гидрогеологической и экологической ситуации, отечественного и мирового опыта [43, 62, 82, 84, 90, 154, 163, 164, 165, 167, 220, 225, 226], а также изучение основных недостатков выполненных ранее для КУБа проектов, позволили предложить оптимальный вариант технических решений для улучшения на этой территории экологической обстановки. Некоторые из них достаточно проработаны и прошли опытно-промышленные испытания, другие – требуют детализации и оценки возможности применения в конкретных условиях.

Оценивая проблему в целом, можно сказать, что реальных мероприятий по улучшению экологической ситуации в КУБе не проводилось на протяжении всего времени его работы и после закрытия. Это привело к крайне тяжелым последствиям и необходимости вложения колоссальных средств для ее норма-

лизации. Для снижения затрат необходимо использовать специальные нестандартные подходы к решению накопившихся проблем [96].

4.2. Минимизация объемов изливов шахтных вод

Несмотря на очевидность мероприятий по снижению объемов вод изливов, серьезной проработкой этого вопроса практически никто не занимался. В горном деле разработаны и широко применяются методы тампонажа для плановых и аварийных работ. Подобные задачи успешно решались и для более сложных горно-геологических условий [42, 73, 112, 139, 143].

Большинство изливов КУБа связаны с заброшенными и не ликвидированными горными выработками: стволами, штольнями, шурфами и т. д. Тампонаж их способен существенно уменьшить или свести к нулю объемы излившихся вод и, соответственно, экологический ущерб и затраты на эксплуатацию очистных сооружений. Принципиальная схема тампонажа штольни показана на рисунке 4.1. На некоторых участках такие мероприятия могут быть реализованы

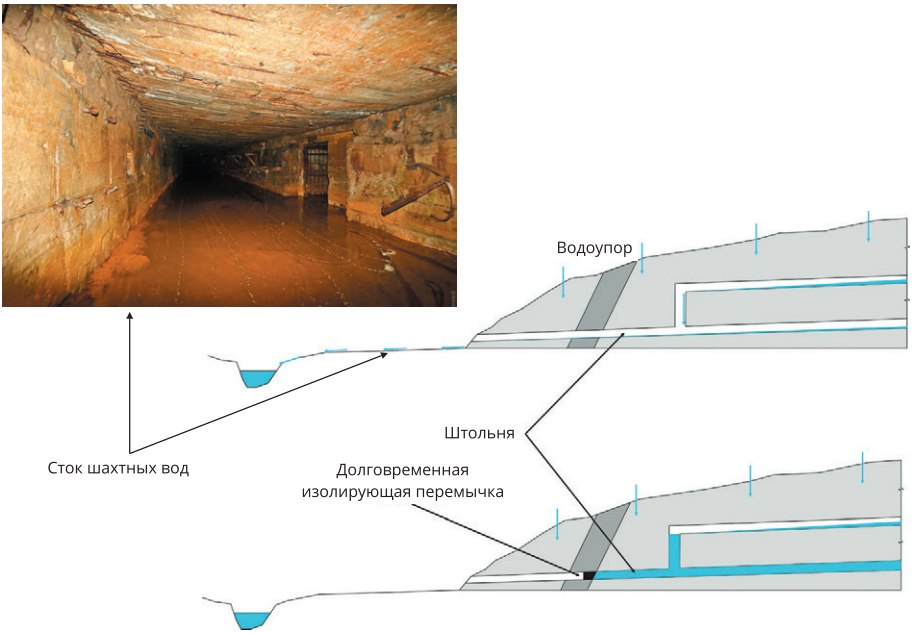


Рисунок 4.1.

Принципиальная схема установки долговременной изолирующей перемычки на изливе из штольни (фото: https://immrill.livejournal.com/tag/%D1%88%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0)

в самые короткие сроки, что позволит полностью прекратить излив шахтных вод. Например, в районе шахты им. 40 лет Октября один из изливов представляет собой скважину, которая, по некоторым данным, была пробурена как наблюдательная. Затраты на ее тампонаж несопоставимо меньше, чем очистка постоянно изливающейся воды.

На некоторых участках, где напоры подземных вод невелики (несколько метров), возможно обвалование участков изливов. Высота дамбы обвалования должна превышать максимальную отметку напоров изливов (рис. 4.2). Подобная система успешно работает на участке провала на первом Березниковском калийном руднике. Здесь, после затопления рудника, образовался провал, из которого через некоторое время начался излив засоленных подземных вод. Строительство дамбы вокруг провала, на высоту, превышающую напор подземных вод, привело к прекращению излива и предотвратило загрязнение Камского водохранилища (рис. 4.3). Возможны и другие технические решения или их комбинации.

Формирование запасов вод в выработанном пространстве шахт во многом связано с величиной инфильтрации атмосферных осадков. Разработка месторождения ведет к оседанию земной поверхности, увеличению трещиноватости массива, появлению провалов и других отрицательных форм рельефа. В пределах КУБа достаточно много старых горных выработок, выходящих на поверхность. Все это существенно увеличивает инфильтрацию.

Следует отметить, что высокая закарстованность (см. разд. 1.7) карбонатных пород и их интенсивная добыча также способствуют интенсивной инфильтрации атмосферных осадков [97, 142].

Территорию КУБа отличает достаточно большое количество осадков, в том числе в виде снега (см. разд. 1.3). По некоторым данным [41], из выпадающих там обильных осадков (в среднем до 750 мм в год), 40% уходит на испарение, 40% – на инфильтрацию и поглощение и только 20% – на поверхностный сток. Следует учитывать, что формирование кислых вод во многом обусловлено поступлением кислорода с атмосферными осадками.

Мероприятия по уменьшению инфильтрации осадков успешно проводились в 40-е гг. XX в. при работе шахт. На рис. 4.4 показано наблюдавшееся в 1939 г. изменение величины притоков рудничных вод на верхнем горизонте шахты им. Калинина. В начале мая 1939 г. приток воды на этой шахте вырос со 150 м^3/час до 1200 м^3/час, т. е. в 8 раз. В 1940 г., когда была произведена окопка провалов, притоки воды весной возрастали не более чем в 3–3,5 раза [40].

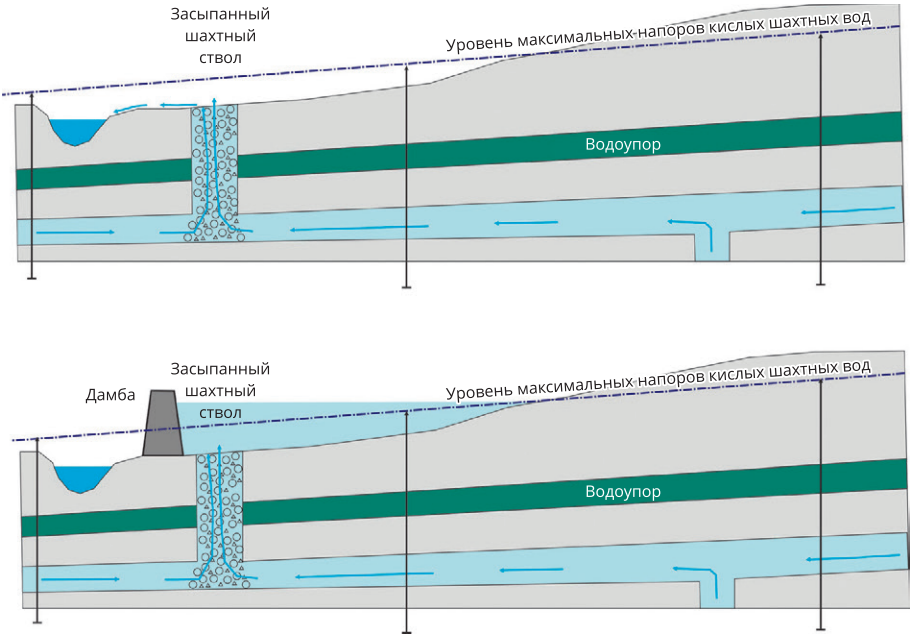


Рисунок 4.2.

Схема обваловки излива вод из ствола шахты

Рисунок 4.3.

Успешный пример обваловки излива шахтных вод из провала первого Березниковского рудника (фото Ильи Липина: https://properm.ru/news/region/90966/)

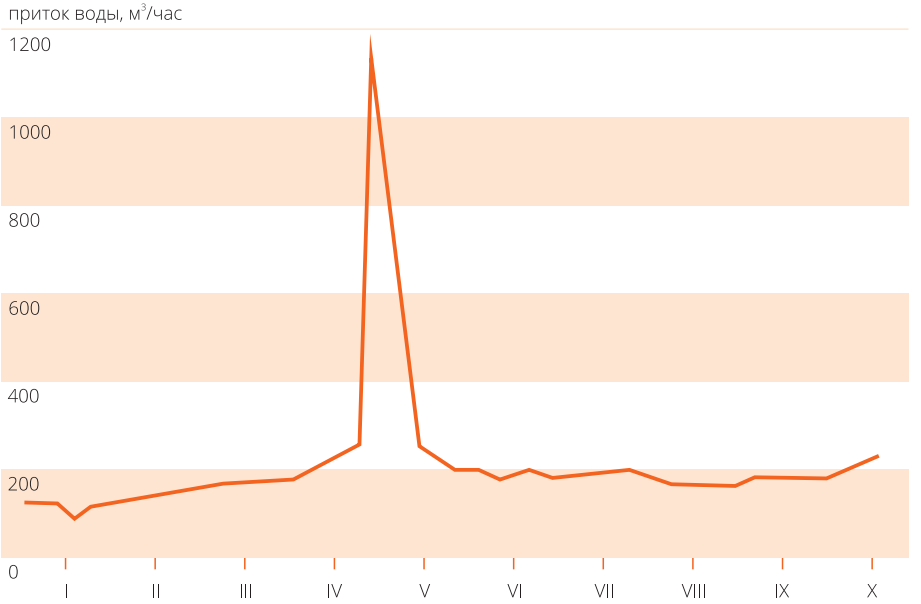


Рисунок 4.4.
Изменение притока на шахте им. Калинина

В монографии А. В. и Л. С. Докукиных, вышедшей в 1950 г. [41], подробно рассмотрены мероприятия, которые реально позволяют снизить приток атмосферных осадков в горные выработки:

- обвалование выходов трещиноватых пород, провалов и трещин на поверхности, получающихся под влиянием горных работ;
- устройство сточных дренажных канав, отводящих поверхностные воды от провалов, трещин, выходов трещиноватых пород и устьев шурфов и стволов;
- прокладка желобов в устьях ручьев, стекающих через места, нарушенные горными работами, или у выходов трещиноватых пород надугольной свиты;
- утрамбование глиной трещин, выходящих на поверхность под влиянием сдвижения горных пород и расположенных в местах стока весенних и дождевых вод, а также в поймах водных бассейнов;
- установка на поверхности специальных насосов и трубопроводов для откачки воды из водоемов, образующихся под влиянием весенних вод и дождей и расположенных в районе выходов трещиноватых пород угольной свиты или в местах, подверженных сдвижению горных пород под влиянием ведущихся в шахте работ.

При наличии вблизи шахтного поля трещин от сдвижения горных пород или карстовых воронок должна проводиться их глинизация или обваловка, предохраняющая от попадания поверхностных вод.

Подобные мероприятия, возможно, дадут некоторый эффект и в настоящее время. Однако они могут иметь только вспомогательный характер и требуют дополнительных обоснований.

Изливы шахтных вод сформировались, в известной степени, стихийно. В свое время К. К. и А. К. Имайкиными [61] были предложены мероприятия по оптимизации режимов подземных и шахтных вод на территории месторождения. Концепция создана, исходя из гидрогеологических условий и имеющихся техногенных источников на конкретных участках, и не требует больших затрат.

4.3. Очистка вод в выработанном пространстве

После ликвидации шахт и их затопления подземными водами в массиве развиваются различные процессы, начиная с обрушения кровли до формирования специфических типов подземных вод. Бывшие шахты представляют собой дренирующие системы подземного стока, способствующие усилению водообмена в массиве [50]. Это во многом способствует поступлению в него окисляющих агентов и, как в случае КУБа, формированию кислых вод, главным образом, за счет окисления пирита угленосной толщи.

Выработанное пространство целесообразно использовать как естественные емкости для очистки шахтных вод. Следует отметить, что, по расчетам Н. Ф. Фетисовой [172], процессы осаждения в выработанном пространстве могут происходить на участках смешения уже сформировавшихся кислых шахтных вод из подземных вод угольной толщи и визейско-башкирского водоносного горизонта, имеющих HCO_3–*Ca*–*Mg*, HCO_3–*Ca*, в меньшей степени – HCO_3–SO_4–*Ca*–*Mg* составы и значения *pH* близкие к нейтральным. Шахтные воды по анионному составу исключительно сульфатные. В катионном составе вод на первый план, наряду с кальцием, выходят железо и алюминий. Преобладающими геохимическими типами здесь являются воды SO_4–*Fe*, SO_4–*Fe*–*Ca*, SO_4–*Fe*–*Al*, SO_4–*Fe*–*Mg*, SO_4–*Ca*–*Fe* и другого катионного состава (*pH* 3).

Шахтные воды в условиях кислой среды не равновесны с карбонатными минералами. В зависимости от величины *pH* шахтные воды достигли равновесия с ярозитом, близки к равновесию с джурбанитом. Загрязненные подземные воды визейско-башкирского горизонта формируются в результате смешивания с шахтными водами и взаимодействия с минералами водовмещающих карбонатных пород. Они недонасыщены по отношению к кальциту и доломиту, но насыщены к сидериту, вследствие чего происходит его формирование. Воды

достигли равновесия с гипсом, который начинает выпадать из раствора, и находятся в большей степени насыщения к сульфатным минералам (ярозиту, джурбаниту и алуниту), чем кислые шахтные воды. В этих условиях (*pH* 6) происходит и осаждение гидроокислов *Fe* и *Al* (гиббсит) [172].

На участках излива шахтных вод мы наблюдаем формирование ярозита и гидроокислов железа.

При работе шахт, в ряде случаев [41, 115], подземное пространство использовалось для очистки шахтных вод. В подземных условиях проводилось отстаивание вод для очистки от взвешенных частиц, обеззараживание, реагентная очистка [115]. Имеется положительный опыт очистки вод с помощью гетеротрофных микроорганизмов в угольной шахте в Хакасии [62].

Для нейтрализации в шахтах кислых вод, еще в 1950-е гг., рекомендовалось использовать известь (CaO), известковое молоко ($Ca(OH)_2$) или каустическую соду [41]. Нейтрализация кислой воды производилась в деревянных желобах, уложенных в районе околоствольного двора, в которые систематически подсыпалась известь.

Основной проблемой при реализации этого метода являлась необходимость удаления значительных объемов образующегося осадка, засорения сточных канав и зумпфа.

Приведенные примеры показывают, что даже в действующих шахтах есть возможность проводить очистку вод. После закрытия КУБа задача выглядит значительно проще. Для этого через скважины в затопленные шахты можно закачивать щелочные реагенты, например, пульпу из отходов содового производства (рис. 4.5), что позволяет решить несколько задач. Резко уменьшить количество загрязнителей, поступающих на поверхность в местах изливов шахтных вод. Образующийся осадок будет тампонировать выработанное пространство и, тем самым, будет постепенно уменьшаться количество изливающихся вод – до полного прекращения изливов. Закачку следует производить в сочетании с тампонированием горных выработок (см. разд. 4.2). За счет своеобразной закладки выработанного пространства в какой-то степени может уменьшиться оседание поверхности.

Реальность данного подхода показывают процессы заполнения карстовых пустот, находящихся под суходолами, в которые происходит сброс кислых шахтных вод КУБа (см. гл. 3). Из этих вод, при взаимодействии с карбонатными породами и природными водами, выпадает осадок. После заполнения пустот подземный сток практически прекращается, и шахтные воды стекают по поверхности.

Предлагаемый метод не требует значительных капитальных затрат, при этом решается проблема со складированием образующегося при очистке шахтных вод осадка – в случае, если ее проводить на поверхности.

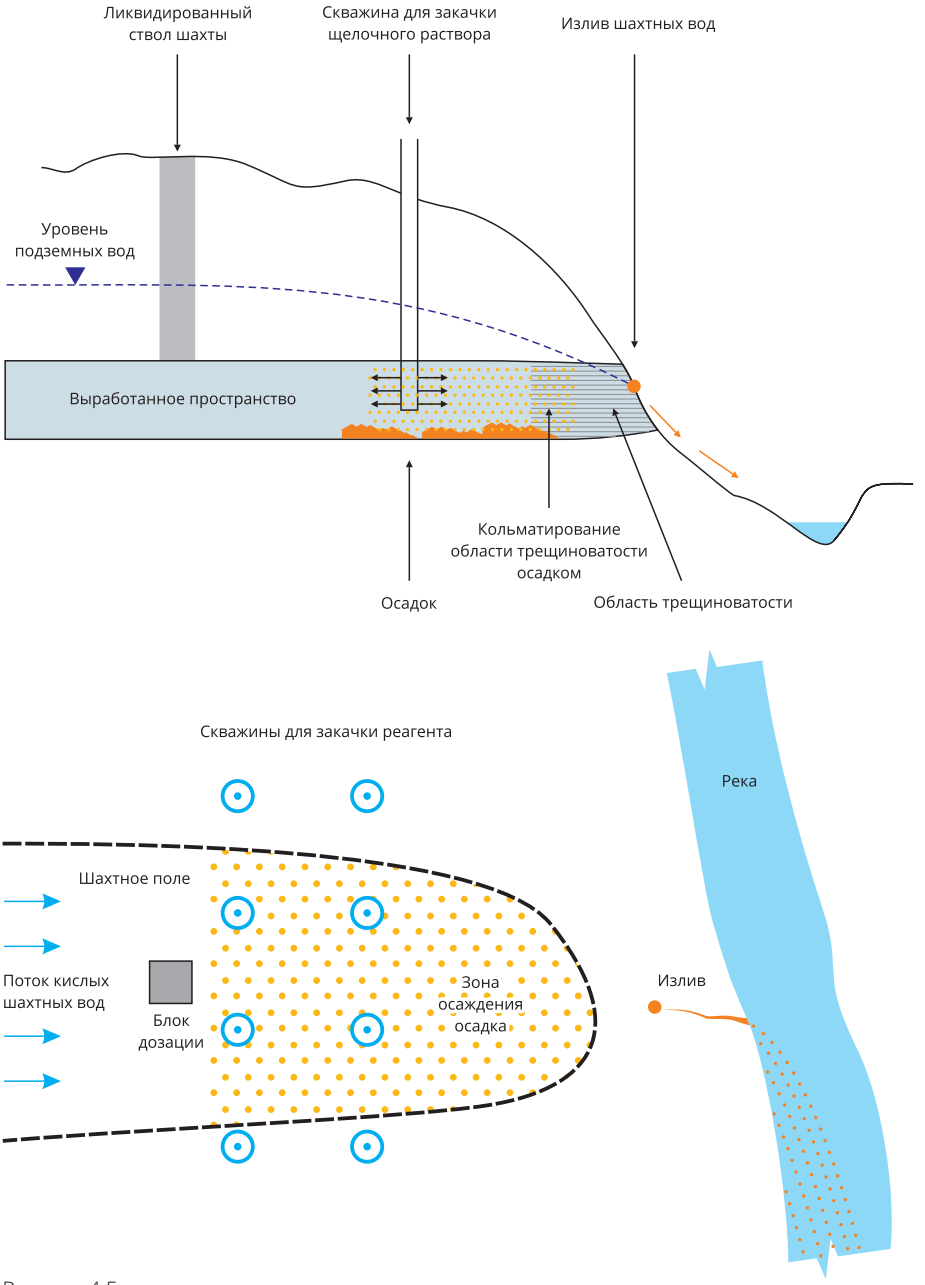


Рисунок 4.5.

Нейтрализация кислых вод в выработанном пространстве шахтного поля

4.4. Очистка вод изливов

Для очистки вод изливов последнее десятилетие разрабатываются технологии, предполагающие строительство классических очистных сооружений. Разрабатываемые проекты вряд ли могут быть реализованы в условиях КУБа ввиду экономически не обоснованных затрат на их сооружение и высокой сложности их строительства и эксплуатации.

В этой ситуации практически единственным путем решения проблем является поиск простых способов очистки, в основе которых может лежать создание технологий с использованием искусственных геохимических барьеров [99, 113, 212, 214].

В основу предлагаемого метода очистки вод изливов были положены процессы, встречающиеся в природе, когда нейтрализация потоков кислых вод происходит при взаимодействии с карбонатными породами [137, 213]. Например, при окислении сульфидов туфолавовой формации Карпат, резко возрастает минерализация вод (до 50 г/л), *pH* снижается до 1,0 и ниже, в водах растет содержание железа, алюминия, свинца, меди и других металлов. По периферии участков, на контакте карбонатных пород с сернокислыми водами, на щелочных геохимических барьерах образуются вторичные рудопроявления сульфатов железа – ярозит $KFe^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$, свинца – англезит $Pb(SO_4)$ и других металлов [181].

Ю. В. Ваньшиным [20] рассмотрены проявления сернокислотных процессов и их нейтрализация в природных условиях Нижнего Поволжья, где на поверхности пиритсодержащие юрские глинистые породы контактируют с карбонатами. Атмосферные осадки, фильтруясь через глинистые породы, изменяют химический состав и кислотность за счет окисления сульфидов при участии тионовых бактерий. Взаимодействие кислых сульфатных вод, содержащих аномальные концентрации *Al* и *Si* с карбонатами, приводит к формированию гетит-аллофан-гиббситовой минеральной ассоциации.

Нейтрализация избытков серы с последующим гидролизом основных солей железа и алюминия в обстановке щелочного геохимического барьера, сопровождающаяся образованием в качестве вторичных продуктов гипса, ярозита, гидроксидов железа и алюминия, выглядит следующим образом [23]:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow \mathrm{CaSO_4} \cdot 2H_2O + CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

Кроме того, тяжелые металлы (*Cu*, *Zn*, *Pb*, *Cd* и др.) образуют труднорастворимые карбонаты, произведение растворимости которых значительно ниже по сравнению с карбонатом кальция – одним из наиболее распространенных

в природе минералов. Вследствие этого, при взаимодействии растворенных форм тяжелых металлов с карбонатными породами, происходит осаждение на карбонатном геохимическом барьере [160]:

$$Me^{2+} + CaCO_3 = MeCO_3 + Ca^{2+}$$

где Me^{2+} = *Cu*, *Zn*, *Pb*, *Cd*, а также хемосорбционное удаление из раствора в форме поверхностных комплексов

$$\overline{MeCO_3}Me^{2+} + CaCO_3 = \overline{MeCO_3} + Ca^{2+}$$

$$Me^{2+} + CaCO_3 = \overline{MeCO_3} + Ca^{2+}$$

Известны примеры создания подобных искусственных геохимических барьеров с использованием карбонатных пород. Для предотвращения выноса загрязняющих веществ и поступления кислорода в сульфидосодержащие хвостохранилища, на медно-цинковом месторождении на севере Швеции проводилось затопление с известкованием водной среды [182, 217]. Взаимодействие извести и растворенной в воде углекислоты приводит к образованию кальцита и гипса. Резкое повышение *pH* водной среды до 9–12 приводит к образованию и осаждению гидроксидов железа и марганца. Образующиеся в результате указанных реакций кальцит, гипс, гидроксиды железа и марганца являются минеральной фазой, активно захватывающей растворенные в воде металлы. Осаждение новообразующейся минеральной фазы обусловливает значительное снижение концентраций металлов в воде и их захоронение в донных отложениях [182].

Использование карбонатных пород для иммобилизации тяжелых металлов было применено В. И. Сергеевым и др. [159, 160] для очистки сточных вод с высоким содержанием растворенного органического вещества, с которым тяжелые металлы образуют прочные комплексы, что снижает сорбционную активность тяжелых металлов. В качестве природного карбонатного материала ими использовался калькаринит, содержащий большое количество кальцита и доломита. Эксперименты показали, что калькаринит способен интенсивно извлекать *Cu*, *Zn*, *Pb* и *Cd* из водных растворов, включая растворы с высоким содержанием органического вещества.

Характеристика отходов АО «Березниковский содовый завод» (БСЗ). В конце 1980-х гг. Н. Г. Максимовичем было предложено использовать в качестве реагента для очистки кислых шахтных вод щелочные отходы содового производства, миллионы тонн которых накопились и продолжают поступать в шламонакопитель БСЗ (рис. 4.6). Проведенные в те годы лабораторные эксперименты показали высокую эффективность этого реагента, который можно использовать без специфической подготовки. Утилизация этих отходов (так называемых «белых морей»), расположенных на берегу Камского водохранилища, уже в то время представляла серьезную экологическую проблему.

Отходами производства кальцинированной соды аммиачным способом является дистиллярная суспензия, образующаяся в количестве 8–10 м^3 на одну тонну соды. Эта суспензия представляет собой дисперсную систему с соотношением жидкой и твердой фаз 85:15. Жидкая фаза суспензии – раствор хлоридов кальция и натрия, гидроксида и сульфата кальция с общей минерализацией около 180 г/л [120].

После размещения дистиллярной жидкости в шламонакопитель из нее осаждается твердая фаза, состоящая из кристаллического и скрытокристаллического кальцита, с примесью кварца, калиевых полевых шпатов. Кроме кальцита в шламе в небольших количествах присутствуют другие карбонаты (арагонит и доломит), которые могут также принять участие в нейтрализации кислых вод (табл. 4.1).

Отходы БСЗ относятся к 5-му классу опасности. Оптимальными для нейтрализации составом и свойствами обладает промытый атмосферными осадками шлам верхнего 1,5 м слоя старой карты шламонакопителя (рис. 4.6, 4.7). Он более чем на 90% состоит из тонкодисперсного карбоната кальция. Водородный показатель вытяжки составляет 9–12.

Содержание водорастворимых хлоридов, сульфатов, натрия в этом слое в 37–54 раза ниже, чем в отходах действующей карты. Содержание микроэлементов не превышает ПДК валового содержания в почвах (табл. 4.2). Вредных органических примесей в шламе не обнаружено. Объем шлама, готового к использованию в качестве реагента для очистки шахтных вод без какой-либо подготовки, превышает 1 млн м^3.

Для проведения опытно-промышленных работ по нейтрализации шахтной воды с применением отходов БСЗ, был выбран излив из штольни шахты им. 40 лет Октября, на восточном склоне увала Рудянский Спой, в междуречье рек Косьвы и Усьвы.

В период проведения работ расход шахтных вод составлял 180–220 м^3/ч, в период дождевых паводков – 300–400 м^3/ч. Вода излива за весь период наблюдений имеет сильнокислые значения *pH* 2,6–2,9. Минерализация изменяется от 385 до 875 мг/л. Состав воды – сульфатно-железисто-кальциевый. Содержание сульфатов изменяется в пределах 292–660 мг/л, железа трехвалентного – 22–109 мг/л, алюминия – 8–23 мг/л. Содержание двухвалентного железа может достигать 11 мг/л. В течение года минерализация воды излива меняется. В летнюю межень минерализация составляет 750–875 мг/л, содержание сульфатов – 520–660, железа (суммарно) – 97–117, алюминия – 13–23 мг/л. В период осеннего дождевого паводка минерализация снижается до 385–600, содержание сульфатов уменьшается до 292–450, железа – до 22–56, алюминия – до 10–14 мг/л. Наибольшее количество растворимых веществ, выносимых шахтными водами

Рисунок 4.6.

Шламонакопитель АО «Березниковский содовый завод»

Рисунок 4.7.

Разрез (по линии 1–1) старой карты шламонакопителя Березниковского содового завода

Таблица 4.1.

Минеральный состав отходов шламонакопителя БСЗ

№ пробы	Интервал отбора, м	Минеральный состав, %											Рентгено-аморфные вещества	
		Кальцит, $CaCO_3$	Арагонит, $CaCO_3$	Доломит, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	Портландит, $Ca(OH)_2$	Эттрингит, $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	Таумасит, $Ca_3Si(OH)_6(SO_4)(CO_3) \cdot 12H_2O$	Кварц, SiO_2	Кристобалит, SiO_2	Калиевые полевые шпаты, (K, Na, Ca, иногда Ba) $(Al_2Si_2$ или $AlSi_3)O_8$	Иллит, $(K_{0,75}(H_3O)_{0,25})Al_2(Si_3Al)O_{10}((H_2O)_{0,75}(OH)_{0,25})_2$	Амфибол	всего	в т. ч. кальцит
1	0	50–58 (91–93)*	–	–	–	–	–	0,4–1,3	–	–	–	–	–	33–43
3	0,0–1,5	32 (97)	2	–	–	–	–	<1	–	–	–	–	65	63
2	1,6–2,4	26 (85)	1	–	–	–	–	6	<1	<1	–	–	66	59
5 **	0,0–1,0	30 (98)	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	68	68
4	1,0–1,6	28 (94)	1	–	–	2	1	1	–	<1	–	–	66	66
8	0,0–1,0	29 (96)	2	–	–	1	<1	<1	<1	–	–	–	67	67
7	1,0–2,5	27 (88)	1	–	–	<1	1	2	<1	–	–	–	68	61
6	3,5–4,8	26 (91)	<1	–	–	3	–	<1	<1	–	–	2	68	65
11	0,0–1,5	28 (97)	1	–	–	<<1	<<1	<1	–	–	–	<1	69	69
10	1,5–2,5	26 (96)	1	–	–	1	2	<1	–	–	–	<1	70	70
9	4,0–4,8	22 (83)	–	–	–	2	5	1	–	–	–	1	69	61
12	0,0–1,5	37 (79)	–	–	2	<1	<1	6	–	–	–	–	54	42
13	2,5–3,2	24 (32)	–	–	27	2	3	7	2	1	1	–	33	8
14	3,5–4,8	19 (32)	–	1	12	2	3	8	1	1	–	–	53	13

Примечания:

*В скобках указано общее количество кальцита, включая рентгеноаморфный.

**Не исключается примесь водного карбоната со структурой пироаурита.

Таблица 4.2.

Валовое содержание микроэлементов в отходах из старой карты шламонакопителя БСЗ

№ пробы	Глубина, м	Содержание компонентов, мг/кг																		pH
		Ni	*Co*	*Cr*	*Mn*	*V*	*Sc*	*Ye*	*Cu*	*Zn*	*Pb*	*Ba*	*Sr*	*Be*	*Zr*	*Y*	*La*	*Li*	*Nb*	
1	0	7	3	10	500	10	3	н.о.	20	70	10	5	500	н.о.	50	20	15	15	н.о.	–
3	0	10	5	30	700	10	н.о.	н.о.	15	50	4	200	500	<1	30	40	н.о.	н.о.	н.о.	8,8
2	1,6–	9	4	30	500	10	3	н.о.	18	н.о.	7	300	400	1	30	30	н.о.	н.о.	7	11,8
5	0	7	3	18	1000	10	3	н.о.	15	н.о.	7	200	400	н.о.	20	40	н.о.	н.о.	н.о.	8,7
4	1,0–	6	3	15	400	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	30	200	300	1,5	20	30	н.о.	н.о.	7	11,8
8	0	6	3	30	700	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	7	200	300	1	20	40	н.о.	н.о.	н.о.	9,9
7	1,0–	9	3	30	700	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	70	200	300	1	50	40	н.о.	н.о.	н.о.	11,4
6	3,5–	10	3	40	1500	10	3	н.о.	20	50	180	200	400	1	20	40	н.о.	н.о.	7	11,8
11	0	7	3	30	1000	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	20	200	300	н.о.	20	40	н.о.	н.о.	н.о.	9,2
10	1,5–	9	3	50	1000	10	3	н.о.	20	н.о.	180	200	300	15	20	50	н.о.	н.о.	н.о.	11,5
9	4,0–	9	3	70	1000	10	4	н.о.	18	н.о.	180	1500	500	1	30	50	н.о.	н.о.	н.о.	11,6
12	0	5	н.о.**	15	1000	10	3	н.о.	18	н.о.	15	200	200	1	20	15	н.о.	н.о.	н.о.	12,3
13	2,5–	7	3	30	700	10	3	1	18	н.о.	100	200	200	1,5	40	18	н.о.	н.о.	н.о.	12,4
14	3,5–	9	3	30	900	10	3	н.о.	20	50	150	200	300	1	40	18	н.о.	н.о.	н.о.	12,4
ПДК*	–	50	50	100	1500	150	–	–	55	100	32	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания:

* Предельно допустимые концентрации валового содержания в почвах.

** Не обнаружено.

P, *Ge*, *As*, *Sb*, *Cd*, *Bi*, *W*, *Ce*, *Tl*, *Ta*, *Hf*, *Sn*, *Be*, *Nb*, *Ag*, *Mo* – спектральным анализом не обнаружены.

исследуемого излива в окружающую среду (рис. 4.8), поступает после весеннего снеготаяния, в начале лета – 230–290 кг/ч. В летнюю межень и период осеннего паводка количество выносимых веществ снижается до 130–180 кг/ч.

В микроэлементном составе шахтной воды бериллий и марганец в десятки, а литий, никель, кадмий, кобальт и барий в несколько раз превышают $ПДК_{хп}$.

Вода поступает в Рахматульский водоем техногенно-карстового происхождения (подробная его характеристика приведена в разд. 3.3).

Лабораторные исследования. Количество реагента, необходимого для очистки шахтных вод, рассчитывалось на основании лабораторных исследований. Вода для лабораторных экспериментов была отобрана из штольни шахты им. 40 лет Октября в летнюю межень. В этот период для нее характерны максимальные значения минерализации и концентрации загрязнителей.

Исследования включали серии опытов по определению оптимального количества расхода реагента и времени, требующегося для нейтрализации

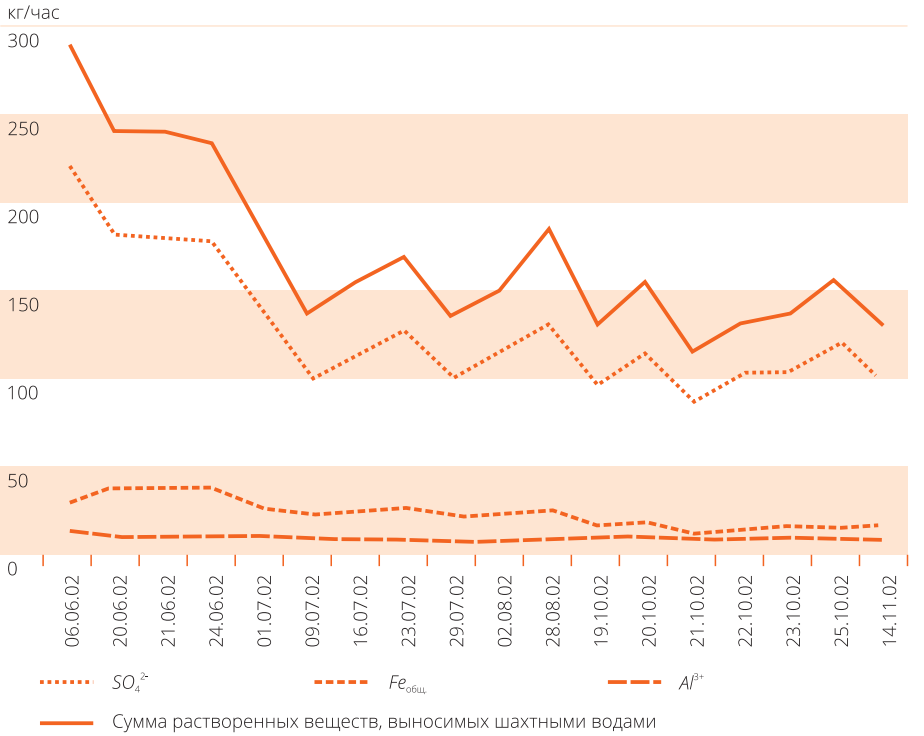


Рисунок 4.8.

Количество растворенных веществ, выносимое водами излива шахты им. 40 лет Октября

шахтной воды. Эксперимент по определению оптимального количества реагента имитировал условия нейтрализации, которые, по данным предварительного обследования, будут существовать в реальном изливе. Для этого к 0,5 л шахтной воды добавлялась определенная навеска отходов БСЗ и интенсивно перемешивалась в течение 5 мин. После этого вода отстаивалась в течение 20 мин, и производилось измерение *pH*. Проведены две серии опытов с шахтной водой. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.9. Установлено, что оптимальное количество отходов БСЗ для повышения *pH* шахтной воды до значений 6,5–7,0 составляет 1,2–1,5 г/л.

Минерализация воды до нейтрализации составляла 801–867 мг/л, водородный показатель – 2,8–2,9. Содержание сульфатов превышало $ПДК_{хп}$ в 1,2 раза, железа – в 326–372 раза, алюминия – в 36–37 раз. В результате нейтрализации произошло повышение *pH* до 6,4–7,0. Содержание железа и алюминия находится в пределах $ПДК_{хп}$. Повышение содержания сульфатов, хлоридов, соединений азота не наблюдается, либо было незначительно [94].

Таким образом, проведение лабораторных экспериментов показало, что для нейтрализации 1 $м^3$ шахтной воды необходимо 1,2–1,5 кг отходов БСЗ, при этом происходит повышение *pH* до нейтральных значений, очистка воды от железа и алюминия.

Результаты опытно-промышленных испытаний. Для очистки шахтных вод была применена простая технологическая схема. Реагент добавлялся в поток изливавшейся шахтной воды, а образовывавшиеся нерастворимые вещества оседали в каскаде отстойников. Совместно с А. Б. Холостовым и В. Н. Басовым, одним из авторов была разработана специальная установка, позволившая готовить пульпу определенной концентрации из отходов БСЗ и шахтной воды и выливать ее непосредственно в канал стока излива: в количествах, рассчитанных в зависимости от расхода и состава воды (рис. 4.10) [101, 102].

Проведенные работы показали, что *pH* шахтной воды повышается с 2,6–2,9 до нейтральных значений. В ходе испытаний суммарное содержание железа с 30–40 снизилось до 0,2–0,3 мг/л, что не превышает $ПДК_{хп}$. После нейтрализации, алюминия в шахтной воде не обнаружено, тогда как до этого его содержание составляло 10–14 мг/л. Содержание бериллия, лития, никеля, кадмия, кобальта и титана, которые в шахтных водах превышали нормативные концентрации, снижается до значений, не превышающих $ПДК_{хп}$. Нейтрализованная вода после отстаивания удовлетворяет требованиям $ПДК_{хп}$ (рис. 4.11).

При смешивании шахтной воды со шламами БСЗ происходит повышение *pH* за счет взаимодействия с карбонатом и гидроксидом кальция, которые являются основными компонентами отходов БСЗ. При этом происходит частичная

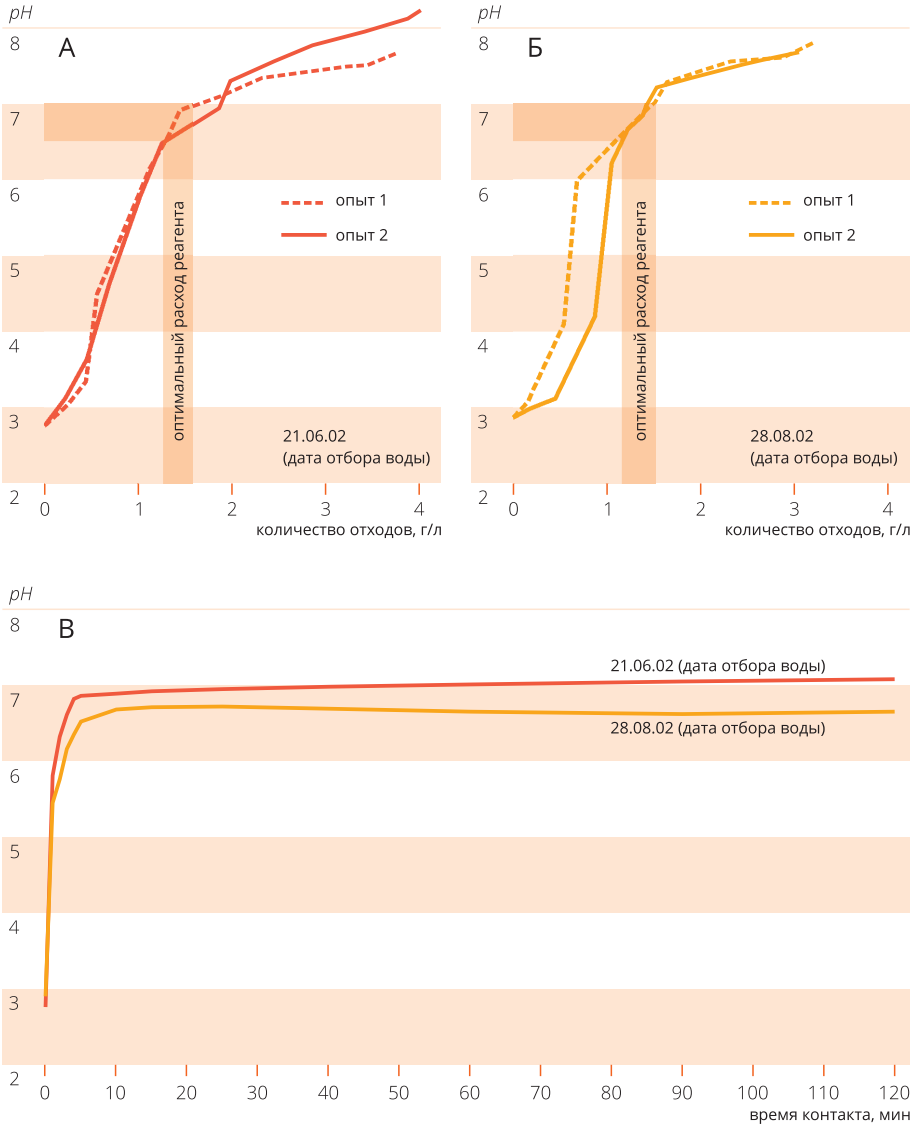
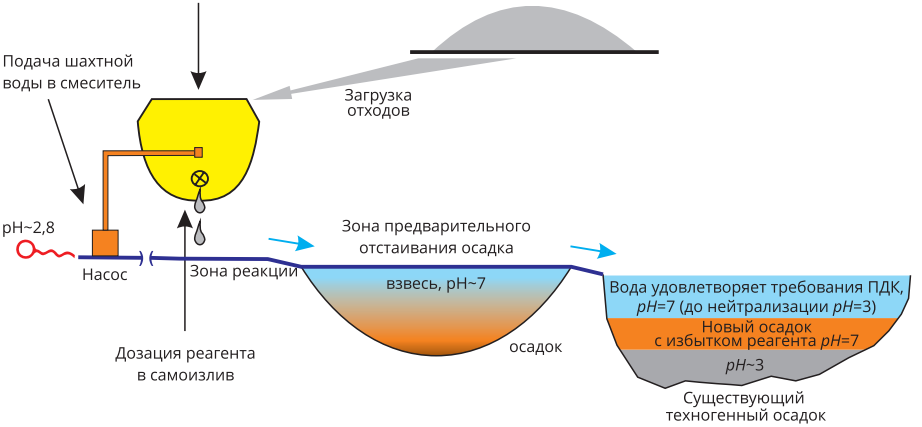


Рисунок 4.9.

Изменение водородного показателя воды излива шахты им. 40 лет Октября:
А, Б – при добавлении различного количества реагента
В – при добавлении оптимального количества реагента (1,35 г/л),
в зависимости от времени

Смеситель для приготовления реагента

Площадка складирования отходов БСЗ



Узел слива

Рахматульский водоем

Рисунок 4.10.

Общая технологическая схема очистки кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна (шахта им. 40 лет Октября) отходами БСЗ

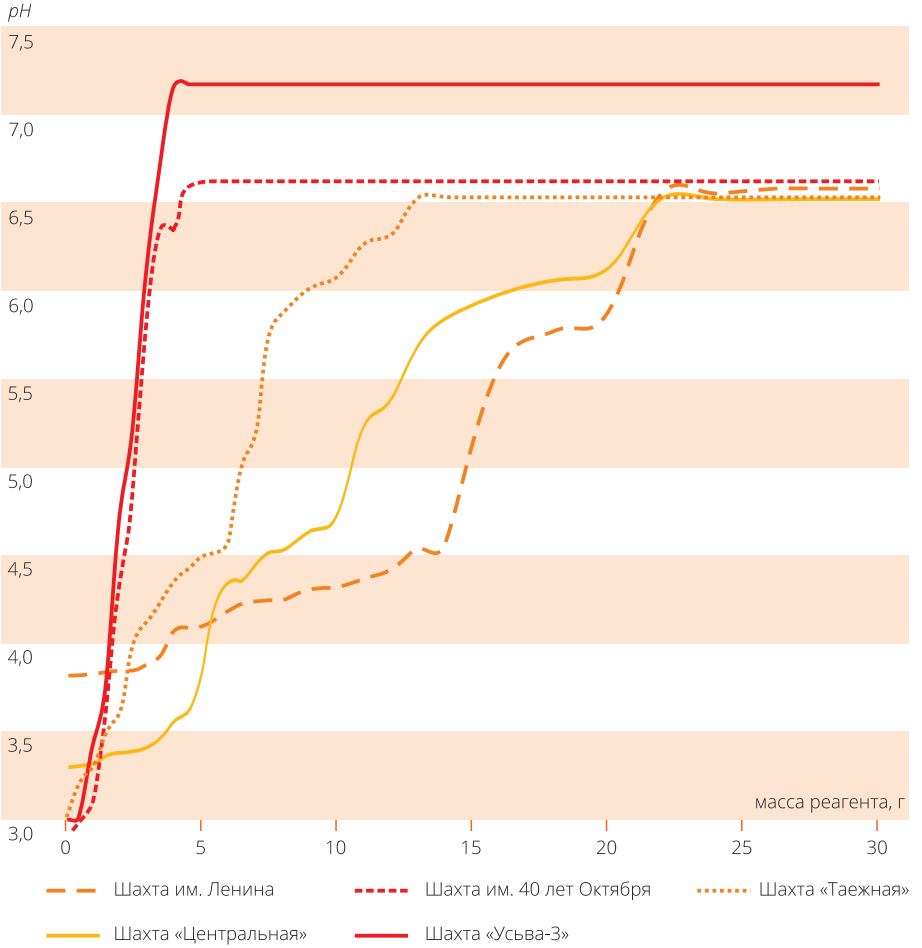


Рисунок 4.11.
Изменения *pH* вод различных шахт от массы реагента

очистка воды от ряда загрязнителей, которые хорошо мигрируют в кислой среде и малоподвижны в нейтральной и щелочной. К ним относятся большинство катионогенных металлов, таких как *Fe*, *Al*, *Mn*, *Co*, *Zn*, *Cu*, *Ni*, *Pb*, *Cd*, *Ti* и другие. При повышении *pH* растворов, в которых присутствуют ионы этих металлов, происходит их осаждение в виде гидроксидов.

Для каждого из металлов характерны определенные значения *pH* среды, выше которых начинается осаждение их гидроксидов. В таблице 4.3 приведены *pH* начала осаждения гидроксидов металлов, концентрации которых в шахтных

Таблица 4.3.

Значения *pH* начала осаждения гидроксидов из разбавленных растворов солей и произведение растворимости (ПР) гидроксидов при 25°С [137]

Показатель	$Ti(OH)_4$	$Fe(OH)_3$	$Al(OH)_3$	$Zn(OH)_2$	$Cr(OH)_3$	$Cu(OH)_2$	$Fe(OH)_2$	$Be(OH)_2$	$Pb(OH)_2$	$Ni(OH)_2$	$Co(OH)_2$	$Mn(OH)_2$
pH	1,4–1,6	2,48	4,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,7	6,0	6,7	6,8	9,0
ПР	$1 \cdot 10^{-30}$	$4 \cdot 10^{-38}$	$1,9 \cdot 10^{-42}$	$4,5 \cdot 10^{-17}$	$7 \cdot 10^{-31}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$	$1 \cdot 10^{-20}$	$7 \cdot 10^{-16}$	$8,7 \cdot 10^{-19}$	$1,3 \cdot 10^{-15}$	$4,1 \cdot 10^{-14}$

водах КУБа превышают $ПДК_{хп}$. Приведенные данные показывают, что при повышении *pH* шахтной воды, в первую очередь, в осадок выпадают гидроксиды титана, трехвалентного железа и алюминия. Fe^{3+} и Al^{3+} являются основными загрязнителями воды, изливающейся из штольни шахты им. 40 лет Октября. При дальнейшем повышении *pH* из раствора последовательно осаждаются гидроксиды *Zn*, *Cr*, *Cu*, *Fe*, *Be*, *Pb*, *Ni* и *Co*.

Существенные коррективы в очистку шахтной воды могут вносить процессы сорбции. Значительная часть образующегося при нейтрализации осадка представлена гелем гидроксида железа. Коллоиды $Fe(OH)_3$ обладают высокими сорбционными свойствами, что может приводить к совместному осаждению с гидроксидами железа других элементов.

В ряде случаев, когда исходная минерализация шахтных вод достаточно велика, ее состав при нейтрализации может регулироваться способностью к растворению веществ, ионы которых находятся в растворе.

Шахтная вода может содержать значительное количество сульфат-ионов, в некоторых случаях – до 17 г/л. При нейтрализации шахтных вод в раствор поступают ионы кальция. Водный сульфат кальция или гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) относится к малорастворимым соединениям. Его растворимость в воде составляет около 2 г/л. При отсутствии в нейтрализованной шахтной воде значительного количества каких-либо других ионов, совместное нахождение сульфатов и ионов кальция будет регулироваться растворимостью сульфата кальция. Избыточные ионы SO_4^{2-} и Ca^{2+} будут выпадать в осадок в виде гипса. Это подтверждается рентгеноструктурными исследованиями осадка.

Таким образом, при определенных условиях происходит частичная очистка шахтной воды от SO_4^{2-}.

Образующийся осадок представляет собой смесь тонкодисперсных частиц гидроксидов железа и гипса, частично не прореагировавшего карбоната кальция. Он имеет нейтральную реакцию среды. Подвижных форм железа, алюминия, марганца, свинца и других элементов практически не обнаружено, т. е. осадок не является источником вторичного загрязнения водных объектов (рис. 4.12).

После успешного проведения опытно-промышленного испытания предлагаемого метода на шахте им. 40 лет Октября, была проведена оценка необходимого количества реагентов для изливов шахт им. Ленина, «Центральная», «Усьва-3», «Таежная» [174].

Изучена зависимость изменения концентрации ионов водорода в шахтной воде от времени обработки реагентом. Для каждой пробы шахтной воды определена зависимость степени нейтрализации воды от массы реагента (рис. 4.11).

Результаты экспериментов по нейтрализации отхода шахтными водами различного состава обработали в виде зависимостей производной *d*(*pH*)/*d*(m), являющихся кривыми титрования кислоты (шахтной воды) щелочным реагентом. Получены кинетические зависимости содержания основных компонентов, по которым рассчитаны кинетические уравнения:

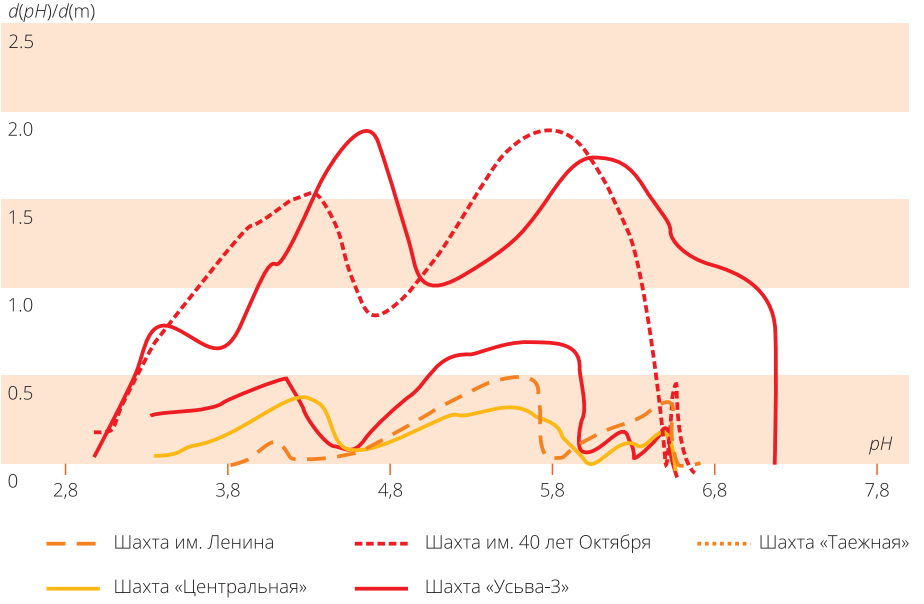


Рисунок 4.12.

Зависимость производной концентрации ионов водорода по массе реагента в зависимости от *pH*

$pH = 0{,}0049x^2 + 0{,}2561x + 2{,}8831$

$C\ Fe_{общ.} = 0{,}1857x^2 - 8{,}4396x + 91{,}904$

C сульф. $= 0{,}3582x^2 - 15{,}449x + 596{,}06$,

где x – время от начала взаимодействия, час; С $Fe_{общ.}$, С сульф. – концентрации компонентов в шахтных водах, мг/л [175].

На полученных кривых (рис. 4.12) для всех шахтных вод зафиксированы три максимума: первый максимум – 3,80–4,33; второй максимум – 4,68–5,70; третий максимум – 6,25–6,56, что соответствует ионным равновесиям взаимодействия карбоната кальция и разбавленным раствором серной кислоты.

Предложена модель нейтрализации слабого двухосновного основания (отходов БСЗ кислотой шахтной воды). В начале процесса нейтрализуется само основание до гидрокарбоната, затем гидрокарбонат – до угольной кислоты, и уже на третьей стадии титруется кислота по второй ступени.

По результатам данной серии экспериментов установлены закономерности оптимального количества реагента (y) от основных параметров шахтной воды. Выразить их можно следующими уравнениями.

Уравнение зависимости количества реагента от содержания сульфатов в шахтной воде (x):

$y = 5{,}84 \ln(x) + 8{,}76$ (коэффициент множественной корреляции = 0,97).

Уравнение зависимости количества реагента от минерализации (u):

$y = 5{,}2714 \ln(u) - 29{,}18$ (коэффициент множественной корреляции = 0,95).

Выполненные исследования позволили оценить необходимое количество отходов содового производства для очистки вод этих изливов. Результаты представлены в таблице 4.4. Используя данные по объему и составу всех изливов, выполнен расчет общего количества реагентов и образующегося осадка для всех изливов КУБа (табл. 4.5).

Дополнительным плюсом данного метода является использование для очистки шахтных вод отходов содового производства, хранение и утилизация которых представляет серьезную экологическую проблему.

Таким образом, проведение опытно-экспериментальных работ показало перспективность использования отходов содового производства для решения очистки вод изливов. Представленный метод позволяет комплексно решить ряд экологических проблем региона, к которым относятся: очистка кислых шахтных вод, рекультивация отвалов угольных шахт и снижение загрязнения приповерхностной гидросферы, снижение выделения парниковых газов из отвалов, утилизация отходов содового производства (см. разд. 4.5).

Следует отметить, что во многих случаях, при реализации природоохранных технологий по охране окружающей среды, оказывается негативное

Таблица 4.4.

Ориентировочный расход реагента и количество образующегося осадка для некоторых изливов

Место излива шахтных вод (шахта)	Основные параметры шахтной воды			Значение *pH* в очищенной воде	Оптимальная масса реагента, г/л	Необходимое количество реагента, тыс. т в год	Количество образующихся осадков, тыс. т в год
	pH	Сухой остаток, мг/л	$Fe_{общ}$, мг/л				
Им. Ленина	4,1	23959	4747	6,6	26,0	2,9	4,06
«Центральная»	3,3	15546	4433	6,5	22,3	54,9	76,86
Им. 40 лет Октября	2,9	801	97	6,6	5,1	3,5	4,9
«Усьва-3»	3,1	418	39	7,2	4,5	0,2	0,28
«Таежная»	3,6	6530	1390	6,5	14,0	15,3	21,42

Таблица 4.5.

Необходимое количество реагента для всех изливов КУБа

Необходимо реагента	153,4 тыс. т в год (7 вагонов в день)
Образуется осадок	214,7 тыс. т в год
Необходимая площадь для размещения осадка при мощности слоя 2 м	2,6 га в год

влияние. Образуются новые отходы, производятся выбросы в атмосферу и сбросы в гидросферу, создаются шум, вибрация, электромагнитные и тепловые поля.

Предлагается технология практически лишенная этих недостатков. Кроме того, энергозатраты на ее реализацию минимальны, что также является положительным моментом с точки зрения охраны окружающей среды.

4.5. Очистка стоков с отвалов

Как было показано выше (см. главу 3), стоки с отвалов вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды КУБа. Стоки с отвалов характеризуются непостоянным объемом и химическим составом, которые могут существенно меняться как в течение года, так и в течение времени существования отвала. На многих отвалах стоки имеют непостоянный характер и существуют в период снеготаяния или обильного выпадения осадков.

На территории КУБа учтен 31 отвал, в действительности их значительно больше, так как при работе бассейна многие отходы угледобычи складировались стихийно.

Негативное воздействие стоков заключается в загрязнении поверхностных и подземных вод. Стоки имеют неорганизованный характер, каналы стоков

не выражены, вследствие чего значительные по площади участки земной поверхности подвергаются загрязнению.

Перспективными направлениями предотвращения негативного влияния стоков с отвалов являются как очистка поверхностного и подземного стока, так и рекультивация, включающая воздействие на породы отвалов для снижения миграции из них загрязнителей. Для этого могут использоваться, получившие в последнее время большое распространение, технологии на основе искусственных геохимических барьеров [113, 214, 215].

Очистка поверхностного стока с отвалов. Проблему очистки стоков с отвалов можно частично решить с помощью достаточно простых сооружений. На пути стоков с отвалов сооружается дамба, и обустраивается сборник стоков. Дамба и ложе сборника стоков выполняются из карбонатных пород (рис. 4.13).

В качестве материала целесообразно использовать отсевы карьеров карбонатных пород, которые расположены в пределах КУБа или в непосредственной близости (рис. 4.14). Объем отходов в образующихся месторождениях только за 2016 г. составил 1,9 млн тонн.

Для оценки эффективности предлагаемого метода, совместно с В. И. Сергеевым, выполнен комплекс лабораторных исследований, целью которых являлось определение возможности использования фильтра из карбо-

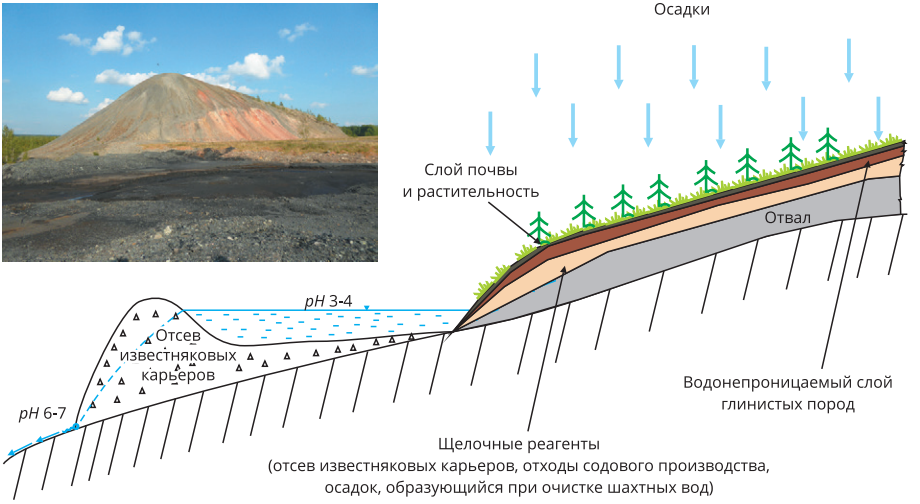


Рисунок 4.13.

Принципиальная схема очистки кислых стоков с отвалов с использованием отсевов известняковых карьеров и других щелочных реагентов

натных пород для очистки кислых стоков. Для экспериментов использовались кислые воды с *pH* 1,55 и различные фракции отсевов известнякового карьера (табл. 4.6).

Карбонатные породы помещались в трубку, через которую пропускались кислые воды, при этом использование насоса-дозатора позволяло регулировать скорость подачи этой воды. На выходе отбирались пробы, в которых фиксировались изменения *pH*. В ходе каждого эксперимента определялась удельная поверхность частиц карбонатной крошки, заполняющей трубку. Кроме этого, определялась зависимость величины *pH* от скорости прохождения кислой воды в фильтре. Эффект очистки считался достигнутым, когда *pH* раствора достигал 6. При таких значениях осаждается большинство загрязнителей кислых вод (см. разд. 4.4).

Сложность решения поставленной задачи заключалась в том, что на изменение *pH* одновременно оказывают влияние как величина удельной поверхности частиц фильтра, так и время контакта шахтной воды с поверхностью фильтра. Эксперименты проводились в широком диапазоне скоростей фильтрации – от 0,0004 см/с до 0,02 см/с. Для каждой из использованных фракций определялся коэффициент фильтрации.

В ходе проведения эксперимента фиксировалось влияние растворения карбонатов на изменение проницаемости фильтра.

Используемые фракции имеют коэффициенты фильтрации и величины удельной поверхности, представленные в таблице 4.6.

При снижении величины удельного расхода до значений 0,6 см^3/мин и, соответственно, скорости $2{,}36 \cdot 10^{-3}$ см/с, значение *pH* на выходе становится равным 6,0 и остается неизменным после пропускания через фильтр 500 объемов порового пространства. При этом появляющаяся взвесь не оказывает существенного влияния на изменение проницаемости фильтра.

Исследования зависимости изменения *pH* от размера фракции (соответственно, поверхности фильтра) и скорости фильтрации были выполнены в аналогичном опыте для фракций размерами 1–2 мм, 2–3 и 3–5 мм. Эти исследова-

Таблица 4.6.

Величины коэффициента фильтрации и удельной поверхности фракций

Показатель	Размер фракций, мм			
	0,5–1	1–2	2–3	3–5
Величина К, м/сут	80	290	750	900
Величина удельной поверхности, см^3	24,1	12,03	7,21	4,52

Рисунок 4.14.

Месторождения известняков и доломитов в районе КУБа

ния позволили установить скорости фильтрации и время контакта шахтных вод при использовании каждой из фракций. В таблице 4.7 даны скорости фильтрации и необходимое время контакта с фильтром шахтных вод, обеспечивающие повышение *pH* до значения 6,0.

Полученные данные могут быть использованы для расчета параметров фильтра и технологии его использования в производстве (объемы фильтра, градиенты напора и т. д.).

Для примера выполнен вариант расчета для условия, когда требуется обеспечить повышение *pH* кислых вод с водопритоком 3 л/с.

Для обеспечения повышения *pH* до 6,0 при притоке кислых вод 3 л/с, требуется различный начальный объем фильтра, в зависимости от крупности фракции. Это условие определяется временем контакта кислых вод с карбонатной крошкой и необходимостью обеспечения фильтрации всего суточного притока вод. В таблице 4.8 приведен необходимый объем грунта для каждой фракции, объем кислых вод, для которых будет получен *pH* не менее 6,0, и время сработки фильтра.

Для обеспечения эффективной работы данного фильтра необходимо выполнить условие, о котором упоминалось выше, т. е. обеспечить время контакта кислых вод с поверхностью фильтра. Это достигается путем определения необходимого градиента фильтрации.

Приведем пример расчета значений градиента фильтрации при использовании фракции 0,5–1 мм.

Имеем приток кислых вод 3 л/с, что соответствует 259,2 м^3/сут. Как следует из таблицы 4.8, необходимый объем фильтра, обеспечивающий ежесуточную нейтрализацию шахтных вод с данным водопритоком, составит для фракции 0,5–1 мм – 21,9 м^3. Примем толщину фильтра равную 1 м. Тогда, приняв, что Q – суточный расход – 259,2 м^3; S – сечение фильтра – 21,9 м^3; t – время фильтрации – 1 сут, можем определить скорость фильтрации V из выражения:

$$V = \frac{Q}{Sxt} = 11{,}8 \text{ м/сут}$$

Таблица 4.7.

Расчет оптимальных условий и параметров карбонатных фильтров

Размер фракций, мм	Скорости фильтрации, см/с	Необходимое время контакта, сут
0,5–1	$2{,}86 \cdot 10^{-3}$	0,035
1–2	$1{,}43 \cdot 10^{-3}$	0,069
2–3	$0{,}86 \cdot 10^{-3}$	0,116
3–5	$0{,}52 \cdot 10^{-3}$	0,191

Таблица 4.8.

Расчет условий эксплуатации фильтров

Размер фракций, мм	Объем грунта, обеспечивающий за 1 сут нейтрализацию вод, м³	Объем воды (м³), нейтрализованной до *pH* 6,0	Время сработки фильтра, сут
0,5–1	21,9	4380	17
1–2	43,2	8640	33
2–3	72,6	14500	56
3–5	118,6	23720	92

Отсюда градиент фильтрации, при коэффициенте фильтрации данной фракции 80 м/сут (табл. 4.6), составит 0,148.

Таким образом, перепад напоров, между уровнями выше и ниже плотин из карбонатного материала, должен составить 15 см. При этом должно быть соблюдено условие свободного пропуска воды через всё сечение фильтра при данном градиенте.

Именно такой перепад напоров обеспечит необходимое время контакта кислых вод с фильтром и пропуск всего объема сбрасываемых вод через фильтр. В таблице 4.9 приведены величины градиентов при различной толщине и разных фракциях карбонатной крошки. Эта таблица позволяет выбрать оптимальный вариант конструкции фильтра, с учетом особенностей рельефа и технических возможностей.

Таким образом, выполненные работы показывают, что проблема очистки стоков с отвалов может быть реально решена при использовании отсевов известняковых карьеров.

В случае больших объемов стоков с отвалов, воды в образовавшемся отстойнике могут очищаться реагентным способом. Профильтровавшиеся через плотину воды могут дочищаться на биоплато [123], как, например, на месторождении Куль-Юрт-Тау в Башкирии.

Очистка подземного стока с отвалов. Отвалы являются источником загрязнения не только поверхностных, но и подземных вод. В зоне влияния отвала создается ареал кислых подземных вод, которые разгружаются в ближайшую дрену. В пределах КУБа масштабы этого явления практически не изучены, однако его роль может оказаться достаточно значительной.

Для очистки загрязненных подземных вод было предложено использовать искусственные щелочные геохимические барьеры. Опытные работы проводились на участке, расположенном вблизи отвала шахты № 4 (район Губахи), ниже по потоку подземных вод.

Таблица 4.9.

Параметры фильтра из карбонатной крошки

Размер фракций, мм	Коэффициент фильтрации, м/сут	Объем карбонатной крошки, м^3	Толщина фильтра, м	Площадь, м^2	Необходимый градиент
0,5–1	80	21,9	1 2 3	21,9 10,9 7,3	0,15 0,30 0,45
1–2	290	43,2	1 2 3	43,2 21,6 14,4	0,02 0,04 0,06
2–3	750	72,6	1 2 3	72,6 36,3 24,2	0,005 0,01 0,015
3–5	900	118,6	1 2 3	118,6 59,3 39,5	0,0002 0,0004 0,0006

Для создания барьера в качестве реагента использовались отсевы ближайших известняковых карьеров.

Подземные воды в зоне влияния отвала распространены в суглинках с включениями дресвы и щебня кварцевого алевролита на глубине 0,3–0,4 м. По данным режимных наблюдений, вода на участке до начала опытных работ имела сульфатно-железисто-натриевый состав, содержание сульфатов достигало 19,7 г/л, железа – 5,3 г/л. Минерализация изменялась от 17 до 28 г/л, *pH* находился в пределах 1,7–2,1.

Для очистки подземных вод отсевы (карбонатная крошка), без предварительной обработки, укладывались в траншею, пройденную до водоупора, которым является черная плотная глина, залегающая на глубине 1,0–1,2 м. Выше и ниже по потоку от канавы проходились шурфы для наблюдения за составом подземных вод (рис. 4.15) [98].

В результате применения метода, водородный показатель подземных вод повысился с 1,8 до 6,8 и сохранял близкие значения в течение года наблюдений. Химический состав воды сменился на сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый. Существенно снизились минерализация воды – с 28 до 3 г/л и содержание основных загрязняющих компонентов.

По данным рентгеноструктурного анализа, в составе суглинков приконтактной зоны обнаружены: гетит – 7–32%, ярозит – до 41%, гипс – до 8%, гематит – до 4%. Образующийся осадок заполняет поровое пространство, что затрудняет фильтрацию и цементирует грунты. В результате этого изменились также деформацион-

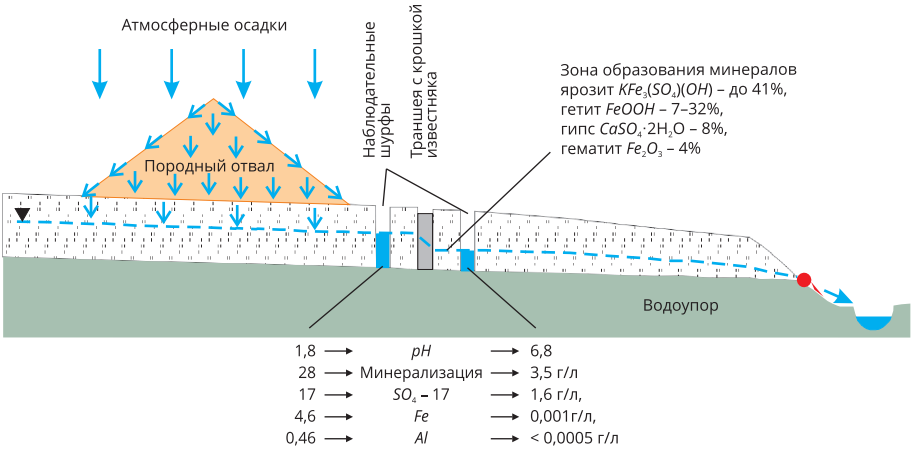


Рисунок 4.15.

Схема проведения и результаты опытных работ по очистке стоков с породного отвала

ные свойства суглинков. По данным компрессионных испытаний, модуль деформации грунтов увеличился в два и более раз. Реализованная технологическая схема проста в исполнении и практически не требует эксплуатационных затрат.

Снижение выноса загрязняющих компонентов из отвалов в ходе рекультивации. В настоящее время для ряда отвалов проведена частичная рекультивация, однако при этом не учитывались их геохимические особенности (см. разд. 2.4).

Техническая, а на некоторых отвалах – биологическая, рекультивация не останавливает геохимические процессы, ведущие к формированию кислых стоков. В некоторых случаях при рекультивации наблюдается обратный эффект. Планировка отвалов увеличивает их площадь и соответственно поверхность контакта с кислородом. Рекультивация пород отвалов проводится путем создания глинистого экрана и насыпки поверх него плодородного почвогрунтового слоя. В большинстве случаев положительные результаты реализации таких проектов рекультивации непродолжительны: созданный слой быстро разрушается, и негативные процессы вновь активизируются [24]. Это интенсифицирует процессы выноса загрязняющих веществ.

Рекультивация должна проводиться с учетом специфики отвалов. Основные усилия должны быть направлены на уменьшение контакта пород отвалов с кислородом, снижение количества фильтрующихся через них осадков, снижение кислотности пород. В настоящее время авторами проработаны некоторые варианты решения поставленных задач.

Перспективным направлением является обработка отвалов с поверхности щелочными реагентами. Возможность использования отходов Березниковского содового завода для рекультивации отвалов испытана на породах отвалов четырех шахт [108]. Детальная характеристика отходов дана в главе 2. Эксперимент основан на гидрохимических процессах контактирующих смесей породы с реагентом в различных объемных соотношениях. В ходе исследований получены данные, которые показали, что изменение концентрации загрязняющих веществ и *pH* для всех породных отвалов близки. Для примера приведены результаты для породы шахты им. 40 лет Октября (табл. 4.10).

В качестве основного показателя загрязнения выбрана концентрация ионов водорода (*pH*), так как она более наглядно характеризует изменения, происходящие в эксперименте (рис. 4.16).

Получены кинетические зависимости изменения *pH* во времени. Кинетическое уравнение имеет вид

$$c = c_0 e^{0,0134t},$$

где t – время от начала взаимодействия, мес.; c_0– начальная концентрация ионов водорода, c – концентрация ионов водорода с течением времени.

Экспериментальные и расчетные данные хорошо укладываются на один график. Остальные породные отвалы имеют кинетические зависимости такого же типа.

Таблица 4.10.

Химический состав фильтратов пород отвалов шахты им. 40 лет Октября при добавлении к ним реагента

Время, мес.	Концентрация основных компонентов, мг/л				
	Сульфаты	Гидро-карбонаты	Железо	Кальций	Показатель *pH*
порода без реагента					
1	19 250	отсутствие	3916	160	1,97
соотношение порода/реагент 10:1					
1	6711	247	67,9	321	5,01
3	5833	341	50,4	397	5,23
6	4589	432	43,6	432	5,77
соотношение порода/реагент 5:1					
1	2790	551	11,2	564	5,87
3	1911	654	6,8	690	6,16
6	1633	721	2,3	721	6,75

Для полученных зависимостей предложена кинетическая модель гетерогенного взаимодействия твердого карбоната кальция с ионами водорода в жидкой фазе. Гетерогенный процесс состоит из нескольких стадий: доставка ионов (H^+) из раствора к поверхности твердого реагента ($CaCO_3$), собственно химическая реакция на поверхности твердого тела и отвод продуктов реакции от поверхности вглубь раствора. Каждая из этих стадий может быть лимитирующей. В данном случае лимитирующей стадией процесса является доставка вещества к реакционной границе фаз, за счет диффузии. Диффузия осуществляется за счет градиента концентрации.

Эксперименты показали, что соотношение порода/реагент 1:10 и меньше является вполне оптимальным. При таком соотношении за равные интервалы времени действие реагента достаточно. Например, эксперимент с соотношением порода/реагент 10:1 через 6 месяцев показывает, что увеличение концентрации реагента в 2 раза увеличивает скорость нейтрализации не более чем на 10%. Результаты экспериментов были положены в основу выбора оптимального соотношения порода/реагент. Оценочная продолжительность действия реагента при оптимальном соотношении 5:1 – 5,5 лет, в течение которых произойдет формирование почвенного грунта, пригодного для процессов самозарастания [108].

Таким образом, проведенные эксперименты показали принципиальную возможность подготовки поверхности отвалов для биологической рекультивации и уменьшения кислотного потенциала отвалов.

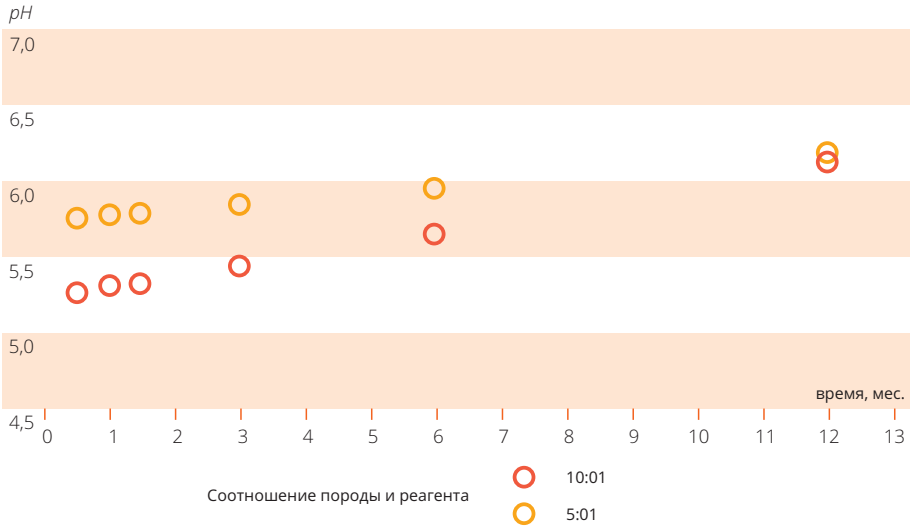


Рисунок 4.16.

Зависимость *pH* от времени для отвала шахты им. 40 лет Октября [108]

Успешный опыт рекультивации участка шахтного поля КУБа с использованием щелочных реагентов реализован в 2003–2005 гг. [24]. Его результаты позволили разработать алгоритм эффективной мелиорации, включающий последовательное выполнение приемов:

- разваловку техногенных форм с понижением высоты и формированием устойчивого рельефа;
- пескование верхнего слоя с одновременным внесением извести в дозах, необходимых для погашения избытка актуальной кислотности;
- рыхление поверхности и посев травосмесей с сидерофильными и дерновинообразующими свойствами.

Рекультивация отвалов с помощью осадка, образующегося при очистке вод изливов. Одной из проблем, возникающих при очистке шахтных вод щелочными реагентами, является образование значительного количества осадка, требующего складирования и утилизации. Перспективным направлением является использование его для рекультивации пород шахтных отвалов. Исследование выполнено на примере осадка, образовавшегося при нейтрализации изливов шахты им. 40 лет Октября отходами содового производства. Осадок содержит непрореагировавший щелочной компонент. Детальная характеристика осадка дана в разделе 4.4.

Для изучения пригодности образующегося осадка для поселения, роста и развития растений производили определение его фитотоксичности. Фитотоксичность – это реакция растений на условия их развития и содержание нежелательных ингредиентов в среде обитания.

Определение фитотоксичности выполнено В. И. Каменщиковой на увлажненных до полной влагоемкости пластинах из следующих субстратов:

- осадок, образовавшийся при опытно-промышленной нейтрализации воды излива отходами БСЗ;
- осадок, смешанный в пропорции 3:1 с породами северной части отвала шахты им. 40 лет Октября, с преобладающим размером частиц от 2 до 5 мм и кислой реакцией водной вытяжки (*pH* 2,8);
- техногенный осадок, накопившийся в Рахматульском водоеме (см. разд. 3.3).

В целях создания более благоприятного питательного режима растений для каждого из субстратов, в опыт был введен дополнительный вариант с внесением удобрений. Удобрения вносились в виде 0,2% водного раствора KNO_3 и K_2HPO_4.

Контрольными образцами служили вода, растворы минеральных удобрений, а также местная почва – дерновая, суглинистая, с нейтральными значениями *pH* и содержанием органических веществ около 8%.

В опытах использовались семена злаковых (тимофеевка, овсяница, пырей) и бобовых (люцерна) трав в травосмеси, а также наклюнувшиеся семена пшеницы, весьма чувствительные к условиям среды. В течение 10 дней производился полив пластин. Через 10 суток производился визуальный контроль развития многолетних трав, а также замер длины и веса надземной и подземной частей пшеницы.

Установлено, что в субстрате, представленном смесью осадка, образующегося при нейтрализации кислых шахтных вод с породами отвала, существуют наиболее благоприятные условия для многолетних трав. Развитие растений, особенно для варианта с удобрением, сравнимо с контрольной почвой (рис. 4.17).

Аналогичные результаты для этого субстрата получены при определении фитотоксичности на проростках пшеницы. Высота надземной части растений и их фитомасса, в вариантах без удобрений, превышают контрольные варианты «вода» и «вода и удобрения» (рис. 4.17). Улучшение питательного режима путем внесения удобрений положительно сказывается на высоте и нарастании фитомассы надземной части растений, что приближает этот грунт по ростостимулирующему эффекту к нормальным (контрольным) почвам.

На осадке без примесей развитие растений происходило несколько медленнее. Причиной является то, что он состоит из тонкодисперсных частиц, что несколько замедляет развитие растений и проявляется в снижении веса и меньшем нарастании надземной фитомассы до 6%, по сравнению с контрольной почвой. Внесение удобрений для этого субстрата повышает высоту и вес растений, что делает его сравнимым с контрольной почвой.

Эксперименты с образующимся в результате нейтрализации осадком показали, что он зарастает многолетними травами (тимофеевка, овсяница, пырей, люцерна) практически так же, как и контрольные образцы почвы (рис. 4.18), т. е. его можно использовать для рекультивации шахтных отвалов. При этом следует ожидать уменьшения их развеивания и выделения из них парниковых газов, а также снижения инфильтрации атмосферных осадков и стоков с них.

Приведенные примеры возможности улучшения экологической обстановки показывают необходимость комплексного подхода к решению экологических проблем. На рис. 4.19, на примере шахты им. 40 лет Октября, показаны возможные пути его реализации.

Северо-восточнее границ КУБа, в 44 км, находится акционерное общество «Березниковский содовый завод», которое является одним из крупнейших предприятий химической отрасли РФ.

Производство кальцинированной соды сопряжено с образованием не только шламов, но и других отходов в значительных объемах: шлама содового

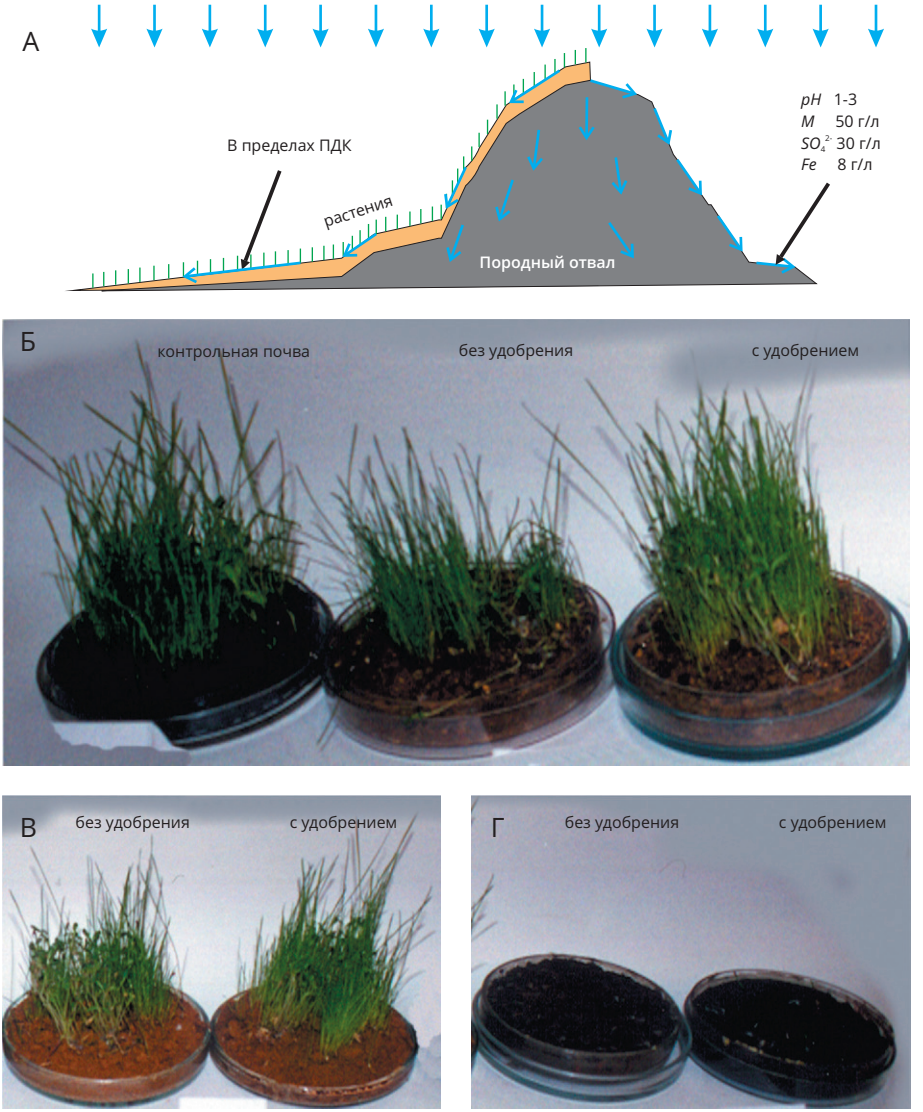


Рисунок 4.17.

Результаты засева осадка, полученного при нейтрализации шахтных вод
А – рекультивация отвалов и территории шахты, Б – смесь осадка, полученного при нейтрализации шахтной воды, с породами отвала,
В – осадок, полученный при нейтрализации шахтной воды,
Г – техногенный осадок, образующийся на участках сброса кислых вод

производства, минерального продукта содового производства, извести негашеной комовой, молока известкового (табл. 4.11). Одним из компонентов сырья является известняк, который добывается в Ивакинском карьере (в 20 км севернее); при его добыче образуется значительное количество щелочных продуктов: щебня из горных пород, смеси щебеночной, вскрыши.

Как показали лабораторные и опытно-промышленные испытания, отходы и продукты АО «БСЗ» могут широко использоваться для решения экологических проблем КУБа. Сведения о направлениях их использования приведены в таблице 4.12.

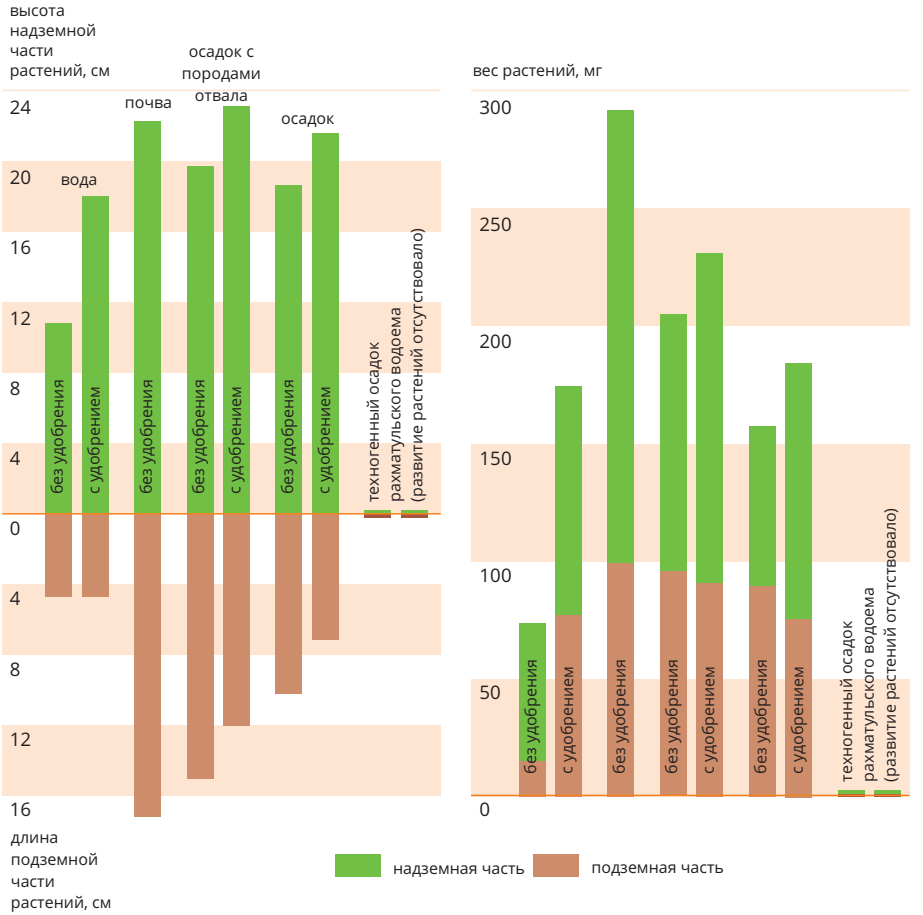


Рисунок 4.18.

Размеры надземной и подземной частей и фитомассы пшеницы, выращенной в течение 10 дней на различных субстратах

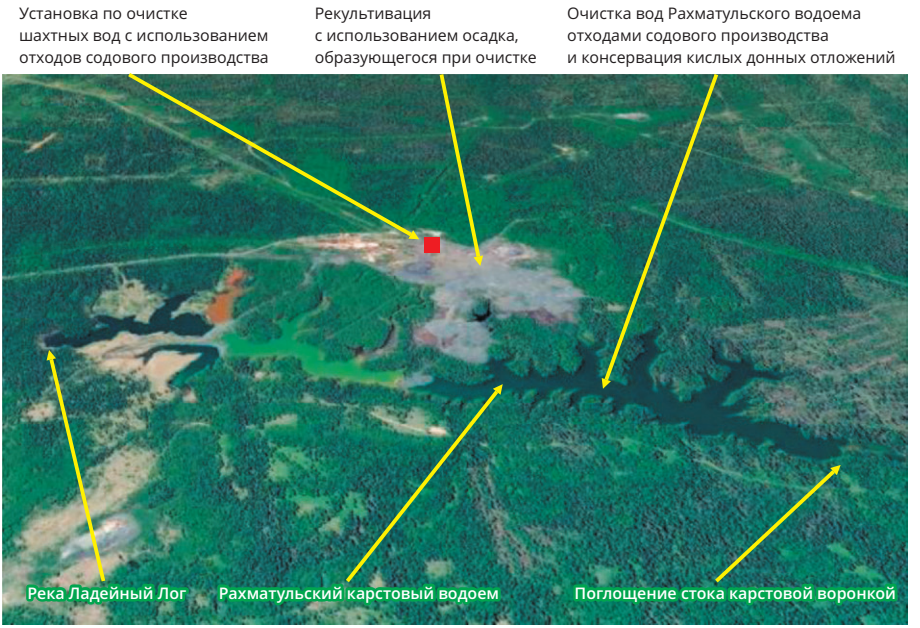


Рисунок 4.19.

Комплексный подход к очистке кислых вод изливов и использование образующегося осадка для рекультивации

Еще один минеральный продукт, который можно будет использовать для решения экологических проблем на территории КУБа, по составу близок к шламу содового производства: массовая доля карбонатов кальция и магния, в пересчете на карбонат кальция, – не менее 60%, массовая доля влаги – не более 35%, массовая доля хлорид-ионов в водной вытяжке – не более 4%, массовая доля сульфат-ионов в водной вытяжке – не более 0,5%. Начиная с 2021–2022 гг. на АО «Березниковский содовый завод» планируется запуск установки по производству минерального продукта на основе отходов содового производства. Ориентировочные объемы изготовления продукта оцениваются до 200 тыс. тонн в год.

Проведенные лабораторные исследования подтвердили более высокую эффективность применения минерального продукта содового производства при нейтрализации кислых шахтных вод и стоков. На рисунке 4.20 представлено изменение *pH* кислых вод при их обработке щелочными реагентами.

Помимо высокой эффективности при нейтрализации кислых вод, важным преимуществом минерального продукта является простота его транспортировки и складирования.

Таблица 4.11.

Щелочные продукты и отходы АО «БСЗ»: перспективы их применения

Название	Технические требования к продукту	Вещественный состав и описание	Объемы запасов	Перспективы применения
Шлам содового производства	ТУ 9023-01-5903003548-2002	Массовая доля карбонатов кальция и магния в пересчете на карбонат кальция не менее 60%, массовая доля влаги не более 35%, массовая доля хлорид-ионов в водной вытяжке не более 4%, массовая доля сульфат-ионов в водной вытяжке не более 0,5%	До 1 млн тонн	• Рекультивация угольных отвалов • Очистка шахтных вод в выработанном подземном пространстве и его тампонирование • Восстановление экосистем рек (консервация техногенного осадка и загрязненных донных отложений) • Очистка кислых шахтных вод и стоков с отвалов
Минеральный продукт содового производства	Аналогичен по составу ТУ 149-334-00203312-2015	По составу близок к шламу содового производства	До 200 тыс. тонн в год (с 2021 г.)	
Щебень из горных пород	ТУ 5711-039-50265324-2004	Массовая доля глины в комках не более 10%, массовая доля карбоната кальция и магния не нормируется, по факту не менее 85%	До 300 тыс. тонн	• Первичная (грубая) нейтрализация шахтных вод и стоков с отвалов • Проведение комплекса рекультивационных мероприятий на территории отвалов угольных шахт с долговременным эффектом нейтрализации кислых стоков • Консервация кислого техногенного осадка рек и водоемов • Очистка подземных вод в районе отвалов • При необходимости – использование в качестве сырья для обжига на известь с последующим использованием извести как реагента для нейтрализации шахтных вод и стоков с отвалов
Смесь щебеночная, фракции 0–40 мм	ТУ 5711-51-50265324-2013	Массовая доля карбонатов кальция и магния не менее 82%, массовая доля глины в комках не более 10%		
Вскрыша (скальные породы)	ТУ 5743-52-50265324-2013	Массовая доля глины в комках не более 50%, остаток – карбонатные породы, фракции до 600 мм	По потребности	Консервация кислого техногенного осадка рек и водоемов
Известь негашеная комовая	ТУ 2123-44-50256324-2007	Массовая доля активной окиси кальция не менее 65%, массовая доля суммы карбонатов кальция и магния не более 20%	По потребности	Нейтрализация кислых вод любого состава, в том числе тонкая доочистка (донейтрализация)
Молоко известковое	ТУ 2133-45-50265324-2010	Массовая доля оксида кальция активного не менее 182 г/дм^3. Поставляется наливом в виде суспензии		

Таблица 4.12.

Возможности использования продуктов и отходов содового производства для решения экологических проблем на территории КУБа

Возможность применения		Степень готовности	Доступный объем продукта (отхода)	Ориентировочная потребность	Сущность метода	Примечания
Очистка вод изливов (в том числе после проведения мероприятий по их минимизации)	Шлам содового производства	Получен патент на изобретение № 2293063, проведены успешные лабораторные и опытно-промышленные испытания на изливе шахты им. 40 лет Октября. Проведена независимая экспертиза четырьмя организациями, подтверждающая перспективность применения данной технологии для очистки шахтных вод. При этом не требуется строительства классических очистных сооружений. Срок строительства установки 6 месяцев	До 1 млн тонн	153 тыс. тонн в год	Шлам добавляется в поток шахтной воды. Специально разработанная установка позволяет готовить пульпу определенной консистенции из шлама и шахтной воды и выливать ее непосредственно в канал стока излива. Осадок собирается в пруд-отстойник и в дальнейшем используется для рекультивации отвалов	При смешивании шахтной воды со шламами происходит повышение *pH* за счет взаимодействия с карбонатом и гидроксидом кальция, которые являются основными компонентами шламов. При этом происходит выпадение в осадок
	Минеральный продукт содового производства	Учитывая высокую перспективность продукта для решения экологических проблем КУБа, необходимо проведение лабораторных и опытно-промышленных испытаний, направленных на оценку возможности их использования	В зависимости от проектных решений при строительстве установки (ориентировочно – до 200 тыс. тонн в год с 2021 г.)	–	По аналогии с шламами содового производства	Подготовленный продукт может быть использован в качестве добавки для повышения эффективности проводимых мероприятий, что позволит существенно сократить общие расходы
	Отсевы дробления известняков	Проведены предварительные лабораторные исследования на аналоге	До 300 тыс. тонн	–	По аналогии с шламами содового производства	
Очистка шахтных вод в выработанном подземном пространстве	Шлам и продукты АО «БСЗ»	Необходимо проведение моделирования, лабораторных и натурных испытаний, разработка проекта	До 1,2 млн тонн	–	Осуществляется закачка продукта в виде пульпы в выработанное пространство шахт с помощью скважин	При нейтрализации вод образуется осадок, что приводит к снижению миграции загрязняющих веществ. Образующийся осадок будет

Продолжение таблицы 4.12.

Возможность применения		Степень готовности	Доступный объем продукта (отхода)	Ориенти-ровочная потребность	Сущность метода	Примечания
						тампонировать выработанное пространство и, тем самым, будет постепенно уменьшаться количество изливающихся вод, до полного прекращения изливов, особенно если закачку производить в сочетании с тампонированием горных выработок
Рекультивация породных отвалов		Проведены лабораторные эксперименты по рекультивации отвалов с использованием шлама содового производства на примере пород отвалов четырех шахт, также имеется успешный опыт рекультивации участка шахтного поля КУБа с использованием щелочных реагентов. Необходимы детальные исследования и натурные эксперименты	–	Около 700 тыс. тонн на весь объем отвалов	Механизм очистки основан на геохимических процессах контактирующих смесей породы с щелочными реагентами в различных объемных соотношениях	Эффективная рекультивация территории породных отвалов позволит минимизировать поступление кислых вод в водотоки на территории КУБа
Консервация кислого техногенного осадка рек и водоемов		Изучены зарубежные аналоги. Технология находится на стадии разработки, проведены первичные лабораторные испытания	–	Потребность может быть уточнена после проведения лабораторно-экспериментальных работ. Техногенные осадки загрязняют более 500 км рек	Извлечение из долин рек накопившихся осадков, а также их безопасное складирование является практически нерешаемой задачей. Единственным, на наш взгляд, способом является максимальная изоляция техногенных отложений от контакта с речными водами. Консервация техногенных донных отложений может	Учитывая масштаб воздействия кислых вод на реки и водоемы (протяженность рек, подвергшихся загрязнению, составляет более 500 км), консервация техногенного осадка является одним из реально осуществимых природоохранных мероприятий. Смесь отходов и продуктов АО «БСЗ», а также глинистых пород создадут слой на

Продолжение таблицы 4.12.

Возможность применения	Степень готовности	Доступный объем продукта (отхода)	Ориенти-ровочная потребность	Сущность метода	Примечания
				осуществляться путем перекрытия смесью из природных глинистых отложений со щелочными компонентами. Смесь отходов и продуктов АО «БСЗ», а также глинистых пород необходимо вносить в русло рек. После проведения необходимых расчетов по количеству, крупности и т. д. – реагенты вносятся в русло реки, разносятся потоком и оседают на дно реки, консервируя техногенный осадок	поверхности донных отложений, который будет препятствовать миграции загрязнителей. Кроме того, глинистые отложения являются сорбентами тяжелых металлов со значительной емкостью, что будет усиливать эффект консервации
Очистка стоков с отвалов	Проведены лабораторные испытания по нейтрализации кислых стоков с отвалов	–	Около 700 тыс. тонн на весь объем отвалов	Обработка отвалов раствором, содержащим необходимое количество реагентов. Реагент производится с помощью специальной установки в непосредственной близости от отвала. Впоследствии отвал может быть отсыпан щелочными отходами, водонепроницаемым слоем глинистых пород и почвенно-растительным слоем	При фильтрации раствора происходит нейтрализация кислой среды породных отвалов, а образовавшийся осадок сформирует слой, затрудняющий прямое попадание атмосферных осадков на поверхность отвала
Очистка подземных вод в районе отвалов	Проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания с отсевами дробления известняков местных карьеров	–	–	Вниз от отвала, по потоку подземных вод, вырывается траншея и заполняется щелочными реагентами	Очистка подземных вод является одним из обязательных направлений в комплексе работ по решению экологических проблем на территории КУБа

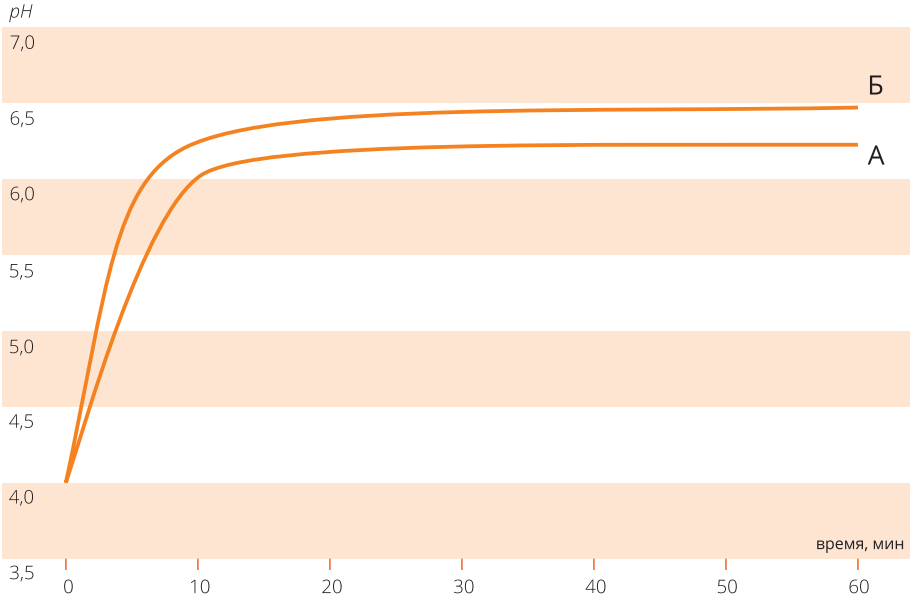


Рисунок 4.20.

Эффективность различных щелочных реагентов при нейтрализации кислых вод
А – минеральный продукт содового производства
Б – шлам содового производства

4.6. Нейтрализация грунтов и подземных вод, агрессивных к строительным конструкциям

В ходе 200-летней истории разработки КУБа на значительной территории стихийно складировались отходы добычи и переработки угля. Отвалы угольных шахт использовались при планировке территории, строительстве дорог, дамб, обратной засыпки фундаментов, причем без оценки их агрессивных свойств по отношению к строительным конструкциям. Кроме того, эти грунты являются источником загрязнения окружающей среды.

В силу геохимических особенностей грунты и формирующиеся в них подземные воды обладают сульфатной и кислотной агресивностью.

Коррозия бетона является серьезной проблемой при эксплуатации конструкций и сооружений. В России ежегодный ущерб от коррозии превышает 25 млрд рублей. В развитых странах он достигает 4% валового национального продукта. Рекомендуемые нормативными документами [161], методы защиты подземных конструкций от коррозии сводятся к повышению химической устой-

чивости применяемых материалов и нанесению антикоррозионных покрытий. Иногда производится замена агрессивного грунта или снижение уровня подземных вод. Эти способы требуют значительных затрат, и большая их часть не применима в тех случаях, когда агрессивные среды сформировались в ходе эксплуатации сооружений. В связи с этим, необходима разработка новых подходов к проблеме защиты подземных конструкций от агрессивных сред, с учетом экономической и технологической целесообразности. Одним из методов, позволяющих решить эту проблему, является геохимическое воздействие на сами агрессивные среды [18]. В этом случае агрессивные компоненты будут взаимодействовать со специально вводимыми в грунтовой массив реагентами, а не с подземными конструкциями.

Такой подход был применен на одном из объектов в г. Губахе (Пермский край) для борьбы с сульфатной агрессивностью к бетонным конструкциям [103]. На указанном объекте при планировочных работах и формировании насыпей использовались породы отвалов Кизеловского угольного бассейна, характеризующиеся высоким содержанием сульфатной и сульфидной (пирит) серы (до 8,7%). Значительное ее количество входит в водорастворимые соединения. Содержание SO_4^{2-}, по данным анализа водной вытяжки, может достигать сотен граммов на килограмм грунта [208]. В условиях земной поверхности породы выветриваются, что сопровождается окислением пирита, образованием и переходом SO_4^{2-} в подземные воды и снижением *pH* до 3 [107]. В результате подтопления площадок, в насыпных грунтах на отметках выше заложения фундаментов сформировались агрессивные к бетону подземные воды. Режимные наблюдения показали тенденцию к увеличению сульфатной агрессивности вод. Содержание сульфатов в ряде случаев достигало 4,1 г/л, что соответствует сильной степени агрессивности вод для бетона на портландцементе по ГОСТ 10178-85. Коррозия бетона в сульфатных средах достаточно часто встречается в практике. В настоящее время основной способ защиты бетонов от сульфатной коррозии – уменьшение содержания алюминатной фазы в цементах, входящих в структуру эттрингита, что ограничивает его рост и обеспечивает достаточную долговечность бетона [171].

Высокое содержание SO_4^{2-} обусловлено взаимодействием подземных вод с породами шахтных отвалов, что подтверждено лабораторными экспериментами. Вскрытие фундаментов и проведение работ по антикоррозионной защите, в условиях действующего производства с непрерывным циклом, практически невозможны. Водопонижение и замена грунтов в существующих условиях также неприемлемы, или имеют очень высокую стоимость. Для связывания SO_4^{2-} возможно использовать растворимые соединения бария:

$SO_4^{2-} + Ba^{2+} = BaSO_4$ (барит)

Реакция осаждения SO_4^{2-} в виде барита происходит практически мгновенно и не зависит от *pH* среды. В качестве реагента целесообразно применять гидроксид и хлорид бария. Хлорид бария имеет высокую растворимость в воде, что позволяет использовать концентрированные растворы. Растворимость гидроксида бария на порядок ниже, однако, при его использовании, нейтрализуется кислая реакция среды и в подземные воды не вносятся дополнительные анионы. Образующийся барит практически нерастворим и не разрушается при выветривании. Он не токсичен, используется в буровых растворах, может применяться как наполнитель бетона для повышения его сульфатостойкости [156].

Опытные работы по нейтрализации агрессивных сред проводились на двух участках (рис. 4.21). На первом, где подземные воды обладали сильной сульфатной агрессивностью (с учетом содержания HCO^{3-}) [161], были пробурены две скважины: одна – для засыпки реагента, другая – для наблюдения (рис. 4.21 А). После засыпки хлорида бария вода в наблюдательной скважине в скором времени становилась неагрессивной по отношению к бетону. К концу четвертого месяца наблюдений концентрация SO_4^{2-} – снизилась в 10 раз (рис. 4.22). Второй опытный участок со средней сульфатной агрессивностью (среднее по четырем скважинам содержание SO_4^{2-} составляет 1,22 г/л) включал канаву для засыпки реагента (гидроксида и хлорида бария) и четыре наблюдательные скважины, расположенные ниже по потоку подземных вод (рис. 4.21 Б). После засыпки реагента, в течение более чем двух лет во всех скважинах прослеживалась тенденция к уменьшению содержания SO_4^{2-}, вода потеря-

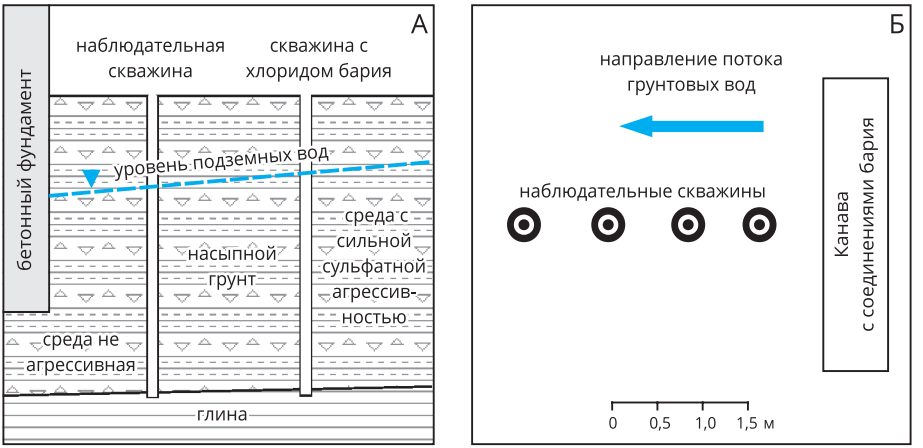


Рисунок 4.21.

Схематический разрез участка 1 (А) и схема опытного участка 2 (Б)

ла агрессивность. На завершающем этапе наблюдений среднее содержание SO_4^{2-} составляло 0,04 г/л (рис. 4.23).

Проведенные работы показали, что подземные воды, обладавшие средней и сильной сульфатной агрессивностью, становились неагрессивными по отношению к бетону. Содержание хлоридов и *pH* на протяжении всего периода наблюдений ниже значений, которые бы делали воды агрессивными по этим показателям [161]. Для достижения положительного эффекта по четырем скважинам на участке 2 потребовалось на 1 м^3 грунта 29 кг хлорида бария или 22 кг гидроксида бария. Вследствие внесения реагентов существенно изменилась геохимическая активность грунтов. По результатам анализа водной вытяжки, общее содержание растворимых солей в грунте на втором участке уменьшилось в 2,5 раза, содержание SO_4^{2-} – в 3 раза.

Обработка массива растворимыми соединениями бария приводит к изменению минералогического состава и свойств грунтов. Со дна канавы, в которую засыпались соединения бария, был отобран желтовато-белый осадок. Рентгенометрические исследования показали, что в состав осадка входят: барит – 24%, кальцит – 15%, витерит – 30%, кварц – 30%, гипс – 1%. Грунт в стенках и нижней части канавы сцементирован. Образование витерита следует рассма-

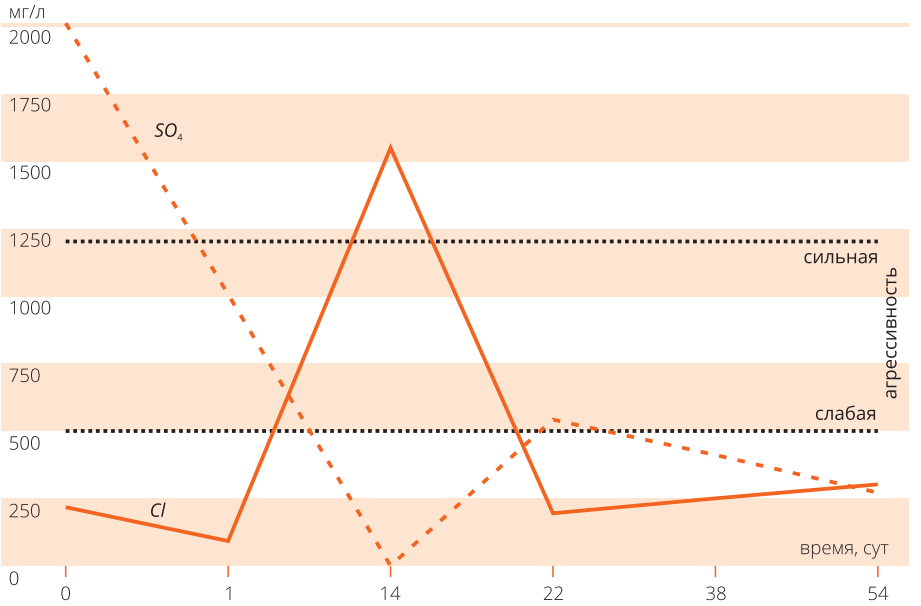


Рисунок 4.22.

Состав воды в наблюдательной скважине на участке 1

тривать как положительный фактор, поскольку в случае поступления в обработанный SO_4^{2-} массив, он будет осаждаться в виде барита:

$$BaCO_3 + SO_4^{2-} = BaSO_4 + CO_3^{2-}$$

Это обусловлено тем, что при наличии в растворе сульфат-иона идет реакция обмена, так как растворимость барита намного меньше, чем растворимость витерита [138, 189]. Формирование барита, витерита и воздействие щелочного компонента на грунт ведут к повышению его прочности. Модуль деформации обработанных суглинков увеличивается в 1,5 раза. Заполнение пор соединениями бария снижает водопроницаемость грунта – эта особенность используется, например, при создании противофильтрационных завес. При введении в грунт хлорида бария и сульфатов кальция и магния, его коэффициент фильтрации уменьшился в 240 раз. Указанные побочные явления следует рассматривать как положительные, поскольку уменьшение водопроницаемости грунта и интенсивности водообмена снижает воздействие агрессивных вод на бетонные конструкции [161], а увеличение прочности грунта повышает надежность оснований сооружений. Проведенные опытные работы показывают перспективность данного подхода к защите бетона и других подземных строительных конструкций от агрессивных сред. Геохимическое воздействие на

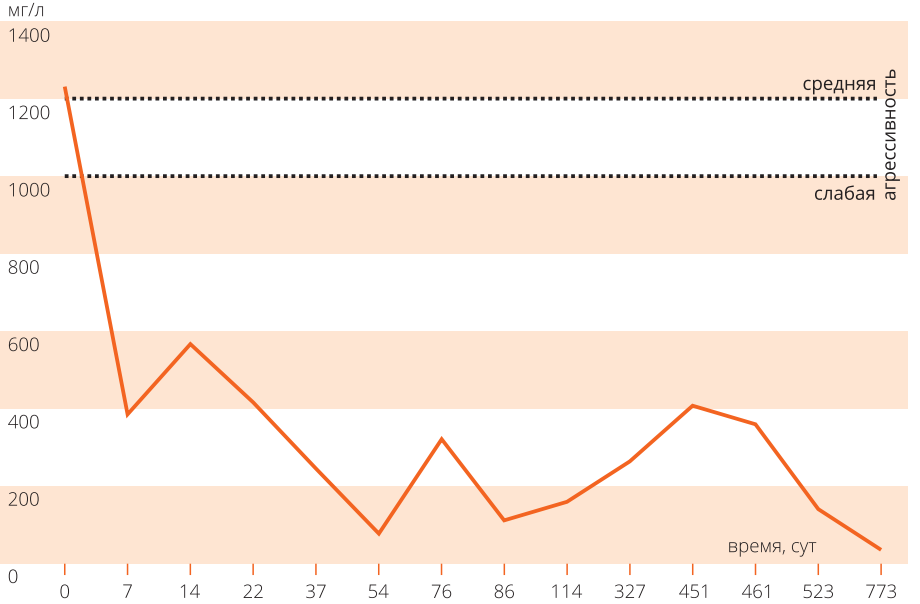


Рисунок 4.23.

Среднее содержание SO_4^{2-} по четырем скважинам на участке 2

агрессивные среды может быть применено на других участках КУБа, при этом решаются экологические проблемы за счет снижения миграции загрязнителей.

4.7. Восстановление экосистем загрязненных рек

При попадании кислых шахтных вод в естественные водотоки как при водоотливе во время добычи угля, так и изливов после закрытия КУБа, а также стоков с породных отвалов, при повышении *pH* за счет разбавления, происходит образование ***техногенного осадка***. Он состоит в основном из гидроокислов железа и алюминия с высоким содержанием микроэлементов и оказывает резко отрицательный эффект на водные экосистемы [183, 220, 222, 224, 227, 229]. В донных отложениях рек также встречаются частицы отвалов. Донные отложения содержат высокие концентрации подвижных в водной среде компонентов и являются источником вторичного загрязнения рек.

Комплексных исследований техногенных донных отложений на территории КУБа не проводилось, оценить их объем и масштаб загрязнения достаточно сложно. Мощность осадка на разных участках водных объектов различна – от тонкого налета на гальке, слагающей дно водотоков, до 7 м у плотины спущенного Кизеловского пруда (см. разд. 3.2). В распределении техногенных отложений значительную роль играет водный режим рек. В период весеннего половодья из-за резкого повышения расходов и скоростей воды происходит перенос осадка вниз по течению, при этом увеличивается зона его негативного влияния.

Протяженность рек, подвергающихся загрязнению, по предварительным оценкам, составляет около 817 км. В их руслах и на поймах накоплены миллионы тонн техногенных осадков, содержащих загрязнители в подвижных формах (см. гл. 3). Представление о состоянии экосистем рек дает таблица 4.13.

Восстановление экосистем рек, особенно при длительном и непрекращающемся в настоящее время воздействии, является сложной задачей, требующей больших затрат.

Способы восстановления экосистем рек, загрязненных кислыми шахтными водами и стоками с отвалов, можно разделить на активные и пассивные [206, 223].

Активные способы – это улучшение качества воды с помощью методов, которые требуют постоянного внесения химических (биохимических) реактивов и сопровождаются постоянными затратами. Учитывая масштабы загрязнения речных систем КУба, это практически невозможно. Мировой опыт показывает, что пассивные методы, основанные на естественных биологических, геохимических и физических процессах, зачастую превосходят активные.

Таблица 4.13.

Классификация водных объектов КУБа по степени загрязнения

Класс	Разряд	Текстовое описание	Общая гидро-экологическая оценка состояния водотоков [53]	Перечень рек	Общая длина участков рек, км
1		Условно чистая	Норма	–	–
2		Слабо загрязненная	Риск	Чусовая, Косьва, Усьва, Глухая, Поло-винка	
3	а	Загрязненная	Кризис	Яйва, Косьва, Сев. Вильва, Юж. Вильва, Полуд. Кизел, Мал. Полуд. Кизел, Сухой Кизел, Ивановка, Опаленная, Вьящер, Рудянка	271
	б	Очень загрязненная			
4	а	Грязная			
	б	Грязная			
	в	Очень грязная			
	г	Очень грязная			
5		Экстремально грязная	Бедствие	руч. Красный, Бол. Кизел, Вост. Кизел, Полуд. Кизел, Губаш-ка, Ладейный Лог, Бол. Гремячая, Косая, Шумиха, Каменка	196

Рассмотрим более подробно примеры использования методов, которые, на наш взгляд, являются наиболее эффективными для решения проблем на территории КУБа.

В США добавление в русло рек на ряде объектов измельченного доломитового или чистого известняка при восстановительных работах на водотоках, в которые поступают кислые шахтные воды, показало, что это благоприятно влияет на химический состав и приводит, в конечном итоге, к восстановлению экосистем. Песок перераспределяется вследствие энергии потока вниз по течению, нейтрализуя кислые шахтные воды.

Аппалачский каменноугольный бассейн, где использовался этот метод, расположен на востоке США, на территории штатов Алабама, Кентукки, Виргиния, Западная Виргиния, Огайо, Мэриленд, Пенсильвания и является одним из крупнейших в мире (площадь – около 180 тыс. км^2). Протекающие здесь реки загрязнены кислыми шахтными водами и подвержены влиянию других отходов угледобычи. В их водах повышено содержание железа и алюминия и низкий *pH* [185, 187, 228].

В штате Западная Виргиния добавление известняка применялось для восстановления нескольких речных систем, протяженностью около 450 км. Например, в р. Middle Fork было добавлено 500 т измельченного известняка с интервалом 3 месяца. Водородный показатель поддерживался выше 6, в результате чего был восстановлен промысел форели. McClurg [216] изучал состав воды в реке сразу после засыпки измельченного известняка. Небольшое увеличение железа и кальция наблюдалось лишь в пределах 100 м от места обработки (рис. 4.24).

В юго-западной Пенсильвании в кислый водоток Bear Run, непосредственно в русло, было добавлено 20,9 т, 22,7 т и 22,7 т измельченного известнякового песка (соответственно в июне 1997 г., июне 1998 г. и начале сентября 1999 г). Реагент состоял из карбоната кальция (93,3%), карбоната магния (1,2%), нерастворимых минералов (3,8%), таких как диоксид кремния, оксида алюминия и оксида железа (1%), диаметр частиц которых не превышал 9,5 мм. После года мониторинга был сделан вывод, что добавление известняка значительно улучшает водную экосистему.

Одной из проблем при применении этого метода является покрытие частиц известняка гидроксидами железа и снижение скорости реакции нейтрали-

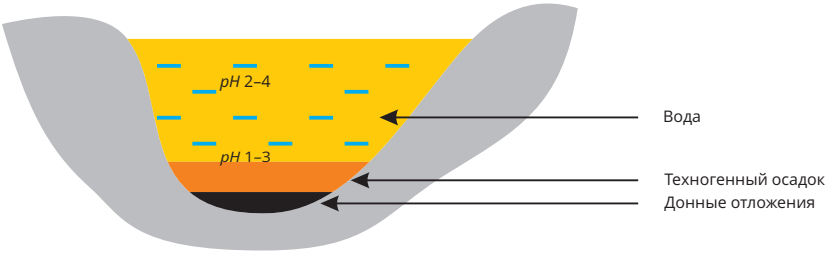
Рисунок 4.24.
Добавление измельченного известняка в загрязненные водотоки [13]

зации. Однако установлено, что поток вызывает перемещение и очистку известняка и восстановление его реакционной способности.

Исследователи из института Западной Виргинии пришли к выводу, что эффективность использования данного метода в большей степени зависит от размера частиц известняка, чем от содержания $CaCO_3$. Результаты гидрохимического опробования водотока, обработанного тонкодисперсным известняковым песком, показали более высокую эффективность при почти полном растворении известняка.

На наш взгляд, подобные методы вполне подходят для восстановления экосистем рек КУБа. Применение щелочных реагентов целесообразно для нейтрализации кислых техногенных отложений и, соответственно, снижения подвижности железа, алюминия и тяжелых металлов. В случае большой мощности техногенного осадка можно говорить о его консервации – путем перекрытия щелочным реагентом и созданием своеобразного геохимического барьера, препятствующего вторичному загрязнению рек (рис. 4.25).

Основным реагентом, который целесообразно использовать для этих целей, могут служить отсевы известняковых карьеров, которые располагаются на территории КУБа или в непосредственной близости от него. Объем щелоч-



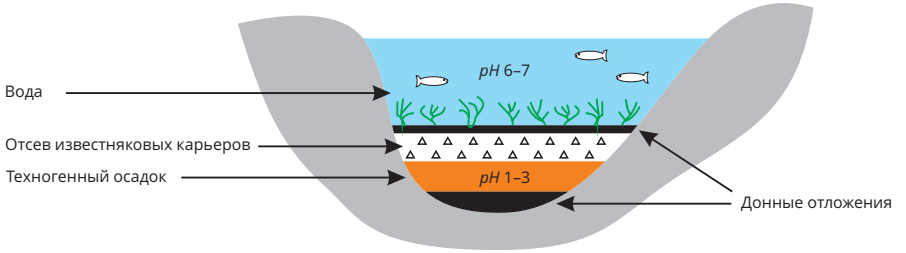


Рисунок 4.25.
Восстановление экосистем рек

ных отходов, образующихся на этих месторождениях, только за 2016 г. составил 1,9 млн т (они практически не реализуются и, как правило, накапливаются вокруг карьеров) (рис. 4.26).

Рисунок 4.26.
Отсевы известняковых карьеров в районе КУБа
А – Ивакинский карьер, Б – Утесовский карьер

Начать реабилитацию водотоков целесообразно с рек Шумихи и Губашки, на водосборах которых нет изливов шахтных вод, но куда осуществлялся водоотлив при работе шахт. Проведенные предварительные работы показали, что положительный эффект достигается при соотношении техногенных осадков и известняка 1:40. Условно приняв мощность техногенного осадка для этих рек в 10 см, для его нейтрализации потребуется 200–300 тонн карбонатных пород. Глинистые частицы, как правило содержащиеся в отсевах, являются сорбентами тяжелых металлов со значительной емкостью, что будет снижать эффект вторичного загрязнения речных вод.

Для повышения эффективности метода возможна добавка в отсевы маловостребованных товарных продуктов и отходов содового производства или других щелочных компонентов.

Таким образом, нейтрализация кислых донных отложений и снижение миграции загрязнителей постепенно приведут к восстановлению экосистем рек КУБа.

Заключение

Выполненное комплексное исследование, на примере одного из наиболее неблагоприятных с экологической точки зрения угольных месторождений, показало, что отсутствие правильно выстроенной стратегии в области охраны окружающей среды привело к очень негативным последствиям.

Эксплуатация КУБа на протяжении более 200 лет сформировала, по сути, зону экологического бедствия на площади около 10 000 км^2. После закрытия в конце 1990-х – начале 2000 гг. бассейна и затопления шахт, кардинально изменился гидродинамический и гидрохимический режим подземных вод. Уровни подземных вод, дренированных при ведении горных работ, восстановились, что повлекло за собой излив кислых шахтных вод на земную поверхность через горные выработки и трещины в массиве. По сравнению с периодом эксплуатации шахт, концентрация железа, марганца, алюминия, сульфатов и других загрязняющих веществ в шахтных водах увеличилась от 2 до 12 раз. Железо присутствует в водах изливов преимущественно в двухвалентной форме, в то время как при работе шахт в откачиваемых водах преобладало трехвалентное. Воздействие изливов на поверхностные воды приобрело региональный масштаб. При смешении с речными водами и увеличении *pH*, Fe^{2+} дольше, чем Fe^{3+} преобразуется в осадок, и это привело к загрязнению рек. Воды изливов поступают в 19 рек, 15 из которых практически выведены из водопользования. Среднегодовое содержание железа в реках достигает 1200 ПДК$_{рх}$, марганца – 50 ПДК$_{рх}$, алюминия – 45 ПДК$_{рх}$, бериллия – 58 ПДК$_{рх}$, концентрации никеля, меди, цинка и других элементов также превышают ПДК$_{рх}$. Даже для крупных рек постоянно наблюдаются высокие и экстремально-высокие уровни загрязнения воды по концентрации общего железа. Перенос водотоками техногенных отложений вниз по течению значительно увеличивает зону негативного влияния КУБа (вплоть до Камского водохранилища), поскольку они являются мощным источником вторичного загрязнения. При этом поступление загрязнителей в реки региона за счет излива шахтных вод имеет тенденцию к увеличению.

Существенный вклад в загрязнение окружающей среды вносят стоки с породных отвалов, имеющие *pH* 2–3, высокие концентрации железа, алюминия и тяжелых металлов. Воздействие ликвидированного месторождения привело к выводу из хозяйственно-питьевого использования рек общей протяженностью 750 км, в пределах 380 населенных пунктов, и накоплению сотен тонн техногенных осадков, которые являются вторичным источником загрязнения речных

экосистем. Все это ухудшает социальные и экономические условия проживания населения на значительной территории.

На основе тематического дешифрирования многолетних данных (1987–2017 гг.) дистанционного зондирования Земли, были впервые получены пространственные оценки влияния КУБа на окружающую среду, включая инвентаризацию породных отвалов и изливов шахтных вод, оценку зон периодического затопления кислыми водами, где наблюдается угнетение и гибель растительных сообществ (на общей площади более 20 га). Также средствами ГИС-технологий проведен объективный анализ сезонности загрязнения водных объектов.

Основной причиной, почему экологические проблемы не решены к настоящему времени, является отсутствие комплексного подхода, непонимание причин и масштабов бедствия.

Авторами сформирована новая концепция улучшения экологической ситуации, которую можно применить и на других территориях, подверженных негативному влиянию как от угледобычи, так и после ее завершения.

Концепция улучшения экологической ситуации в данном районе включает в себя следующие направления и специальные нестандартные подходы к решению накопившихся проблем, в том числе с использованием технологий на основе геохимических барьеров:

- уменьшение объемов излившихся на поверхность шахтных вод;
- очистка вод в вырабатываемом пространстве шахт;
- очистка вод изливов с помощью отходов маловостребованных щелочных продуктов и отходов;
- рекультивация и очистка стоков с отвалов;
- восстановление экосистем загрязненных рек.

Предложенная общая концепция решения экологических проблем на изученной территории может лечь в основу программы конкретных мероприятий не только Кизеловского угольного бассейна, но и различных районов угледобычи и других полезных ископаемых в России и за рубежом.

Авторы надеются, что данная монография внесет определенный вклад, включая методологические аспекты и концептуальные положения, в изучение подобных сложных природно-техногенных геосистем, каковыми, по сути, являются территории с высокой степенью загрязнения.

Список литературы

1. Агапов А. Е., Навитний А. М., Каплунов Ю. В. Эколого-экономические последствия закрытия угледобывающих предприятий и организация мониторинга в угледобывающих районах России // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: сб. статей. Пермь, 2005. С. 11–33.
2. Айруни А. А. Охрана окружающей среды при подземной добыче угля: обзор ЦНИЭИуголь. М., 1979. 48 с.
3. Амосов И. И. Зона окисления углей. М.: Наука, 1965. 96 с.
4. Андрейчук В. Н., Бендеров А. Д. Региональные особенности антропогенного воздействия на карст горных стран. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 134 с.
5. Апродов В. А. Геоморфология центральной части Кизеловского каменноугольного бассейна в районе рек: Луньвы, Кизела, Косьвы и Усьвы // Учен. зап. Перм. гос. ун-та. 1955. Т. 9. Вып. 1.
6. Атлас Пермского края / под общ. ред. А. М. Тартаковского. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 124 с.
7. Баканов С. А. Угольная промышленность Урала в годы Великой Отечественной войны // Уральский исторический вестник. 2011. № 1 (30). С. 57–62.
8. Баканов С. А. Угольная промышленность Урала: жизненный цикл отрасли от зарождения до упадка. Челябинск: Энциклопедия, 2012. 328 с.
9. Бакунин А. В., Бедель А. Э. Уральский промышленный комплекс. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. 120 с.
10. Балашова В. В. Микоплазмы и железобактерии. М.: Наука, 1974. 65 с.
11. Баньковская В. М., Максимович Н. Г. Геохимические изменения природной среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности // География и природные ресурсы. 1989. № 2. С. 42–45. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0094.html
12. Баньковская В. М., Сухоплюева Т. М. Влияние породных отвалов угольных шахт на загрязненность подземных вод // Повышение эффективности природоохранных работ в угольной промышленности: материалы науч.-техн. конф. ВНИИОСуголь. Пермь, 1987.
13. Бачурин Б. А. Экологические проблемы горнопромышленных районов Пермского края // Экология и промышленность России. 2006. Апрель. С. 32–35.
14. Белогуб Е. В., Щербакова Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала. Миасс: УрО РАН, 2005. 128 с.
15. Блинов С. М., Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А. Современное техногенное минералообразование в аллювии рек Кизеловского угольного бассейна // Минералогия техногенеза-2003. Миасс, 2003. С. 20–38. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0261.html

16. Браун Н. А. Негативное влияние поверхностных вод Кизеловского угольного бассейна на конструкции мостов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2014. № 1. С. 369–371.
17. Бунина М. В. Карстовые явления в отложениях визейского яруса в пределах полей шахт 6 и 15 Кизеловского каменноугольного бассейна // Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции. Пермь, 1947.
18. Быков В. Н., Максимович Н. Г., Казакевич С. В., Блинов С. М. Природные ресурсы и охрана окружающей среды: учеб. пособие. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2001. 108 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/0229.pdf
19. Валуйский С. В. Обвальная пещера // Пещеры: сб. науч. тр. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1978. Вып. 17. С. 50–53.
20. Ваньшин Ю. В. Геохимические барьеры как фактор, определяющий минеральные парагенезисы при сернокислотном выветривании // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред. чл.-кор. РАН Н. С. Касимова и проф. А. Е. Воробьева. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 139–154.
21. Водосбор. Управление водными ресурсами на водосборе / под науч. ред. А. М. Черняева. Екатеринбург: Изд-во «Виктор», 1994. 160 с.
22. Волков В. Н., Полеховский Ю. С., Сергеев А. С., Тарасова И. П. Введение в металлогению горючих ископаемых и углесодержащих пород: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.- Петербургского ун-та, 1997. 248 с.
23. Воронкевич С. Д. Основы технической мелиорации грунтов. М.: Научный мир, 2005. 504 с.
24. Ворончихина Е. А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты: монография. Пермь, 2010. 163 с.
25. Гапеев А. А. Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты): учебник для геол.-развед. вузов. М.: Госгеолиздат, 1949. 336 с.
26. Геологические памятники Пермского края: энциклопедия / под общ. ред. И. И. Чайковского. ГИ УрО РАН. Пермь, 2009. 616 с.
27. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 4. М.: Недра, 1967. 476 с.
28. Геология СССР Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. I. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ. Кн. 2. М.: Недра, 1969. 304 с.
29. Гидрогеология СССР. Т. 14. Урал. М.: Недра, 1972. 648 с.
30. Горбунова К. А. Карстово-эрозионные долины Усьвинского района Кизеловского каменноугольного бассейна // Учен. зап. Перм. гос. ун-та. 1955. Т. 9. Вып. 1. С. 85–100.
31. Горбунова К. А. Морфометрическая характеристика карбонатного карста // Карст Урала и Приуралья: материалы Всеурал. совещ. Пермь, 1968. С. 33–39.
32. Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович Н. Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0129.pdf

33. Горбунова К. А., Максимович Н. Г. Техногенное воздействие на закарстованные территории Пермской области // География и природные ресурсы. 1991. № 3. С. 42–46. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0122.html
34. Горбунова К. А., Максимович Н. Г. Типы обстановок карстообразования на территории СССР // Инженерная геология. 1988. № 4. С. 93–97. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0087.html
35. Горбунова К. А., Максимович Н. Г., Андрейчук В. Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области: препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 44 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0107_01.html
36. Городецкая Н. С. Строение угленосной толщи Кизеловсого угольного бассейна // Бюл. Моск. общ. испыт. природы. Отд. геол. 1948. Т. 28 (8).
37. Горский И. И. Геологический очерк Кизеловского района // Угленосные отложения западного склона Урала. Пермь, 1932. 26 с.
38. Гульденбальк В. П. Особенности режима карстовых вод в условиях их дренирования в Кизеловском каменноугольном районе // Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции. Пермь, 1947.
39. Дедов Г. И., Шатров Л. А. Кизел. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1967. 62 с.
40. Докукин А. В. Закономерности возникновение кислотных рудничных вод угольных месторождений и научные основы борьбы с их агрессивными свойствами. М.: МГИ, 1949.
41. Докукин А. В., Докукина Л. С. Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними. М.-Л.: Углетехиздат, 1950. 353 с.
42. Должиков П. Н., Страданченко С. Г., Шубин А. А. Технические решение по тампонажу и закладке подземных пустот // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. № 11. С. 130–133.
43. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справ. пособие. Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. 61 с.
44. Дузь А. И., Пичугин Б. В., Дуденко И. И. Охрана среды и использование отходов угольного производства. Донецк: «Донбасс», 1990. 110 с.
45. Евдокимов С. С., Пирожков С. П. История изучения воклюза Голубое озеро // Комплексное использование и охрана подземных пространств: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летнему юбилею науч. и тур.-экск. деят. в Кунгурской Ледяной пещере и 100-летию со дня рождения В. С. Лукина / под общ. ред. О. Кадебской и В. Андрейчука. ГИ УрО РАН. Пермь, 2014. С. 25–26.
46. Ежов Ю. А. Закарстованность карбонатных толщ Кизеловского каменноугольного бассейна // Тр. Ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1962. Вып. 62.
47. Ежов Ю. А. Изучение вертикальной гидродинамической зональности карстующихся толщ Кизеловского каменноугольного бассейна // Тр. Ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1962. Вып. 62.

48. Ежов Ю. А. О древней закарстованности визейских известняков и доломитов Кизеловского угленосного района // Тр. Ин-та геологии УФАН СССР. Свердловск, 1964. Вып. 69. № 3.
49. Ежов Ю. А., Сидоров И. И. Определение притоков воды и меры их снижения в шахтах Кизеловского бассейна // Тр. Ин-та геол. УФАН СССР. Свердловск, 1964. Вып. 69. № 3.
50. Елохина С. Н. Горнорудный техногенез постэксплуатационной стадии на территории Урала // Литосфера. 2013. № 5. С. 151–164.
51. Еремеев В. В. Палеогеография и минералообразование нижнекарбоновых угленосных отложений Среднего Урала // Тр. ГИН. М.: Наука, 1972. Вып. 240. 225 с.
52. Еремин И. В., Лебедев В. В., Цикарев Д. А. Петрография и физические свойства углей. М.: Недра, 1980. 263 с.
53. Ерина О. Н, Ефимова Л. Е., Заславская М. Б. Использование параметризации характеристик качества воды для диагностики возникновения изменений экологического состояния рек // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века: тр. III Междунар. конференции. Казань: Изд-во АН РТ, 2017. С. 33–36.
54. Жакова У. В. История исследования воклюза «Голубое Озеро» // Пещеры: сб. науч. тр. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2009. Вып. 32. С. 113–120.
55. Зайденварг В. Е., Навитний А. М., Твердохлебов В. Ф. Гидрогеологические аспекты ликвидации шахт в России // Уголь. 1999. № 2. С. 28–30.
56. Зиновьев Е. А. Фауна рыб разнотипных рек Прикамья // Антропогенная динамика природной среды: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Пермь, 2006. С. 28–33.
57. Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения: сб. науч. тр. / отв. ред. А. И. Шеко. М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. С. 120.
58. Имайкин А. К. Анализ изменения экологической ситуации в Кизеловском угольном бассейне после ликвидации и затопления шахт // Экология России и сопредельных территорий. Новосибирск, 2004. С. 111.
59. Имайкин А. К. Шахтные воды Косьвинского месторождения Кизеловского угольного бассейна. Прогноз гидрохимического режима шахтных вод, изливающихся на поверхность // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 667–667.
60. Имайкин К. К., Баньковская В. М., Бурковская А. В. Изменение гидрогеологической обстановки при ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна // Гидрогеология и карстоведение. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2002. Вып. 14. С. 145–150.
61. Имайкин А. К., Имайкин К. К. Гидрогеологические условия Кизеловского угольного бассейна во время и после окончания его эксплуатации, прогноз их изменений. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2013. 112 с.

62. Исаев О. Н., Сусленков Б. Д. Экологизация процессов очистки шахтных вод // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С. 198–201.
63. Калинин В. Г. Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2008. 252 с.
64. Калинин В. Г., Назаров Н. Н., Пьянков С. В., Симиренов С. А., Тюняткин Д. Г. Изучение оползневой деятельности на берегах Камского водохранилища с применением ГИС-технологий // Геоморфология. 2004. № 4. С. 55–62.
65. Калинин В. Г., Пьянков С. В. К вопросу о влиянии рельефа на сток рек Воткинского водохранилища // Метеорология и гидрология. 2004. № 3. С. 98–104.
66. Калмыков Г. С. Петрографический состав и метаморфизм углей Кизеловского бассейна. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 120 с.
67. Каплунов Ю. В., Климов С. Л., Красавин А. П. Экология угольной промышленности России на рубеже XXI века / под общ. ред. С. Л. Климова. СПб.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 295 с.
68. Каплунов Ю. В., Красноперова К. А., Новгородов И. М. Эколого-экономическая оценка деятельности предприятий угольной промышленности. М.: Изд-во АГН, 1996. 214 с.
69. Катаев В. Н., Максимович Н. Г., Блинов С. М. Загрязнение карстовых вод Кизеловского угольного бассейна // География и природные ресурсы. 1995. № 1. С. 57–60. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0160.html
70. Катаев В. Н., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Типы карста Пермского края // Вестник Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. 2013. № 1. С. 56–66. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2013/0398.pdf
71. Кельманский М. С. Гидрогеология угольных копей Кизеловского карстового района на Урале и условия производства горных работ под водоносными карстами // Уголь. 1938. № 11.
72. Кизильштейн Л. Я. Генезис серы в углях. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1975. 198 с.
73. Кипко Э. Я., Полозов Ю. А., Лушникова О. Ю. и др. Тампонаж обводненных горных пород: справ. пособие. М.: Недра, 1989. 318 с.
74. Клер В. Р., Волкова Г. А., Гурвич Е. М. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. М.: Наука, 1987. 240 с.
75. Клер В. Р., Ненахова В. Ф., Сапрыкин Ф. Я. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. М.: Наука, 1988. 256 с.
76. Комлев А. М., Черных Е. А. Реки Пермской области. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1984. 213 с.
77. Кононенко Н. И. Карст, его влияние на обводненность горных выработок и прогноз возможных притоков подземных вод на глубокие горизонты некоторых шахт Кизеловского бассейна // Науч. тр. ПермНИУИ: сб. IX. Пермь, 1968. С. 48–159.

78. Коротаев Н. Я. Почвы Пермской области. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1962. 278 с.
79. Костарев В. П. Карст Предуральского прогиба // Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск, 1969. Ч. 1.
80. Красавин А. П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. М.: Недра, 1991. 221 с.
81. Красавин А. П., Сафин Р. Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь: ИПК «Звезда», 2005. 287 с.
82. Красавин А. П., Сафин Р. Т., Баньковская В. М. Гидрогеологическая ситуация на ликвидированных шахтах Кизеловского угольного бассейна и пути ее улучшения // Уголь. 2004. № 12. С. 28–31.
83. Красавин А. П., Харитоновский А. А. Промышленная экология на рубеже веков. Пермь: Изд-во «Золотой город», 2001. 256 с.
84. Красильникова С. А., Блинов С. М. Последствия сброса кислых шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Естественные и технические науки. 2017. № 11 (113). С. 153–154.
85. Краускопф К. Б. Разделение марганца и железа в осадочном процессе // Геохимия литогенеза: сб. статей. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. С. 259–293.
86. Кротова Е. А. Карстовые формы рельефа // Учен. зап. Харьковского гос. ун-та. 1956. Т. 10. Вып. 2: Геология и география. Кн. 10.
87. Кротова Е. А. К геоморфологической характеристике Губахинского района Кизеловского каменноугольного бассейна // Учен. зап. Перм. гос. ун-та. 1956. Т. 10. Вып. 2.
88. Кузнецова Л. С. Геоморфология и карст северных участков Кизеловского каменноугольного бассейна // Учен. зап. Перм. гос. ун-та. 1955. Т. 9. Вып. 1.
89. Кузнецова Л. С. Роль некоторых факторов карстообразования на примерах Кизеловского района // Тезисы докладов на совещании по изучению карста (30 янв. – 3 фев. 1956 г.). Региональная секция, подсекция Урала. 1956. Вып. 13. С. 9–11.
90. Мазикин В. П., Шевелев Ю. А., Наседкин С. Ю. Перспективы снижения негативного воздействия угольной промышленности на экологию Кузбасса // Уголь. 2005. № 7. С. 3–6.
91. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Т. 1. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. 445 с. http://nsi.psu.ru/cave/bibl/Osnovy%20karstovedeniya%20I.pdf
92. Максимович Г. А. Основы карстоведения. Т. 2. Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1969. 530 с. http://nsi.psu.ru/cave/bibl/Osnovy%20karstovedeniya%20II.pdf
93. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Карст Пермской области. 1958. 184 с. http://nsi.psu.ru/cave/bibl/kpo.pdf

94. Максимович Н. Г. Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна // Инженерная геология. 2011. Сентябрь. С. 20–25. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2012/0384.pdf
95. Максимович Н. Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. гос. ун-та. Пермь, 1997. Вып. 4: Геология. С. 171–185. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0179.html
96. Максимович Н. Г. Использование геохимических барьеров для решения проблем угольной промышленности // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: материалы юбилейного сборника статей. Пермь, 2005. С. 267–281. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0279.html
97. Максимович Н. Г. Пути решения экологических проблем, связанных с развитием карста в угледобывающих районах // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение: материалы Междунар. симпоз. (Пермь, 25–30 мая 2004 г.). Пермь, 2004. С. 307–312. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0274.html
98. Максимович Н. Г. Создание геохимических барьеров для очистки кислых стоков породных отвалов // Уголь. 2006. № 9. С. 64. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0305.html
99. Максимович Н. Г. Теоретические и прикладные аспекты использования геохимических барьеров для охраны окружающей среды // Инженерная геология. 2010. Сентябрь. С. 20–28. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2010/0367.pdf
100. Максимович Н. Г., Абросимов Э. И. Формирование техногенно-геохимической обстановки при использовании пород отвалов угольных месторождений в строительных целях // Охрана и рациональное использование геологической среды: межвуз. сб. науч. тр. Пермь: ППИ, 1987. С. 76–81. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0082.html
101. Максимович Н. Г., Басов В. Н., Холостов С. Б. Способ нейтрализации кислых шахтных вод и установка для его осуществления / Патент на изобретение № 2293063 РФ МПК C O2 F 1/66; заявитель и патентообладатель ФГНУ «Естественнонаучный институт». – № 2005106659/15; заявл. 14.03.2005; опубл. 10.02.07, Бюл. «Изобретения. Полезные модели». № 4. С. 350. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2007/325.pdf
102. Максимович Н. Г., Басов В. Н., Холостов С. Б. Установка для нейтрализации кислых шахтных вод / Патент на полезную модель № 50218 РФ МПК7 C 02 F 1/66; заявитель и патентообладатель ФГНУ «Естественнонаучный институт». – № 2005106661; заявл. 14.03.05; опубл. 27.12.05, Бюл. «Изобретения. Полезные модели». № 36 (II ч.). С. 350. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0283.html
103. Максимович Н. Г., Блинов С. М. Нейтрализация геохимическими методами сред, агрессивных к подземным конструкциям // Геология: программа «Университеты России». Ч. 2. М.: МГУ, 1994. С. 124–133. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0148.html

104. Максимович Н. Г., Блинов С. М. Изменение условий развития карста под влиянием сброса шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. науч. тр. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1997. Вып. 12. С. 184–186. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0180.html
105. Максимович Н. Г., Блинов С. М., Малеев Э. Е. Техногенные изменения геологической среды Кизеловского района // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1994. С. 32–39. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0150.html
106. Максимович Н. Г., Горбунова К. А. Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Известия вузов. Геология и разведка. 1991. № 5. С. 137–140. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0123.html
107. Максимович Н. Г., Горбунова К. А. Формирование агрессивности подземных вод при использовании пород отвалов угольных шахт в строительстве // Инженерная геология. 1990. № 6. С. 90–99. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0113.html
108. Максимович Н. Г., Крюкова О. С. Разработка процессов взаимной нейтрализации производственных отходов содового производства, кислых шахтных вод и шахтных отвалов для защиты окружающей среды региона // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2012/0388.pdf
109. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Блинов С. М. Некоторые техногенные минералы Уральского региона // Минералогия техногенеза-2000. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН. 2000. С. 62–67. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0219.html
110. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Блинов С. М. Техногенные минералы донных отложений р. Косьвы в зоне влияния Кизеловского угольного бассейна // Уральская летняя минералогическая школа-95: материалы межвуз. науч. конф. Екатеринбург, 1995. С. 94–95. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0167.html
111. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Казакевич С. В. Историко-геологическое развитие территории и современная экологическая обстановка // Вестник междунар. акад. экологии и безопасности жизнедеятельности. 2000. № 6. С. 42–46. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0220.html
112. Максимович Н. Г., Пьянков С. В. Малые водохранилища: экология и безопасность. Пермь: Изд-во «Раритет-Пермь», 2012. 256 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2012/0393.pdf
113. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. Пермь: Изд-во ПГУ, 2011. 248 с. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2011/0381.pdf
114. Максимович Н. Г., Черемных Н. В., Хайрулина Е. А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник. 2006. № 2. С. 128–134. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0309.pdf

115. Матлак Е. С., Малеев В. Б. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях. К.: Техніка, 1991. 136 с.
116. Меньшикова Е. А., Блинов С. М. Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Перм. гос. ун-та. Пермь, 2005. Вып. 3: Геология. С. 167–174.
117. Меньшикова Е. А., Максимович Н. Г. Техногенные минералы аллювия рек Урала // Минералогия Урала: материалы 3-го регион. совещ. Т. 2. Миасс, 1998. С. 26–28. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0189.html
118. Меньшикова Е. А., Осовецкий Б. М. Магнитные сферулы речных осадков Уральского региона // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85. Вып. 6. С. 57–62.
119. Меньшикова Е. А., Осовецкий Б. М. Углистые частицы в окружающей среде // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 83–88.
120. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энциклопедия / под ред. А. И. Кудряшова. Пермь: Изд-во «Книжная площадь», 2006. 464 с.
121. Миронов К. В. Справочник геолога-угольщика. М.: Недра, 1991. 363 с.
122. Мохов А. В. О путях предотвращения прорывов воды в горные выработки из затопленных каменноугольных шахт // Технология гражданской безопасности. 2008. Т. 5. № 1–2. С. 188–193.
123. Мустафин А. Г., Сабитова З. Ш., Шарипов Т. В. Экологические проблемы горнорудного региона Башкирского Зауралья и пути их решения / Вестник Башкирского ун-та. 2011. Т. 16. № 1. С. 43–46.
124. Наумов О. Кизеловский угольный бассейн: что дальше? Мониторинг дает плоды // Уголь. 2006. № 3 (959). С. 64–66.
125. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 9. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 557 с.
126. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / под ред. В. Ю. Георгиевского. Электронный ресурс. 135 с.
127. Неволин Н. В., Лыхин П. А., Горшков В. А., Грищенко Г. Т. Экологическая ситуация в Кизеловском бассейне после ликвидации угольных шахт // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2008. № 5. С. 32–37.
128. Немковский Б. Б., Мичуров Б. И, Косарева А. Н., Яныгина В. Я. О необходимости и целесообразности очистки шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Науч. тр. ПермНИУИ: сб. IX. Пермь, 1968. С 168–195.
129. Никифорова Е. А., Солнцева Н. П. Техногенные потоки серы в гумидных ландшафтах районов угледобычи // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1986. № 3. С. 52–59.
130. Овёснов С. А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1997. 252 с.
131. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Справочник специалиста. Ч. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 200 с.

132. Особо охраняемые природные территории Пермского Края / под ред. С. А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 512 с.
133. Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2006. 208 с.
134. Пахомов И. В. Кизеловский каменноугольный район, его геологическая изученность и перспективы // Материалы геол. совещ. по перспективам Кизелов. кам. бассейна. Пермь, 1958.
135. Пахомов В. И., Пахомов И. В. Визейская угленосная формация западного склона Среднего Урала и Приуралья. М.: Недра, 1980. 152 с.
136. Переведенцев Ю. П., Соколов В. В., Наумов Э. П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казанский ун-т, 2013. 274 с.
137. Перельман А. И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
138. Петров В. П., Делицин И. С. Барит. М.: Наука, 1986. 253 с.
139. Петров И. В., Казаков В. Б., Кулагин В. С. Эколого-экономическая оценка и выбор комплекса мер, снижающих негативное воздействие действующих и ликвидируемых шахт на водные ресурсы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2004. № 6. С. 132–139.
140. Печеркин И. А. Притоки карстовых вод в горные выработки Кизеловского каменноугольного бассейна // Специальные вопросы карстоведения. М., 1962. С. 182.
141. Печеркин И. А. Шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна: дис. канд. геол.-минер. наук. Пермь, 1955. 313 с.
142. Печеркин И. А., Карзенков Г. И. Подземные и шахтные воды Кизеловского карстового района // Карст и его народнохозяйственное значение. М.: Наука, 1964. С. 142–149.
143. Полозов Ю. А., Лазебник А. Ю. Ликвидация аварийных водопритоков в горные выработки через технические скважины // Уголь Украины. 2013. Июнь. С. 26–29.
144. Потапов С. С., Максимович Н. Г. К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2006. С. 56–67. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0312.pdf
145. Потапов С. С., Максимович Н. Г., Паршина Н. В. Список минералов горелых отвалов Челябинского и Кизеловского угольных бассейнов // Минеральное сырье Урала. 2006. №6 (10). С. 43–52. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0321.pdf
146. Потапов С. С., Мороз Т. Н., Максимович Н. Г. Калиевые квасцы – первая находка в Кизеловском угольном бассейне // Минералогия техногенеза-2006. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 69–77. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0313.html

147. Потапов С. С., Паршина Н. В., Максимович Н. Г. Минералого-экологические исследования разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи (на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов) // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: Имин УрО РАН, 2007. С. 12–34. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2007/0333.pdf
148. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.1315-03 (дата актуализации 2016 г.). Минздрав РФ. М.: 2003. 152 с.
149. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». https://rg.ru/2017/01/16/minselhoz-prikaz552-site-dok.html
150. Пьянков С. В., Калинин В. Г. К вопросу о точности выполнения картометрических работ традиционными способами и с применением гис-технологий // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. 2000. С. 50–54.
151. Пьянков С. В., Шихов А. Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь. Изд-во «Раритет-Пермь». 2014. 296 с.
152. Пьянков С. В., Шихов А. Н., Абдуллин Р. К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 116 с.
153. Равич Б. М. и др. Комплексное использование сырья и отходов. М.: Химия, 1988. 288 с.
154. Родина О. А. Прогноз и возможное инженерное решение экологических последствий при ликвидации карьеров Ушаковского разрезоуправления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2003. № 6. С. 111–115.
155. Родионов Н. В. Карст Европейской части СССР, Урала и Кавказа. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 176 с.
156. Рубецкая Т. В., Бубнова А. С, Божич И. В. Условия развития гипсовой коррозии и обеспечение долговечности бетона применением новых цементов // Тезисы докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. Т. 1. Киев, 1973.
157. Руководящий документ 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 49 с.
158. Рыжиков Д. В. Природа карста и основные закономерности его развития. М., 1954. 154 с.
159. Сергеев В. И. и др. Количественная оценка грунтовой толщи как геохимического барьера // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред.

чл.-корр. РАН Н. С. Касимова и проф. А. Е. Воробьева. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 334–346.
160. Сергеев В. И., Савенко А. В., Гато Л. Использование калькаринита для удаления тяжелых металлов из вод, содержащих растворенное органическое вещество // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2000. № 3. С. 229–233.
161. СП 72.13330.2016 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии». Актуализированная редакция СНиП 3.04.03-85. Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. N 965/пр.
162. Сребродольский Б. И. Тайны сезонных минералов. М.: Наука, 1989. 144 с.
163. Тарасенко И. А. Геохимические особенности состава и закономерности формирования подземных вод в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных угольных шах / Автореферат на соискание ученой степени докт. геол.-мин. наук. Владивосток, 2014. 327 с.
164. Тарасенко И. А., Зиньков А. В. Оценка экологической безопасности подземного водного бассейна при закрытии шахт Приморского края (на примере шахты «Липовецкая») // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 2. С. 362–373.
165. Тарасенко И. А., Тарасова Т. В., Зиньков А. В. Моделирование техногенного гидродинамического режима Ургальского каменноугольного месторождения // Инженерные изыскания. 2010. № 11. С. 64–71.
166. Тарасенко И. А., Харитонова Н. А., Оводова Е. В., Зиньков А. В., Корзун А. В. Трансформация минералого-геохимического состава отходов обогащения и ее влияние на формирование высокоминерализованных вод (Приморский край, Россия) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 106–118.
167. Тарасенко И. А., Чепкая Н. А., Елисафенко Т. Н., Зиньков А. В., Катаева И. В., Садардинов И. В. Экологические последствия закрытия угольных шахт и меры по предотвращению их отрицательного воздействия на регион // Вестник ДВО РАН. 2004. № 1. С. 87–93.
168. Тебеньков В. П. Некоторые данные о карстовых явлениях в Кизеловском каменноугольном районе // Материалы карстовой конференции. Кизел. 1935. 208 с.
169. Тютюнова Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза. М.: Наука, 1987. 335 с.
170. Тютюнова Ф. И., Сафохина И. А., Швецов П. Ф. Техногенный регрессивный литогенез. М.: Наука, 1988. 239 с.
171. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 192 с.
172. Фетисова Н. Ф. Особенности техногенного минералообразования в условиях Кизеловского угольного бассейна // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Пермь, 2016. С. 65–67.
173. Халевицкий З. З. Редкостный случай боры на Среднем Урале // Метеорология и гидрология. 1969. № 3. С. 103–105.

174. Холостова О. С., Максимович Н. Г. Оценка возможности применения способа очистки кислых шахтных вод отходами содового производства для изливов различных шахтных полей на территории Кизеловского угольного бассейна // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: тезисы докл. междунар. науч. конф. ФГНУ «ЕНИ» и др. Пермь, 2005. С. 102–103. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0289.html
175. Холостова О. С., Холостов С. Б., Максимович Н. Г. Опыт использования отходов содового производства для очистки кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Инженерная экология. 2006. № 3. С. 46–54.
176. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 70 с.
177. Чикишев А. Г. Карст в бассейне р. Чусовой на западном склоне Среднего Урала // Региональное карстоведение: тр. совещ. по регион. карстоведению. М., 1958. С. 29–39.
178. Шахтные воды угольной промышленности. Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т охраны окружающей природной среды в угольной промышленности (ВНИИОСуголь). Ч. 2. Пермь, 1989. 109 с.
179. Шкляев В. А., Шкляева Л. С. Климатические ресурсы Уральского Прикамья // Географический вестник. 2006. № 2. С. 97–110.
180. Штах Э. и др. Петрология углей. М.: Мир, 1978. 556 с.
181. Щербаков А. В. Геохимия термальных вод. М.: Наука, 1968. 234 с.
182. Щербакова Е. П., Видерлюнд А., Малиновский Д. Н. Экспериментальное исследование геохимической устойчивости хранилищ отходов обогащения сульфидных руд // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2004. № 2. С. 134–141.
183. Юргенсон Г. А. Геохимия ландшафта. Чита: Изд-во ЗабГГПУ. 2005. 158 с.
184. Юровский А. З. Сера каменных углей. М.: Изд-во АН СССР. 1960. 295 с.
185. Baker B. J., Banfield J. F. Microbial communities in acid mine drainage // FEMS Microbiol. Ecol. 2003. 44. P. 139–152.
186. Bond P. L., Smriga S. P., Banfield J. F. Phylogeny of microorganisms populating a thick, subaerial, predominantly lithotrophic biofilm at an extreme acid mine drainage site // Appl. Environ. Microbiol. 2000. Vol. 66. № 9. P. 3842–3849.
187. Brake S. S., Connors K. A., Romberger S. B. A river runs through it: impact of acid mine drainage on the geochemistry of West Little Sugar Creek pre- and post-reclamation at the Green Valley coal mine, Indiana, USA // Environmental Geology. 2001. 40. P. 1471–1481.
188. Burrell R., Whitworth K. The influence of minewater recovery on surface on gas and water discharges in the Yorkshire Coalfield // Mine Water and the Environment: Proceedings of 7th International Mine Water Association Congress. Katowice-Ustron, Poland, 11–15 September. 2000. P. 81–90.

189. Busenberg E., Flummer L. The solubility of $BaCO_3$ (cr) (witherite) in CO_2 – H_2O solutions between 0 and 90°C, evaluation of the association constants of $BaHCO_3$ + (aq) // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1986. 50. № 10. P. 2225–2233.
190. Chaudhuri K., Lack G., Coates D. Biogenic Magnetite Formation through Anaerobic Biooxidation of Fe(II) // Appl. Environ. Microbiol. 2001. Vol. 67. № 6. P. 2844–2848.
191. Coleman M. L., Hedrick D. B., Lovley D. R., White D. C., Pye K. Reduction of Fe(III) in sediments by sulfate-reducing bacteria // Nature. 1993. 361. P. 436–438.
192. Donovan J. J., Leavitt B. R., Werner E. Long-term changes in water chemistry as a result of mine flooding in closed mines of the Pittsburgh coal basin, USA. In: Sixth International Conference Acid Rock Drainage (6th ICARD: Cairns, Queensland, 14–17 July 2003). 2003. P. 869–875.
193. Edwards K. J., Gihring T. M., Banfield J. F. Seasonal variations in microbial populations and environmental conditions in an extreme acid mine drainage environment // Appl. Environ. Microbiol. 1999. 65. P. 3627–3632.
194. Edwards K. J., Schrenk M. O., Hamers R., Banfield J. F. Microbial oxidation of pyrite: experiments using microorganisms from an extreme acidic environment // Am. Mineral. 1998. 83. P. 1444–1453.
195. Finkelman R., Orem W., Castranova V., Taty C. A., Belkin H. E., Zheng B., Lerch H. E., Maharaj S. V., Bates A. L. Health impacts of coal and coal use: possible solutions // Int J Coal Geol. 2002. 50. P. 425–443.
196. Finkelman R., Stracher G. B. Environmental and health impacts of coal fires. In: Stracher G.B., Prakash A., Sokol E. V. (eds). Coal and peat fires: a global perspective. Elsevier, Amsterdam, 2011. P. 115–125.
197. Fortin D., Beveridge T. J. Microbial sulfate-reduction within mine tailings: Formation of diagenetic Fe-sulfides // Geomicrobiol. J. 1997. 14. P. 1–21.
198. Fortin D., Davis B., Beveridge T. J. Role of Thiobacillus and sulfate-reducing bacteria in iron biocycling in oxic and anoxic mine tailings // FEMS Microbiol. Ecol. 1996. 21. P. 11–24.
199. Fortin D., Roy M., Rioux J. P., Thibault P. J. Occurrence of sulfate-reducing bacteria under a wide range of physico-chemical conditions in Au and Cu-Zn mine tailings // FEMS Microbiol. Ecol. 2000. 33. P. 197–208.
200. Fredrickson J. K., Zachara J. M., Kennedy D. W., Dong H., Onstott T. C., Hinman N. W., Li S. Biogenic iron mineralization accompanying dissimilatory reduction of hydrous ferric oxide by a groundwater bacterium // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1998. 62. № 19–20. P. 3239–3257.
201. Gonzalez-Toril E., Llobert-Brossa E., Casamayor E. O., Amann R., Amils R. Microbial ecology of an extreme acidic environment, the Tinto River // Appl. Environ. Microbiol. 2003. 69. № 8. P. 4853–4865.
202. Gruner D. B., Hood W. C. Geochemistry of drainage from a coal refuse pile, Plramid Mine, Perry Country, Illions // Proceedings of the Symp. on surface Mining Hydrology Sedimentology and Reclamation. Lexington. 1981. P. 355–357.

203. Hansel C. M., Benner S. G., Nico P., Fendorf S. Structural constraints of ferric (hydr)oxides on dissimilatory iron reduction and the fate of Fe(II) // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2004. 68. № 15. P. 3217–3229.
204. Johnson Clark M., Roden Eric E., Welch Susan A., Beard Brian L. Experimental constraints on Fe isotope fractionation during magnetite and Fe carbonate formation coupled to dissimilatory hydrous ferric oxide reduction // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2005. Vol. 69. №. 4. P. 963–993.
205. Lepikhin A. P., Sadokhina E. L., Miroshnichenko S. A., Maximovich N. G., Menschikova E. A. Bottomset beds influence on formation of water qality in rivers of West Ural // Int. Conference on Contaminated Sediments. Rotterdam, Netherlands. 1997. P. 325–331.
206. Masferrer J. Passive treatment of acid mine drainage at the La Extranjera mine (Puertollano, Spain) // Mine Water Environ. 2002. 21. P. 11–113.
207. Matess G., Otting R., Schulz M., Werner H. Effect of coal mine waters of Nordrhine-Westpalia in groundwater // Jans Publications. 1982. № 139 P. 271–278.
208. Maximovich N. G., Blinov S. M. The use of geochemical methods for neutralization of surroundings aggressive to underground structures // Proceeding 7th Int. Congress Ass. of Engineering Geology. Portugal, Lisboa. 1994. Vol. 5. P. 3159–3164. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/publicat.html
209. Maximovich N. G., Kataev V. N., Blinov S. M. Consequence of Kizel Coalfield acid mine water disposal into karst cavities // Water-rock interaction. Proc. symposium. Vladivostok, 1995. P. 885–888. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0170.html
210. Maximovich N. G., Menshikova E. A., Osovetskiy B. M. Hard technogenic components in alluvium and environment // Proceedings of the 8th International Congress. International Association of Engineering Geology. Vanconver, 21–25 Sept. 1998. Rotterdam, Brookfield, 2000. P. 4579–4582. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0226.html
211. Maximovich N. G., Menshikova E. A., Osovetsky B. M. Technogenic Associations of River Sediments in a City-Industrial Environment [Electronic resource] // Engineering geology for Developing Countries: 9th Congress of the International Association for Engineering geology and the Environment. Durban, South Africa, 16–20 Sept. 2002. Electronic optical disks (CD-ROM). P. 1216–1221. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0254.html
212. Maximovich N. G., Osovetskiy B. M., Blinov S. M. Geochemical Barriers and Environment Protection [Electronic resource] // GeoEng 2000: Conference Proceedings, 19–24 November. 2000. Melbourne, Australia. Electronic optical disks (CD-ROM). P. 225–274. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0227.html
213. Maximovich N. Use of alkaline waste products for acid mine water purification [Electronic resource] // Engineering geology for tomorrow's cities: abstracts of 10th Congress of the International Association for Engineering geology and the Environment (Nottingham, 6–10 Sept. 2006). Nottingham, United

Kingdom. Electronic optical disks (CD-ROM). P. 225. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0319.pdf
214. Maximovich N. Use of geochemical barriers for environment restoration [Electronic resource] // 33rd International Geological Congress (Oslo, Norway, 6–14 August 2008). Oslo, 2008. 1 electronic optical disk (CD-ROM). http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2008/0340.html
215. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Sciences. 2014. № 72. P. 1915–1924. http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2014/0442.pdf
216. McClurg S. E., Petty J. T, Mazik P. M., Clayton J. L. (2007). Stream ecosystem response to limestone treatment in acid impacted watersheds of the Allegheny Plateau // Ecol. Appl. 2008. 17. P. 1087–1104.
217. Mitigation of the environmental impact from mining waste, Sweden. Program for period 1999–2000. Luleå Univ. Technol., 1998. 50 p.
218. Okamoto M., Kobayashi T., Sakamoto M. Physical properties of sediments deposited in the minewater from a closed coal mine. Engineering geology for tomorrow's cities. In: 10th Congress of the International Association for Engineering geology and the Environment [Electronic resource]. Nottingham, United Kingdom. 6–10 Sept. 2006. Electronic optical disks (CD-ROM). P. 811.
219. Orem W. H., Finkelman R. B. Coal formation and geochemistry. In: Mackenzie F. T. (ed), Holland H. D., Turekian K. K. (executive eds). Treatise on Geochemistry. 2003. Vol. 7. P. 191–222.
220. Powell J. D. Origin and influence of coal mine drainage on streams of the United States // Environ Geol Water Sci. 1988. 11. P. 141–152.
221. Regenspurg S., Brand A., Peiffer S. Formation and stability of schwertmannite in acidic mining lakes // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2004. 68. № 6. P. 1185–1197.
222. Siddharth S., Jamal A., Dhar B. B., Shukla R. Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines // Mine Water Environ. 2002. 21. P. 106–110.
223. Skousen J., Zippe C. E., Rose A. et al. Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment // Mine Water Environ. 2017. 36. P. 133.
224. Tao X., Wu P., Tang C. et al. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province, China //Environ Earth Sci. 2012. 65. P. 631.
225. Tarasenko I. A., Zinkov A. V., Chudaev O. V., Vetoshkina A. V., Holodilov I. I. Technogenic effect of liquidation of coal mines on Earth's entrails: hydrogeochemical aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 1–6.
226. Tarasenko I. A., Zinkov A. V., Vakh E. A., Vetoshkina A. V., Strelnikova A. B. Groundwater composition fluctuation within technogenic zones (case study: flooded coal mines in Primorsky Krai, Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 33. P. 1–7.

227. Tiwary R. K., Dhar B. B. Environmental pollution from coal mining activities in Damodar River Basin, India // Mine Water Environ. 1994. 13 (3–4). P. 1–9.
228. Wiggering H. Verwitterung auf Steinkohlenbergehalden // Ein erster Schritt von anthropo-technogenen Eingriffen zuruck in den naturlichen exogen-geodynamischen Kreislauf der Gesteine. «Z. Dtsch. Geol. Gas.». 1986. Vol. 137. № 2. P. 431–466.
229. Wright I. A., Paciuszkiewicz K. & Belmer N. Increased Water Pollution After Closure of Australia's Longest Operating Underground Coal Mine: a 13-Month Study of Mine Drainage, Water Chemistry and River Ecology Water// Air Soil Pollut. 2018. 229. P. 55.
230. Younger P. L. Possible Environmental problems impact of the closure of collieries in County Durham // Journal IWEM. 1993. October. P. 521–531.
231. Zhang H. B., Duan C. Q., Shao Q. Y., Ren W. M., Sha T., Cheng L. Z., Zhao Z. W., Hu B. Genetic and physiological diversity of phylogenetically and geographically distinct groups of Arthrobacter isolated from lead-zinc mine tailings // FEMS Microbiol. Ecol. 2004. Vol. 40. № 2. P. 333–341.

Список сокращений

БСЗ Березниковский содовый завод
ГИС геоинформационная система
ГРЭС государственная районная электростанция
ГЭС гидроэлектростанция
ДЗЗ дистанционное зондирование Земли
КПО конусный породный отвал
КУБ Кизеловский угольный бассейн
КШВ кислые шахтные воды
МНИИЭКО ТЭК Межотраслевой научно-исследовательский и проектно-технологический институт экологии топливно-энергетического комплекса
МУП муниципальное унитарное предприятие
ОАО открытое акционерное общество
ООПТ особо охраняемая природная территория
ООО общество с ограниченной ответственностью
ПГТ поселок городского типа
$ПДК_{рх}$ предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов
$ПДК_{хп}$ предельно допустимые концентрации для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
ППО плоский породный отвал
РАВ рентгеноаморфное вещество
УК ИЗВ удельный комбинаторный индекс загрязненности воды

Об авторах

Максимович Николай Георгиевич

В 1978 г. окончил геологический факультет Московского государственного университета по специальности «Гидрогеология и инженерная геология». В 1984 г. там же защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Является заместителем директора по научно-исследовательской работе и заведующим созданной им лабораторией геологии техногенных процессов Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета. В 2016 г. присвоено звание «Заслуженный эколог Российской Федерации».

Основные научные интересы связаны с решением экологических проблем в геологии, вопросов гидрогеологии, инженерной геологии, геохимии, карстоведения и спелеологии. Активно развивает теоретические основы и внедряет в практику методы использования искусственных геохимических барьеров для решения экологических проблем. Изучает роль микроорганизмов в геологических процессах и возможности управления ими с помощью биотехнологий.

Исследования проблем техногенной геохимии проводились в Кизеловском и Челябинском угольных бассейнах, на Хольбоджинском угольном разрезе (Бурятия) и КАТЭКе (разрез «Березовский», Красноярский край). Выполнялись работы по снижению загрязнения нефтепродуктами подземных вод в Пермском крае и республике Башкортостан. Под его руководством велись работы по обеспечению безопасности Камской и Сангтудинской плотин, в основании которых залегают растворимые породы. Проводились исследования, позволяющие обеспечить экологическую безопасность объектов по уничтожению химического оружия (Курганская обл., Удмуртская Республика). Осуществляются работы по уменьшению экологических рисков при функционировании сложных производственных комплексов химической, нефтехимической и оборонной промышленности Пермского и Хабаровского краев, Ханты-Мансийского автономного округа. Ведутся работы по снижению экологической нагрузки на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей.

Автор и соавтор 535 научных работ, 3 учебных пособий, 14 монографий (в том числе зарубежных), 1 атласа, 4 научно-популярных книг и ряда публикаций в периодической печати. Автор 10 патентов в области природоохранных технологий. Главный редактор сборника научных трудов «Пещеры». Член научно-редакционных советов журналов «Геориск» и «Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика». Научный руководитель четырех кандидатов наук. Прошел стажировки в ведущих научных центрах Германии, Новой Зеландии, Словакии, Словении и Франции.

Научный руководитель 15-ти и участник 9 грантов, поддержанных РФФИ, ФЦП, РГО, Министерством образования и науки РФ и др.

Член научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Член Российской национальной группы Международной ассоциации по инженерной геологии и охране окружающей среды. Эксперт РАН.

Награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

E-mail: nmax@psu.ru

Пьянков Сергей Васильевич

В 1992 г. окончил механико-математический факультет Пермского государственного университета по специальности «Прикладная математика» (кафедра теории вероятности и математической статистики). Кандидат технических наук (2006 г., Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург), доктор географических наук (2015 г., Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань). Профессор по научной специальности «Картография» (2018 г.). В 2012 г. создал и возглавил кафедру картографии и геоинформатики географического факультета ПГНИУ.

Основные научные интересы связаны с созданием новых методов математико-картографического моделирования геосистем и природно-техногенных комплексов, развитием современных геоинформационных технологий и методов тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли при решении фундаментальных и прикладных задач. Подготовил трех кандидатов наук.

Автор и соавтор 203 научных, научно-популярных и учебно-методических работ, из них: 7 монографий, 2 атласа, 21 работа из списка зарубежных журналов Web of Science или Scopus, 27 работ из списка ВАК, 17 – в иных журналах из списка РИНЦ, 69 материалов конференций, 10 учебно-методических работ, а также иные публикации. Автор и соавтор 4 свидетельств о государственной регистрации баз данных и 10 свидетельств о регистрации разработки программных средств, зарегистрированных в ОФАП и ОФЕРНИО. Из 19 грантов, поддержанных РФФИ, РГНФ, РГО, грантов Министерства образования и науки РФ, Министерства образования и науки Пермского края, в 13-ти являлся научным руководителем.

Член учебно-методического совета по направлению «Картография и геоинформатика» Федерального учебно-методического объединения по укрупненной группе специальностей и направлений 05.00.00 «Науки о Земле» Министерства образования и науки РФ (2015 г.). Эксперт Российской Академии Наук (РАН) РФ (2016 г.). Эксперт Российского Фонда Фундаментальных исследователей (РФФИ) (2016 г.). Член Диссертационного совета Казанского (Приволжского) федерального университета (2016 г.). Член Экспертного совета Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования РФ по «Наукам о Земле» (2018 г.).

Четырежды награжден Почетной грамотой ПГНИУ (2004, 2009, 2015, 2016 гг.), Почетной грамотой Министерства образования и науки РФ (2006 г.), Благодарственным письмом Полномочного Представителя Президента РФ в ПФО (2012 г.), Благодарственным письмом руководителя Управлении Росреестра по Пермскому краю (2016 г.), Почетной грамотой Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края (2016 г.), Дипломом лауреата конкурса ПГНИУ в области географических наук за лучшую научно-исследовательскую работу в 2013 г. среди ведущих ученых, Почетной грамотой географического факультета (2016 г.) и «Серебряной медалью за географические исследования» (2016 г.).

E-mail: pyankovsv@gmail.com

Научное издание

Максимович Николай Георгиевич
Пьянков Сергей Васильевич

Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения

Монография

В авторской редакции

Редакционная подготовка, оформление,
предпечатная подготовка – издательство «Раритет-Пермь».
Фото – О. А. Березиной и Н. Г. Максимовича.
Авторы отдельных фотографий указаны в подписях к ним.

Н. Г. Максимович, e-mail: nmax@psu.ru
С. В. Пьянков, e-mail: pyankovsv@gmail.com

Издательский центр
Пермского государственного национального исследовательского университета
614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15
Тел. (342)239-66-36; e-mail: unipress@psu.ru

Издательство «Раритет-Пермь», e-mail: s.m.barkov@gmail.com

Подписано в печать 29.10.2018 г.
Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Гарнитура Open Sans. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,74. Тираж 300 экз.
Заказ № 1018.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета
В ОАО «ИПП «Уральский рабочий».
620990, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 13.
htpp://www.uralprint.ru email: sales@ uralprint.ru